Space and temporal episode standards dry in the State of Rio Grande do Norte

Santana L. de Lima^{*}, Madson T. da Silva^{**}, Welinagila G. de Sousa^{***}, Mariana da S. Siqueira^{***}, Antônia S. de Andrade^{***}, Maria M. M. S. Melo^{***}

^{*}Bolsista de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande-PB, Brasil. Email: livialima24s@gmail.com (autor correspondente)

^{**}Ph.D., Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas – UACA, UFCG, Campina Grande-PB, Brasil

^{***}Bolsista de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, UFCG, Campina Grande-PB, Brasil

Received 21 August 2019, accepted 30 October 2019

Abstract

As droughts represent the most complex and harmful type of natural disaster, this has been affecting the state of Rio Grande do Norte for many years. The SPEI index is determined for different time scales, with multiple and different characteristics in different climates. Index indices (SPEI) are calculated based on weather data from INMET stations collected from 1950 to 2018. In this study, the SPEI index was associated with multivariate cluster analysis statistics using the K-means method for a definition. homogeneous regions of drought, where 05 groups were identified by microregions of the state. This article aims to identify the types of drought that occur in the state of Rio Grande do Norte through the SPEI index and cluster analysis from 1950 to 2018. according to their classification. It was observed for all groups, and there was a higher incidence of moderate drought, significantly present in all 05 groups. The largest dry class, according to its duration not found in group G4, was already recorded in groups G1 and G5, and in groups G3 and G5, but with shorter duration. Extractions were included in the 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 poverty in the state of Rio Grande do Norte, with emphasis on group G4.

Keywords: SPEI, variability, statistics.

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. O índice SPEI é determinado para diferentes escalas de tempo, com caráter multi escalar permitindo caracterizar condições secas ou úmidas em diferentes climas. Os valores do índice (SPEI) são calculados usando dados meteorológicos de estações do INMET coletados de 1950 a 2018. 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. Este trabalho tem como objetivo identificar os tipos de seca que ocorrem no Estado do Rio Grande do Norte através do índice SPEI e da análise de agrupamento no período de 1950 a 2018. 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 nos 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.

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 14 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 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), considerado um índice universal que permite comparações de condições de seca em diferentes regiões climáticas e em diferentes escalas de tempo.

Nesse contexto esse trabalho tem como objetivo identificar os tipos de seca que ocorrem no Estado do Rio Grande do Norte através do índice SPEI3 e da análise de agrupamento no período de 1950 a 2018.

2. Material e métodos

Caracterizações da Área de Estudo

A área de estudo compreende o estado do Rio Grande do Norte, 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°49'53''S e 6°58'57''S e os meridianos 35°58'03''W e 38°36'12''W (IDEMA, 2010).

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 km², 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).

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 (1948), pode-se dividir o Estado do Rio Grande do Norte em três tipos de clima: tropical úmido

(As'), tropical semiúmido (Aw') e semiárido quente (BSh), 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. 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.

Figura 1- Localização da área de estudo. Fonte: Autor (2019).

Existem grandes variedades de formas no relevo nesse estado, sendo as principais: a Planície Costeira, as Planícies Fluviais, os Tabuleiros Costeiros, a Depressão Sublitorânea, o Planalto da Borborema, a Depressão Sertaneja, a Chapada do Apodi, a Chapada da Serra Verde.

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. 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).

Dados

Para esse estudo foram utilizados 28 dados de pontos de grade com uma distância de 38 quilômetros entre eles, obtidos de dados de reanálises do Climate Forecast System Reanalysis (CFSR), e foram utilizadas séries temporais do período de 1950-2018.

Índice padronizado de precipitação e evapotranspiração (SPEI)

O índice padronizado de precipitação e evapotranspiração SPEI foi desenvolvido por Vicente-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 devido trabalho calcula-se o SPEI pela diferença entre a precipitação (P) e evapotranspiração potencial (PET), estimado assim para descrever a 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). Dessa maneira, a medida simples do excedente ou déficit de água para o mês em análise foi expressa pela diferença (Di) entre a precipitação (Pi) e

a evapotranspiração potencial (ETPi) para o mês i obtido a partir da (Eq. 1):

$$D_i = P_i - ETP_i \quad (1)$$

Os valores de D_i calculados foram agregados em diferentes escalas de tempo para detecção de padrões temporais da seca (Eq. 2). 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.

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-1} - ETP_{n-i}), \quad n \geq k \quad (2)$$

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 Eq. (3)

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left(1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right)^{-2} \quad (3)$$

em que: α , β e γ 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 Eq. (4):

$$F(x) = \int_0^x f(t)dt = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma} \right)^{\beta} \right]^{-1} \quad (4)$$

O SPEI (Eq. 5) pode ser facilmente obtido como os valores padronizados de $F(x)$ segundo (Vicente-Serrano, 2010 e Li et al., 2015) como:

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (5)$$

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 e Tan et al., 2015).

Tabela 1 - Classificação da seca baseada no índice 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	$\leq -2,0$

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 (2018), citam que os agrupamentos são um dos métodos de análise de dados mais utilizados para inúmeras aplicações práticas em diversas áreas de pesquisa. Os mesmos autores definem Análise de Agrupamentos como um 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.

Dentre os métodos de agrupamento existentes o que será usado para o seguinte estudo é o método de K-means. 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 K-means, baseado na distância euclidiana, tendo como critério de agregação o centróide (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 heurísticamente, até alcançar um equilíbrio estático (Hair et al., 2005). O critério de agrupamento K-means é descrito pela Eq. (6):

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

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.

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.

É possível verificar na Figura 2 o padrão da variabilidade média mensal dos valores de SPEI3 para o Estado do Rio Grande do Norte, no período de 1950 a 2018. As médias mensais foram estimadas para quantificar os períodos de maior ocorrência de seca para a área em estudo. Diante do exposto foi possível observar que os meses de abril e maio apresentam as menores amplitudes, (0,904) para abril e (0,1019) para o mês de maio. 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 obtiveram as maiores amplitudes com (0,2748) em outubro e (0,3224) para o mês de novembro, o mesmo autor afirma que tal fato pode ser explicado por se tratar dos meses com os menores acumulados de precipitação no Estado.

Figura 2- Variabilidade média mensal dos valores de SPEI3 para o Estado do Rio Grande do Norte no período de 1950 a 2018. (Fonte: Autor, 2019).

É possível observar na Figura 3 a variabilidade sazonal dos valores de SPEI3 para o Estado do Rio Grande do Norte no período de 1950 a 2018. A média dos valores trimestrais foi calculada para dimensionar os períodos com maiores incrementos de seca na região. Mediante essa análise foi possível observar que a estação que remete a primavera (SON) apresenta os maiores valores do índice SPEI3 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 SPEI3, e a menor amplitude (0,0861) diante disso essa estação pode ser considerada a mais chuvosa do Estado.

Figura 3- Variabilidade média sazonal dos valores de SPEI3 para o Estado do Rio Grande do Norte no período de 1950 a 2018. (Fonte: Autor, 2019).

Através da análise de agrupamento pelo método de K-means com os valores do SPEI3 foram determinados cinco grupos. Os grupos foram divididos por microrregiões que apresentam uma variabilidade no padrão de incidência de secas, 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 é possível verificar a distribuição espacial dos grupos homogêneos mediante os valores do SPEI3. Nota-se que o G1 é composto por seis microrregiões, onde cinco estão localizadas na porção 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.

Através da Figura 5 é possível verificar 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 quantidades 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 4 - Grupos homogêneos de distribuição de seca para o Estado do Rio Grande do Norte pelo método K-means para o SPEI3. (Fonte: Autor, 2019).

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).

De acordo com a Figura 6 é possível observar a distribuição espacial da precipitação e evapotranspiração no Estado do Rio Grande do Norte. 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. A evapotranspiração varia de 85 a 145 mm, mas se apresenta de forma uniforme com uma média de aproximadamente 125 mm para todo Estado.

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

De acordo com Diniz e Pereira (2015) os mecanismos de microescala e 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 está 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 a diminuição dos níveis de umidade e, conseqüentemente, a diminuição da precipitação. Fato esse pode vir a explicar a variabilidade de precipitação no Estado.

A partir da Figura 7 pode-se observar que em todos os 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, onde os quais apresentaram uma

maior concentração de episódios de seca. 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.

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. (Fonte: Autor, 2019)

Mediante estudo é possível observar que as microrregiões que são consideradas as mais secas do Estado 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. Através da Tabela 2 é possível verificar a contagem dos episódios de seca de acordo com a classificação do índice SPEI-3 para o G1 e G2. Para o G1 se destaca a maior ocorrência das

secas suave e moderada, a contagem apresenta 23 episódios seca moderada (33,3%) e 17 de seca suave (24,6%) para G1. No G2 houve maior ocorrência de episódios que não apresenta seca, totalizando 20 ocorrências (28,9%) e 18 episódios de seca moderada (26%).

Tabela 2 - Contagem dos episódios de seca, para os grupos G1 e G2, de acordo com o índice SPEI, para o período de 1950 a 2018.

G1					G2				
Não seca	Seca suave	Seca moderada	Seca severa	Seca extrema	Não seca	Seca suave	Seca moderada	Seca severa	Seca extrema
1950	1955	1952	1951	2003	1961	1950	1952	1951	1958
1964	1956	1959	1953	2004	1964	1955	1954	1953	1988
1971	1961	1962	1954	2005	1968	1956	1957	1960	1998
1972	1965	1963	1957	2013	1971	1959	1966	1981	2003
1973	1967	1966	1958	2018	1972	1962	1967	1983	
1974	1968	1979	1960		1973	1963	1970	1987	
1975	1969	1981	1988		1974	1965	1979	1990	
1976	1970	1983	1993		1975	1969	1980	1993	
1977	1980	1984	1998		1976	1989	1984	1996	
1978	1982	1987	1999		1977	1994	1991	1999	
1985	1994	1989	2006		1978	2000	1992	2004	
1986	2000	1990	2010		1982	2010	1995	2005	
	2007	1991	2012		1985	2014	1997	2006	
	2008	1992	2016		1986	2016	2001		
	2009	1995			2008		2002		
	2011	1996			2009		2007		
	2014	1997			2011		2012		
		2001			2015		2013		
		2002			2017				
		2015			2018				
		2017							

A Tabela 3 mostra a contagem dos eventos de seca para os grupos G3 e G4 de acordo com a classificação do índice SPEI3. É possível observar que há uma maior concentração de episódios que não apresentam secas, totalizando 19 ocorrências (27,5%) e 17 de seca moderada (24,6) no G3. Para o G4 se destaca a maior ocorrência das secas suave e moderada, a contagem apresenta 29 episódios de seca moderada (42%) e 16 de seca suave (23,1%) para G4. As

microrregiões que fazem parte do G4 grupos são caracterizadas como as mais secas do Estado de acordo com os valores do índice SPEI, tal fato acontece, pois, as mesmas são as que passam maiores períodos de tempo sobre o efeito desse fenômeno. Os grupos G3 e G4 estão localizados no trecho mais seco que ocorre no litoral setentrional se prolonga para região central do estado, onde também estão inseridos os municípios com os menores acumulados de precipitação.

Tabela 3 - Contagem dos episódios de seca, para os grupos G3 e G4, de acordo com o índice SPEI, para o período de 1950 a 2018.

G3					G4				
Não seca	Seca suave	Seca moderada	Seca severa	Seca extrema	Não seca	Seca suave	Seca moderada	Seca severa	Seca extrema
1961	1950	1952	1951	1958	1968	1961	1950	1951	2002
1964	1955	1956	1953	1997	1970	1963	1954	1952	2003
1968	1959	1963	1954	1998	1971	1964	1955	1953	2004
1969	1962	1966	1960	2003	1972	1967	1956	1957	2005
1971	1965	1980	1990	2004	1973	1969	1959	1958	2018
1972	1967	1981	1993	2005	1974	1978	1960	1997	
1973	1970	1982	1996	2006	1975	1984	1962	1998	
1974	1979	1983	1999		1976	1986	1965	2012	
1975	1992	1984	2010		1977	1994	1966	2017	
1976	1994	1987	2012		1985	1995	1979		
1977	1995	1988				1996	1980		
1978	2007	1989				2000	1981		
1985	2009	1991				2007	1982		
1986	2015	1997				2008	1983		
2000	2016	2001				2010	1987		
2008	2018	2002				2012	1988		
2011		2013					1989		
2014							1990		
2017							1991		
							1992		
							1993		
							1999		
							2001		
							2006		
							2009		
							2011		
							2013		
							2015		
							2016		

Através da Tabela 4 é possível verificar a contagem dos episódios de seca de acordo com a classificação do índice SPEI3 para o G5. Para esse grupo se destaca a maior ocorrência das secas suave e moderada, houve maior ocorrência de episódios de seca moderada no total de 20 ocorrências (29%), para a seca suave a contagem apresentou 17 episódios (24,6%).

Diversos estudos sobre o fenômeno da seca vêm sendo desenvolvidos, podendo citar: Zhao et al. (2018), Guedes et al. (2012) e Macedo (2010). Conhecer o comportamento da seca é de extrema

importância, principalmente no tocante a sua intensidade e duração. Tal conhecimento se torna de suma importância para auxiliar na distribuição dos recursos hídricos, como a quantidade de água que será disponibilizada para setores de irrigação, indústria, consumo humano e para o setor agropecuário, como também na gestão e controle de produção agrícola do estado. Esse estudo também servirá como base para identificar possíveis núcleos de desertificação nas microrregiões com maior incidência de eventos de seca.

Tabela 4. Contagem dos episódios de seca, para o grupo G5 de acordo com o índice SPEI, para o período de 1950 a 2018.

G5				
Não seca	Seca suave	Seca moderada	Seca severa	Seca extrema
1971	1950	1955	1951	1953
1972	1959	1956	1952	1993
1973	1964	1961	1954	1998
1974	1967	1962	1957	2003
1975	1969	1963	1958	2004
1977	1976	1965	1960	2005
1978	1980	1966	1983	
1985	1982	1968	1999	
1986	1989	1970	2006	
1994	1995	1979	2010	
2011	1996	1981	2012	
	1997	1984	2013	
	2000	1987	2016	
	2007	1988	2018	
	2008	1990		
	2009	1991		
	2014	1992		
	2017	2001		
		2002		
		2015		

4. Conclusões

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 simplicidade e característica multiescalar para quantificar períodos úmidos e secos.

Referências

- Ahmad, A.U., Starkey, A., 2018. Application of feature selection methods for automated clustering analysis: a review on synthetic datasets. *Neural Computing & Applications* 29, 317–328. doi: 10.1002/asi.21186
- Blain, P.G.C., Brunini, O., 2007. Análise da escala temporal de monitoramento das secas agrícolas e meteorológicas no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia* 22, 255-261.
- BNB. Banco do Nordeste do Brasil, 2014. Nordeste do Brasil: sinopse estatística 2014. BNB, Fortaleza.
- CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2016. Desertificação, degradação da terra e seca no semiárido Brasileiro. Relatório anual. Brasília.
- Diniz, M.T.M., Pereira, V.H.C., 2015. Climatologia do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil: sistemas atmosféricos atuantes e mapeamento de tipos de clima. *Revista Goiânia* 35, 488-506.
- Fernandes, D.S., Heinemann, A.B., Paz, R.L., Amorim, A.O., Cardoso, A.S., 2009. Índices para a Quantificação da Seca. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás.
- Governo do Estado do Rio Grande do Norte, 2010. Secretaria de Recursos Hídricos. Plano Estadual de Recursos Hídricos. Geopolítico: bacias hidrográficas. Governo do Estado, Rio Grande do Norte. Disponível: http://www.planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/planejamento_manejo_e_gestao_unidade_1.pdf. Acesso: 9 jul. 2019.
- Hair, J.J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L., Black, W.C. 2005. Análise Multivariada de Dados. 5. ed. Bookman, Porto Alegre.

- IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis, 2007. 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. IBAMA, Natal. Disponível: <http://www.ibama.rn.gov.br>. Acesso: 11 jul. 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Cidades. Disponível: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat>. Acesso: 11 jul. 2019.
- IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente, 2010. Anuário estatístico 2010. Governo do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte. Disponível: <http://www.idema.rn.gov.br>. Acesso: 11 jul. 2019.
- Jinyin, C., Xiang, L., Haibing, Z., Xintong, B.A., 2017. Novel cluster center fast determination clustering algorithm. *Applied Soft Computing* 57, 539–555. doi: 10.1007/s10462-012-9328-0
- Karaboga, D., Ozturk, C.A., 2011. Novel clustering approach: Artificial Bee Colony (ABC) algorithm. *Applied Soft Computing* 11, 652–657. doi: 10.1007/s10462-012-9328-0.
- Köppen, W., 1948. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Lee, S.H., Yoo, S.H., Choi, J.Y., Bae, S., 2017. Assessment of the impact of climate change on drought characteristics in the Hwanghae Plain, North Korea using time series SPI and SPEI: 1981–2100. *Water* 9, 579–598. doi:10.3390/w11102184.
- Li, X., He, B., Quan, X., Liao, Z., Bai, Z., 2015. Use of the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) to characterize the drying trend in southwest China from 1982–2012. *Remote Sensing* 7, 10917–10937.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Anaheim.
- Mishra, A.K., Singh, V.P., 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology* 391, 202–216. doi: 10.4236/ojpm.2014.33026.
- Ometto, J.C., 1981. *Bioclimatologia Vegetal*. Editora Agronômica Ceres Ltda, São Paulo.
- Osiński, S., 2003. An algorithm for clustering of web search results. Thesis (Doctoral). Poland, Poznań University of Technology.
- Roni. V.S., Macedo, M.J.H., SOUSA, F.A.S., 2012. Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* 23, 55–65.
- Serrano, S.M.V., Beguería, S., Moreno, J.I.L., 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23, 1696–1718. doi: 10.1175/2009JCLI2909.1.
- Tan, C., Yang, J., Li, M., 2015. Temporal-spatial variation of drought indicated by SPI and SPEI in Ningxia Hui autonomous region, China. *Atmosphere* 6, 1399–1421. doi:10.3390/atmos6101399.
- WMO. World Meteorological Organization, 2016. Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges.
- Zhao, Z., Zhang, Y., Liu, L., Hu, Z., 2018. The impact of drought on vegetation conditions within the damqu river basin, yangtze river source region, China. *PLoS ONE* 13. doi: 10.1371.