

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**

# **METEOROLOGIA**



## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Santana Lívia de Lima**

**Análise de secas no estado do Rio Grande do Norte  
baseado em índice climático**

**Campina Grande, Fevereiro de 2020**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE DE SECAS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE  
BASEADA EM ÍNDICE CLIMÁTICO**

SANTANA LÍVIA DE LIMA

**ORIENTADOR: MADSON TAVARES SILVA**

CAMPINA GRANDE – PB  
FEVEREIRO, 2020

SANTANA LÍVIA DE LIMA

**ANÁLISE DE SECAS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE BASEADA  
EM ÍNDICE CLIMÁTICO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande, seguindo às exigências para obtenção do Título de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: **Meteorologia de Meso e Grandes Escalas**  
Subárea: Climatologia

CAMPINA GRANDE – PB  
FEVEREIRO, 2020

L732a

Lima, Santana Livia de.

Análise de secas no estado do Rio Grande do Norte baseada em índice climático / Santana Livia de Lima. - Campina Grande, 2020.

86 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.

"Orientação: Prof. Dr. Madson Tavares Silva.

Referências.

1. Seca - Rio Grande do Norte (Estado). 2. Análise de Agrupamento.  
3. Previsão - Clima. I. Silva, Madson Tavares. II. Título.

CDU 551.577.3(813.2)(43)

ANÁLISE DE SECAS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE BASEADA EM  
ÍNDICE CLIMÁTICO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 20/02/2020

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. MADSON TAVARES SILVA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. RONI VALTER DE SOUZA GUEDES  
Agência Pernambucana de Águas e Clima

## AGRADECIMENTOS

---

Agradeço a Deus por estar sempre ao meu lado guiando meus passos e por ter permitido que alcançasse a graça de mais uma vitória.

Aos meus pais, que me deram o mais importante da vida, amor e educação, por estarem sempre ao meu lado, me incentivando a seguir sempre em frente, em busca de meus objetivos e pelo apoio quando me sentia desanimada.

Aos meus irmãos, muito obrigado pelo carinho, apoio e incentivo em todos os momentos da minha vida.

Aos meus amigos, em especial a *Eliane, Welinagila*, Mariana, Silânia, Monalisa, Gabriele, Nikolai, Romero, Kamila e André Zé, pela compreensão, pela paciência em alguns momentos difíceis desta caminhada, por todo carinho, paciência e por sempre me incentivar a seguir em frente.

Ao meu orientador Prof. Dr. Madson Tavares Silva, minha eterna gratidão pela oportunidade, pelo carinho, pela confiança, paciência e por acreditar na minha capacidade e contribuir para meu crescimento profissional, meu muito obrigada.

À Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação em Meteorologia.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela concessão da bolsa de estudo.

A todas as pessoas que de uma forma ou de outra me ajudaram na realização deste trabalho.

Aos Membros da Banca examinadora, pelas críticas e sugestões.

**OBRIGADA.**

*“Nem tudo que se enfrenta pode ser modificado,  
mas nada pode ser modificado até  
que seja enfrentado”.*

*(Albert Einstein)*

## Sumário

CAPÍTULO 1 .....	15
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>18</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
3.1. Objetivo Geral .....	19
<b>3.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>19</b>
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRAFICA .....</b>	<b>19</b>
4.1. Definições de Seca.....	19
4.2. Índices de Seca .....	22
3.2.1. Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração .....	24
<b>4.3. Análise de Séries Temporais .....</b>	<b>25</b>
4.4 Modelos para a análise e previsão de Séries Temporais .....	26
4.4.1.1 Arima e Sarima .....	27
4.4.2 Análise Multivariada.....	29
4.4.2.1 Análise de Agrupamento .....	29
4.3.2. Teste de Dickey-Fuller .....	30
4.3.3. Teste de Mann-Kendall.....	30
4.3.4. Teste de Pettitt .....	31
<b>5. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>33</b>
CAPÍTULO 2 .....	40
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>2. MATERIAL E METODOS .....</b>	<b>43</b>
<b>2.1. Caracterizações da Área de Estudo .....</b>	<b>43</b>
2.1.1. Clima.....	44
2.1.2. Relevo.....	44
2.1.3. Vegetação.....	44
2.1.4. Hidrografia.....	45
2.2. Dados.....	45
3.3. Métodos .....	45
3.3.1. Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI) .....	45
3.3.2. Análise Multivariada .....	48
3.3.3. Análise de Agrupamento (AA) .....	48
3.3.4. Método de K-means.....	49
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>50</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>
CAPITULO 3 .....	65
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>67</b>
<b>2. METODOLOGIA .....</b>	<b>69</b>
<b>2.1. Área de Estudo.....</b>	<b>69</b>
<b>2.2. Caracterizações da Área de Estudo .....</b>	<b>69</b>
<b>2.3. Dados .....</b>	<b>71</b>
<b>3.3. Métodos.....</b>	<b>71</b>
3.3.1. Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI) .....	71
3.3.2. Teste de estacionaridade Dickey-Fuller .....	73
3.3.4. Teste de Pettitt .....	74
3.3.5. Metodologia de Box-Jenkins (ARIMA).....	75
3.3.6. Parâmetros usados na validação do modelo.....	76
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>78</b>

<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>85</b>
CAPÍTULO 4 .....	89
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	89

## ANÁLISE DE SECAS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE BASEADA EM ÍNDICE CLIMÁTICO

### RESUMO

A seca é fenômeno climático que atinge inúmeras regiões pelo mundo, associando à escassez de água por períodos prolongados, representando um dos perigos naturais mais complexos e menos compreendidos, avaliar os riscos causados pela seca é difícil, pois, não há um método globalmente aceito para mensurar e qualificar os seus impactos. Os efeitos da seca podem ser mais drásticos em regiões susceptíveis a escassez hídrica, como as regiões semiáridas, onde está inserido o estado do Rio Grande do Norte, pelo qual vem sofrendo com impactos causados pelo déficit de precipitação durante vários anos consecutivos. Diante disso este trabalho tem como objetivo analisar os eventos de seca no estado do Estado do Rio Grande do Norte no período de 1950 a 2018 com base em dados do índice de seca SPEI. Nesse estudo o índice SPEI foi utilizado em diferentes escalas de tempo, juntamente com a estatística multivariada e modelo de previsão. A estatística multivariada foi aplicada com o intuito de definir regiões homogêneas de seca. Os resultados mostram a eficiência da análise de agrupamento ao identificar regiões com características similares de seca, onde foram determinados cinco grupos divididos por microrregiões, os valores do SPEI-3 refletem variações complexas nas condições de seca de acordo com sua classificação. A maior concentração da seca, de acordo com sua duração ocorreu no grupo G4 com a maior presença de seca moderada, já a seca severa foi identificada nos grupos G1 e G5 e, a extrema, nos grupos G3 e G5, com maior intensidade, porém com menor duração, sendo assim o G4 foi considerado o grupo mais seco e o G1 o mais úmido. Assim como foi possível ver a distribuição de seca hidrológica para os dois grupos acima citados como o mais úmido e mais seco, onde o G1 se destacou por ter uma evolução maior frequência de períodos úmidos, em contrapartida o G4 apresentou uma maior evolução episódios secos aumentando a quantidade de episódios de seca hidrológica. Mediante a previsão realizada para os grupos G1 e o G4, a mesma se mostrou eficiente, pois os dois grupos apresentaram valores do  $r^2$  significativo, sendo que o G4 apresentou o melhor valor (0,9061), a série prevista seguiu o mesmo padrão tanto da validade quanto da observado, considerando assim o modelo ARIMA satisfatório para os grupos analisado, todavia, devem ser realizados ajustes para minimizar os erros e

melhorar a qualidade dos resultados, pois não se pode assegurar que se exista modelos ideais de previsão para essa variável.

**Palavras-chave:** Seca, agrupamento, previsão

## **DROUGHT ANALYSIS IN THE STATE OF RIO GRANDE DO NORTE BASED ON CLIMATE INDEX**

### **ABSTRACT**

Drought is a climatic phenomenon that affects numerous regions around the world, associated with water scarcity for prolonged periods, representing one of the most complex and least understood natural hazards, assessing the risks caused by drought is difficult as there is no globally accepted method to measure and qualify their impacts. The effects of drought can be more drastic in regions susceptible to water scarcity, such as semiarid regions, where the state of Rio Grande do Norte is inserted, for which it has been suffering from impacts caused by the deficit of precipitation for several consecutive years. Therefore, this work aims to analyze drought events in the state of Rio Grande do Norte from 1950 to 2018 based on data from the SPEI drought index. In this study, the SPEI index was used in different time scales, together with the multivariate statistics and forecasting model. Multivariate statistics were applied in order to define homogeneous drought regions. The results show the efficiency of the cluster analysis when identifying regions with similar drought characteristics, where five groups were determined divided by micro-regions, the SPEI-3 values reflect complex variations in drought conditions according to their classification. The highest concentration of drought, according to its duration, occurred in group G4 with the greatest presence of moderate drought, whereas severe drought was identified in groups G1 and G5 and the extreme in groups G3 and G5, with greater intensity, however with a shorter duration, so G4 was considered the driest group and G1 the most humid. It was also possible to see the distribution of hydrological drought for the two groups mentioned above as the most humid and driest, where G1 stood out for having a higher frequency of wet periods, whereas G4 showed a greater evolution for dry episodes, increasing the number of episodes of hydrological drought. Through the forecast made for groups G1 and G4, it was shown to be efficient, since both groups had significant  $r^2$  values, and G4 had the best value (0.9061), the predicted series followed the same pattern both of the validated and the observed, thus considering the ARIMA model satisfactory for the groups analyzed, however, adjustments must be made to minimize errors and improve the quality of the results, as it cannot be guaranteed that there are ideal forecasting models for this variable.

Keyword: Drought, grouping, forecast.

Listas de Figuras

## CAPÍTULO 1

Figura 1. Esquema da estrutura da dissertação.....	25
--	----

## CAPÍTULO 2

Figura 1. Localização da área de estudo.....	31
Figura 2. Variabilidade média mensal dos valores de SPEI-3 para o estado do Rio Grande do Norte no período de 1950 a 2018.....	39
Figura 3. Variabilidade sazonal dos valores de SPEI-3 para o Estado do Rio Grande do Norte no período de 1950 a 2018.....	40
Figura 4. Grupos homogêneos de distribuição de seca para o Estado do Rio Grande do Norte pelo método K-means para o SPEI3.....	41
Figura 5. Variabilidade média dos acumulados mensais de precipitação pluvial para localidade de Apodi (A), Caicó (B), Ceará-Mirim (C), Cruzeta (D), Florânia (E), Macau (F) e Natal (G).....	42
Figura 6. Distribuição espacial da média do trimestre chuvoso (A) e Evapotranspiração potencial média mensal (B) para o Estado do Rio Grande do Norte.....	43
Figura 7. Distribuição média anual das secas, para os cinco grupos homogêneos, de acordo com o índice SPEI3, para o período de 1950 a 2018.....	44
Figura 8. Distribuição e quantificação dos tipos de seca para os cinco grupos homogêneos, de acordo com o índice SPEI3, para o período de 1950 a 2018.....	45

## CAPÍTULO 3

Figura 1. Localização da área de estudo.....	57
Figura 2. Apresentação dos resultados do teste de Pettitt para os cinco grupos (A) G1, (B) G2, (C) G3, (D) G4 e (E) G5.....	67
Figura 3. Diagrama Hovmoller de acordo com os valores do SPEI para o período de 1952 a 2018 para o Grupo 1, indicando a frequência de ocorrência de secas.....	68
Figura 4. Diagrama Hovmoller de acordo com os valores do SPEI para o período de 1952 a 2018 para o Grupo 4, indicando a frequência de ocorrência de secas.....	69
Figura 5. Comparação da estimativa da previsão com valores estimados do SPEI-24. Para o G1(A) e o G4 (B) no período de janeiro de 2017 a julho de 2017.....	70
Figura 6. Série temporal observada em todo período (A), série para validação do modelo de previsão ARIMA (B) e a série prevista pelo modelo ARIMA para o período de 36 meses (C) para o G1.....	71
Figura 7. Série temporal observada em todo período (A), série para validação do modelo de previsão ARIMA (B) e a série prevista pelo modelo ARIMA para o período de 36 meses (C) para o G4.....	71

## Lista de tabelas

## CAPÍTULO 2

Tabela 1. Classificação da seca baseada a partir dados SPEI.....36

## CAPÍTULO 3

Tabela 1. Representação dos testes estatísticos.....62

Tabela 2. Critérios adotados para avaliação qualitativa do grau de correlação entre duas variáveis.....64

Tabela 3. Resultados dos testes de Pettitt, Mann-Kendall e Dickey-Fuller .....65

Tabela 4. Resultados detalhados do teste de Pettitt.....66

Tabela 5. Índices estatísticos obtidos para avaliação do desempenho do modelo ARIMA.....70

## Lista de abreviações

AIC	<i>Akaike Information Criteria</i>
ARMA	Auto-Regressivo e de Média Móvel
ARIMA	Auto-Regressivo Integrado e de Média Móvel
ARFIMA	Modelos de Memória Longa
BIC	<i>Bayesian Information Criteria</i>
D	Diferença
EE	Estado de Emergência
EM	Erro Médio
ECP	Estado de Calamidade Pública
EDI	Índice de seca efetiva
HSI	Herbst Severity index
MAM	Março, Abril e Maio
MBMDI	Índice de Seca de Bhalme e Mooley Modificado
mm	Milímetros
PDSI	O Índice de Severidade de Seca de Palmer
P	Precipitação
PET	Evapotranspiração Potencial
r	Correlação de Pearson
R <sup>2</sup>	Coefficiente de Determinação
RAI	Índice de Anomalia de Chuva
RN	Rio Grande do Norte
SPEI	Índice padronizado de precipitação e evapotranspiração
SPI	Índice padronizado de precipitação
SON	Setembro, Outubro e Novembro
WMO	Organização Meteorológica Mundial

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUÇÃO

A seca ocorre em todo o mundo, afetando vidas humanas mais do que qualquer outro risco natural, sendo amplamente considerado o mais complexo e menos compreendido de todos os perigos naturais (DAI et al., 2004). Conforme Keyantash e Dracup (2002) a seca é vista como o desastre natural mais caro do mundo, sendo responsável por cerca de 6 a 8 bilhões de dólares em prejuízos anuais.

De acordo com os autores Khan e Campos, (1995); Alpino et al. (2014) as secas representam um fenômeno climático que atinge inúmeras regiões pelo mundo, associando-se à escassez de água por períodos prolongados em um determinado espaço, tornando a oferta hídrica incompatível com as necessidades populacionais e desencadeando vários tipos de efeitos danosos à região onde ocorrem, podendo ser descritas como eventos excepcionais que incidem sobre áreas espalhadas pelo globo, causando efeitos sociais e econômicos nocivos, tais como doenças ligadas à má qualidade da água consumida pela população ou perdas nas lavouras de sequeiro e nos rebanhos, sobretudo em áreas nas quais a pecuária é realizada de forma extensiva, tendo em vista sua dependência quanto ao regime pluviométrico.

Os trabalhos de Kim e Byun, (2009); Moradi et al. (2011) ressaltam que as avaliações de risco de seca são difíceis de investigar porque não existe um método universalmente aceito para quantificar e qualificar os seus efeitos. Para o reconhecimento da severidade da seca é necessário à utilização de uma metodologia que também identifique os pontos mais críticos, com a finalidade de ajudar as autoridades a tomar medidas mitigadoras, objetivando minimizar seus impactos (GUEDES et al., 2012).

Portanto, o monitoramento e a compreensão das consequências da seca nos sistemas de recursos hídricos são essenciais para a prevenção de ameaças ao desenvolvimento humano.

Devido ao seu clima extremamente quente, além de sua elevada irregularidade em relação aos índices pluviométricos, as regiões semiáridas apresentam maior propensão a apresentar eventos climáticos extremos como a seca. Dentre as zonas com características de semiaridez, destaca-se a que se encontra no território brasileiro e que engloba parte significativa do Nordeste, concentrando aproximadamente 12% da população do Brasil (CARVALHO, 2014).

A despeito do longo histórico de estiagens ocorridas no país, as características naturais do Semiárido tornam este espaço territorial extremamente vulnerável às adversidades climatológicas ao longo do tempo.

Segundo Redmond (2002) não há um conceito universal para definir a seca, o que permite que suas definições sejam dependentes da temática de abordagem. Os autores Wilhite e Glantz, (1987); Yang, (2010) citam que, conforme a escolha das variáveis hidrológica ou as variáveis de interesse, a seca pode ser caracterizada em diferentes perspectivas, tais como: seca meteorológica, seca hidrológica, seca agrícola e seca socioeconômica.

A Organização Meteorológica Mundial define seca meteorológica como à situação de déficit de precipitação em relação aos valores normais de uma região. Cunha (2008) associa à seca agrícola a seca meteorológica em decorrência de condições meteorológicas que propiciam uma maior evaporação da água. A seca hidrológica é definida como resultante da diminuição da infiltração e do escoamento hídricos superficiais e subterrâneos. Em contrapartida, a seca socioeconômica é caracterizada como a deficiência na demanda hídrica disponível a população, acarretando danos à mesma (WMO, 2006).

Diversos índices de seca vêm sendo desenvolvidos, “Roy (1965) desenvolveu o Índice de Anomalia de Chuva (HAI); O Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) foi desenvolvido por Palmer (1965); Herbst et al. (1966) desenvolveram um índice conhecido como Herbst Severity index (HSI); em 1967 Gibbs e Maher desenvolveram o método dos Decis; Mckee et al. (1993) desenvolveram o índice padronizado de precipitação (SPI); em 1999 o índice de seca efetiva (EDI) foi desenvolvido por Byun e Wilhite; e Serrano et al. (2010), criou o índice padronizado de precipitação e evapotranspiração (SPEI).

O Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI) é baseado em dados de precipitação e temperatura, e tem a vantagem de combinar o caráter multiescalar com a capacidade de incluir os efeitos da variabilidade de temperatura na avaliação da seca, permitindo comparar a severidade da seca através do tempo e do espaço, uma vez que pode ser calculado em uma ampla variedade de climas (SERRANO et al., 2010).

Em escalas de tempo curtas, o SPEI está intimamente relacionado com a umidade do solo, enquanto que em escalas de tempo maiores, o SPEI pode ser relacionado ao armazenamento de água subterrânea e reservatório. Além disso, Keyantash e Dracup

(2002) indicaram que os índices de seca devem ser estatisticamente robustos e facilmente calculados, e ter um procedimento de cálculo claro e compreensível.

Para o estudo da seca, técnicas estatísticas vêm sendo utilizadas e aprimoradas, buscando a melhor precisão das previsões do tempo e do clima. Diante disso, essas técnicas também vêm sendo utilizadas para melhorar o entendimento sobre a duração, severidade e os impactos causados pela seca, dentre essa diversidade de técnicas pode-se citar a Análise Multivariada e os Modelos de Previsão.

A Análise Multivariada é definida como técnica formada por métodos estatísticos que analisam simultaneamente múltiplas medidas sobre todos os indivíduos ou objeto em estudo, qualquer análise simultânea de mais de duas variáveis de certo modelo pode ser considerada uma análise multivariada (HAIR, 2009).

A análise multivariada dispõe de uma variedade de técnicas, no qual se destaca a análise de agrupamento que tem como propósito classificar os indivíduos de uma população, que são conhecidos por suas características, em grupos que sejam homogêneos intragrupos e heterogêneos intergrupos (MACHADO et al. 2010). Essa técnica é utilizada por diversos pesquisadores para os mais diversos fins, com destaque para a área meteorológica.

Os modelos para previsão podem ser classificados em modelos paramétricos, modelos não-paramétricos. Dentre estes modelos, os que são utilizados com mais frequência são os modelos de erro, o auto-regressivo e de média móvel (ARMA), o modelo auto-regressivo integrado e de média móvel (ARIMA), modelos de memória longa (ARFIMA), modelos estruturais e modelos não lineares. Os modelos não paramétricos mais usados são a função de auto-covariância e sua transformada de Fourier e o teste de Mann-Kendall (MORETTIN; TOLOI, 2004).

Diversas localidades do Brasil e do mundo são afetadas pela seca, dentre essas localidades destaca-se a região Semiárida do Nordeste Brasileiro que é uma das mais atingidas com os efeitos causados pela seca, passando por grandes dificuldades devido à escassez hídrica, ocasionando sérios impactos econômicos, sociais e ambientais. Desse modo verifica-se que as consequências das secas vêm se agravando perante o cenário de aquecimento global, pois o aumento das temperaturas médias do planeta eleva a quantidade de evaporação das fontes de água que abastecem os estados nordestinos, podendo destacar o estado do Rio Grande do Norte.

O Estado do Rio Grande do Norte que apresenta o maior percentual de semiaridez, com 93% de sua extensão territorial inserida no Semiárido brasileiro (BNB, 2014).

Expressando que a parte predominante do espaço geográfico potiguar se encontra susceptível à variabilidade pluviométrica que é inerente a este tipo de clima.

Diante desse contexto surge a proposta de realizar um estudo sobre a atuação das secas no Estado do Rio Grande do Norte, que vem sofrendo com seus impactos durante vários anos consecutivos, no qual a maioria dos reservatórios que abastecem os municípios do estado está seco ou usando o seu volume morto para poder fornecer água para as necessidades primárias da população humana e animal, assim como para diversos outros (FEMURN, 2018).

## **2. JUSTIFICATIVA**

A irregularidade na distribuição das chuvas e a sucessão de períodos prolongados de seca constituem os principais problemas de escassez de água na região Nordeste do Brasil. Diante disso a aplicação de uma política que utilize técnicas de manejo e armazenamento de água é de suma importância para o melhor aproveitamento dos recursos hídricos para os mais variados usos.

Períodos prolongados de estiagem têm sido um dos principais fatores de restrição ao desenvolvimento do Nordeste, em especial ao Estado do Rio Grande do Norte. O referido Estado tem importância significativa para a economia do Nordeste e do Brasil, o mesmo vem passando por grandes dificuldades em relação aos volumes de água disponíveis em seus reservatórios, tanto para consumo humano como também para outras finalidades.

O estado do Rio Grande do Norte vem enfrentando uma das maiores crises hídricas que já ocorreram, dentre as suas 167 cidades 150 declararam estado de emergência (EE) ou estado de calamidade pública (ECP) nos últimos seis anos, gerando impactos significativos nos setores econômicos e sociais (FEMURN, 2018).

Contudo se faz necessário a utilização de técnicas inovadoras, expandindo os horizontes das pesquisas e a natureza das informações. Diante do pressuposto, a utilização de índices climáticos e técnicas estatísticas vêm a contribuir no monitoramento das secas.

O índice climático SPEI, através do seu caráter multi-escalar, em que no seu cálculo considera dados de precipitação e temperatura, destaca, assim, sua capacidade para o monitoramento das secas e avaliação de possíveis impactos decorrentes de eventos extremos de precipitação. No estudo de seca destaca-se também a análise de agrupamento que é uma técnica estatística que vem sendo bastante utilizada, ela exige o uso de métodos estatísticos mais elaborados, porém de fácil aplicação.

As informações existentes vão ser agregadas as que serão aqui obtidas, e irão auxiliar no aprimoramento da reestruturação e redistribuição dos recursos hídricos existentes, bem como a implantação de novas medidas mitigadoras em relação à atual crise que o estado enfrenta.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo Geral**

Analisar os eventos de seca no estado do Estado do Rio Grande do Norte no período de 1950 a 2018 com base em dados do índice de seca SPEI.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Identificar regiões com maior similaridade entre os dados do índice SPEI, através da análise de agrupamento.
- Avaliar o desempenho do índice SPEI na identificação da duração e severidade das secas.
- Analisar a seca hidrológica no Estado do Rio Grande do Norte através do índice SPEI no intervalo de 24 meses.
- Realizar previsão de seca para todo o Estado por meio de modelos estatísticos univariados a partir de dados SPEI.

### **4. REVISÃO BIBLIOGRAFICA**

#### **4.1. Definições de Seca**

As secas, de maneira particular, se configuram como um importante componente da variabilidade climática pelo planeta, principalmente nas zonas semiáridas. Podendo ser percebida de diferentes formas em regiões com características climáticas diversas e com diferentes níveis de utilização de água e geralmente está associada ao déficit de precipitação, evapotranspiração elevada ou demasiada exploração dos recursos hídricos. A seca é um fenômeno natural que pode provocar significativos impactos de caráter agrícola, ambiental e socioeconômico. (MACHADO FILHO et al., 2016).

Tal fenômeno é definido de forma genérica por Alpino et al. (2014), como uma “situação de escassez de água que se prolonga ao longo do tempo, que abrange áreas extensas e com repercussões negativas significativas nas atividades socioeconômicas e nos ecossistemas”. Lira (2016) complementa este raciocínio descrevendo a seca como um

“fenômeno climático caracterizado pela baixa e má distribuição de chuva em uma região, tanto de um ponto de vista espacial, como temporal, o que provoca vários desequilíbrios”.

É possível identificar algumas categorias de secas, dentre as quais se destacam as secas meteorológicas, agrícolas, hidrológicas e as secas socioeconômicas. As secas meteorológicas se associam a um período prolongado com índice de precipitação deficiente; as secas agrícolas se referem à perda de umidade do solo, com potenciais impactos nas lavouras e/ou pastagens; e as secas hidrológicas se caracterizam como períodos prolongados de estiagem onde rios, córregos, lagos e reservatórios apresentam um nível abaixo da média, e as secas socioeconômicas que estão associadas ao efeito conjunto dos impactos naturais e sociais que resultam da falta de água, devido ao desequilíbrio entre o fornecimento e a procura dos recursos de água e que vai afetar diretamente as populações. (ALPINO et al., 2014).

De modo geral, as secas meteorológicas desencadeiam os demais tipos de estiagem, pois a redução das precipitações favorece a diminuição dos níveis dos reservatórios de água e mananciais, além de causar degradação nos solos, trazendo prejuízos para atividades desenvolvidas no meio rural. Pode-se citar como exemplo de tais danos a contração na produção das culturas de sequeiro e da pecuária praticada em regime extensivo, devido à baixa tecnologia empregada nestas atividades e sua consequente dependência do regime pluviométrico para o alcance de um desempenho positivo (LIRA, 2016).

Existem também outros tipos de seca diferentes dos que foram citados anteriormente, denominadas como secas absolutas e secas relativas. De acordo com os autores Pessoa e Cavalcanti (2002), as secas absolutas são caracterizadas como uma deficiência no volume de precipitações anuais, já as secas relativas são denominadas como uma distribuição inadequada das chuvas durante o ano (MAIA; GOMES, 2001).

Quanto à sua incidência, Lira (2016) enfatiza que o fenômeno das secas se intensifica em regiões com características semiáridas, e que estas podem ser observadas com frequência na América, Oceania, Ásia e África. Neste sentido, Alpino et al. (2014) aponta para uma tendência geral de incidência de secas em diversos países e continentes como o Canadá, os Estados Unidos, a Austrália, o Brasil, a China, a Europa Ocidental, a África e a Ásia. Segundo os referidos autores, sua distribuição se dá de forma irregular pelo mundo ao longo do tempo, representando 6% dos desastres globais entre 1970 e 2012, causando prejuízos econômicos elevados, além de milhares de mortes.

Alpino et al. (2014) ao analisar a distribuição das secas em relação aos continentes, verifica-se que a África é o que apresenta a maior ocorrência de seca (44,8%), devido às suas características climáticas e de vegetação, seguido da Ásia (24%), Américas (21,4%), Europa (6,4%) e Oceania (3,3%), evidenciando-se assim a complexidade deste fenômeno climático. Em relação aos países, há inúmeras ocorrências de secas no período recente, como na China, que em 2011 sofreu uma redução de 90% no volume do maior lago de água doce do país na estiagem mais severa dos últimos 50 anos.

Ainda em 2011, o leste do continente africano sofreu a pior seca dos últimos 60 anos, tendo perdas não apenas nos rebanhos, que morreram de fome e sede, como em vários tipos de lavouras. A partir do ano de 2012, a Califórnia, nos Estados Unidos, passou por uma grave estiagem, que causou queda nos níveis dos reservatórios de água, desencadeando efeitos negativos no plantio, no emprego e nos aquíferos da região (ALPINO et al., 2014).

Não obstante de se tratar de um fenômeno historicamente recorrente em várias partes do mundo, especialmente nas áreas com características de aridez e semiaridez, é importante ressaltar que as mudanças climáticas tendem a aumentar a frequência deste fenômeno, além de tornar suas consequências mais severas (Lira, 2016). Prosseguindo esta linha de raciocínio, Machado Filho et al. (2016) salientam que este tipo de evento climático pode ter resultados ainda piores à luz das projeções pessimistas associadas à perspectiva do aquecimento global.

Em vista disso, a vulnerabilidade de algumas localidades potencializa os efeitos das secas, penalizando principalmente grupos sociais mais frágeis, como a população rural. Em períodos severos a produção alimentícia pode ser substancialmente comprometida, levando ao encarecimento de produtos agrícolas. O acesso à água potável para a população também pode ser limitado, com consequências negativas para a saúde das populações, tendo em vista a má qualidade da água administrada para consumo humano, além da piora das condições de higiene.

Dessa maneira, apesar de que as secas tenham uma estreita ligação com a deficiência hidrológica, sendo um fenômeno comumente ligado à meteorologia, há todo um conjunto de processos socioeconômicos que potencializam estes efeitos. Conforme explicam Khan e Campos (1995), a seca não é apenas “uma situação climática anormal que provoca frustrações nas safras agrícolas, mas também se apresenta como um fato social”, salientando-se que quanto maior o grau de desenvolvimento social e econômico de uma determinada sociedade, menores os impactos das secas sobre a população.

No caso específico do Brasil, a área historicamente mais afetada é o Nordeste, especialmente o Semiárido. Isso se deve às características climáticas e ambientais desta região, pois sua elevada variabilidade climatológica oferece condições favoráveis à incidência de eventos extremos como as secas. Além disso, trata-se de uma região onde predomina uma acentuada desigualdade socioeconômica que é exacerbada durante estes períodos prolongados de escassez hídrica. Portanto, a seca se constitui de uma adversidade climática que atinge de forma intermitente diversas porções geográficas espalhadas pelo planeta (CGEE, 2016)

Ainda de acordo com a CGEE (2016) ao longo da história, foram registradas várias grandes secas no Nordeste. A maior de todas, em 1877-79, dizimou metade da população e quase todo o rebanho bovino. Antes disso, outras grandes secas registradas causaram grandes impactos, coincidindo com o aumento da densidade de ocupação dos colonizadores no interior nordestino. Depois de 1877, outras grandes secas se seguiram: 1900, 1915, 1919, 1932, 1958, 1979-83, 1987, 1990, 1992-1993, 1997-1998, 2002-2003, 2010-2015, para citar as principais.

#### **4.2. Índices de Seca**

O estudo da seca é essencial para a obtenção de metodologias capazes analisar a atuação desse fenômeno, diante disso uma diversidade de índices de seca foram desenvolvidos por vários pesquisadores e estão sendo utilizados com o intuito de identificar seu início e fim, assim como medir sua duração, severidade e os avaliar os seus impactos, a saber.

O método dos Decis foi desenvolvido por Gibbs e Maher (1967), esse método agrupa as ocorrências mensais de precipitação em decis (décimos da distribuição dos dados), ou seja, divide a série de precipitação em dez partes iguais por ordem crescente, da precipitação mais baixa a mais elevada. Os decis são fáceis de calcular e fornecem uma estatística exata da precipitação medida, entretanto, exigem um longo prazo, 30 anos de registro de dados.

Índice de Anomalia de Chuva (Rainfall Anomaly Index – RAI) foi formulado por Rooy (1965) e incorpora um procedimento de classificação para ordenar magnitudes de anomalias de precipitações positivas e negativas. Esse índice é considerado muito simples, dada a sua facilidade de procedimento computacional, que consiste da determinação de anomalias extremas. Rooy (1965) descreve que o índice visa tornar o

desvio da precipitação em relação à condição normal de diversas regiões passíveis de comparação.

Palmer, 1965 desenvolveu o (PDSI) Índice de Severidade de Seca de Palmer, que é um índice de umidade de solo desenvolvido para regiões homogêneas. O PDSI mede a perda e a demanda de fornecimento de umidade do solo. O objetivo do PDSI é fornecer medidas normalizadas das condições de umidade de modo que comparações usando o índice possam ser feitas entre localidades e entre meses.

O PDSI responde às condições meteorológicas que têm um estado de anormalidade de seca (ou anormalidade de umidade). O índice é calculado utilizando como dados de entrada todos os termos da equação do balanço hídrico, incluindo evapotranspiração, runoff, recarga do solo e perda de umidade na camada de superfície.

Em estudo realizado nas regiões tropicais da Índia, os autores Bhalme e Mooley (1980) encontraram alguns problemas para aplicar o Índice de Severidade de Seca de Palmer. Diante disso os mesmos formularam um novo índice, o Índice de Seca de Bhalme e Mooley (BMDI), com o objetivo de avaliar a intensidade de seca usando somente a precipitação. Os detalhes do cálculo do BMDI e do PDSI são geralmente semelhantes, com apenas algumas diferenças.

Em seguida os autores citados anteriormente desenvolveram uma versão melhorada do (BMDI). O Índice de Seca de Bhalme e Mooley Modificado (MBMDI) representa uma tentativa de melhoria e adaptação do Índice de Seca de Bhalme e Mooley (BMDI) às condições climáticas regionais. O BMDI é calculado considerando apenas a pluviometria, não sendo o melhor indicador para condições regionais.

Tanto o MBMDI quanto o índice de Palmer, por serem baseados no balanço hídrico local, são válidos apenas para locais com solos de composição física idênticas. O BMDI, PDSI, RAI, e outros, expressam uma medida de seca ou de umidade do solo em escalas de tempo mensais. Entretanto, o MBMDI, por ser desenvolvido para aplicação em sistemas operacionais, pode ser expresso em escalas de tempo decendiais.

Para períodos de secas históricas, que se estendem por uma vasta região e duram muitos anos, como ocorre no Nordeste Brasileiro, se faz necessário um diagnóstico completo e preciso dos períodos históricos de secas. Assim, para análise dessas secas, Herbst et al. (1966) desenvolveram um índice conhecido como Herbst Severity index (HSI). O HSI baseia-se na análise da série de precipitação mensal, de modo que a duração e a severidade, bem como o mês de início e fim de um período seco possa ser calculado.

Segundo Freitas (2005), uma premissa básica desse método é que a agricultura praticada em uma determinada região é, de certa maneira, adaptada às condições climáticas vigentes na área. Sendo que o total precipitado varie entre anos, espera-se que as culturas típicas sejam Índices para a quantificação da seca ajustadas à variabilidade média de precipitação. Por isso, somente os meses nos quais o déficit de precipitação permanece acima do déficit médio daquele mês são classificados como meses secos.

McKee et al. (1993) desenvolveu o Índice de Precipitação Padronizada (SPI), esse índice quantifica o déficit de precipitação para múltiplas escalas de tempo que refletem o impacto da seca na disponibilidade de fontes de água. As condições de umidade de solo respondem às anomalias de precipitação em uma escala de tempo relativamente curta.

Os armazenamentos de água subterrânea, dos fluxos de rios e do reservatório refletem as anomalias de precipitação em longo prazo. Por essa razão, McKee et al. (1993) originalmente calcularam o índice em escalas de tempo de três, seis, doze, vinte e quatro e quarenta e oito meses.

### 3.2.1. Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração

O índice padronizado de precipitação e evapotranspiração (SPEI), de acordo com Vicente-Serrano (2009), surgiu a partir da ideia de tentar combinar a sensibilidade do PDSI em relação às variações da evapotranspiração, já que o mesmo considera dados de temperatura, e a simplicidade do SPI, que permite a realização de análises em diversas escalas de tempo.

O SPI não consegue identificar o papel do aumento da temperatura em condições futuras de seca, e independentemente dos cenários de aquecimento global, não pode explicar a influência da variabilidade de temperatura e o papel das ondas de calor. O SPEI pode explicar os possíveis efeitos da variabilidade de temperatura e extremos de temperatura além do contexto do aquecimento global. Portanto, dados os menores requisitos de dados adicionais da SPEI em relação ao SPI, o uso do primeiro é preferível para a identificação, análise e monitoramento de secas em qualquer região climática do mundo (VICENTE-SERRANO, 2009).

Ainda de acordo com Vicente-Serrano (2009), a composição desse índice é feita a partir da verificação do balanço hídrico climatológico por meio da diferença (D) entre a precipitação (P) e a evapotranspiração potencial (PET). Como o cálculo do SPEI se baseia na metodologia proposta para o SPI, os resultados do balanço hídrico são agregados em diferentes escalas de tempo. Uma diferença para o SPI, é que no cálculo do

SPEI os valores de D são ajustados à uma distribuição a distribuição log-logística modificada de probabilidade, a qual possui três parâmetros, permitindo que a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial assumam valores negativos.

O SPEI preenche os requisitos de um índice de seca, pois seu caráter multi-escalar permite que ele seja usado por diferentes disciplinas científicas para detectar, monitorar e analisar as secas. O SPEI permite comparar a severidade da seca através do tempo e do espaço, uma vez que pode ser calculado em uma ampla variedade de climas, assim como o SPI. Além disso, Keyantash e Dracup (2002) indicaram que os índices de seca devem ser estatisticamente robustos e facilmente calculados, e ter um procedimento de cálculo claro e compreensível.

### **4.3. Análise de Séries Temporais**

O estudo de séries temporais se apresenta como importante ferramenta nas mais diversas áreas de pesquisa (COSTA et al., 2013). O conceito de séries temporais está relacionado a um conjunto de observações de uma determinada variável feita em períodos sucessivos de tempo e ao longo de um determinado intervalo (EHLERS, 2007).

De acordo com Downing e Clark (2006) as séries temporais é uma sucessão de valores de uma determinada variável observada em intervalos regulares de tempo. Onde a variável de controle é o tempo e as mesmas são ordenadas cronologicamente e variações em sua ordem pode modificar a informação contida na série. Podem ser coletados em intervalos regulares de tempo, e podem ser observações diárias, mensais, trimestrais, anuais, entre outros (SILVA; SILVA, 1999).

Segundo Granger (1977) o propósito inicial da análise de séries temporais é tirar inferências sobre as propriedades ou características básicas do mecanismo gerador do processo estocástico das observações da série. Ao analisar uma série temporal, espera-se que nesta exista uma causa relacionada com o tempo, que influenciou os dados e que possam continuar a influenciá-los futuramente.

Na análise de uma série temporal, primeiramente objetiva-se modelar o fenômeno estudado para, a partir daí, descrever o comportamento da série, além de fazer estimativas e, por último, avaliar quais os fatores que interferem na conduta da mesma, buscando definir relações de causa e efeito entre duas ou mais séries. Entretanto, existe um conjunto de técnicas estatísticas disponíveis que dependem do modelo definido ou estimado para a série (LATORRE; CARDOSO, 2001).

Morettin e Toloi (1981) asseguram que as séries temporais são compostas por quatro elementos:

1. Tendência: analisa a orientação da série por um período de vários anos.
2. Ciclo: cinesia ondulatórias a qual tende a ser periódico no decorrer de vários anos.
3. Sazonalidade: atividade ondulatória de rápida existência, via de regra, ínfero a um ano; concatenada, em grande parte, a mudanças climáticas.
4. Ruído aleatório ou erro: compreende a versatilidade inerente aos dados e não podendo ser modelado.

Decreta-se como um fenômeno sazonal àquele que ocorre habitualmente em períodos fixos de tempo e, se houver sazonalidade determinística na série, é possível fazer uso de modelos de regressão que agreguem funções do tipo seno ou cosseno à variável tempo, no entanto, os modelos Auto-Regressivos formam outra classe de modelos (LATORRE; CARDOSO, 2001).

Latorre e Cardoso (2001) corroboraram por meio de pesquisas a respeito de análise de séries temporais, com intuito de apresentar, de maneira sumária, alguns modelos estatísticos mais usados, e concluíram que: na análise de tendências, pode-se utilizar ajustes de modelos de regressão polinomial baseados na série inteira ou em vizinhança de um determinado ponto, sendo que isso também pode ser realizado com funções matemáticas.

Procedimentos descritivos são técnicas estatísticas tanto simples quanto sofisticadas, como exemplo as técnicas de inferência nas quais podem ser empregadas para análise de séries temporais aleatórias. Os mecanismos descritivos em geral são utilizados antes de tentativas com táticas mais sofisticadas. Em virtude de os mesmos serem de grande relevância para a organização dos dados, assim como o proceder das séries (MALTA, 2009).

#### 4.4 Modelos para a análise e previsão de Séries Temporais

A determinação das diversas relações de dependência serial existentes numa série, ou seja, a análise da série discutida na seção anterior leva à definição de um modelo matemático com o qual obtém-se as previsões. Existe diferentes e mais conhecidos métodos para previsão de séries temporais, onde as diversas metodologias partem do pressuposto que o "sistema gerador da série" pode ser razoavelmente aproximado por um modelo linear. Esta suposição é sem dúvida um tanto restritiva, principalmente quando

se leva em conta a não-linearidade da grande maioria dos sistemas reais. Os métodos mais utilizados classificam-se em dois grupos distintos: - Univariados: baseados numa única série histórica; - Multivariados: aqueles que envolvem mais de uma série histórica (SOUZA, 1981).

#### 4.4.1 Análise univariada

A análise univariada é a maneira mais fácil e prática para obter ganhos com uma única característica por vez. Utiliza-se de procedimentos adequados para inferir individualmente sobre variáveis respostas desconsiderando qualquer estrutura de relação importante, ou seja, não contempla a covariância (COIMBRA, 2007).

Os modelos univariados de séries temporais consideram como essencial o comportamento das variáveis no tempo. Dessa forma, esses modelos não se preocupam com as variáveis explicativas, e sim com o estudo da evolução no tempo e da elaboração de uma função, na qual a variável dependente aparece em função dela mesma, regredida no tempo e/ou com os termos de erros, também defasados (RODRIGUES; SILVA, 2006).

A análise univariada também pode ser entendida como uma análise bivariada, pois investiga a associação entre uma variável explicativa e uma resposta. Na prática, existe um grande número de variáveis explicativas, portanto, a análise univariada pode servir como critério de seleção das variáveis que entrarão em um modelo final (PAES, 2010).

Um dos objetivos principais de uma série temporal é a utilização ou desenvolvimento de um modelo para descrever o fenômeno sob consideração. Pode-se classificar os modelos para séries temporais em duas classes, segundo o número de parâmetros envolvidos: · modelos paramétricos, em que esse número de parâmetros é finito; · modelos não-paramétricos, que envolvem um número infinito de parâmetros. Na classe de modelos paramétricos, a análise é feita no domínio do tempo. Dentre esses modelos, os mais frequentemente usados são os modelos de erro (ou de regressão), os modelos auto-regressivos-médias móveis (ARMA) e os modelos auto-regressivos-integrados-médias móveis (ARIMA) e, para incorporar o comportamento de sazonalidade, utilizam-se os modelos ARIMA sazonais multiplicativos (SARIMA) (MORETTIN; TOLOI, 2004).

##### 4.4.1.1 Arima e Sarima

Modelos estatísticos têm sido utilizados de maneira satisfatória em diversas áreas como a agrícola, ambiental e climatológica.

A partir da análise de séries temporais climatológicas é possível o ajuste de modelos estatísticos univariados de previsão. Tais modelos precisam, sobretudo, de um vetor de valores observados ao longo do tempo da variável climatológica de interesse. Entre os modelos tradicionais de previsão se destacam os modelos autorregressivos integrados de médias móveis (ARIMA) (BOX et al., 2008).

O ARIMA são modelos matemáticos que visam captar o comportamento da correlação seriada, ou autocorrelação entre os valores da série temporal, e, com base neste comportamento, realizar previsões futuras (MAKRIDAKIS et al., 1998). O ARIMA é um dos mais populares modelos para análise da previsão para séries temporais (EDIGER; AKAR, 2007).

De acordo com Babai et al. (2013), os modelos ARIMA são modelos que utilizam apenas dados históricos de séries temporais com o intuito de expressar como as séries reagem de acordo com a variação estocástica anterior. Babu e Reddy (2014), citam que os modelos ARIMA podem ajudar a entender a dinâmica dos dados em uma determinada aplicação.

Conforme Guimarães e Tavares (2008), analisar as séries temporais de dados climatológicos é de fundamental importância, visto que a falta de conhecimento e de controle de valores futuros para algumas variáveis relacionadas ao clima pode influenciar direta e negativamente a vida em sociedade.

Esse conhecimento torna-se notório mediante estudos como o de Silva et al. (2008) descreveram o comportamento da série de temperatura média mensal da cidade de Uberlândia, MG, através de modelos da classe ARIMA. Soebiyanto et al. (2010) modelaram parâmetros climáticos utilizando modelos ARIMA com o objetivo de prever a transmissão de variabilidade dentro dos meses do ano, sendo adequada para o uso dos modelos abordados, entre outros ver por exemplo, (LIU et al., 2012; CAMELO et al., 2017).

Muitas séries temporais também apresentam um componente sazonal importante e pode ser preciso modelar este componente também para se obter um modelo mais confiável. Para tal foram desenvolvidos os modelos ARIMA sazonais, conhecidos como SARIMA sendo  $s$  o período correspondente à sazonalidade. A inclusão do componente sazonal ao modelo se dá de maneira multiplicativa (PACHECO, 2001).

Não há, em princípio, nenhuma dificuldade adicional na identificação, estimação e verificação de modelos sazonais. Nestes modelos temos que diferenciar a série, a fim de produzir estacionariedade, ou seja, a série deve se desenvolver no tempo

aleatoriamente ao redor de uma média constante, refletindo alguma forma de equilíbrio estável (MORETTIN; TOLOI, 2006).

#### 4.4.2 Análise Multivariada

A análise multivariada é uma análise exploratória de dados, prestando-se a gerar hipóteses, e não tecer confirmações a respeito dos mesmos, o que seria uma técnica confirmatória, como nos testes de hipótese, nos quais se tem uma afirmação a respeito da amostra em estudo. Embora, às vezes, possa ser utilizada para confirmação dos eventos. A análise multivariada é o método estatístico ideal para a aplicação em dados climatológicos os quais devem ser escolhidos de acordo com o objetivo da pesquisa. Há diversas técnicas para a análise multivariada e cada uma delas se aplica a um objetivo de pesquisa específico (HAIR et al., 2004).

A análise multivariada é uma técnica que se dá através da análise de agrupamento (cluster analysis), entre outras, servindo como importante ferramenta estatística em diversificados estudos que envolvam variáveis meteorológicas com intuito captar regiões homogêneas sob o ponto de vista de suas características peculiares, obtendo-se assim um padrão de similaridades regionalizado (FREITAS et al., 2013).

##### 4.4.2.1 Análise de Agrupamento

De acordo com Mingoti (2005), a Análise de Agrupamentos também é conhecida como análise de cluster. Tem por objetivo agrupar os elementos da amostra ou população em grupos. Os elementos de um mesmo grupo são homogêneos entre si, no que se refere às variáveis (características) que neles foram medidas. Por outro lado, estes grupos já formados são heterogêneos entre eles em relação a estas mesmas características.

Hair et al. (2005) define a variável estatística de agrupamento como o conjunto das variáveis que representam as características usadas para comparar objetos na análise de agrupamentos. A análise de agrupamentos tem como objetivo principal situar as observações homogêneas em grupos, a fim de definir uma estrutura para os dados. Para isto, são abordadas algumas questões básicas que devem ser consideradas durante a análise. A primeira decisão na análise se refere à medida de similaridade que deve ser estabelecida. Ou seja, deve se estabelecer a associação de dois objetos baseada nas variáveis da variável estatística de agrupamento.

Para Mingoti (2005), é indispensável decidir à priori, a medida de similaridade que será utilizada para se proceder ao agrupamento de elementos. Para isto, existem

medidas apropriadas para análise de variáveis qualitativas e quantitativas. As medidas apropriadas para variáveis quantitativas também são ditas de dissimilaridade.

Diversos estudos estão sendo realizados com a utilização desta técnica, dos quais se podem citar alguns como: Souza et al. (2012) aplicou a análise de agrupamento na análise do clima dos estado do Mato Grosso do Sul, aplicando a técnica a dados de temperaturas mínima e máxima e à precipitação, com dados sazonais e anuais; Uda et al. (2015) utilizou a análise de agrupamento com o intuito de compreender o comportamento espacial da precipitação na bacia do rio Iguazu; Dourado et al. (2013) usou a análise de agrupamento com o objetivo de identificar zonas pluviometricamente homogêneas no estado da Bahia, e analisar as condições climáticas de cada zona para o período de 1981 a 2010; Araújo (2015) aplicou a análise de agrupamento para determinar as áreas homogêneas em termos de precipitação no estado do Rio Grande do Norte.

Outros métodos estão sendo usado no estudo da seca, tais quais, os testes de Dickey-Fuller, em que o mesmo é aplicado para definir se a série é estacionaria ou não estacionaria, assim como os testes de tendência de Mann-Kendall e Pettitt, os quais são aplicados com o intuito de identificar se existe uma tendência positiva ou negativa na série, em que através do teste de Pettitt é possível verificar o momento que ocorre uma mudança brusca no comportamento da série.

#### 4.3.2. Teste de Dickey-Fuller

O intuito do teste de Dickey-Fuller foi propor um método estatístico formal para testar a hipótese de não estacionariedade da série e, assim, ter-se uma indicação mais precisa sobre se é preciso diferenciá-la ou não. O teste de Dickey-Fuller foi desenvolvido com o intuito de verificar a presença de raiz unitária nos polinômios autorregressivos de séries temporais (DICKEY; FULLER, 1979).

Essa verificação é a primeira etapa da metodologia proposta por Box e Jenkins (1970) para construção de modelos ARIMA para séries temporais, se o gráfico da série temporal indicar que ela é não estacionária, então devemos diferenciá-la até apresentar um padrão estacionário (NASCIMENTO, 2013)

#### 4.3.3. Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall é um teste não-paramétrico utilizado para avaliar tendências em séries temporais de dados ambientais, e foi desenvolvido por Mann (1945)

e Kendall (1975), Segundo Hamed (2008), é o mais adequado para detecção de tendências de séries temporais hidrológicas.

Os autores Longobardi e Villani (2009), consideram um excelente teste para detecção de tendências, e considera que na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma.

O teste confirma a existência de uma tendência positiva ou negativa para um determinado nível de confiança. O teste tem algumas vantagens como o fato de ser pouco influenciado por mudanças abruptas ou séries não homogêneas (ZHANG et al. 2009). No entanto, este método exige que os dados sejam independentes e aleatórios (NEETI e EASTMAN, 2011).

#### 4.3.4. Teste de Pettitt

O teste não paramétrico de Pettitt é um teste estatístico utilizado para identificar o ponto de descontinuidade em uma série temporal. O procedimento consiste em avaliar se a série temporal, submetida a um teste de homogeneidade de duas subamostras,  $Y_1, \dots, Y_t$  e  $Y_{t+1}, \dots, Y_T$ , pertencem à mesma população, em que é realizada uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que o membro da segunda (PETTITT, 1979).

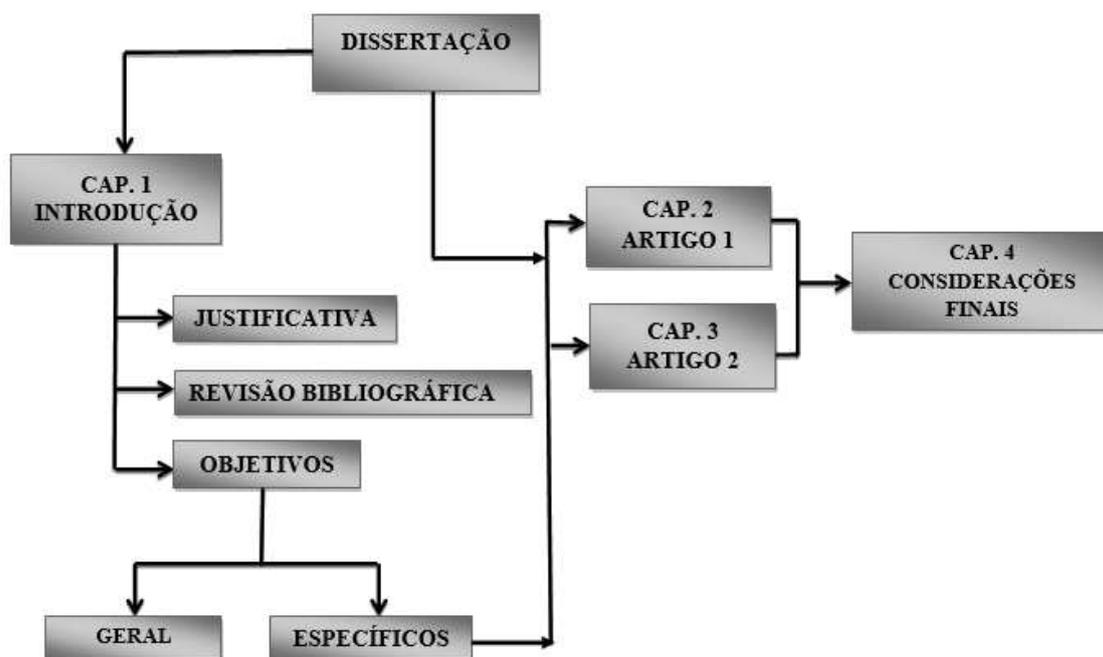
Este teste é usado como complemento para o teste de tendências de Mann-Kendall sendo capaz de localizar o ponto de mudança brusca nas médias da série histórica (GROPPO et al., 2005).

A proposta da dissertação será organizada da seguinte maneira: O CAPÍTULO 1 apresenta a introdução contendo em conjunto os objetivos, a revisão bibliográfica e as justificativas. No CAPÍTULO 2 apresenta-se a aplicação da técnica de análise multivariada no qual foi usada a análise de agrupamento pelo método de K-means aplicada aos valores do índice SPEI3, e foi realizada a contagem dos eventos de seca para o período de 1950 a 2018. No CAPITULO 3 é exposta a aplicação da análise de estacionariedade através do teste de Dickey-Fuller, como também a análise tendência de seca por meio dos testes de Mann-Kendall e de Pettitt e apresenta a aplicação do modelo ARIMA onde será feita uma previsão de seca para os grupos identificados no capítulo 2 como o mais úmido e o mais seco do Estado do Rio Grande do Norte através do índice SPEI-24. E, por fim, no CAPÍTULO 4 serão apresentadas as considerações finais da

dissertação. Na sequência é apresentado esquema da estrutura da dissertação (Figura 1). A seguir estão as publicações originadas a partir dos capítulos:

Capítulo 2: LIMA, S. L.; SILVA, M. T.; SOUSA, W. G.; SIQUEIRA, M. S.; ANDRADE, A. S.; MELO, M. M. S. Padrões Espaciais e Temporais de Episódios de Seca no Estado do Rio Grande do Norte. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v. 9, n. 6, p. 330-342 2019.

Capítulo 2: LIMA, S. L.; SILVA, M. T.; SOUSA, W. G.; SIQUEIRA, M. S.; ANDRADE, A. S.; Padrões espaciais de episódios de seca em microrregiões do estado do Rio Grande do Norte. *Anais do I Workshop de Meteorologia e Recursos Naturais*, 2019.



**Figura 1.** Esquema da estrutura da dissertação.

## 5. REFERÊNCIAS

ALPINO, T. M. A.; FREITAS, C. M.; COSTA, A. M. Seca como um desastre. **Revista Ciência & Trópico**. Recife, v. 38, n. 2, p.109-134, 2014.

ARAÚJO, J. M. S.; MAIA, A. G.; NEVES, J. Uso dos índices PCP e PCD na determinação de regiões com precipitação pluvial homogênea. **Revista Brasileira de Climatologia**, n. 11, Vol. 17, p. 119-139, 2015.

BABAI, M. Z. et al. Forecasting and inventory performance in a two-stage supply chain with ARIMA (0,1,1) demand: Theory and empirical analysis. **International Journal Of Production Economics**. v. 143, n. 2, p.463-471, Elsevier, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.09.004>

BABU, C. N; REDDY, B. E. Prediction of selected Indian stock using a partitioning–interpolation based ARIMA–GARCH model. *Applied Computing And Informatics*. v. 11, n. 2, p.130-143, **Elsevier**, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aci.2014.09.002>.

BHALME, H. N.; MOOLEY, D. A. Large-scale drought/floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review*. **Boston**, v. 108, n. 8, p. 1197-1211, 1980.

BNB. Nordeste do Brasil: **sinopse estatística** 2014. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2014.

BOX, G.; JENKINS, G. M.; Reinsel, G. Time series analysis: forecasting and control. 4.ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley e Sons, 746p, 2008.

BYUN, H. R.; WILHITE, D. A. Objective quantification of drought severity and duration. **Journal of Climate**, Boston, v. 12, n. 9, p. 2747-2756, 1999.

CARVALHO, C. P. O. O novo padrão de crescimento do Nordeste Semiárido. **Econômica do Nordeste**. v. 45, n. 3, p.160-184, Fortaleza, 2014.

CAMELO, H. N.; LUCIO, P. S.; LEAL JUNIOR, J. B. V.; CARVALHO, P. C. M. Métodos de Previsão de Séries Temporais e Modelagem Híbrida ambos Aplicados em Médias Mensais de Velocidade do Vento para Regiões do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, 565-574, 2017.

COSTA, M. N. M.; BECKER, C. T.; BRITO, J. I. B. Análise Das Séries Temporais De Precipitação Do Semiárido Paraibano Em Um Período De 100 Anos - 1911 a 2010. **Brasileira de Geografia Física**, v.6, n.4, 2013.

COIMBRA J.L.M. Técnicas multivariadas aplicadas ao estudo da fauna do solo: contrastes multivariados e análise canônica discriminante. **Revista Ceres**. v.54, p.270-276, 2007.

CUNHA, R. L. A. Definição de cenários de referência para avaliação dos impactos das secas. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - de Engenharia da Universidade do Porto). Porto. 2008.

DAI, A.; KEVIN, E. T.; QIAN, T. Global Dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: Relationship with Soil Moisture and Effects of Surface Warming. **Journal of Hydrometeorology**. Boulder, Colorado, 2004.

DOURADO, C. S.; OLIVEIRA, S. R. M.; AVILA, A. M. H. Análise de zonas homogêneas em séries temporais de precipitação no Estado da Bahia. **Agrometeorologia**. Bragantia, Campinas, v. 72, n. 2, p.192-198, 2013.

EDIGER, V. Ş.; AKAR, S. ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey. **Energy Policy**. v. 35, n. 3, p.1701-1708, Elsevier, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2006.05.009>.

EHLERS, R. S. Análise de Séries Temporais. Laboratório de Estatística e Geoinformação, Universidade Federal do Paraná. 2007. Disponível em: <http://www.each.usp.br/rvicente/AnaliseDeSeriesTemporais.pdf>. Acesso em: 02 Jan 2020.

FEMURN. Federação dos Municípios do Rio Grande do Norte. Disponível em: <http://www.femurn.org.br>. Acesso em: 15 jun. 2019.

FREITAS, M. A. de S. Um sistema de suporte a decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 26, n. 1, p. 84-95, 2005.

FREITAS, J. C.; ANDRADE, A. R. S.; BRAGA, C. C., NETO, A. H. G., ALMEIDA, T. F. Análise de Agrupamentos na Identificação de Regiões Homogêneas de Índices Climáticos no Estado da Paraíba, PB – Brasil. **Brasileira de Geografia Física**, v.6, n.4, p.732 – 748, 2013.

GIBBS, W. J.; MAHER, J. V. Rainfall deciles as drought indicators. **Melbourne: Commonwealth of Australia**, p.84, 1967.

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**, v. 23, p. 55-65, São Paulo, 2012.

GROPPO, J. D.; MORAIS, J. M.; BEDUSCHI, C. E.; MARTINELLI, L. A. Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas. **Geociências**. v. 24, n. 2, p. 181-193, 2005.

HAIR, F. J.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. Análise Multivariada de Dados. Bookman, p. 688, Porto Alegre, 2009.

HAIR, J. J. F., ANDERSON, R.E., TATHAM, R.L., BLACK, W.C. Análise multivariada de dados, 5 ed. Porto Alegre, 2005.

HERBST, P. H.; BREDENKAMP, D. B.; BARKER, H. M. G. A technique for the evaluation of drought from rainfall data. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 4, n. 3, p. 264-272, 1966.

KEYANTASH J.; DRACUP J. A. The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. **American Meteorological Society**, v. 83, p. 1167–1180, Berkeley, California 2002.

KHAN, A. S.; CAMPOS, R. T. Efeitos das secas no setor agrícola do Nordeste. In: MAIA GOMES, G.; SOUZA, H. R.; MAGALHÃES, A. R. (Orgs.). **Desenvolvimento sustentável no Nordeste**. Brasília, IPEA, 1995. p.175-194.

KIM, D. W.; BYUN H. R. Future pattern of Asian drought under global warming scenario. **Theoretical and Applied Climatology**, V. 98, P. 137–150, South Korea, 2009.

LATORRE, M.R.D.O.; CARDOSO, M.R.A. Análise de séries temporais em epidemiologia. **Brasileira Epidemiologia**. V. 4, n. 3, p.145-152, 2001.

LONGOBARDI A.; VILLANI P. Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area. **International Journal of Climatology**. DOI:10.1002/joc.2001. 2009.

LIU, H.; TIAN, H.; LI, Y. Comparison of two new ARIMA-ANN and ARIMA-Kalman hybrid methods for wind speed prediction. **Appl. Energy**, v. 98, p. 415-424, 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, p. 49-63, 2010.

MALTA, C. S. **Estudos de Séries Temporais de Vento Utilizando Análises Estatísticas e Agrupamento de Dados**. Tese (Engenharia Elétrica)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 80f, 2009.

MAKRIDAKIS, S; WHEELWRIGHT, S.; HYNDMAN, R J. Forecasting methods and applications. 3 Ed, New York, John Wiley e Sons, 1998.

MEDEIROS, S. S.; CECÍLIO, R. A.; MELO JÚNIOR. J. C. F.; SILVA JÚNIOR. J. L. C. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.247-255, 2005.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration of time scales, **in 8th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society**, Anaheim, California, 1993.

MINGOTI, S. A.; Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Editora UFMG, p. 297, 2005.

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, v. 391, p. 202–216. 2010.

MORADI, H. R.; RAJABI, M.; FARAGZADEH, M. Investigation of meteorological drought characteristics in Fars province, **Catena**, v. 84, p.35–46, Iran 2011.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. **Modelos para Previsão de Séries Temporais**. Edgard Blucher, p.356, 1981.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de Séries Temporais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

MORETTIM, P. A.; TOLOI, C. M. Análise de séries temporais. 2.ed. São Paulo: Blucher, 2006.

NASCIMENTO, H. H. S. Planejamento de Mercado de energia elétrica no novo modelo do setor elétrico brasileiro pela aplicação de análise de componente principal como métodos de combinação de previsão. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande, 2013.

PAES, A. T. Análise univariada e multivariada. Einstein: **Educ Contin Saúde**. v. 8, 2010.

PACHECO, A. G. **Estudo da influência de variáveis metereológicas no aparecimento de casos graves de leptospirose em Salvador-BA via modelos de séries temporais**. Dissertação (Mestrado)- Fundação Oswaldo Cruz. Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca. 2001.

- PALMER, W. C.; Meteorological Drought, **Office of Climatology**, n.45, USA, 1965.
- REDMOND, K.T. The depiction of drought: a commentary. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 83, p.1143-1147, 2002.
- PETTITT, A.N. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.
- ROOY, M. P. V. A rainfall anomaly index independent of time and space. **Notos**, Pretoria, v. 14, p. 43-48, 1965.
- RODRIGUES, L. C.; SILVA, P. P. C. Temporais no Consumo de Energia Elétrica no Estado do Rio de Janeiro. Disponível em < <http://pt. Autocorrela%C3%A7%C3%A3o> > acesso em: 20 Jan 2020.
- SILVA, M. I. S.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Previsão da temperatura média mensal de Uberlândia, MG, com modelos de séries temporais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.480-485, 2008.
- SERRANO, V S. M.; BEGUERÍA S.; LÓPEZ, J. I. A Multi-Scalar Drought Index Sensitive to Global Warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. **Journal of Climate**, **23**, 2010.
- SOEBIYANTO, R. P.; ADIMI, F.; KIANG, R. K. Modeling and predicting seasonal influenza transmission in warm regions using climatological parameters. **PLoS ONE**, v.5, p.1-10, 2010
- SOUZA, A.; FERNANDES, W. A.; ALBREZ, E. A. Análise de agrupamento da precipitação e da temperatura no Mato Grosso do Sul. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.6, n.12, p109-124, 2012.
- SOUZA, R. C. Metodologias para a análise e previsão de series temporais univariadas e multivariadas. **Econometria**. p. 77-105, 1981.

UDA, P. K.; FRANCO, A. C. L.; QUEEN, G.; BONUMÁ, N. B.; KOBİYAMA, M. Análise de cluster da precipitação na Bacia do Rio Iguaçu, região sul do Brasil. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília-DF, 2015.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M.H. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. In: WILHITE, D. A.; EASTERLING, W. E. (Ed.). **Planning for drought: toward a reduction of societal vulnerability**. Boulder: Westview Press, 1987.

WMO - World Meteorological Organization. Drought monitoring and early warning: **concepts, progress and future challenges**. 2016.

YANG, W. Drought analysis under climate change by application of drought indices and copulas. Thesis – (Doctored, Civil and Environmental Engineering), Portland State University, 2010.

## CAPÍTULO 2

**PADRÕES ESPACIAIS E TEMPORAIS DE EPISÓDIOS  
DE SECA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE****RESUMO**

As secas representam o tipo mais complexo e prejudicial de desastre natural e, vem afetando o estado do Rio Grande do Norte há muitos anos, ocorrendo com maior frequência e intensidade na última década. O índice padronizado de precipitação e evapotranspiração (SPEI) é determinado para diferentes escalas de tempo, com caráter multiescalar permitindo caracterizar condições secas ou úmidas em diferentes climas. Os valores do índice padronizado precipitação e (SPEI), são obtidos do banco de dados do Global, coletados para o período de 1950 a 2018, onde os mesmos irão ser usados com o intuito de monitorar as secas. Nesse estudo o índice SPEI foi associado à estatística multivariada por meio da análise de agrupamento utilizando o método de K-means para a definição de regiões homogêneas de seca, onde foram identificados 05 grupos distribuídos pelas microrregiões do estado do Rio Grande do Norte. Os resultados mostram que os valores de SPEI refletem variações complexas nas condições de seca de acordo com sua classificação. Observou-se seca para todos os grupos, sendo que houve uma maior atuação da seca moderada, presente de forma significativa em todos os 05 grupos. A maior concentração da seca, de acordo com sua duração ocorreu no grupo G4, já a seca severa foi identificada nos grupos G1 e G5 e, a extrema, nos grupos G3 e G5, com maior intensidade, porém com menor duração. As secas severas e extremas foram registradas nesses distintos anos de 1951-1960, 1983, 1993, 1996-1999, 2004-2006, 2010-2015 e 2017-2018 para todos os grupos. Portanto, este estudo pode fornecer uma base para o governo mitigar os efeitos da seca para o estado do Rio Grande do Norte com ênfase para o grupo G4.

**Palavras chave:** SPEI, variabilidade, estatística.

## SPATIAL AND TEMPORARY PATTERNS OF EPISODES IN THE STATE OF RIO GRANDE DO NORTE

### ABSTRACT

Droughts represent the most complex and damaging type of natural disaster and have been affecting the state of Rio Grande do Norte for many years, occurring with greater frequency and intensity in the last decade. The standardized index of precipitation and evapotranspiration (SPEI) is determined for different time scales, with a multiscale character allowing to characterize dry or humid conditions in different climates. The values of the standardized precipitation index and (SPEI), are obtained from the Global database, collected for the period from 1950 to 2018, where they will be used in order to monitor droughts. In this study, the SPEI index was associated with multivariate statistics through cluster analysis using the K-means method for the definition of homogeneous drought regions, where 05 groups were distributed across the micro-regions of the state of Rio Grande do Norte. The results show that the SPEI values reflect complex variations in drought conditions according to their classification. Drought was observed for all groups, and there was a greater role for moderate drought, present significantly in all 05 groups. The highest concentration of drought, according to its duration, occurred in group G4, whereas severe drought was identified in groups G1 and G5 and the extreme in groups G3 and G5, with greater intensity, but with less duration. Severe and extreme droughts were recorded in these different years 1951-1960, 1983, 1993, 1996-1999, 2004-2006, 2010-2015 and 2017-2018 for all groups. Therefore, this study may provide a basis for the government to mitigate the effects of drought for the state of Rio Grande do Norte with an emphasis on the G4 group.

**Keywords:** SPEI, variability, statistics.

## 1. INTRODUÇÃO

As secas retratam um fenômeno climático presente na terra podendo ser consideradas como um dos perigos naturais mais complexos, sua ocorrência causa grande impacto nos recursos hídricos, na agricultura, nos ecossistemas naturais e na sociedade. Há décadas, cientistas, gestores de recursos naturais e decisores se deparam com o desafio de monitorar o começo e a evolução das secas, bem como determinar o seu término ou fim (CGEE, 2016).

Os autores Blain e Brunini (2007) classificam a seca em quatro tipos: a seca meteorológica, agrícola, hidrológica e a socioeconômica. A seca meteorológica corresponde à diminuição de precipitação num determinado período de tempo, a seca agrícola é definida consequência de um déficit prolongado que ocasiona a redução de água no solo, a seca hidrológica representa uma diminuição dos níveis nos locais de armazenamento de água, como consequência das secas supracitadas temos a seca socioeconômica que está diretamente relacionada aos prejuízos sociais e ambientais causados pela ausência contínua da água em determinadas regiões (WMO, 2016).

A região semiárida do nordeste brasileiro é a mais afetada pela seca, passando por grandes dificuldades devido à escassez hídrica, ocasionando sérios impactos econômicos, sociais e ambientais. No âmbito dessas condições climáticas encontra-se o Estado do Rio Grande do Norte que está localizado na porção oriental da região Nordeste, o mesmo apresenta um grande percentual de semiaridez, com 93% de sua extensão territorial inserida no Semiárido brasileiro (BNB, 2014). Diante desse contexto é de suma importância realizar uma análise mais complexa do comportamento da seca nessa região, em virtude dos impactos causados por esse fenômeno.

Os eventos de seca estão diretamente relacionados com a variabilidade da precipitação, sobretudo em regiões semiáridas, como ocorre na maior parte do estado do Rio Grande do Norte, diante disso, o seu estudo tem ganhado espaço dentro da área de estudos meteorológicos. Estudar o comportamento espacial da seca cria subsídios para o mapeamento de áreas de susceptíveis a esse evento, além de ajudar no planejamento das atividades agrícolas e no gerenciamento dos recursos hídricos.

De acordo com Fernandes et al. (2009) as secas podem ser diagnosticadas, com base em uma série histórica de dados meteorológicos, por meio de índices quantificadores de secas e análises estatísticas. Dessa forma se destaca a análise multivariada, juntamente com índices climáticos, a exemplo do SPEI, como ferramentas eficazes na identificação e caracterização oportuna de condições emergentes de seca, pretendendo agrupar

informações a respeito das condições dos baixos níveis de precipitação e seus possíveis impactos.

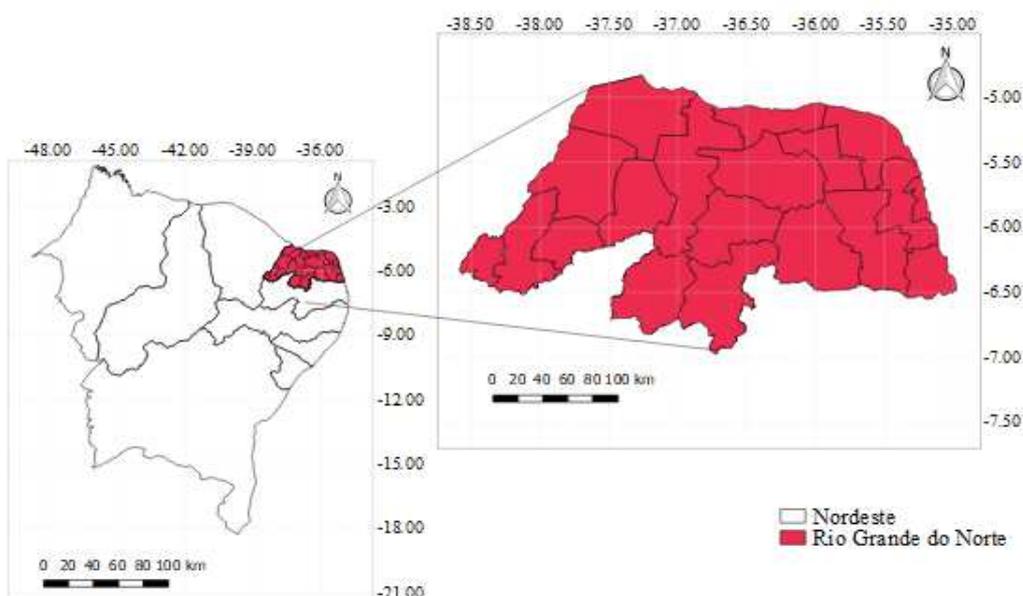
Com o intuito de definir os eventos de seca, sua duração e severidade, diversos índices de seca foram formulados, a fim de quantificar seus aspectos climatológicos, onde grande parte pretende agrupar informações a respeito das condições dos baixos níveis de precipitação e seus possíveis impactos (MISHRA E SINGH, 2010). Dentre eles, o Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI) que é considerado um índice universal, que permite comparações de condições de seca em diferentes regiões climáticas e em diferentes escalas de tempo.

Diante do exposto o presente estudo tem como objetivo identificar diferentes tipos de seca que ocorrem no Estado do Rio Grande do Norte por meio do índice SPEI e da análise de agrupamento no período de 1950 a 2018.

## 2. MATERIAL E METODOS

### 2.1. Caracterizações da Área de Estudo

A área de estudo compreende o estado do Rio Grande do Norte (Figura 1), o mesmo faz parte da Região Nordeste do Brasil, que é composta por nove estados, os mesmos são: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, e localiza-se entre os paralelos  $4^{\circ}49'53''S$  e  $6^{\circ}58'57''S$  e os meridianos  $35^{\circ}58'03''W$  e  $38^{\circ}36'12''W$  (IDEMA, 2010).



**Figura 1.** Localização da área de estudo.

### 2.1.1. Clima

O Estado apresenta uma temperatura média anual de 25,5°C, sendo a máxima de 31,1°C e a mínima de 21,1°C. O número de horas de insolação anual está entre 2.400 e 2.700 horas, com destaque para a região litorânea que chega a ter 300 dias de sol por ano (IBAMA, 2007).

De acordo com a classificação de Köppen, pode-se dividir o Estado do Rio Grande do Norte em três tipos climáticos: tropical úmido (As') que ocorre no litoral leste, com chuvas de outono a inverno; tropical semiúmido (Aw') presente no extremo oeste do estado, com chuvas no outono e com temperaturas elevadas; e, semiárido quente (BSh), que domina praticamente todo o resto do estado, inclusive o litoral norte; suas temperaturas médias giram em torno dos 26°C, enquanto as chuvas são irregulares, ocasionando períodos de seca, sendo registrados índices inferiores a 600 mm/ano (VITAL, 2005).

### 2.1.2. Relevo

Segundo IDEMA, (2010) a superfície do Estado do Rio Grande do Norte é formada, em grande parte, por relevo plano com aproximadamente 83% da área não ultrapassam 300 metros acima do nível do mar. Existem grandes variedades de formas no relevo desse estado, sendo as principais: a Planície Costeira, que se estende por todo o litoral; as Planícies Fluviais, terrenos baixos e planos, situados às margens dos rios; os Tabuleiros Costeiros, também denominados de planaltos rebaixados, possuem áreas planas e de baixa altitude e estão localizados próximo ao litoral; a Depressão Sublitorânea, formada por terrenos rebaixados localizados entre os Tabuleiros Costeiros e o Planalto da Borborema; o Planalto da Borborema, estão localizadas as serras e os picos mais altos do estado; a Depressão Sertaneja, situados entre as partes mais altas do Planalto da Borborema e da Chapada do Apodi; a Chapada do Apodi, caracterizada por terrenos planos; a Chapada da Serra Verde, localiza-se entre os Tabuleiros Costeiros e o relevo residual do chamado "Sertão de Pedras".

### 2.1.3. Vegetação

A cobertura vegetal do estado do Rio Grande do Norte está diretamente relacionada com a hidrografia, o relevo e com as condições climáticas e edáficas de cada região. O tipo de vegetação predominante é a Caatinga (IBAMA, 2007).

De acordo com o IDEMA, (2010) a carnaúba é a espécie que predomina sobre as demais; Floresta de Várzea e Campos de Várzea: ocorre somente nas áreas onde a água

doce frequentemente inunda o solo, que permanece úmido durante todo o ano; Formações das Praias e das Dunas: ocupa uma estreita faixa ao longo de todo o litoral, com exceção das áreas ocupadas por manguezais, compondo a vegetação das dunas móveis e das praias, que, aliada à vegetação das dunas fixas, são conhecidas como vegetação de restinga; Formações Halófilas e Áreas Desprovidas de Vegetação (incluindo Caatinga Hiperxerófila e Floresta Ciliar de Carnaúba) ou Campos Salinos: as formações halófilas são aquelas que estão adaptadas aos ambientes salinos e periodicamente inundadas pela água do mar, estando presentes nas planícies fluviomarinhas dos rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu; Manguezal: presente ao longo do litoral, principalmente nos estuários, em suas porções alagadiças e sujeitas à influência da maré, estende-se até as regiões onde existe água salobra, resultante do encontro da água do mar com a água dos rios.

#### 2.1.4. Hidrografia

De acordo com o Governo do Estado do Rio Grande do Norte, (2010), a rede hidrográfica do estado é marcada predominantemente pelo caráter temporário de seus rios, chamados rios intermitentes, que secam em um período do ano em decorrência da falta de chuvas. No entanto, também existem rios de regime perene no agreste e no litoral. O Estado do Rio Grande do Norte divide-se em 16 bacias hidrográficas, e as mais expressivas são as bacias do rio Piranhas-Açu e a do rio Apodi-Mossoró.

## 2.2. Dados

Para este estudo foram utilizados dados disponíveis no site GlobalSPEI, SPEIbase, são dados de precipitação e evapotranspiração potencial da Unidade de Pesquisa Climática da Universidade de East Anglia. São dados com uma resolução espacial de 0,5° equivalentes a 56km, com uma resolução mensal disponíveis em escalas de tempo de 1 a 48 meses. Esses dados podem ser obtidos através do site: digitalICSIC.

## 3.3. Métodos

### 3.3.1. Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI)

O índice padronizado de precipitação e evapotranspiração SPEI foi desenvolvido por Serrano et al. (2010), seu cálculo permite comparar a severidade da seca através do tempo e do espaço, uma vez que pode ser calculado em uma ampla variedade de climas.

Para o trabalho calculou-se o SPEI pela diferença entre a precipitação (P) e evapotranspiração potencial (ETP), estimando, assim, a descrição da severidade das condições de seca em determinadas regiões (Lee et al., 2017)

Para este estudo a ETp foi estimada a partir da equação de Thornthwaite, como descrito em (Ometto et al., 1981), de acordo com as seguintes equações (1- 4):

$$ETP = 16K \left( \frac{10T}{I} \right)^m \quad (1)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{T_i}{5} \right)^{1,514} \quad (2)$$

$$K = \left( \frac{N}{12} \right) \left( \frac{NDM}{30} \right) \quad (3)$$

$$m = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,79 \times 10^{-2} I + 0,492 \quad (4)$$

Em que: ETp é a evapotranspiração potencial; T é a temperatura média mensal (°C); I é o índice de calor, que é calculado como a soma de 12 valores mensais do índice (i); Ti é derivado da temperatura média mensal; K é um coeficiente de correção, calculado em função da latitude e mês, e m é um coeficiente baseado no índice de calor I; NDM é o número de dias do mês e N é o número máximo de horas de sol.

Dessa maneira, a medida simples do excedente ou déficit de água para o mês em análise foi expressa pela diferença ( $D_i$ ) entre a precipitação ( $P_i$ ) e a evapotranspiração potencial ( $ETP_i$ ) para o mês  $i$  obtido a partir da Equação (5):

$$D_i = P_i - ETP_i \quad (5)$$

Os valores de  $D_i$  calculados foram agregados em diferentes escalas de tempo para detecção de padrões temporais da seca (Equação 6). Sendo assim, os valores SPEI são calculados para as escalas mensal, trimestral, semestral e anual, especificados como SPEI-1, SPEI-3, SPEI-6 e SPEI-12, respectivamente.

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-1} - ETP_{n-i}), \quad n \geq k \quad (6)$$

em que: n é a frequência de cálculo e k é a escala de tempo.

O balanço hídrico, expresso por  $D_i$  é então normalizado usando a função densidade de probabilidade da distribuição log-logística para calcular a série temporal do SPEI, como segue a Equação (7):

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left( 1 + \left( \frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^\beta \right)^{-2} \quad (7)$$

em que:  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  são parâmetros de escala, forma e origem, respectivamente, para valores de  $D$  no intervalo ( $\gamma > D < \infty$ ).

A função de distribuição de probabilidade  $F(x)$  da série temporal do índice  $D_i$  é então definida como Equação (8):

$$F(x) = \int_0^x f(t) dt = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (8)$$

O SPEI (Equação 9) pode ser facilmente obtido como os valores padronizados de  $F(x)$  segundo (Serrano et al., 2010; Li et al., 2015) como:

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (9)$$

em que:  $W = (-2\ln(p))^{0.5}$ , para  $p \leq 0,5$ , sendo  $p$  a probabilidade de exceder um valor  $D$  determinado,  $p = 1-F(x)$ . Se  $p > 0,5$ ,  $p$  é substituído por  $1-p$  e o sinal do SPEI resultante é invertido. As constantes são:  $C_0 = 2,515517$ ,  $C_1 = 0,802853$ ,  $C_2 = 0,010328$ ,  $d_1 = 1,432788$ ,  $d_2 = 0,189269$ ,  $d_3 = 0,001308$ .

Assim, SPEI torna-se uma variável padronizada, com média 0 e o desvio padrão 1 e pode ser comparado com outros valores de SPEI ao longo do tempo e do espaço. A Tabela 1 destaca as categorias de seca de acordo com os valores do SPEI (Mckee et al., 1993; Tan et al., 2015).

**Tabela 1.** Classificação da seca baseada a partir dados SPEI.

Classificação da seca	SPEI
Sem seca	$\geq -0,5$
Seca suave	$(-1,0; -0,5)$
Seca moderada	$(-1,5; -1,0)$
Seca severa	$(-2,0; -1,5)$
Seca extrema	$\leq -2,0$

### 3.3.2. Análise Multivariada

Gerhardt et al. (2001) define Análise multivariada como um conjunto de técnicas estatísticas que trata de dados correspondentes às medidas de muitas variáveis simultaneamente. É uma ferramenta que processa grande massa de informações em conhecimento, apresentando uma visão mais global do fenômeno em um número menor de variáveis (Vinici, 2005). Dentre a análise multivariada tem-se uma diversidade de técnicas estatísticas que são usadas nos mais diversificados estudos, com ênfase para a análise de agrupamento que se destaca na análise de eventos de seca.

### 3.3.3. Análise de Agrupamento (AA)

A análise de agrupamentos é um processo de formação de grupos (*clusters*) de objetos semelhantes de um determinado conjunto de dados. Os clusters têm a característica de que objetos pertencentes ao mesmo cluster são "similares" uns aos outros, enquanto objetos de dois clusters diferentes são "dissimilares" (Osiński, 2003). Os autores Ahmad e Starkey (2017) citam que os agrupamentos são um dos métodos de análise de dados mais utilizados para inúmeras aplicações práticas em diversas áreas de pesquisa.

Ahmad e Starkey (2017) afirmam que a Análise de Agrupamentos envolve o processo de organização de objetos em grupos, encontrando a classe dos objetos de forma que os objetos em uma classe sejam semelhantes entre si e diferentes dos objetos de outra classe. De acordo com Karaboga e Ozturko (2011) o objetivo da Análise de Agrupamentos é agrupar dados em clusters de tal forma que as semelhanças entre membros de dentro do mesmo cluster sejam máximas, enquanto as semelhanças entre membros de diferentes clusters são mínimas.

A Análise de Agrupamentos tem sido utilizada para diversas finalidades na quais se destacam: Obtenção de informações sobre dados, gerar hipóteses, detectar anomalias e identificar características relevantes; identificar o grau de semelhança entre formas ou organismos. É considerado como um método para organizar os dados e representa-los através de protótipos de clusters (JAIN, 2010).

Segundo Velmurugan (2014) a Análise de Agrupamentos atraiu a atenção de muitos pesquisadores em diferentes disciplinas, conseqüentemente, houve um crescimento na pesquisa e desenvolvimento de algoritmos de agrupamento. Portanto, as técnicas de Análise de Agrupamentos têm sido aplicadas em uma ampla variedade de problemas de pesquisa.

Os métodos de Análise de Agrupamentos podem ser divididos em três grupos básicos. O primeiro é o dos algoritmos baseados em distâncias, o segundo é o dos baseados em distribuições de probabilidades e, por fim, o grupo de algoritmos de agrupamento baseados em densidade (Goldschmidt et al. 2015). Os autores Fahad et al. (2014), destacam que outra maneira de categorizar os algoritmos de agrupamento é considerar a forma dos agrupamentos gerados. Dentre os métodos de agrupamento existentes o que será usado para no presente estudo é o método de K-means.

### 3.3.4. Método de K-means

De acordo Ayed et al. (2014) o algoritmo K-means surgiu em 1965, e desde então, é o algoritmo de Análise de Agrupamentos mais utilizado, devido a sua simplicidade e sua eficácia.

O método K-means possui um parâmetro de entrada,  $k$ , que corresponde à quantidade de grupos a serem identificados pelo algoritmo, para fins deste estudo, a análise de agrupamento foi utilizada para agrupar as microrregiões que tiveram maior semelhança na distribuição dos valores do índice SPEI. O método utilizado foi o de K-means, baseado na distância euclidiana, tendo como critério de agregação o centroide (JINYIN et al., 2017).

Este método de análise é o não-hierárquico que consiste de um procedimento onde, dado um número de clusters previamente determinado, calcula pontos que representam os “centros” destes clusters e que são espalhados homogeneamente no conjunto de respostas obtidas através do questionário e movidos, heurísticamente, até alcançar um equilíbrio estático (Hair et al. 2005). O critério de agrupamento do K-means pode ser descrito como sendo:

$$E = \sum_{k=1}^k \sum_{x_i \in c_k} d(x_i, x_{0k}) \quad (6)$$

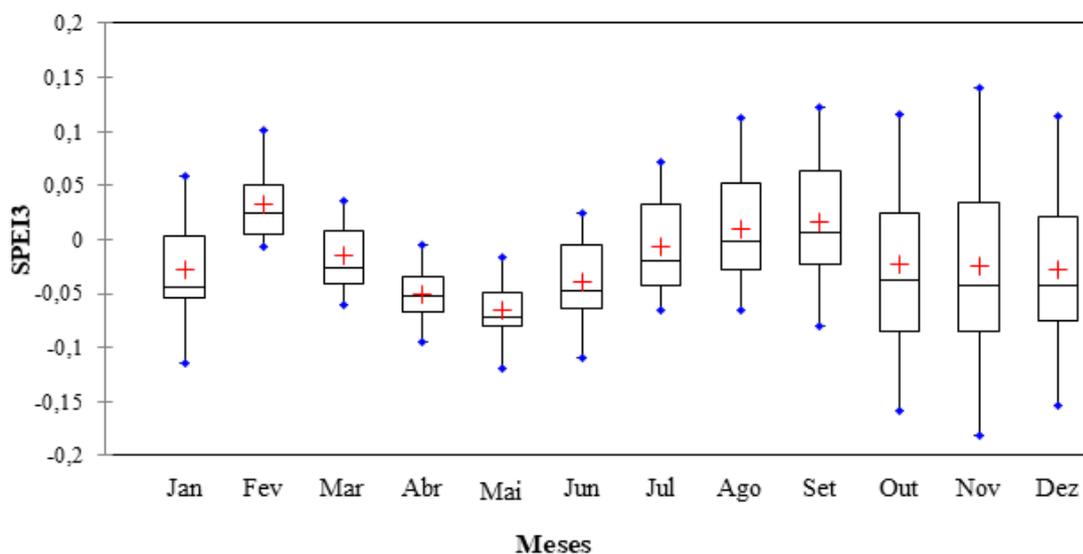
Em que:  $x_{0k}$  é o centróide do cluster  $c_k$  e  $d(x_i, x_{0k})$  é a distância entre os pontos  $x_i$  e  $x_{0k}$ . O centróide pode ser a média ou a mediana de um grupo de pontos. Em outras palavras, o objetivo do K-means é minimizar a distância entre cada ponto e o seu respectivo centroide (HAIR et al., 2005).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a metodologia supracitada, os valores SPEI-3 de 28 postos de observações foram calculados para o período de 1950–2018, com o intuito de avaliar as condições de seca no Estado do Rio Grande do Norte. Em uma escala de tempo de 03 meses os valores mínimos do SPEI-3 foram calculados para o período em estudo, representando condições de seca de curto prazo no qual caracteriza as secas meteorológicas e agrícolas.

Conforme a variabilidade média mensal dos valores de SPEI-3 para o estado observada na Figura 2 quantificou-se os períodos com maiores ocorrências de seca para a área em estudo. Sendo assim, observa-se que os meses que remetem os maiores valores do índice, consequentemente períodos úmidos, foram abril e maio (-0.0505 e -0.0654). Esses valores podem ser explicados porque esses meses estão inseridos no quadrimestre chuvoso, no qual é de março a maio (IDEMA, 2010).

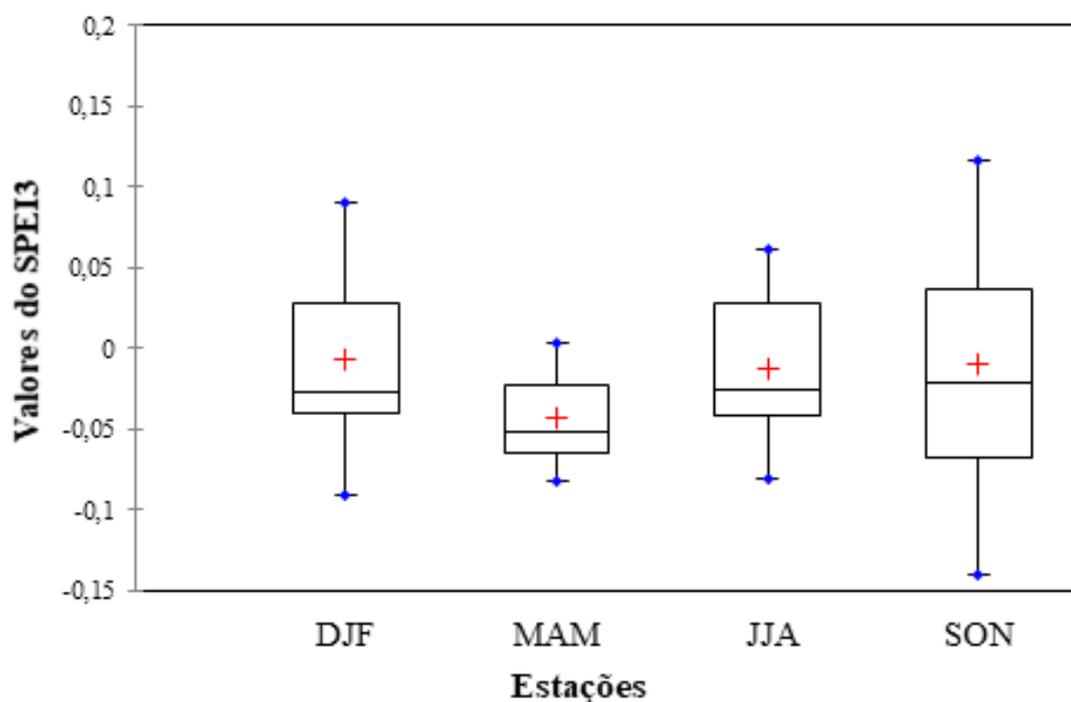
Os meses de outubro e novembro denotaram os menores valores médios (-0.0234 e -0.0239) do SPEI-3, portanto, períodos secos. O órgão supracitado afirma que os meses citados estão inseridos no período de menor acumulados de precipitação no estado.



**Figura 2.** Variabilidade média mensal dos valores de SPEI-3 para o estado do Rio Grande do Norte no período de 1950 a 2018.

Com o decorrer dos anos ocorrem alterações na atmosfera, interferindo nas variações sazonais dos períodos úmidos e secos das diversas regiões. Partindo desse pressuposto, as médias dos valores trimestrais foram calculadas para dimensionar os períodos com maiores incrementos de seca na região, sendo assim tem-se que essa

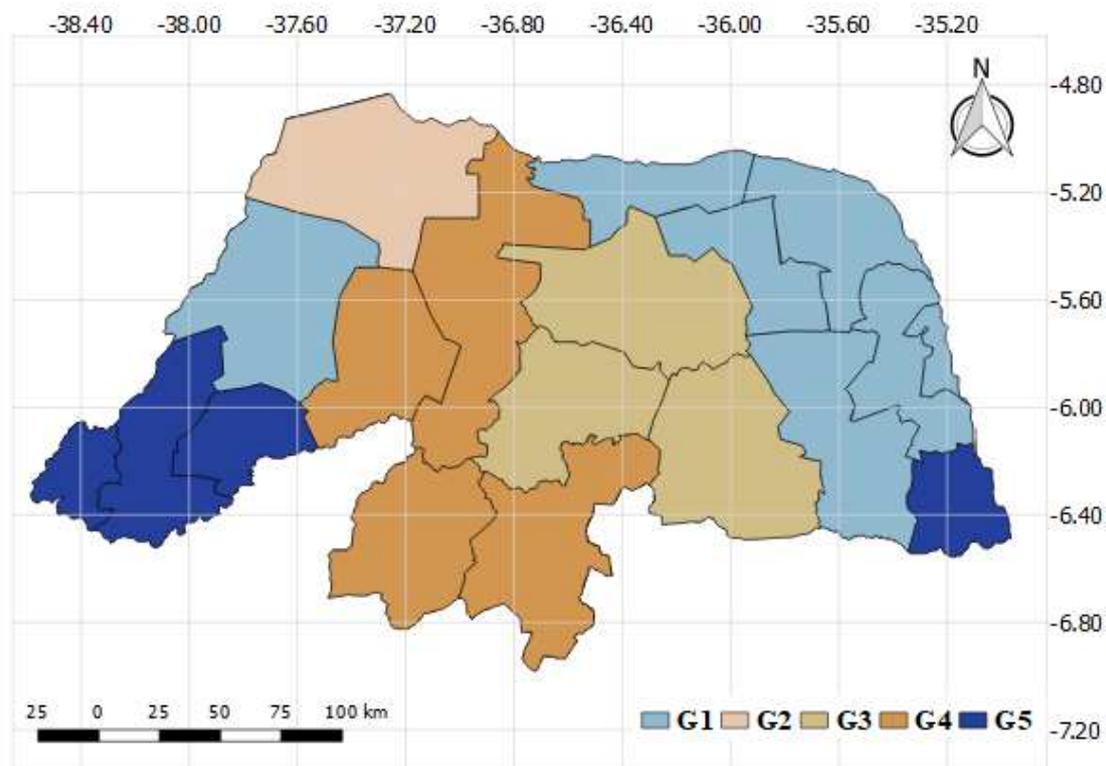
variação sazonal, de acordo com o exposto na Figura 3, foi possível observar que a estação que remete a primavera (SON) apresenta os maiores valores do índice SPEI-3 e também a maior amplitude (0, 2564), de acordo com os valores do índice essa estação se caracteriza como a mais seca para todo Estado com os menores acumulados de precipitação. Os meses de março, abril e maio (MAM) que remetem ao outono apresenta os menores valores do índice SPEI-3, e a menor amplitude (0, 0861) diante disso essa estação pode ser considerada a mais chuvosa do estado.



**Figura 3.** Variabilidade sazonal dos valores de SPEI-3 para o Estado do Rio Grande do Norte no período de 1950 a 2018.

Mediante a aplicação da análise de agrupamento pelo método de K-means com os valores mínimos do SPE-I3 foram determinados cinco grupos. Os grupos foram divididos por microrregiões que apresentam uma variabilidade no padrão de incidência de secas, a saber, G1 (Macau, Baixa Verde, Litoral Nordeste, Macaíba e Chapada do Apodi), G2 (Mossoró), G3 (Angicos, Serra de Santana e Borborema Potiguar), G4 (Vale do Açu, Médio oeste, Seridó Oriental e Seridó Ocidental) e o G5 (Umarizal, Pau dos Ferros e Litoral Sul).

De acordo com a Figura 4 denota-se a distribuição espacial dos grupos homogêneos mediante os valores do SPEI3. O G1 é composto por seis microrregiões onde cinco estão localizadas na poção leste, e uma na parte oeste. O G2 composto por apenas uma microrregião está localizado na parte noroeste, os grupos G3 e G4 estão situados na parte central, considerada a parte mais seca do Estado, o grupo G5 igualmente ao G1 tem microrregiões localizadas em diferentes regiões, tendo duas microrregiões na parte sudoeste e uma no lado sudeste do estado.

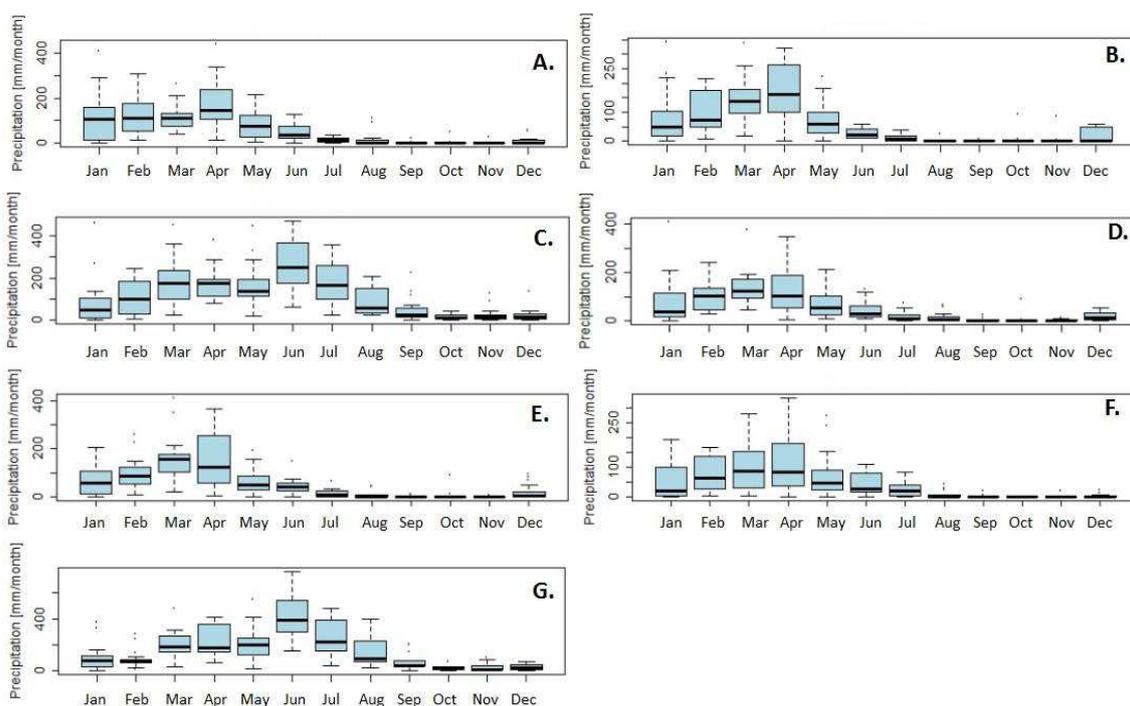


**Figura 4.** Grupos homogêneos de distribuição de seca para o Estado do Rio Grande do Norte pelo método K-means para o SPEI3.

A Figura 5 exibe a variabilidade média dos acumulados mensais de precipitação pluvial para localidade de Apodi (A), Caicó (B), Ceará-Mirim (C), Cruzeta (D), Florânia (E), Macau (F) e Natal (G). Analisando o comportamento das chuvas nas regiões supracitadas nota-se uma variabilidade sazonal da precipitação com maiores valores acumulados no primeiro semestre (período chuvoso) e os menores valores no segundo semestre (período seco).

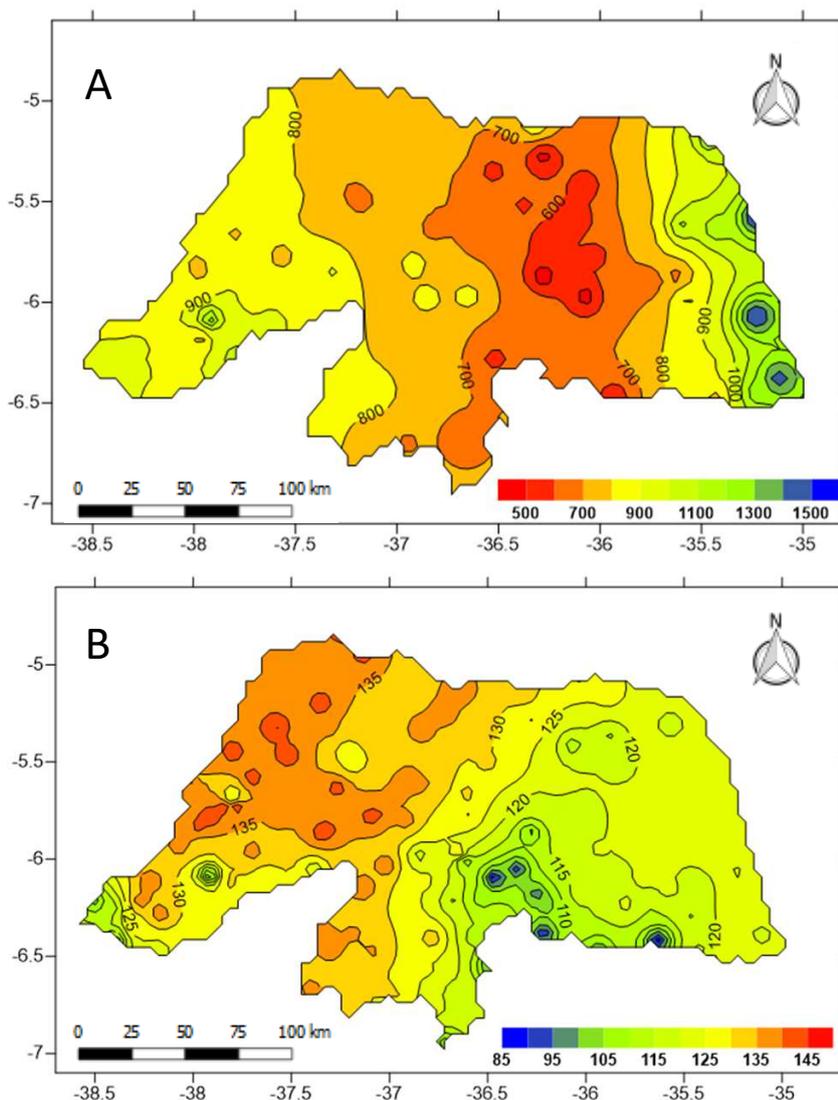
Para as localidades que abrangem o sul do estado (Caicó, Cruzeta e Florânia) as maiores variações de precipitação se dão no mês de abril (chegando a 300 mm). No entanto as regiões que se situam a leste (Ceará-Mirim e Natal) o maior pico de

precipitação se dá no mês de junho e decaindo nos meses subsequentes. A porção norte (Macal) apresenta pouca variabilidade nos meses iniciais, tendo como ápice de precipitação o mês de abril assim como grande parte das localidades. No que diz respeito à parte oeste do estado (Apodi) observa-se os menores valores de precipitação, assim como maior pico em abril, porém essa localidade denota as maiores quantidade de meses com precipitações inferiores a 100 mm. Mediante análise é válido ressaltar que os meses de transições entre os períodos de máximas e mínimas precipitações para a devida região se dão entre os meses de abril e dezembro.



**Figura 5.** Variabilidade média dos acumulados mensais de precipitação pluvial para localidade de Apodi (A), Caicó (B), Ceará-Mirim (C), Cruzeta (D), Florânia (E), Macau (F) e Natal (G).

A distribuição temporal da precipitação e evapotranspiração no Estado do Rio Grande do Norte podem ser vistas na Figura 6. Com valores de precipitação variando entre 400 a 1500 mm com seus maiores índices alocados na parte leste e sudoeste, concentrando os menores valores na parte centro sul do Estado. Os valores de evapotranspiração do estado variam de 85 a 145 mm, com uma média de aproximadamente 125 mm para todo Estado.



**Figura 6.** Distribuição temporal da média do trimestre chuvoso (A) e Evapotranspiração potencial média mensal (B) para o Estado do Rio Grande do Norte.

Os autores Kobiyama et al. (2006) e Diniz e Pereira, (2015) afirmam que dentre os mecanismos de microescala, as circulações orográficas têm papel de destaque na distribuição da precipitação média anual no RN, sendo esses mecanismos diretamente controlados por dois fatores geográficos do clima, o relevo (e sua posição em relação aos ventos predominantes) e a altitude.

Diante do exposto a variabilidade no regime de seca para os grupos pode estar associada ao efeito orográfico oriundo do Planalto da Borborema, resultante do levantamento forçado das parcelas de ar, que são resfriados em níveis mais altos da atmosfera, provocando à diminuição dos níveis de umidade e consequentemente a

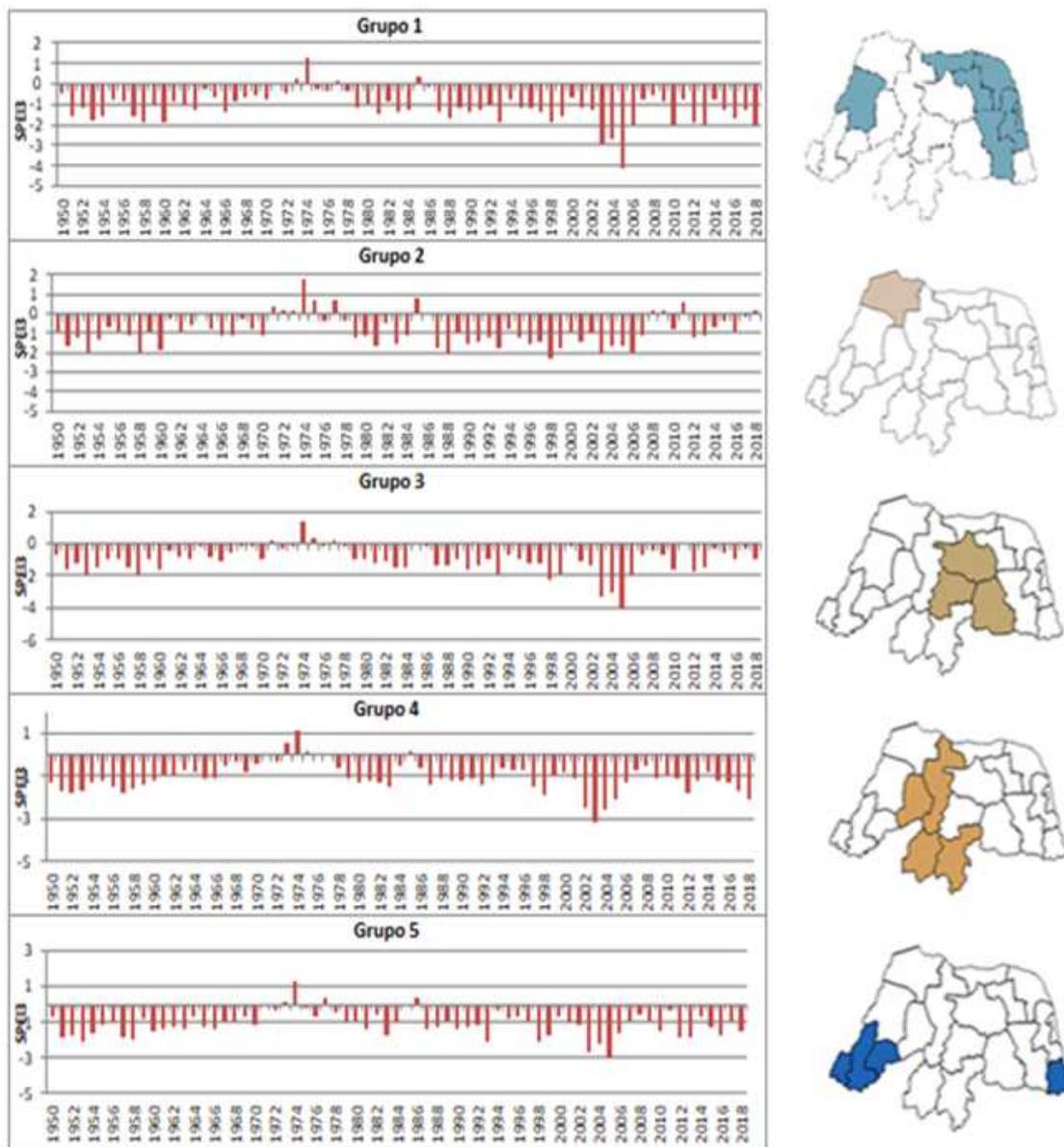
diminuição da precipitação. Fato esse pode vir a explicar a variabilidade de precipitação no Estado.

Através da com Figura 7 é notório que para todos os cinco grupos os valores do SPEI-3 oscilam em torno da linha de escala zero, refletindo as condições alternadas de seca ao longo do período de 1950 a 2018, com destaque para os grupos localizados na região centro sul do Estado, em que é evidente que os grupos localizados nessa região apresentaram uma maior concentração de episódios de seca.

Nota-se que para todos os grupos tem-se uma predominância de seca suave e seca moderada, sendo que a seca moderada se apresenta com maior frequência para todas a serie temporal, é evidente a presença de seca severa e extrema, as mesmas ocorrem com maior intensidade nos anos de 1952, 1958, 1983-1985, 1992, 2002-2005 e 2012-2018, cm exceção do G2 que não apresenta episódios de seca severa e extrema.

Diante disso é notório que a seca afeta todos os grupos, porém alguns refletem com maior intensidade, tal fato era esperado devido à alta variabilidade da chuva no Estado (VALADÃO et al., 2015).

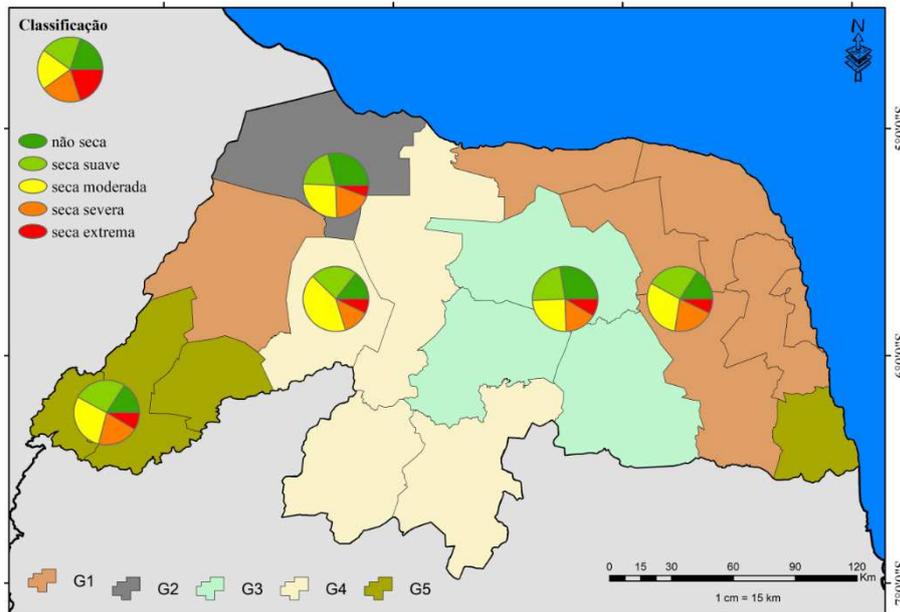
0



**Figura 7.** Distribuição média anual das secas, para os cinco grupos homogêneos, de acordo com o índice SPEI3, para o período de 1950 a 2018.

Mediante estudo as microrregiões que são consideradas as mais secas do Estado, mesmo estando em parte localizadas no litoral onde se tem um bom volume de precipitação, algumas localidades estão inseridas no litoral setentrional que é o trecho mais seco de toda a costa brasileira, é importante citar que nessa região existe uma variabilidade significativa na distribuição de chuva, pois algumas cidades apresentam baixos índices de precipitação como é o caso da cidade de Macau com uma média anual de (537,6 mm) em contrapartida a cidade de Touros que fica bem próxima cidade de Macau apresenta uma média anual de precipitação bem maior em torno de (1037,1mm).

Todos os cinco grupos apresentam os tipos de seca de acordo com a classificação do índice SPEI, sendo que as secas se distribuem de forma variada em cada grupo, podendo ser visto nos Gráficos abaixo.



**Figura 8.** Distribuição e quantificação dos tipos de seca para os cinco grupos homogêneos, de acordo com o índice SPEI3, para o período de 1950 a 2018.

Analisando a Figura 8 que representa a distribuição e quantificação dos tipos de seca para os cinco grupos, nota-se que a seca suave e a seca moderada estão presente em todos os grupos, a seca moderada se destaca por apresentar a maior quantidade de episódios, com ênfase para o G4 com a maior porcentagem dos eventos, mesmo sendo uma quantidade significativa a seca moderada atua com menor intensidade. As secas extrema e severa se apresentam em todos os grupos, porém com menor frequência, diferentemente das secas suave e moderada as secas supracitadas atua com maior intensidade, causando danos mais graves as regiões onde atuam.

## 5. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, é possível compreender o comportamento e distribuição da seca em todo o estado do Rio Grande do Norte para o período 1950 a 2018. O agrupamento pelo método de K-means juntamente ao índice SPEI-3 apresentou potencial para caracterização de regiões homogêneas e determinação dos tipos de seca que ocorrem em todo o estado, devido à sua praticidade e característica multiescalar para quantificar períodos úmidos e secos.

Em escala mensal e sazonal verificou-se os maiores valores do SPEI-3 nos meses de setembro, outubro e novembro (SON). Os tipos de seca foram identificados de acordo com a classificação do SPEI, com destaque para seca moderada com a maior quantidade de episódios e menor intensidade e a seca extrema apresentaram a menor quantidade e maior intensidade, no qual a escala de tempo de 03 meses remete a seca meteorológica e agrícola.

## 6. REFERÊNCIAS

AHMAD, A. U.; STARKEY. A. Application of feature selection methods for automated clustering analysis: a review on synthetic datasets. **Neural Computing and Applications**, p. 1-12, 2017.

Atlas brasileira de desastres naturais: 1991 a 2012. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. Florianópolis, 2013.

AYED, A. B.; HALIMA, M. Ben.; ALIMI, A. M. Survey on clustering methods: Towards fuzzy clustering for big data. In: **Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR), 6th International Conference of. IEEE**, p. 331-336, 2014.

BLAIN, P. G.C.; BRUNINI, O. Análise da Escala Temporal de Monitoramento das Secas Agrícolas e Meteorológicas no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, 255-261, 2007.

BNB. Nordeste do Brasil: **sinopse estatística 2014**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2014.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Desertificação, degradação da terra e seca no semiárido Brasileiro**. Brasília, Brasil: 2016.

COSTA, J. A.; O fenômeno EL NIÑO e as secas no Nordeste do Brasil, **Revista E.T.C. Educação, tecnologia e cultura**, n.14, IFBA – Campus Maragoji, 2016.

DINIZ, M. T. M.; PEREIRA, V. H. C.; Climatologia do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil: Sistemas atmosféricos atuantes e mapeamento de tipos de clima. **Revista Goiânia**, v. 35, n. 3, 2015.

DOWNING, D; CLARK, J. Estatística Aplicada. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

FAHAD, A.; ALSHATRI, N.; TARI, Z.; ALAMRI, A.; KHALIL, I.; ZOMAYA, A. Y.; FOUFOU, S.; BOURAS, A. A survey of clustering algorithms for big data: Taxonomy

and empirical analysis. **IEEE transactions on emerging topics in computing**, v. 2, n. 3, p. 267-279, 2014.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L.; AMORIM, A. O.; CARDOSO, A. S. Índices para a Quantificação da Seca. **Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antônio de Goiás – GO, 2009.

GERHARDT, E. J.; FINGER, C. A. G., LONGHI S. J.; SCHUMACHERL M, V. Contribuição da análise multivariada na classificação de sítios em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Baseada nos fatores físicos e morfológicos do solo e no conteúdo de nutrientes da serapilheira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 41-57, 2001.

GIBBS, W. J.; MAHER, J. V. **Rainfall deciles as drought indicators**. Melbourne: Commonwealth of Australia, p.84, 1967.

GOLDSCHMIDT, R. BEZERRA, E.; PASSOS, E. **Data mining: conceitos, técnicas, algoritmos, orientações e aplicações**. 2. ed. - Rio de Janeiro. Elsevier, 2015.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. Secretaria de Recursos Hídricos. Plano Estadual de Recursos Hídricos. **Geopolítico: bacias hidrográficas**. Rio Grande do Norte: Governo do Estado, 2010. Disponível em: [http://www.planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias\\_hidrograficas/planejamento\\_manejo\\_e\\_gestao\\_unidade\\_1.pdf](http://www.planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/planejamento_manejo_e_gestao_unidade_1.pdf). Acesso em 09 jul 2019.

GLOBAL SPEI database. Disponível em: <https://spei.csic.es/database.html>. Acesso em: mar, 2019.

HAIR, J. J. F., ANDERSON, R.E., TATHAM, R.L., BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados**, 5 ed. Porto Alegre, 2005.

HERBST, P. H.; BREDENKAMP, D. B.; BARKER, H. M. G. A technique for the evaluation of drought from rainfall data. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 4, n. 3, p. 264-272, 1966.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. CECAV – Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas. Núcleo do Rio Grande do Norte. Diagnóstico espeleológico do Rio Grande do Norte: **caracterização geográfica do Rio Grande do Norte**. Natal: IBAMA, 2007. Disponível em: <<http://www.ibama.rn.gov.br>> Acesso em: 11 de jul de 2019.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE Cidades. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>> Acesso em: 11 de jul de 2019.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Rio Grande do Norte**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=rn>>. Acesso em: 16 JUN. 2019.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Atlas geográfico escolar. 4. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 216 p. 2007.

IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Econômico e do Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Perfil do Estado do Rio Grande do Norte**. Secretaria de Estado do Planejamento e das Finanças do Rio Grande do Norte-Natal, 2005.

IDEMA – INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE. **Anuário estatístico 2010**. Rio Grande do Norte: Governo do Rio Grande do Norte, 2010. Disponível em: <<http://www.idema.rn.gov.br>> Acesso em: 11 de jul de 2019.

JAIN, A. K. Data clustering: 50 years beyond K-means. **Pattern recognition letters**, v. 31, n. 8, p. 651-666, 2010.

JINYIN, C.; XIANG, L.; HAIBING, Z.; XINTONG, B. A novel cluster center fast determination clustering algorithm. **Applied Soft Computing**, 2017.

KARABOGA, Dervis; OZTURK, Celal. A novel clustering approach: Artificial Bee Colony (ABC) algorithm. **Applied soft computing**, v. 11, n. 1, p. 652-657, 2011.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORF, F. M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, p.109, 2006.

LANDIM, P. B. M. **Análise estatística de dados geológicos multivariados**. Lab. Geomatemática. UNESP/Rio Claro, Texto Didático 03, 128 p. 2000. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/multivariados.pdf>.

Acesso em: Jun 2019.

LE, X.; He, B.; Quan, X.; Liao, Z.; Bai, Z. Use of the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) to characterize the drying trend in southwest China from 1982–2012. **Remote Sensing**, v. 7, n. 8, p. 10917–10937, 2015.

LI, B.; LIANG, Z.; ZHANG, J.; WANG, G. A revised drought index based on precipitation and pan evaporation. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 2, p. 793–801, 2017.

LI, X.; HE, B.; QUAN, X.; LIAO, Z.; BAI, Z. Use of the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) to characterize the drying trend in southwest China from 1982–2012. **Remote Sensing**, v. 7, n. 8, p. 10917–10937, 2015.

LINDEN, R. Técnicas de Agrupamento. **Sistemas de Informação**, n.4, p. 18-36, 2009.

MACEDO, M. J. H.; GUEDES, R. V. S.; SOUZA, F. A. S.; DANTAS, F. R. C. Análise do índice padronizado de precipitação para o estado da Paraíba, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n. 1, p. 204-214, 2010.

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, p. 49-63, 2010.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration of time scales, **in 8th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society**, Anaheim, California, 1993.

MEDEIROS, G. C. S.; **Metodologia de avaliação da seca hidrológica sob a perspectiva da demanda hídrica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Natal-RN, 2016.

MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I. F. de A.; SOUZA, P. P. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, v. 391, p. 202–216. 2010.

OMETTO, J. C. *Bioclimatologia Vegetal*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda. 440p. 1981.

OSIŃSKI, S.; An algorithm for clustering of web search results. **Doctoral Thesis** Poznań University of Technology, Poland, 2003.

PALMER, W. C.; *Meteorological Drought*, **Office of Climatology**, n.45, USA, 1965.

PATROCÍNIO, S.; F. **Previsão de secas para o Nordeste do Brasil**. Fortaleza. Funceme, 2008.

ROCHA, A. B. da.; BACCARO, C. A. D.; SILVA, P. C. M. da.; CAMACHO, R. G.V. Mapeamento geomorfológico da bacia do Apodi Mossoró - RN – NE do Brasil. **Revista de Geografia da UFC**, v. 8, n. 16, 2009.

ROOY, M. P. V. A rainfall anomaly index independent of time and space. **Notos**, Pretoria, v. 14, p. 43-48, 1965.

SANTOS JÚNIOR, M. dos; GALVÃO, C. O. **Características da bacia hidrográfica Piranhas/Açu**. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2007.

Disponível

em:>[http://www.hidro.edu.ufcg.br/twiki/pub/downloads/junior/caracteristicassobreabacia\\_hidrograficapiranhasacu.doc+piranhas](http://www.hidro.edu.ufcg.br/twiki/pub/downloads/junior/caracteristicassobreabacia_hidrograficapiranhasacu.doc+piranhas)> Acesso em: 11 jul. 2019.

SERRANO, V.; S.; M. BEGUERÍA, S.; MORENO, J.; I.; L A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. **Journal of Climate**, v. 23, n. 7, p. 1696–1718, 2010.

SILVA, E. M.; SILVA, E. M. *Matemática e Estatística Aplicada*. São Paulo: Atlas, 1999.

TAN, C.; YANG, J.; LI, M. Temporal-spatial variation of drought indicated by SPI and SPEI in Ningxia Hui autonomous region, China. **Atmosphere**, v. 6, n. 10, p. 1399–1421, 2015.

World Meteorological Organization (WMO). **Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges**. 2016.

VALADÃO, C.E.A.; LUCIO, P.S.; CHAVES, R.R.; CARVALHO, L.M.V. MJO Modulation of Station Rainfall in the Semiarid Seridó, Northeast Brazil. **Atmospheric and Climate Sciences**, n. 5, p. 408-417, 2015.

VELMURUGAN, T. Performance based analysis between k-Means and Fuzzy C-Means clustering algorithms for connection oriented telecommunication data. **Applied Soft Computing**, v. 19, p. 134-146, 2014.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. 215f. Dissertação – (Mestrado em Engenharia da Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

VITAL, Helenice. Rio Grande do Norte. In: **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente – MMA, p. 159-176, 2005. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>> Acesso em: 11 de jul de 2019.

## CAPITULO 3

**APLICAÇÃO DE MODELAGEM UNIVARIADA PARA PREVISÃO DE SECA  
NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE****RESUMO**

A seca, é considerado um fenômeno natural provocado pela diminuição ou falta de precipitação, isto é, escassez de chuvas, pelo Brasil e no mundo. Tal fenômeno está sendo estudado com mais frequência nas últimas décadas devido sua ocorrência com maior intensidade. Para o seu estudo estão sendo utilizados métodos estatísticos e modelos de previsão com o intuito de identificar sua atuação e prever a ocorrência futuras. Diante do exposto esse trabalho teve como objetivo analisar eventos de secas hidrológicas em todo Estado do Rio Grande do Norte com ênfase para os grupos (G1 e G4), assim como identificar secas futuras através da utilização de modelos de previsão usando dados do SPEI-24 para o período de 1952 a 2018 para os dois grupos em evidência. Os resultados mostram que os valores que o G1 retrata condições de seca, porem de menor intensidade, com poucos episódios de seca hidrologia. Esse grupo evidencia a evolução de períodos úmidos para com máximos concentrados entre as décadas 1970-1980, já o G4 passa por longos períodos de deficiência hídrica, caracterizando uma frequência maior de episódios de seca hidrológica, causando um grande déficit de recursos hídricos causando grandes prejuízos na produção agrícola e pecuária, tanto quanto na oferta e disponibilidade de recursos hídricos para a população. Quando aplicado o modelo de previsão ARIMA tanto o G1 quanto o G4 apresentaram ajustes significativos, pelos quais a previsão é considerada válida, pois para os dois grupos a série prevista segue um padrão da série observada.

**Palavras-chaves:** Simulação, ARIMA, SPEI-24.

## **APPLICATION OF UNIVARIATED MODELING FOR DROUGHT FORECASTING IN THE STATE OF RIO GRANDE DO NORTE**

### **ABSTRACT**

Drought is considered a natural phenomenon caused by the decrease or lack of precipitation, that is, scarcity of rain, by Brazil and worldwide. This phenomenon has been studied more frequently in recent decades due to its occurrence with greater intensity. For their study, statistical methods and forecasting models are being used in order to identify their performance and predict future occurrences. Given the above, this study aimed to analyze hydrological drought events across the state of Rio Grande do Norte with an emphasis on groups (G1 and G4), as well as to identify future droughts through the use of forecasting models using data from SPEI-24 for the period from 1952 to 2018 for the two groups in evidence. The results show that the values that G1 portrays drought conditions, however of less intensity, with few episodes of dry hydrology. This group shows the evolution from humid periods to concentrated maxima between the decades 1970-1980, since the G4 goes through long periods of water deficiency, characterizing a higher frequency of episodes of hydrological drought, causing a great deficit of water resources causing great losses in agricultural and livestock production, as well as in the supply and availability of water resources for the population. When the ARIMA forecast model was applied, both G1 and G4 showed significant adjustments, for which the forecast is considered valid, since for both groups the predicted series follows a pattern of the observed series.

Keywords: Simulation, ARIMA, SPEI-24.

## 1. INTRODUÇÃO

A seca é um fenômeno que causa diversos problemas nos quais podem afetar a segurança alimentar e a sobrevivência da população, ocupando grandes áreas do planeta podendo chegar a 41% (Solh e Ginkel, 2014). A seca, é considerado um fenômeno natural provocado pela diminuição ou falta de precipitação, isto é, escassez de chuvas, pelo Brasil e no mundo, no Brasil essa escassez ocorre com maior frequência na região Nordeste, particularmente no Semiárido (CAMURÇA et al., 2016).

A ocorrência das secas no semiárido tiveram um grande destaque nos anos 2012 e 2013, onde 1.400 municípios da região Nordeste e do norte de Minas Gerais foram castigados de forma severa. Por ser uma região que apresenta baixos índices pluviométricos, com uma média de 800 mm por ano, apresenta assim maior risco de seca chegando a 60% (FEMURN, 2018).

Obviamente, a escassez de chuva e de políticas públicas voltadas a implantação de ações capazes de enfrentar as adversidades oriundas da estiagem acarreta a inviabilidade do desenvolvimento das áreas afetadas pela deficiência e inconstância de chuvas, impondo diversas dificuldades à população (SANTOS et al., 2014).

Índices de seca são bastante usados para auxiliar na identificação e definição de períodos de seca, toda via não é fácil determinar um índice universal capaz de identificar a seca (Heim, 2002). Dentre esses índices estão o SPI (Índice Padronizado de Precipitação), PDSI (Índice de Severidade de Seca de Palmer) e o SPEI (Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração).

O Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI) adapta os variados tempos de resposta das variáveis hidrológicas à variabilidade climática e facilita a identificação da complexidade da resposta do ecossistema a várias escalas de tempo de seca (VICENTE-SERRANO ET AL., 2010).

O SPEI avalia a gravidade da seca de conforme sua intensidade e duração, e identifica o início e fim dos episódios de seca, permitindo a comparação de gravidade do período de seca ao longo do tempo e do espaço. O SPEI tem como vantagem sobre os outros índices o fato de considerar efeito da temperatura e a evapotranspiração potencial (PET) na severidade da seca, onde suas características permitem identificar diferentes tipos de seca e seus impactos (VICENTE-SERRANO et al, 2012)

Atualmente vários estudos têm sido realizados com o intuito de tornar público medidas e elementos mitigadores dos efeitos das secas, dentre eles podem ser citados, Andrade e Nunes, (2014); CGEE, (2016); Figueiredo et al. (2016); Lima et al. (2019).

Conforme Solh; Ginkel, (2014), a seca pode ser definida como um evento climático difícil de ser previsto, mas intervenções e estratégias podem ajudar as populações a estarem mais preparadas para conviverem com o fenômeno, como a utilização de modelos estatísticos como, análise de tendências, o teste de estacionariedade de Dickey-Fuller, o teste de tendência de Mann Kendall e Pettitt assim como os modelos de previsão como o ARIMA.

De acordo com Maia e Cribari-Neto, (2006), o teste de estacionariedade de Dickey-Fuller é utilizado na identificar a existência de raiz unitárias nos polinômios autorregressivos de séries temporais, onde o número de raízes unitárias é dado pela quantidade de vezes que a série deve ser integrada para se transforma em estacionaria.

O teste de Mann-Kendall tem sido extensivamente utilizado para analisar tendências climáticas em séries climáticas. Além disso, a detecção de tendências mostra-se de extrema importância no sentido de mostrar antecipadamente projeções que virão acontecer e assim auxiliar na gestão e aproveitamento hídrico. A análise espacial de tendências permite observar as mudanças no comportamento e determinar em quais regiões uma determinada variável vem sofrendo mudanças significativas ao longo do tempo (GOOSSENS E BERGER, 1986).

O teste de Pettitt é bastante utilizado, pois ele permite a identificação de tendência em séries históricas pode ser feita por meio de análise estatística, este teste não paramétrico permite confirmar a estacionariedade da série histórica, ou seja, excetuando as flutuações aleatórias, as observações são invariantes com relação à cronologia de suas ocorrências (Pettitt, 1979).

O modelo ARIMA (Auto Regressivo Integrado de Média Móvel), resulta da combinação de três componentes o componente Auto-regressivo (AR), o filtro de Integração (I) e o componente de Médias Móveis (MA) (Fava, 2000).

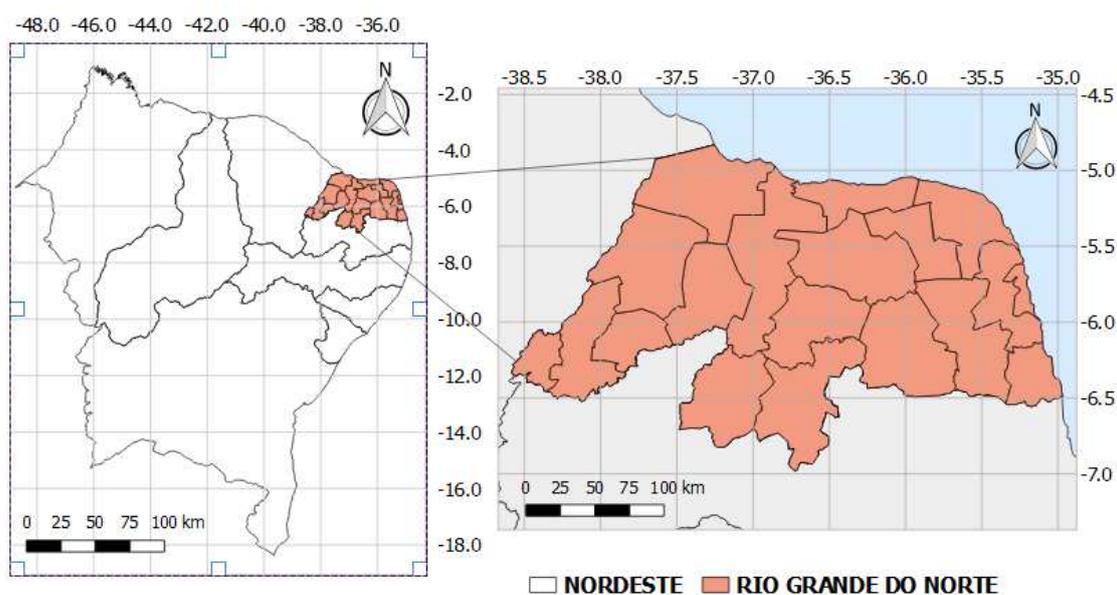
Conforme Maddala (2003), a abordagem Box-Jenkins é uma das metodologias mais usadas para a análise de dados em séries temporais. Ela é popular em consequência de sua generalidade; ela pode lidar com qualquer série, estacionária ou não, com ou sem elementos sazonais. A aplicação do modelo ARIMA é composta de quatro etapas, identificação, estimação, verificação e previsão (Pindyck e Rubinfeld, 2004).

Lima et al, (2019), utilizou a análise de agrupamento buscando verificar a distribuição de seca do estado do Rio Grande do Norte por meio de dados do SPEI-3, aplicou a análise de agrupamento para e identificar as localidade mais úmidas e mais seca do estado, através do agrupamento foram determinados cinco grupos, dos quais os grupos se destacaram (G1 e G4), o G1 se foi identificado como o grupo mais úmido e o G4 como o mais seco.

Diante disso esse capítulo tem como objetivo analisar a ocorrência de secas hidrológicas em todo Estado do Rio Grande do Norte, assim como identificar secas futuras através da utilização de modelos de previsão usando dados do SPEI-24 para o período de 1952 a 2018 para os dois grupos em evidência (G1 e G4).

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Área de Estudo



**Figura 1.** Localização da área de estudo.

### 2.2. Caracterizações da Área de Estudo

De acordo com IBGE, (2010) o Estado limita-se ao norte e ao leste com o Oceano Atlântico, ao sul com o Estado da Paraíba, e ao oeste com o Estado do Ceará, apresentando uma extensão territorial de 52.796,791 km<sup>2</sup>, sendo o 22º maior estado brasileiro em dimensão territorial, correspondente a 0,62%, da área do país, e a 3,40%, da Região Nordeste. De acordo com suas características geográficas, o Estado do Rio Grande do Norte se divide em quatro mesorregiões, sendo, de leste para oeste:

Mesorregião Leste Potiguar, Mesorregião Agreste Potiguar, Mesorregião Central Potiguar e Mesorregião Oeste Potiguar (IDEMA, 2010).

### 2.2.1. Clima

De acordo com o IDEMA (2010), o Estado do Rio Grande do Norte apresenta quatro tipos de clima: Clima Árido: localizado na parte central e litoral norte, prolongando-se numa faixa estreita, quase contínua, até o extremo sul do Estado, abrangendo uma área total de 18%, não apresenta excedente de água durante todo o ano; Clima Semiárido: domina, de forma quase contínua, todo o interior do estado, que ao oeste se prolonga até o litoral norte, Clima Subúmido Seco: localizado, em parte, no litoral leste e nas áreas serranas do interior do estado; Clima Úmido: localizado no litoral leste, englobando Natal, São José de Mipibu e Canguaretama.

### 2.2.2. Relevo

O estado do Rio Grande do Norte perfaz uma extensão de 410 km de costa. Geomorfologicamente, a planície, os tabuleiros costeiros e os campos de dunas são os elementos de relevo predominantes em todo o litoral; com a planície fluvial restringindo-se à desembocadura dos principais rios. Uma característica marcante desse litoral é a presença de linhas de recifes de arenito, aproximadamente paralelas à linha da costa; as linhas de recifes alteram o padrão de arrebentação das ondas. A Serra Poço Dantas, localizada no extremo sudoeste do estado, próxima aos municípios de Venha-Ver e Luís Gomes, é o ponto mais alto do Estado do Rio Grande do Norte, com 852 m de altitude (VITAL, 2005).

### 2.2.3. Vegetação

De acordo com o IDEMA (2010), o estado possui 12 formações distintas de vegetação: Floresta Subperenifólia, presente nas margens dos rios do litoral leste; Floresta Subcaducifólia, ocupa uma estreita faixa entre a zona úmida e o sertão e também o topo e as encostas das serras do interior; Caatinga Hipoxerófila, com exceção da região do Seridó oriental, essa formação vegetal recobre toda a porção centro-sul do Estado; Caatinga Hiperxerófila, apresenta-se principalmente na porção norte do estado e caracteriza-se por ser uma vegetação densa e de estrutura irregular; Caatinga Hiperxerófila, as áreas abrangidas por essa formação vegetal estão no Seridó oriental; Caatinga Hiperxerófila, presente nas baixadas mais úmidas e nas várzeas dos rios da porção norte do estado.

### 2.3. Dados

Para este estudo foram utilizados dados disponíveis no site GlobalSPEI, SPEIbase, são dados de precipitação e evapotranspiração potencial da Unidade de Pesquisa Climática da Universidade de East Anglia. São dados com uma resolução espacial de 0,5° equivalentes a 56km, com uma resolução mensal disponíveis em escalas de tempo de 1 a 48 meses. Esses dados podem ser obtidos através do site: digitalICSIC.

### 3.3. Métodos

#### 3.3.1. Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI)

O índice padronizado de precipitação e evapotranspiração SPEI foi desenvolvido por Serrano et al. (2010), seu cálculo permite comparar a severidade da seca através do tempo e do espaço, uma vez que pode ser calculado em uma ampla variedade de climas.

Para o trabalho calculou-se o SPEI pela diferença entre a precipitação (P) e evapotranspiração potencial (ETP), estimando, assim, a descrição da severidade das condições de seca em determinadas regiões (Lee et al. 2017). Para este estudo a ETp foi estimada a partir da equação de Thornthwaite, como descrito em (OMETTO et al., 1981), de acordo com as seguintes equações (1- 4):

$$ETP = 16K \left( \frac{10T}{I} \right)^m \quad (1)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{T_i}{5} \right)^{1,514} \quad (2)$$

$$K = \left( \frac{N}{12} \right) \left( \frac{NDM}{30} \right) \quad (3)$$

$$m = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,79 \times 10^{-2} I + 0,492 \quad (4)$$

Em que: ETp é a evapotranspiração potencial; T é a temperatura média mensal (°C); I é o índice de calor, que é calculado como a soma de 12 valores mensais do índice (i); Ti é derivado da temperatura média mensal; K é um coeficiente de correção, calculado em função da latitude e mês, e m é um coeficiente baseado no índice de calor I; NDM é o número de dias do mês e N é o número máximo de horas de sol.

Dessa maneira, a medida simples do excedente ou déficit de água para o mês em análise foi expressa pela diferença ( $D_i$ ) entre a precipitação ( $P_i$ ) e a evapotranspiração potencial ( $ETP_i$ ) para o mês  $i$  obtido a partir da Equação (5):

$$D_i = P_i - ETP_i \quad (5)$$

Os valores de  $D_i$  calculados foram agregados em diferentes escalas de tempo para detecção de padrões temporais da seca (Equação 6). Sendo assim, os valores SPEI são calculados para as escalas mensal, trimestral, semestral e anual, especificados como SPEI-1, SPEI-3, SPEI-6 e SPEI-12, respectivamente.

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-1-i} - ETP_{n-1-i}), \quad n \geq k \quad (6)$$

em que:  $n$  é a frequência de cálculo e  $k$  é a escala de tempo.

O balanço hídrico, expresso por  $D_i$  é então normalizado usando a função densidade de probabilidade da distribuição log-logística para calcular a série temporal do SPEI, como segue a Equação (7):

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left( 1 + \left( \frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right)^{-2} \quad (7)$$

em que:  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  são parâmetros de escala, forma e origem, respectivamente, para valores de  $D$  no intervalo ( $\gamma > D < \infty$ ).

A função de distribuição de probabilidade  $F(x)$  da série temporal do índice  $D_i$  é então definida como Equação (8):

$$F(x) = \int_0^x f(t) dt = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^{\beta} \right]^{-1} \quad (8)$$

O SPEI (Equação 9) pode ser facilmente obtido como os valores padronizados de  $F(x)$  segundo (Serrano et al., 2010; Li et al., 2015) como:

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (9)$$

em que:  $W = (-2\ln(p))^{0.5}$ , para  $p \leq 0,5$ , sendo  $p$  a probabilidade de exceder um valor  $D$  determinado,  $p = 1 - F(x)$ . Se  $p > 0,5$ ,  $p$  é substituído por  $1 - p$  e o sinal do SPEI

resultante é invertido. As constantes são:  $C_0 = 2,515517$ ,  $C_1 = 0,802853$ ,  $C_2 = 0,010328$ ,  $d_1 = 1,432788$ ,  $d_2 = 0,189269$ ,  $d_3 = 0,001308$ .

Assim, SPEI torna-se uma variável padronizada, com média 0 e o desvio padrão 1 e pode ser comparado com outros valores de SPEI ao longo do tempo e do espaço. A Tabela 1 destaca as categorias de seca de acordo com os valores do SPEI (MCKEE et al., 1993; TAN et al., 2015).

Os autores (Mckee et al. 1993; Tan et al. 2015) classificam a seca em cinco categorias de acordo com os valores do SPEI, as quais são: sem seca ( $\geq -0,5$ ); seca suave (-1,0; -0,5); seca moderada (-1,5; -1,0); seca severa (-2,0; -1,5) e seca extrema ( $\leq -2,0$ ).

### 3.3.2. Teste de estacionaridade Dickey-Fuller

Para detecta a ordem de diferenciação da série temporal, foi realizado o teste de raiz unitária de Dickey-Fuller. O teste apresenta duas variações, o teste Dickey-Fuller (1979) e o Dickey-Fuller Aumentado (1981).

O teste de raiz unitária Dickey-Fuller (DF) basicamente estima a seguinte auto regressão:

$$\Delta y_t = (\rho - 1) y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Onde:  $\Delta y_t = (\rho - 1)$  é o operador diferença e  $\gamma = \rho - 1$ . Sendo assim, entende-se que a hipótese nula ( $H_0$ ) é de que exista pelo menos uma raiz unitária, logo a variável não é estacionária e  $\gamma = 0$ . Por sua vez, a hipótese alternativa ( $H_A$ ) é que a variável seja fracamente estacionária, nesse caso não há nenhuma raiz unitária e consequentemente  $\gamma < 0$ .

O teste de Mann-Kendall, é um teste não-paramétrico utilizado para avaliar tendências em séries temporais (YUE et al., 2002). Esse teste foi desenvolvido por Mann (1945) e Kendall (1975), pode ser obtido através das seguintes equações:

$$S = \sum_{t=1}^{n-1} \sum_{j=t+1}^n \text{sgn}(X_j - X_t) \quad (2)$$

Em que o sinal ( $X_j - X_t$ ) é obtido pela a Equação (3)

$$(3)$$

$$\text{sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (X_j - X_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (X_j - X_i) < 0 \end{cases}$$

Mann (1945) e Kendall (1975) mostraram que a estatística  $S$  é normalmente distribuída com média e variância dada pela Equação (4):

$$\begin{aligned} E[S] &= 0 \\ \text{Var}[S] &= \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \end{aligned} \quad (4)$$

O valor da estatística  $Z$  é dado pela seguinte equação:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

A hipótese nula de ausência de tendência ( $H_0$ ), é rejeitada sempre que  $|Z| > Z_{\alpha/2}$ , em que  $\alpha$  é o nível de significância adotado e  $Z_{\alpha/2}$  é o valor crítico de  $Z$  a partir da tabela padrão normal. Para o nível de significância de 5% o valor de  $Z_{\alpha/2}$  é 1.96. Os valores positivos de  $Z$  indicam tendências crescentes, enquanto que os valores negativos indicam tendências decrescentes.

#### 3.3.4. Teste de Pettitt

O teste estatístico não-paramétrico de Pettitt realiza a verificação de duas amostras  $Y_1, Y_2, \dots, Y_t$  e  $Y_{t+1}, Y_{t+2}, \dots, Y_T$ , provenientes de populações iguais. Esta metodologia é capaz de localizar o ponto onde houve uma mudança brusca na média da série temporal, além de fornecer informações acerca da homogeneidade dos dados da série analisada (PETTITT, 1979).

O estatístico  $U_t$ ,  $T$  faz uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que um membro da segunda, e pode ser escrita:

(7)

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(Y_t - Y_j)$$

para  $t = 2, \dots, T$

onde:  $\text{sgn}(x) = 1$  para  $x > 0$ ;

$\text{sgn}(x) = 0$  para  $x = 0$ ;

$\text{sgn}(x) = -1$  para  $x < 0$ .

A estatística  $U_{t,T}$  é então calculada para os valores de  $1 \leq t \leq T$  e a estatística  $k(t)$  do teste de Pettitt é o máximo valor absoluto de  $U_{t,T}$ . Esta estatística localiza o ponto onde houve uma quebra da série temporal e a sua significância pode ser calculada aproximadamente pela equação:

$$p \cong 2 \exp \left\{ -6k(t^2) / t^3 + t^2 \right\} \quad (8)$$

A Tabela (1), representa um resumo dos testes utilizados, sendo que os mesmos foram aplicados ao nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .

**Tabela 1.** Representação dos testes estatísticos

Teste de Dickey-Fuller	
H0: Há uma raiz unitária para a série.	Ha: Não há raiz unitária para a série.
Se o p-valor for menor que o nível de significância $\alpha=0,05$ , rejeitar-se H0.	
Teste de Mann-Kendall	
H0: Não há tendência na série	Ha: Há uma tendência positiva na série
Se o p-valor for menor que o nível de significância $\alpha=0,05$ , rejeitar-se H0.	
Teste de Pettitt	
H0: Os dados são homogêneos	Ha: Houver uma mudança negativa nos dados
Se o p-valor for menor que o nível de significância $\alpha=0,05$ , rejeitar-se H0.	

### 3.3.5. Metodologia de Box-Jenkins (ARIMA)

No presente trabalho foi utilizado o método ARIMA para elaborar e analisar a previsão de seca para o Estado do Rio Grande do norte. A metodologia de Box-Jenkins (1970) se refere aos modelos Autorregressivos Integrados de Médias Móveis, comumente denominados de modelos da classe geral ARIMA. Os modelos ARIMA resultam da combinação dos filtros: componente autorregressivo (AR), filtro de integração (I) e o componente de médias móveis (MA).

A modelagem de Box-Jenkins se constitui de um ciclo, permitindo ao fim determinar o melhor modelo predictor com base nas características de autocorrelação da série estudada. Os procedimentos abordados são: (i) identificação: nesta etapa é determinado o modelo para representar a série; (ii) estimação: são estimados os parâmetros autorregressivos e de médias móveis; (iii) validação: verificação da

adequação do modelo ajustado ao comportamento real da série; (iv) previsão: tal etapa é realizada quando as demais anteriores são satisfatoriamente atendidas (KIRCHNER et al., 2011; NORONHA et al., 2016; MARASCA et al., 2017).

Os modelos ARIMA (p, d, q), genericamente, são representados pela Equação (9):

$$\phi(B)\Delta^d X_t = \theta(B)a_t \quad (9)$$

Em que B representa o operador retroativo, d o número de diferenciações,  $\phi$  o parâmetro autorregressivo de ordem p,  $\theta$  o termo de médias móveis de ordem q (SOUZA et al., 2011).

Para medir o ajuste do modelo escolhido, os critérios Akaike Information Criteria - AIC (AKAIKE, 1973) e Bayesian Information Criteria – BIC (Schwarz, 1978) são utilizados como parâmetros na seleção do modelo final entre os modelos ARIMA possíveis ajustados.

Tais critérios são considerados penalizadores, pois levam em consideração o número de parâmetros dos modelos e a variância dos erros gerados, dessa forma o modelo que apresentar menores valores para os critérios e AIC e BIC terá o melhor ajuste (MORETIN, 2008).

Os critérios de AIC e BIC são definidos pelas seguintes Equações (10) e (11):

$$AIC(p, q) = \ln\sigma_{p,q}^2 + \frac{2(p + q)}{n} \quad (10)$$

$$BIC(p, q) = \ln\sigma_{p,q}^2 (p + q) \frac{\ln N}{N} \quad (11)$$

Em que: p e q são os parâmetros conhecidos, n é o tamanho da amostra, ln o logaritmo neperiano e  $\sigma^2$  a variância estimada dos erros.

### 3.3.6. Parâmetros usados na validação do modelo.

Para avaliar a precisão de um modelo de previsão, alguns métodos são usados para confirmar a validade de um modelo, comparando os resultados estimados com os dados reais da série, para esse trabalho foram usados os parâmetros estatísticos, para análise da quantificação dos erros proporcionados pelas estimativas, foram utilizados o Erro Médio (EM), o e para análise de confiança foram usados os Coeficientes de Determinação ( $r^2$ ) e Correlação (r) de Pearson (SANTHI et al., 2001)

O Erro Médio (EM) mede o valor médio de erro de acordo com a diferença entre os valores obtidos nos métodos que se deseja avaliar e os valores do método que se tomou como parâmetro, indicando assim possíveis tendências de subestimativas ou superestimativas do modelo, e é calculado pela seguinte Equação:

$$EM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - O_i) \quad (12)$$

em que,  $O_i$  é o valor tido como referência para o observado;  $S_i$ , o evento simulado pelo modelo; e  $N$ , o número de eventos. Este índice é dado nas mesmas dimensões que a variável analisada.

O coeficiente de correlação linear de Pearson  $r$  Eq. (13) é uma medida estatística usada para avaliar a intensidade da associação linear entre duas variáveis. O coeficiente de correlação  $r$  varia entre  $-1$  e  $1$ , sendo quanto mais próximo de  $1$  e  $-1$  maior é a tendência de relação linear positiva (diretamente correlacionadas) e negativa (inversamente correlacionada) respectivamente e quando estiver próximo de zero indica ausência de correlação linear entre as variáveis.

O coeficiente de determinação  $r^2$  permite avaliar o quanto o modelo reflete a variância entre os valores observados e simulados (SANTHI et al. 2001). O coeficiente de determinação é o quadrado do coeficiente de correlação e informa que fração da variabilidade de uma característica é explicada estatisticamente pela outra variável (Callegari-Jacques, 2003). Para o coeficiente de determinação se os valores forem iguais ou muito próximos de zero, a previsão do modelo será considerada inaceitável ou ruim, e para valores iguais a um, a simulação do modelo é perfeita (SANTHI et al., 2001).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S}_i) \times (O_i - \bar{O}_i)}{\sqrt{[\sum_{i=1}^N [\sum (O_i - \bar{O}_i)^2] \times \sum_{i=1}^N [\sum (S_i - \bar{S}_i)^2] ]}} \quad (13)$$

Callegari-Jacques (2003) destaca que uma vez determinada a existência de correlação entre variáveis, pode-se avalia-la qualitativamente quanto à intensidade usando o critério apresentado na Tabela 2:

**Tabela 2** - Critérios adotados para avaliação qualitativa do grau de correlação entre duas variáveis

Valor de $ r $	A correlação é dita
0	Nula
$0 <  r  < 0,3$	Fraca
$0,3 \leq  r  < 0,6$	Regular
$0,6 \leq  r  < 0,9$	Forte
$0,9 \leq  r  < 1$	Muito forte
1	Plena ou perfeita

Fonte: CALLEGARI-JACQUES, 2003.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes de Dickey-Fuller, Mann-Kendall e Pettitt foram aplicados para todos os grupos definidos por Lima et al. (2019), que aplicou a análise de agrupamento para e identificar as localidade mais úmidas e mais seca do estado, e para toda a série temporal do SPEI-24, a fim de avaliar se a variável utilizada segue um processo estocástico estacionário, assim como para verificar se a série possui tendência.

A Tabela 4 apresenta os resultados do teste Dickey-Fuller, no qual a hipótese nula ( $H_0$ ), de que a série testada possui raiz unitária, é rejeitada para os cinco grupos em questão ao nível de significância a 5%. Para o teste de tendência de Mann-Kendall os grupos G2 e G3 mostraram valores que representam uma tendência positiva e os grupos G1, G4, e G5 apresentaram uma valores que representam tendência negativa na série, indicando um aumento de seca, o teste foi realizado a um nível de significância de 5%, no qual a hipótese nula ( $H_0$ ), é rejeitada para os grupos G1 e G3, e é aceita para os demais.

Assim como é possível verificar a diferença entre as medias de  $\mu_1$  e  $\mu_2$  as quais foram negativas para os cinco grupos e o p-valor que para esses teste foi  $< 0,05$ , rejeitando assim a hipótese nula  $H_0$ , assim como o momento em que foi identificada a quebra estrutural da série, constatando períodos com comportamentos distintos na série, é notório que essa ruptura ocorreu entre as décadas de 1980 e 1990, que pode ser observado na Figura 2.

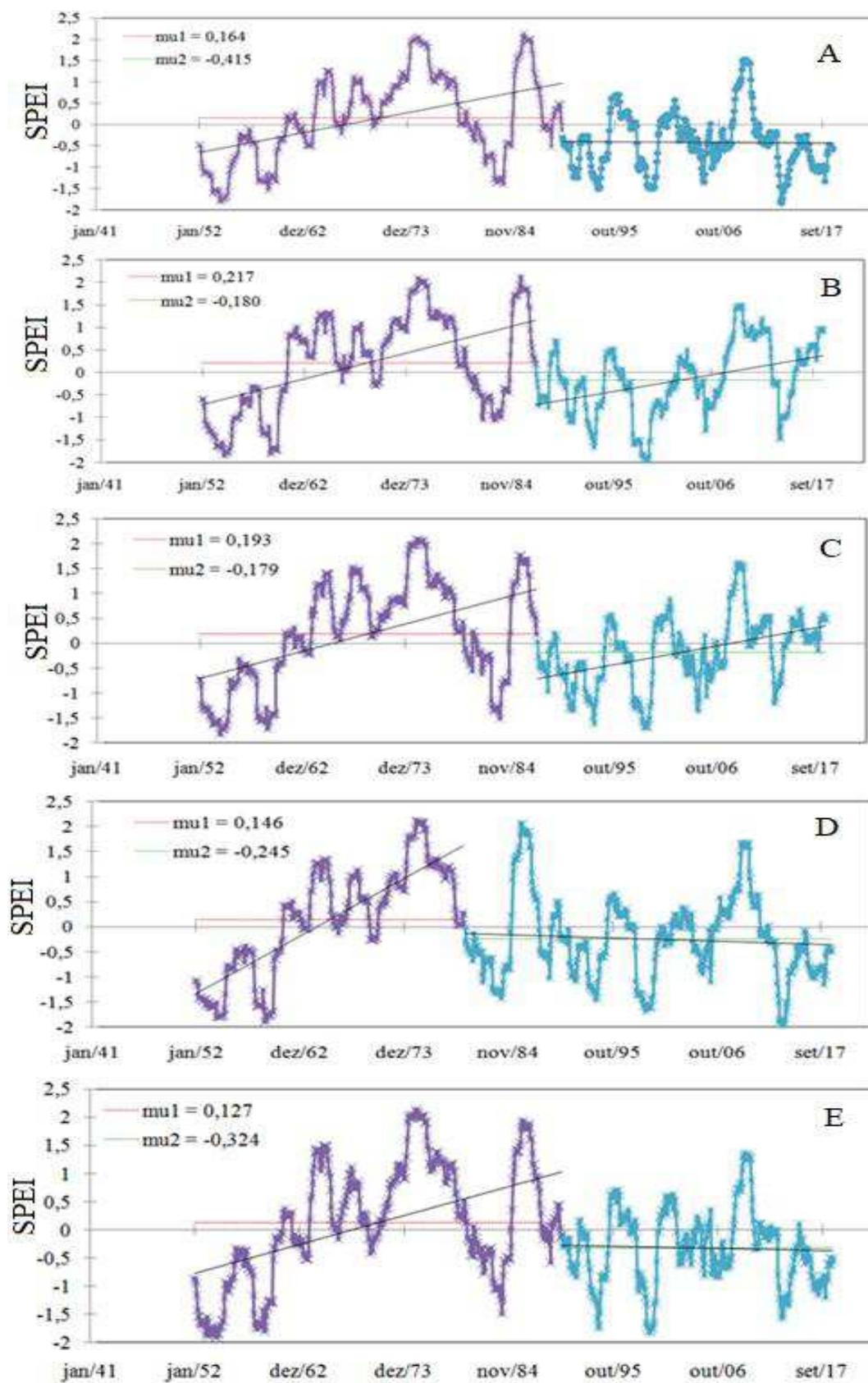
**Tabela 3.** Resultados dos testes de Pettitt, Mann-Kendall e Dickey-Fuller

Grupos	Dickey-Fuller	Mann-Kendall		Pettitt			
	p-valor	p-valor	p-valor	t	mu1	mu2	diferença
G1	0,0070	0,0008	<0.0001	abr/90	0.164	-0.415	-0.579
G2	0,0094	0,1024	<0.0001	dez/87	0.217	-0.18	-0.397
G3	0,0113	0,0357	<0.0001	jan/88	0.193	-0.179	-0.372
G4	0,0061	0,1549	<0.0001	mai/80	0.146	-0.245	-0.391
G5	0,0033	0,0974	<0.0001	jun/90	0.127	-0.324	-0.451

Através dos resultados alcançados por meio do teste de Pettitt constata-se que em todos os grupos os valores obtidos foram positivos, e ocorreu uma quebra estrutural, representando uma mudança brusca no comportamento da série.

Conforme a Figura 2 percebe-se o comportamento da série histórica quando aplicado o teste de Pettitt, no existe uma a ruptura na série evidenciando assim uma mudança significativa do comportamento dos valores do SPEI-24, essa ruptura permite a identificação do ponto de mudança de tendência na série histórica para os cinco grupos analisados, essa alteração permite identificar a mudança de um período úmido para um período seco.

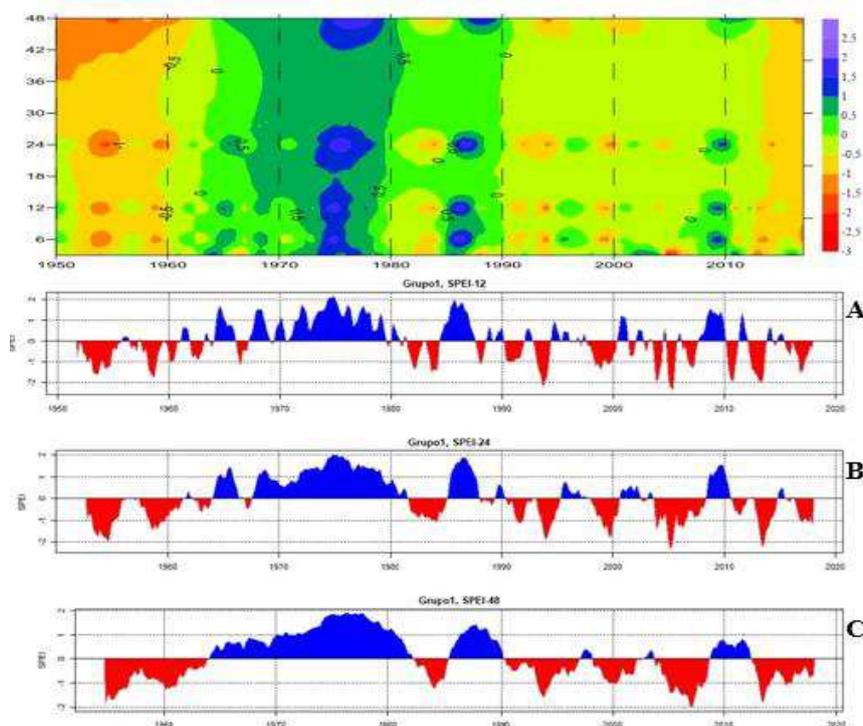
Nota-se que no período anterior a ruptura todos os valores das medias eram positivos apresentando uma tendência positiva, caso contrário ocorre com os valores após a ruptura em que esses passaram a ser negativos evidenciando uma tendência de seca para todos os grupos, com ênfase para o G4.



**Figura 2.** Resposta da aplicação do teste de Pettitt para os cinco grupos, através de dados do SPEI-24.

A distribuição da variabilidade temporal acumulada dos valores do SPEI-12 (A), do SPEI-24 (B) e SPEI-48 (C) para o Grupo 1 pode ser vista mediante a Figura 3, sendo notório a tendência de seca ao longo do período em análise, se mostrando presente em todas as escalas de tempo no período de 1950-1960 e 2012-2018, sendo que a maior magnitude de seca foi identificada no período de 1950-1960 com os valores do índice entre (-1,0 a -1,5) na escala de tempo dos SPEI36 ao SPEI-48. Em escalas de tempo menores do SPEI-6 ao SPEI-18 é notório a existência de episódios de seca com frequência similar, porém com menor intensidade, em que os valores do SPEI variam de (0 a -0,5).

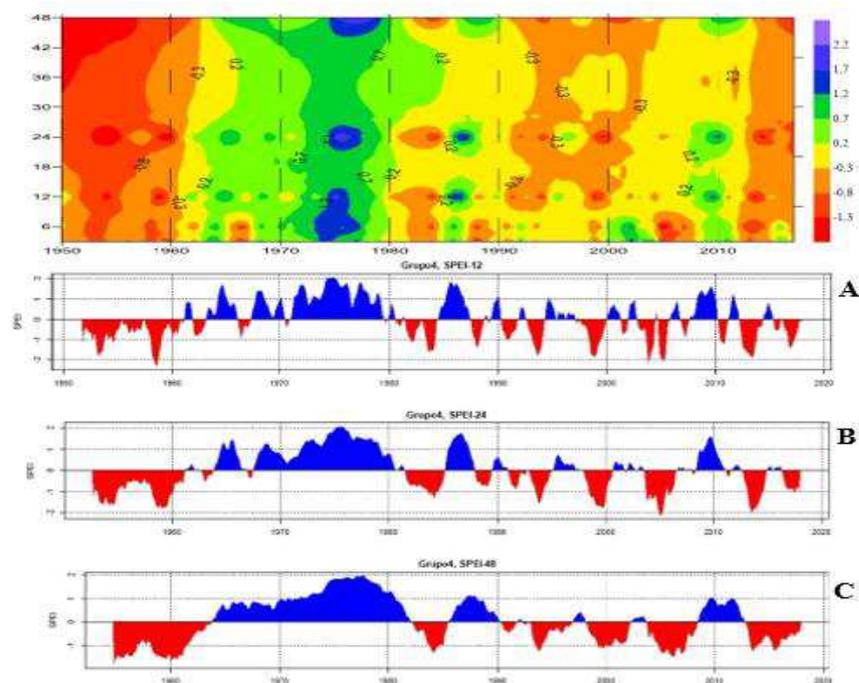
Mediante análise é possível constatar a presença de períodos úmidos bem significativos, esse período é identificado para toda as escalas de tempo do SPEI, durante um intervalo de tempo que abrange as décadas de 1960 a 2010, no entanto, é notório que as décadas de 1970-1980 retrata o período com maior volumes de precipitação caracterizando a época mais úmida da série, com valores variando de (1,0 a 2,5), assim como pode ser observado nas figuras 3(a), 3(b) e 3(c). Resultados semelhantes foram encontrados por Cunha et al. (2018) ao analisar mudanças nos padrões espaço-temporais das secas no Nordeste brasileiro. Os autores afirmam que esses episódios de seca estão relacionados ao fenômeno de El Niño.



**Figura 3.** Distribuição da variabilidade temporal acumulada dos valores do SPEI-12 (A), do SPEI-24 (B) e SPEI-48 (C) no período de 1952 a 2018 para o Grupo 1.

Conforme a Figura 4 é possível verificar a presença de episódios de seca com maior frequência, sendo evidente uma evolução desses episódios de maneira gradual que nas escalas de tempo dos SPEI-6 ao SPEI-48, com maior sinal negativo para a década de 1950, assim como para os anos, a saber, 1990-2008 e 2012-2018, nota-se que a seca se intensifica aumentando sua severidade no espaço de tempo que correspondendo ao SPEI-36 ao SPEI-48 para o período de 1950-1955 e 2012-2018, com valores do índice variando entre (-1,0 a -1,3). Através de escalas de tempo mais longas é evidente a formação de padrões de seca, como pode ser observado nas figuras 4(a), 4(b) e 4(c).

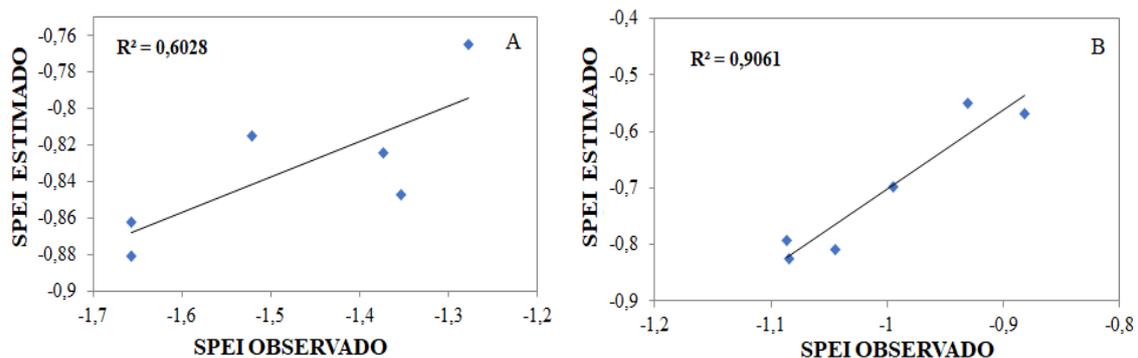
É notório a existência de períodos úmidos para esse grupo, porém bem menores quando comparados ao G1, abrangendo toda a década de 1970, com maior evidencia para as escalas de tempo do SPEI-6, SPEI-12, SPEI-24 e o SPEI-48, mais precisamente entre os anos de 1974-1978, assim como o ano de 1985 e 2010, com valores do índice oscilando entre (1,2 e 2,2). Comportamento similares foram vistos por Marengo et al. (2017), ao analisar as secas no nordeste do Brasil para o passado, presente e futuro, os autores afirmam que a intensificação das secas em 2012 ocorreu devido ao aquecimento do oceano atlântico norte.



**Figura 4.** Distribuição da variabilidade temporal acumulada dos valores do SPE-12 (A), do SPEI-24 (B) e SPEI-48 (C) no período de 1952 a 2018 para o Grupo 4.

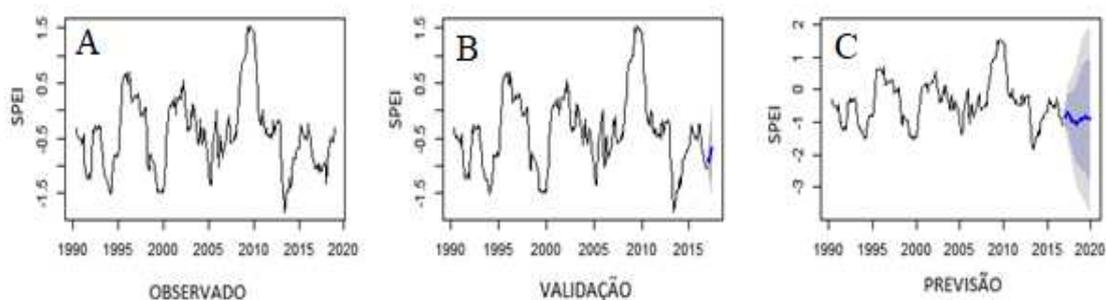
Ao analisar os valores dos coeficientes de determinação (Figura 5) é possível verificar que, os resultados obtidos indicam as melhores precisões das estimativas do

modelo ARIMA foi para o G4 Figura 5(b), que apresentou o valor de 0,0961, em contrapartida o G1 apresentou maior grau de dispersão entre os valores da simulação do modelo ARIMA com o valor de 0,6028 Figura 5(a). Mediante análise é notório que os valores estimados superestimaram os valores observados, mesmo assim os valores são considerados são aceitáveis para o modelo de precisão utilizado.



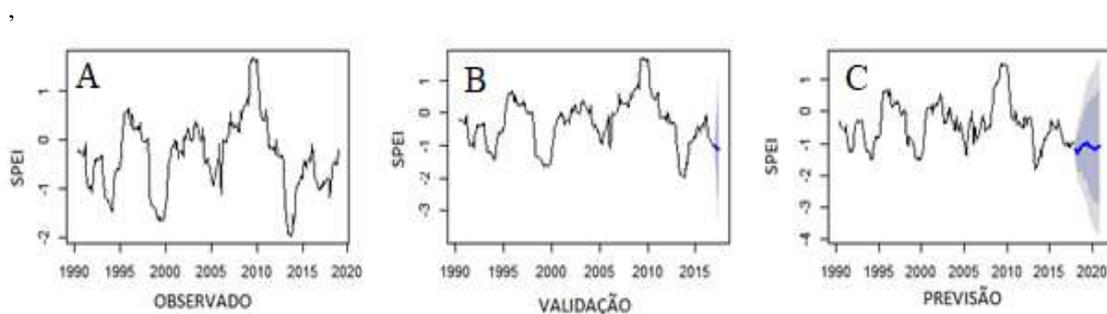
**Figura 5.** Comparação da estimativa da previsão com valores estimados do SPEI-24. Para o G1(A) e o G4 (B) no período de janeiro de 2017 a julho de 2017.

Através da Figura 6(a), 6(b) e 6(c), pode-se analisar os resultados para a comparação entre a previsão do modelo ARIMA e a série temporal observada no período de janeiro de 1952 até novembro de 2018 para o grupo em estudo. De acordo com a análise o G1 possui um ajuste significativo, podendo considera a previsão válida para esse grupo, vale destacar que a série prevista segue um padrão da série validada assim como da série observada. Espera-se que para esse grupo os valores previstos sejam abaixo da média. Ao explorar o comportamento de séries temporais de precipitações, visando a elaboração de previsões sazonais para o Brasil os autores Lucio et. al (2010) encontraram resultados similares em que as estimativas da precipitação são aceitáveis dentro do âmbito meteorológico.



**Figura 6.** Série temporal observada em todo período (A), série para validação do modelo de previsão ARIMA (B) e a série prevista pelo modelo ARIMA para o período de 36 meses (C) para o G1.

Através das Figuras 7(a), 7(b) e 7(c), é possível verificar o período observado o validado e a previsão para o G4. Onde é notório que o período previsto segue um padrão similar ao período observado e como também o período validado, a previsão realizada pra o período de 36 meses foi validada com um período de 6 meses e obteve um resultado bem positivo. Diante disso o modelo pode ser considerado viável para a realização desse tipo de previsão. Os autores Camelo et al, 2017 ao realizar um estudo de previsão de média mensal de velocidade do vento em regiões do nordeste brasileiro obtiveram semelhantes resultados podendo afirmar que o modelo de previsão pode ser considerado ideal nas regiões de estudo.



**Figura 7.** Série temporal observada em todo período (A), série para validação do modelo de previsão ARIMA (B) e a série prevista pelo modelo ARIMA para o período de 36 meses (C) para o G4.

#### **4. CONCLUSÃO**

Mediante os resultados obtidos, é possível identificar e compreender a distribuição das secas para os grupos G1 e G4 no período de 1952 a 2018 a partir de dados do SPEI-24, em que se pode comprovar que o G1 apresenta condições de seca menos intensa, com poucos episódios de seca hidrologia, assim como reflete longos períodos úmidos. Em contrapartida o G4 retrata longos períodos de deficiência hídrica, caracterizado uma maior frequência de episódios de seca hidrológica, causando impactos no setor agrícola assim como, afetando a disponibilidade hídrica para a população.

Através da aplicação do modelo de previsão ARIMA foi possível verificar que os dois grupos analisados apresentaram ajustes significativos, é possível afirmar que a série temporal prevista consegue acompanhar o perfil da série temporal observada considerando o modelo ideal para a região estudada.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, J. A., NUNES, M. A. Acesso à Água no Semiárido: uma análise das políticas públicas implementadas na região. Revista Espinhaço, v. 3, n. 2. p. 28-39, 2014.

BRITO, S.S.B.; CUNHA, A.P.M.A.; CUNNINGHAM, C.C.; ALVALÁ, R.C.; MARENGO, J.A.; CARVALHO, M.A. Frequency, duration and severity of drought in the semiarid Northeast Brazil region. International Journal of Climatology, 38, 517–529, 2017.

CAMURÇA, C. E.; ALENCAR, A.; CIDADE, E.; XIMENES, V. (2016). Implicações psicossociais da seca na vida de moradores de um município da zona rural do nordeste do Brasil. Avances em Psicología Latinoamericana, 34(1), 117-128.

CUNHA, A. P. M. A.; TOMASELLA, J.; RIBEIRO-NETO, G.G.; GRACIA, M. B. S. R.; BRITO, S. B.; CARVALHO, M. A. Changes in the spatial–temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. Atmospheric Science Letters, V.19, e.10, 2018.

FAVA, V. L.; Análise de séries de tempo. In: VASCONSELOS, M. A. S.; ALVES, Denisard (Org.). Manual de Econometria: nível intermediário. São Paulo: Atlas, p. 199-203, 2000.

FIGUEIREDO, S. C. S., SARAIVA JÚNIOR, J. C., FIGUEIREDO, J. S. Política de combate dos efeitos da seca no Semiárido potiguar: o caso de Riacho do sangue em Macaíba/RN, 2002-2010. Caderno de Geografia. v. 26, n. 45, 2016.

GLOBAL SPEI database. Disponível em: <https://spei.csic.es/database.html>. Acesso em: mar 2019.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. Annales Geophysicae, Berlin, v. 4, n. B4, p. 385-400, 1986.

KENDALL M. Rank Correlation Measures. Charles Griffin: London, U.K, p.220. 1975.

- MANN H. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245 – 259. 1945.
- ZHANG, W; YAN, Y; ZHENG, J; LI, L; DONG, X; CAI, H. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. *Global and Planetary Change* 69:35-47. 2009.
- LIMA, S. L.; SILVA, M. T.; SOUSA, W. G.; Silva, M. S.; ANDRADE, A. S.; MELO, M. M. M. S. Space and temporal episode standards dry in the State of Rio Grande do Norte. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v.9, n.6, p. 330-342, 2019.
- LÚCIO, P. S.; SILVA, F. D. S.; FORTES, L. T. G.; SANTOS, L. A. R.; FERREIRA, D. B.; SALVADOR, M. A.; BALBINO, H. T.; SARMANHO, G. F.; SANTOS, L. S. F. C.; LUCAS, E. W. M.; BARBOSA, T. F.; DIAS, P. L. S. Um modelo estocástico combinado de previsão sazonal para a precipitação no BRASIL. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n.1, 70 - 87, 2010.
- MADDALA, G. S. *Introdução à econometria*. 3a. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- MAIA, A. L. S.; CRIBARI-NETO, F. Dinâmica inflacionária brasileira: resultados de auto regressão quantílica. *Revista Brasileira de Economia*, v.60, n.2, p. 153-165, 2006.
- MARGARIDO, M. A; JUNIOR, H. M. Teste para mais de uma raiz unitária: uso do software SAS® na elaboração de uma rotina para o teste Dickey-pantula. *Revista Pesquisa & Debate*, v.17, n.1, p. 149-170, 2006.
- MARENGO, J.A.; TORRES, R.R.; ALVES L.M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 129, p. 1189–1200, 2017.
- NEETI, N; EASTMAN, J.R. A Contextual Mann-Kendall Approach for the Assessment of Trend Significance in Image Time Series. *Transactions in GIS*, 15(5): 599-611. 2011.
- PETTITT, A. N. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. *Applied Statistics*, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. *Econometria: modelos & previsões*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

SOLH, M.; GINKEL, M. Drought preparedness and drought mitigation in the developing world's drylands. *Weather and Climate Extremes*, v.3, n.1, p. 62-66, 2014.

VICENTE-SERRANO, S.M.; BEGUERIA, S.; LORENZOLACRUZ, J.; CAMARERO, J.J.; LOPEZ-MORENO, J.I.; AZORIN-MOLINA, C.; REVUELTO, J.; MORONTEJEDA, E.; SANCHEZ-LORENZO, A. Performance of drought indices for ecological, agricultural and hydrological applications. *Earth Interact*, v. 16, n. 1, p. 1-27, 2012.

VICENTE-SERRANO, S.M.; BEGUERIA, S.; LOPEZMORENO, J.I. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, v. 23, p. 1696-1718, 2010.

YUE S., PILON P., CAVADIAS G. Power of the Mann-Kendall and Spearman'S rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259, 254 – 271. 2002.

## CAPÍTULO 4

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante a disposição dos resultados pode se entender como se comportou os episódios de seca em todo o estado do Rio Grande do Norte no período de 1950 a 2018. A utilização da análise de agrupamento através do método de K-means apresentou bom desempenho para caracterização de regiões homogêneas, associado ao índice de seca SPEI-3 possibilitou identificar e determinar os tipos de seca que são mais frequentes em todo o estado, devido a praticidade e característica multi-escalar do índice para quantificar e determinar os períodos úmidos e secos.

Ao analisar a atuação da seca nas escalas sazonal e mensal foi verificado que a estação da primavera referente aos meses de setembro, outubro e novembro apresenta os maiores valores assim como as maiores amplitudes, caracterizando os meses e a estação mais seca do estado.

De acordo com a classificação do SPEI-3 foram identificados assim os tipos de seca que são mais presentes no estado, a saber, a seca moderada que apresentou a maior quantidade de episódios atuando de forma menos intensa, e a seca extrema que é menos frequente porém sua atuação é mais intensa, na escala de tempo de 3 meses caracteriza as secas meteorológica e a seca agrícola.

Os grupos G1 e G4 foram caracterizados com o mais úmido(G1) e o mais seco (G4) de acordo com a identificação e distribuição dos tipos de seca, sendo o G1 o grupo que apresentou as condições de seca menos intensa, mesmo diante dessas condições esse grupo apresentou episódios de seca hidrológica, é importante citar a existência de longos períodos úmidos. O G4 apresentou condições de seca intensa em decorrência de longos períodos sem precipitação. Esse grupo se destacou pela grande quantidade de episódios de seca hidrológica.

A utilização da metodologia Box – Jenkins para a previsão de seca no estado do Rio Grande do Norte mostrou uma predominância para a aplicação do modelo SARIMA. Com esse resultado é possível afirmar que o modelo de previsão foi eficiente na região estudada, sendo que a utilização da componente sazonal do modelo ARIMA é de suma importância pois ajuda na redução de erros eventuais.

Para os grupos analisados foi evidente que a previsão para o G1 é de que as médias seguintes sejam abaixo da média, caso contrário acontece para o G4 em que as próximas médias tendem a ser acima da média. É importante citar que nenhum modelo pode ser

considerado ideal, tendo em vista que ajuste sempre são necessários para diminuição de eventuais erros e obtenção de resultados positivos.