



ISSN = 1980-993X – doi:10.4136/1980-993X

www.ambi-agua.net

E-mail: ambi-agua@agro.unitau.br

Tel.: (12) 3625-4212



Análise do índice padronizado de precipitação para o estado da Paraíba, Brasil

(doi:10.4136/ambi-agua.130)

Maria José Herculano Macedo¹; Roni Valter de Souza Guedes²; Francisco de Assis Salviano de Sousa³; Fabiane Regina da Cunha Dantas⁴

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

E-mail: ¹mariejhm@hotmail.com; ²roniguedes84@yahoo.com.br; ³fassis@dca.ufcg.edu.br;

⁴fabiane_mat@hotmail.com

RESUMO

A seca é um dos complexos fenômenos naturais que afeta várias partes do mundo e provoca impactos sociais, econômicos e ambientais. O estudo de secas no Estado da Paraíba é justificável, visto que cerca de 80% de sua área está inserida no semiárido nordestino. Este estudo teve como objetivo subdividir o Estado da Paraíba em três sub-regiões pluviometricamente homogêneas, utilizando a Análise de Agrupamento e, em seguida, utilizar o Índice Padronizado de Precipitação (IPP) nas escalas de tempo de 12 (IPP-12) e 24 (IPP-24) meses para monitorar as secas severas e extremas nessas sub-regiões. O período chuvoso de cada um dos 49 postos pluviométricos foi obtido pela padronização da variável precipitação. Os resultados mostraram a ocorrência de secas severas para as três sub-regiões. O IPP-12 meses revelou a ocorrência de secas com maior duração no período de 1990 a 1994 nas cidades de Araruna e Coremas. O IPP-12 meses identificou, também, secas extremas com maior duração na cidade de Monteiro, sub-região do Cariri paraibano, possivelmente devido à orografia local. Já o IPP-24 meses identificou seca severa, com maior duração em Coremas no período de 1991 a 1995. Nesses períodos, essas secas foram intensificadas, possivelmente, devido à ação do fenômeno El Niño. Em suma, o IPP-12 meses e IPP-24 meses mostraram eficazes para o monitoramento de secas no Estado.

Palavras-chave: Análise de agrupamento; secas; IPP.

Analysis of the standardized precipitation index for the Paraíba state, Brazil

ABSTRACT

Drought is a complex natural phenomenon that affects various parts of the world and causes social, economic and environmental impacts. The study of droughts in Paraíba state is very important because approximately 80% of its area is in the semiarid Northeast region of Brazil. The aim of this study was to subdivide the Paraíba state in three rainfall homogeneous sub-regions using cluster analysis and afterwards to calculate the Standardized Precipitation Index (SPI) on time scales of 12 and 24 months to monitor severe extreme droughts in these sub-regions. The rainy season of each 49 rainfall sites was obtained by standardizing the rainfall data. The results showed the occurrence of severe drought for all three sub-regions. IPP-12 months revealed the occurrence of longer duration droughts in the period 1990 to 1994 in Araruna and Coremas cities. IPP-12 months also identified extreme longer duration droughts in Monteiro city, Cariri sub-region, possibly due to local geography features. On another hand, the IPP-24 months identified a severe drought with longer duration in Coremas from 1991 to 1995. In these periods, the droughts have been intensified, possibly due to El Niño effects. In short, the IPP-12 months and IPP-24 months proved to be effective for drought monitoring in the Paraíba state.

Keywords: Cluster analysis; droughts; standardized precipitation index.

1. INTRODUÇÃO

A seca é um dos fenômenos complexos naturais que afeta várias partes do mundo e provoca impactos sociais, econômicos e ambientais. Esse fenômeno corresponde à característica temporária do clima de uma região decorrente de precipitações abaixo da normal climatológica em certo período. A seca depende de sistemas meteorológicos que atuam na região e de fenômenos climáticos de grande escala que influenciam as variáveis que definem o comportamento e circulação da atmosfera. Segundo Tsakiris e Vangelis (2004), a seca não deve ser confundida com aridez, pois esta última é uma característica permanente do clima, resultante dos baixos níveis pluviométricos. Ainda a ocorrência de seca pode estar associada a fenômenos como o El Niño e o Dipolo do Atlântico (aquecimento/esfriamento do Atlântico Norte/Sul) sendo, por exemplo, as secas do nordeste brasileiro influenciado por esses fenômenos, conforme (Melo, 1999; Alves, 1997).

Cerca de 80% da área do Estado da Paraíba está inserida no semiárido nordestino (Azevedo e Silva, 1994). Assim sendo, a falta d'água em virtude das ocorrências de secas, é um dos sérios problemas do estado. Além disso, a escassez da disponibilidade potencial de recursos hídricos afeta a economia do estado que é baseada na agricultura e pecuária (Rodríguez, 2000). Nessa perspectiva, para reduzir a vulnerabilidade das populações atingidas pelas secas, é interessante o desenvolvimento e implementação de sistemas voltados para o seu monitoramento. Para contornar os efeitos das estiagens, ao longo dos anos, esforços têm sido concentrados no sentido de desenvolver índices de seca capazes de não apenas detectar longos períodos de estiagens, como também classificá-los em termos de intensidade.

O índice de seca conhecido por SPI (em inglês, Standardized Precipitation Index) foi desenvolvido por Mckee et al. (1993) com o objetivo de monitorar e analisar a seca em diferentes escalas de tempo, esse índice é vantajoso em relação aos demais por utilizar apenas dados mensais de precipitação. Desde que foi proposto por seu autor, o SPI vem sendo usado em vários estudos, devido a sua capacidade de quantificar o déficit ou excesso de precipitação em diversas escalas temporais, permitindo comparações entre regiões com diferentes características climáticas. Assim, diversos trabalhos científicos têm demonstrado o seu potencial no monitoramento do fenômeno das secas (Mckee et al., 1993; Tsakiris e Vangelis, 2004; Tonkaz, 2006; Blain e Brunini, 2007).

A análise de agrupamentos é utilizada em processos de classificação e consiste em determinar o nível de similaridade ou dissimilaridade entre indivíduos, aplicando uma função de agrupamento a uma determinada variável. Na meteorologia, essa técnica tem sido bastante utilizada para se classificarem regiões homogêneas, conforme citado a seguir.

Pesquisadores em todo mundo têm usado técnicas multivariadas como ferramentas importantes e úteis para investigar a variabilidade sazonal e anual das variáveis meteorológicas. Vários trabalhos climatológicos utilizaram essas técnicas em seus estudos. Gong e Richman (1995) realizaram comparações entre vários métodos de agrupamentos a um conjunto de dados de precipitação na região central e leste da América do Norte. Ramos (2001) analisaram os padrões de distribuição de chuvas pelos métodos K-Means e Ward para o nordeste da Espanha. Unal et al. (2003) utilizaram a análise de agrupamentos em dados de temperatura para obter sete zonas homogêneas na região da Turquia.

O objetivo deste trabalho é subdividir o estado da Paraíba em três sub-regiões pluviometricamente homogêneas, utilizando a análise de agrupamento e, em seguida, utilizar o SPI, ou seja, Índice Padronizado de Precipitação (IPP), sigla mencionada neste estudo, nas escalas de tempo de 12 e 24 meses para monitorar as secas severas e extremas nessas sub-regiões.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram usados os totais mensais precipitados de 49 postos pluviométricos da rede de pluviômetros do Estado da Paraíba, disponível na Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), cujas séries apresentam longo período de registros (1965-2000) e contemplam todas as microrregiões do Estado. A rede pluviométrica do Estado apresenta distribuição espacial relativamente homogênea (Figura 1). Foi utilizado o programa Surfer 7.0 para plotar os mapas da figura 1 e figura 2.

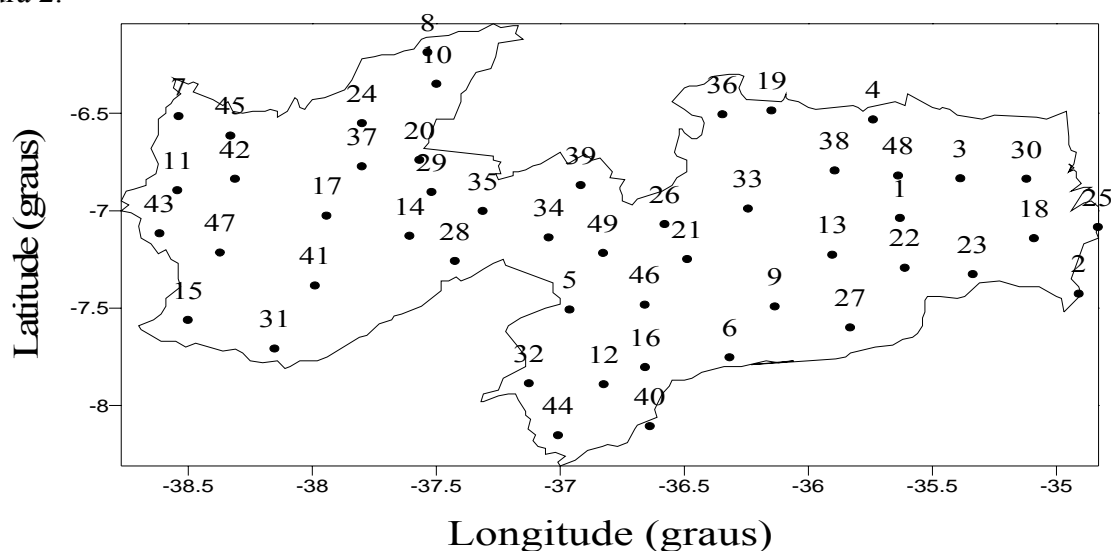


Figura 1. Distribuição espacial dos postos pluviométricos usados no estudo.

2.1. Método K-Means

O método K-means possui um algoritmo de aprendizagem que organiza n objetos em k partições onde cada uma representa um grupo. O funcionamento dele é descrito por dividir os objetos em k grupos e, a partir da similaridade do valor da média dos atributos numéricos, agrupa os demais objetos em torno desses grupos previamente indicados.

É um método de partição que fornece indicações mais precisas sobre o número de conglomerados a ser formado. Esse método é um dos mais utilizados quando se têm muitos objetos para agrupar, com pequenas variações. O critério mais utilizado para detectar homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre os grupos é o da soma dos quadrados residual baseado na Análise de Variância (Bussab et al., 1990). Assim, quanto menor for esse valor, mais homogêneos serão os elementos dentro de cada grupo e melhor será a partição.

Abaixo são apresentados os passos envolvidos no algoritmo k-médias, onde k é o número de clusters (grupos) desejado e informado a priori:

- (1) Determinar as posições iniciais dos k centróides dos *clusters*;
- (2) Alocar cada elemento ao cluster do centroide mais próximo;
- (3) Recalcular os centros dos *clusters* a partir dos elementos alocados;
- (4) Repetir os passos de 2 a 4 segundo algum critério de convergência.

É possível mostrar que o método k -means produz um conjunto de *clusters* que minimiza o erro quadrático com relação aos centros de gravidade de cada *cluster*. Esse método só produz bons resultados quando os *clusters* são “nuvens” compactas de dados, bem separadas umas das outras. A vantagem do método é sua eficiência em tratar grandes conjuntos de dados.

Suas desvantagens estão no fato do usuário ter que fornecer o número de *clusters* k e no fato de ser sensível a ruídos, já que objetos com valores altos podem causar grande alteração no centro de gravidade dos clusters e, assim, distorcer a distribuição dos dados destes.

2.2. Índice Padronizado de Precipitação (IPP)

O cálculo do IPP requer uma série de dados com no mínimo de trinta anos. É determinado a partir das funções de densidade de probabilidade que descrevem as séries históricas de precipitação nas diferentes escalas de tempo. Foram consideradas as distribuições estatística Normal e Gama, para fins de ajustar uma dada distribuição de frequência ao total precipitado em um dado posto pluviométrico, assim, a função distribuição de probabilidade Gama é dada por:

$$g(x) = \frac{1}{B^a \Gamma(a)} x^{a-1} e^{-x/b} \quad [1]$$

em que $a > 0$ é o parâmetro de forma; $b > 0$ é o parâmetro de escala e $x > 0$ é quantidade de chuva precipitada. A função Gama é dada por:

$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} y^{a-1} e^{-y} dy \quad [2]$$

Os parâmetros a e b da função densidade de probabilidade Gama são estimados para cada estação e escala de tempo de interesse. Para estimar os parâmetros a e b , utilizam-se as soluções de Máxima Verossimilhança.

em que:

$$\hat{a} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum_i^n x_i}{n}, \quad e, \quad \hat{b} = \frac{\bar{x}}{\hat{a}}$$

N é o número de observações da amostra e \bar{x} é o valor médio dos dados de chuva.

A função acumulada de probabilidade Gama é:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{a})} \int_0^x t^{\hat{a}-1} e^{-t} dt \quad [3]$$

A função Gama $\Gamma(a)$ não é definida para $x = 0$, mas como a amostra dos dados de precipitação pode conter zeros, a probabilidade acumulada é dada da seguinte forma:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad [4]$$

em que q é a probabilidade de ocorrer um zero. Se m for o número de zeros numa série de precipitação, então $q = m/n$. Segundo Abramowitz e Stegun (1965), a relação entre as distribuições de probabilidade Gama e Normal é dada por:

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad [5]$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \quad [6]$$

Sendo, $c_0 = 2,515$; $c_1 = 0,803$; $c_2 = 0,010$; $d_1 = 1,433$; $d_2 = 0,189$; $d_3 = 0,001$;

$$\text{em que } t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad [7]$$

$$\text{e } t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)} \quad \text{para } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \quad [8]$$

O cálculo do IPP inicia-se com o ajuste da função densidade de probabilidade Gama às séries de totais mensais precipitados. Em seguida, a probabilidade acumulada de ocorrência de cada total mensal é estimada. A função Normal inversa Gaussiana é aplicada a essa probabilidade resultando no valor IPP. O evento seca inicia-se quando o IPP torna-se negativo e atinge o valor -1 e finda quando este volta a apresentar valores positivos. Dentro de sua escala, os valores menores ou iguais a -2 indicam “seca extrema” e os maiores ou iguais a +2 indicam “umidade extrema” (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação dos períodos secos e chuvosos do IPP.

Classificação do IPP	
$\geq 2,00$	Chuva extrema
1,99 a 1,50	Chuva severa
1,49 a 1,00	Chuva moderada
0,99 a -0,99	Normal
- 1,00 a -1,49	Seca moderada
- 1,50 a -1,99	Seca severa
$\leq - 2,00$	Seca extrema

Como o IPP é normalizado, climas úmidos e secos podem ser representados. Desse modo, o IPP pode monitorar tanto os períodos úmidos quanto os secos (Tsakiris e Vangelis, 2004).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O método de Agrupamento K-Means foi adotado para determinar as sub-regiões, visto que apresenta resultados condizentes com a realidade pluviométrica da região. O Estado foi delimitado em três sub-regiões pluviometricamente homogêneas em relação à variabilidade sazonal e interanual das chuvas (Figura 2). Essa classificação foi diferente das seis microrregiões pluviometricamente homogêneas obtidas por análise de agrupamento de Ward (Braga e Silva, 1990). Embora os dois métodos sejam diferentes e os dados também, há uma similaridade nas classificações, pois, no trabalho com o método de Ward, as microrregiões de 1 a 3 se referem ao grupo 1 encontrado no trabalho com o método K-Means, e as microrregiões 5 e 6 se referem ao grupo 3 deste artigo. Esses pequenos grupos de Ward acabam por se misturar dependendo do ano, como citado pelos autores no trabalho: “Nestes anos secos, as regiões genéricas se conservam, embora sofram algumas alterações

significativas, como, por exemplo, o grupo do agreste avança na direção do litoral formando um único grupo com o brejo”. Com as três microrregiões definidas neste artigo isso não ocorre, pois possuem características, tanto na orografia, quanto no clima e atuação de fenômenos meteorológicos.

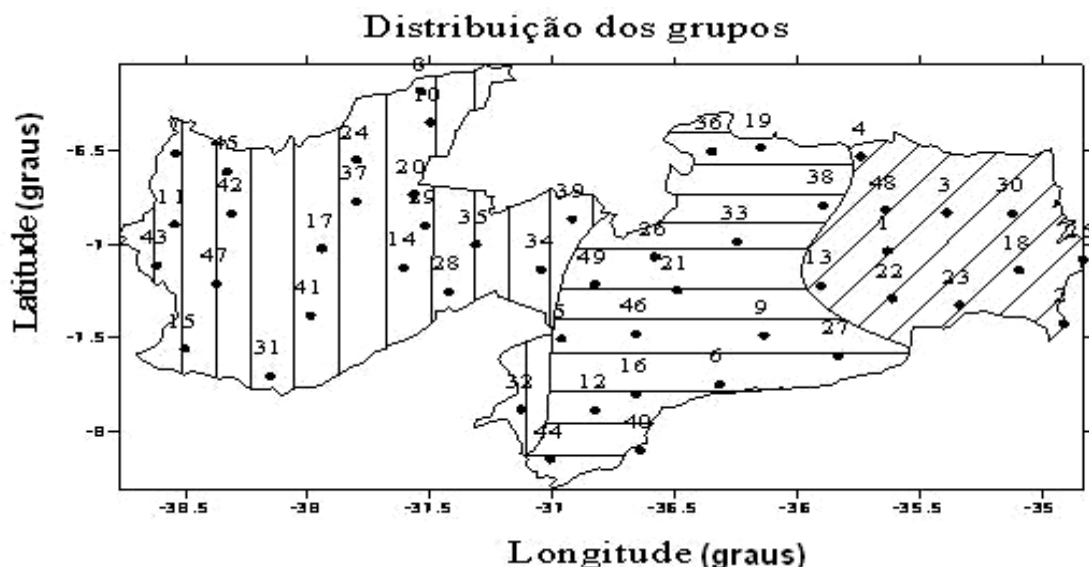


Figura 2. Sub-regiões pluviométricamente homogêneas do Estado da Paraíba.

A sub-região I (Grupo 1, linhas paralelas inclinadas) situa-se na zona leste do Estado e sua precipitação média anual é de 1177,3 mm, com quadrimestre mais chuvoso de abril a julho (Figura 3), embora a chuva do mês de março também possua valores significativos de precipitação, o quadrimestre de abril a julho corresponde a 56,5% do total anual precipitado. A vegetação predominante é Mata Atlântica e Caatinga. As chuvas nessa sub-região estão relacionadas aos sistemas meteorológicos associados com a ocorrência de Brisas e Ondas de Leste. O clima é tropical quente-úmido (As') (Rodriguez, 2000).

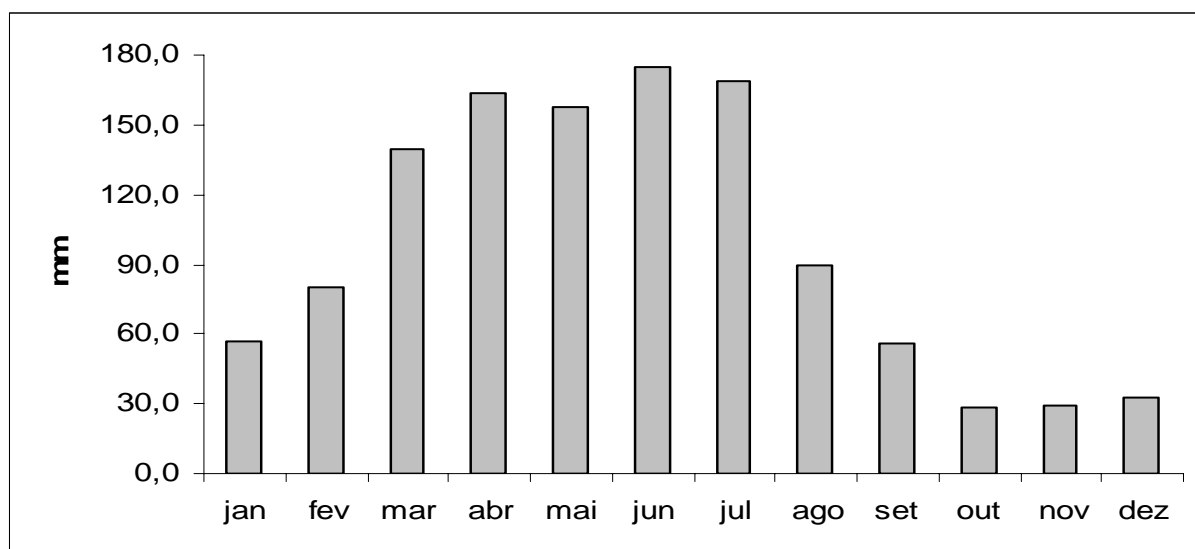


Figura 3. Precipitação média mensal das localidades da sub-região I.

Na sub-região II (Grupo 2, linhas paralelas horizontais), região central do Estado, verifica-se a menor média anual precipitada das três sub-regiões, com cerca de 524,3 mm. Aqui o trimestre mais chuvoso é de fevereiro a abril (Figura 4). O clima e o tipo de vegetação

predominante nessa sub-região é o semiárido (Bsh) e a Caatinga, respectivamente (Rodríguez, 2000).

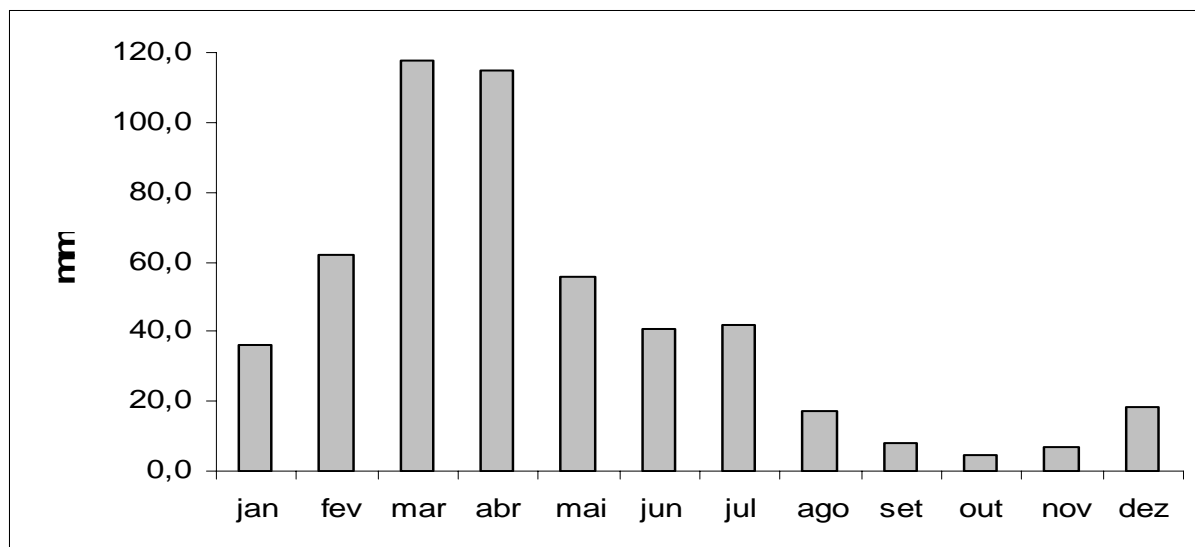


Figura 4. Precipitação média mensal das localidades da sub-região II.

A sub-região III (Grupo 3, linhas paralelas verticais), situada no oeste do Estado, apresentou precipitação média anual de 790,5 mm. O trimestre mais chuvoso é de fevereiro a abril, que corresponde a 64,3% da chuva anual. As chuvas (Figura 5) nessas sub-regiões estão associadas aos efeitos da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) e aos efeitos orográficos locais (Alves, 1997). Na sub-região II, porém, de forma menos intensa devido à presença do Planalto da Borborema, que interfere na circulação. Isso ajuda a explicar a semelhança existente nos gráficos de precipitação média mensal das sub-regiões II e III, pois recebem atuação dos mesmos sistemas meteorológicos. O clima predominante na sub-região II é o quente semiúmido (Aw'), enquanto os tipos de vegetação principais nessa região são a Caatinga e Mata Serrana (Rodríguez, 2000).

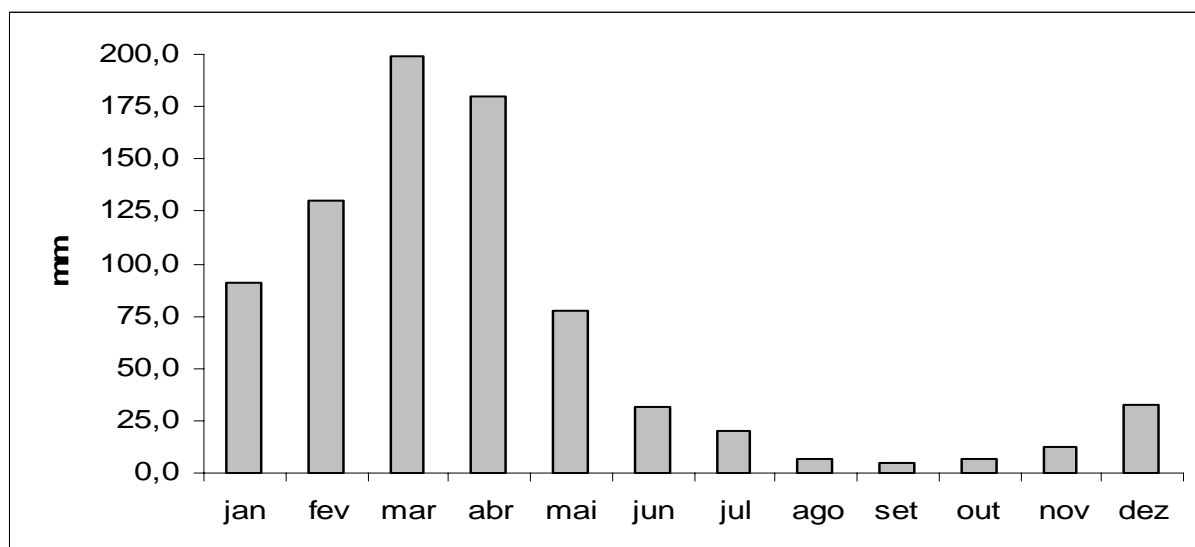


Figura 5. Precipitação média mensal das localidades da sub-região III.

As Tabelas 2, 3 e 4 mostram apenas as ocorrências de secas severas e extremas para os grupos 1, 2 e 3, visto que são elas que provocam impactos mais significativos na economia do

Estado. A numeração junto ao nome do posto pluviométrico representa sua localização na Figura 2. Vale ressaltar que as demais localidades apresentaram anos com secas moderadas.

No grupo 1, o IPP-12 indicou maior duração das secas severas na cidade de Araruna, com duração de 46 meses, durante o período de 1990 a 1994 e Alagoa Grande com 35 meses, no período de 1997 a 2000. Além disso, pelo IPP-24, essa cidade teve maior duração de secas severas, 39 meses, conforme a Tabela 2. Também é importante destacar duas secas extremas, sendo a mais significativa detectada pelo IPP-24 na cidade de Ingá, com duração de 30 meses, entre 1998 e 2000. Essas durações foram intensificadas possivelmente pelo fenômeno El Niño (Alves, 1997).

Tabela 2. Monitoramento do IPP-12 e 24 para o grupo 1.

GRUPO 1	IPP-12			IPP-24		
	Cidade	Anos (início/fim)	Duração (meses)	Tipo	Anos (início/fim)	Duração (meses)
1 - Alagoa Grande	1997/00	35	Severa	1997/00	39	Severa
4 - Araruna	1990/94	46	Severa			
13 - Campina Grande	1993/94	16	Severa	1997/00	37	Severa
	1997/00	32	Severa			
22 - Ingá	1993/94	15	Severa	1998/00	30	Extrema
	1997/00	34	Severa			
23 - Itabaiana	1997/00	34	Severa			
25 - João Pessoa	1972/73	14	Extrema			

A cidade de Olivedos apresentou a maior duração das secas identificadas pelo IPP-12 no grupo 2, cerca de 30 meses, no período de 1997 a 2000. Identificou-se também uma seca de 29 meses em Boqueirão, destaca-se que essa cidade apresentou duas secas. O IPP-24 identificou uma seca em Salgado com 24 meses, no período de 1979 a 1981, conforme Tabela 3.

Tabela 3. Monitoramento do IPP-12 e 24 para o grupo 2.

GRUPO 2	IPP-12			IPP-24		
	Cidade	Anos (início/fim)	Duração (meses)	Tipo	Anos (início/fim)	Duração (meses)
9 - Boqueirão	1993/94	17	Severa			
	1998/00	29	Severa			
6 - Barra São Miguel	1998/99	22	Severa			
21 - Gurjão	1993/94	14	Severa			
33 - Olivedos	1997/00	30	Severa			
38 - Salgado				1979/81	24	Severa

Na análise do grupo 3, o IPP-12 e IPP-24 identificaram as maiores durações de secas severas na cidade de Coremas durante os períodos de 1990 a 1994 e 1991 a 1995 respectivamente, conforme a Tabela 4. Essas durações foram intensificadas, possivelmente, devido à atuação do fenômeno El Niño durante o período de 1990 a 1995, conforme mostra a Tabela 5 (Alves, 1997; INPE, 2010). Ainda nesse grupo 3, a cidade de Monteiro foi a única do IPP-12 que apresentou duas secas, sendo uma delas extrema, essa ocorrência pode estar relacionada à topografia, uma vez que a cidade é circundada por serras, dificultando assim a atuação de sistemas transientes.

Tabela 4. Monitoramento do IPP-12 e 24 para o grupo 3.

GRUPO 3	IPP-12			IPP-24			
	Cidade	Anos (início/fim)	Duração (meses)	Tipo	Anos (início/fim)	Duração (meses)	Tipo
8 - B Brejo da Cruz	1983/84	23	Severa				
10 - Brejo do Cruz	1982/84	17	Severa				
15 - Conceição	1978/79	15	Severa				
17 - Coremas	1990/94	46	Severa	1991/95	50	Severa	
20 - Desterro de Malta	1992/94	25	Severa				
31- Manaíra	1992/94	25	Severa				
32 - Monteiro	1966/67	13	Severa				
	1983/84	15	Extrema				
34 - Passagem	1992/94	21	Severa				
39 - Santa Luzia	1998/00	25	Severa				
45 – São Vicente	1990/94	42	Severa				

Nos anos de secas severas e extremas se observa a predominância de anos com atuação do fenômeno El Niño. Entretanto, as secas severas e extremas com maiores atuações nos anos de El Niño estiveram presentes no grupo 1, conforme comparações realizadas entre as Tabelas 2 e 5. Nesse contexto, verificou-se maior quantidade de secas extremas identificadas pelo IPP-12 e IPP-24.

Tabela 5. Classificação dos anos em relação aos fenômenos El Niño/La Niña.

Anos (início/fim)	Classificação
1966/67	Normal
1972/73	El Niño
1978/79	El Niño
1979/81	Normal
1982/83	El Niño
1983/84	La Niña
1990/95	El Niño
1997/98	El Niño
1998/00	La Niña

Fonte: CPTEC (INPE, 2010) e LABMET (Governo do Estado do Maranhão, 2010).

As secas extremas verificadas pelo IPP-12 ocorreram no litoral paraibano, na cidade de João Pessoa, e no Cariri, na cidade de Monteiro (grupo 3), durante os períodos de 1972 a 1973 e 1983 a 1984, respectivamente. Monteiro apresentou maior duração, mesmo sob a atuação do fenômeno La Niña, conforme a Tabela 5. Possivelmente, a característica dessa seca deve-se a orografia da cidade. O relevo acentuado nas circunvizinhanças pode interferir no transporte de umidade, essa particularidade ocasiona aridez, déficit hídrico (Silva et al., 2006) e maior frequência de eventos de secas extremas.

Os valores do IPP-24 detectaram uma seca extrema na cidade de Ingá, entre os anos de 1998 a 2000, com duração de 30 meses. Novamente, esse período encontra-se sob atuação do fenômeno La Niña, conforme pode ser visto na Tabela 5.

4. CONCLUSÃO

As três sub-regiões para o estado da Paraíba definidas neste estudo apresentaram ocorrências de secas severas e extremas obtidas pelo IPP-12 meses e IPP-24 meses. Das 49 estações analisadas foram detectadas 24 secas de acordo com o IPP-12 meses e 5 secas para o IPP-24 meses, confirmando a grande variabilidade da chuva e sua escassez, principalmente para região do semiárido (grupo 3) que apresentou a maior quantidade de secas. O IPP-12 revelou a ocorrência de secas com maior duração no período de 1990 a 1994, nas cidades de Araruna e Coremas. Da mesma forma, o uso do IPP-24 identificou secas severas com maior duração em Coremas, no período de 1991 a 1995. Nesses períodos, essas secas foram intensificadas possivelmente devido à ação do fenômeno El Niño. O IPP-12 identificou seca extrema, com maior duração, na cidade de Monteiro, sub-região do Cariri paraibano, fato esse possivelmente devido à orografia local.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido para elaboração desta pesquisa e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pela cessão dos dados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. **Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables**. Washington: U.S. Department of Commerce, 1965. 1046 p..
- ALVES, J. M. B. Aspectos climatológicos do nordeste brasileiro com ênfase a região semi-árida: principais causas da variedade pluviométrica interanual. In: SIMPÓSIO SOBRE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO, 1., Petrolina, 1997. **Resumos...** Petrolina: ABCMAC, 1997.
- AZEVEDO, P. V., SILVA, V. P. R. Índice de seca de Bhalme & Mooley: uma adaptação regional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8., 1994, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBMET, 1994. Vol. 2. p.696-699.
- BLAIN, G. C; BRUNINI, O. Análise comparativa dos índices de seca de Palmer, Palmer Adaptado e índice padronizado de precipitação no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 1, p. 105-111, 2007.
- BRAGA, C. C., SILVA, B. B. Determinação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6., 1990, Salvador. **Anais...** Salvador: SBMET, 1990. p.200-205.
- BUSSAB, W. O.; MIAZAK, E. S.; ANDRADE, D. F. Introdução à análise de grupamentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 9., 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IME – USP, 1990.
- GONG, X.; RICHMAN, M. R. On the application of cluster analysis to growing season precipitation data in North America East of the Rockies. **Journal of Climate**, v. 8, p. 897-924, 1995.

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. (doi:10.4136/ambi-agua.130)

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO. Núcleo Estadual de Meteorologia e Recursos Hídricos – NEMRH. Laboratório de Meteorologia - LABMET. Monitoramento. **El Niño e La Niña**. 2010. Disponível em: <<http://www.nemrh.uema.br/meteoro/elnino.htm>>. Acesso: 30 jan. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC. Energia. **El Niño e La Niña**. 2010. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br>>. Acesso: 30 de jan. 2010.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration of time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8., Jan. 17-22 1993, Anaheim. **Preprints...** Anaheim: American Meteorological Society, 1993. p. 179-186.

MELO, J. C. O fenômeno El Niño e as secas no nordeste do Brasil. **Raízes**, v. 20, p. 13-21, 1999.

RAMOS, M. C. Divisive and hierarchical clustering techniques to analysis variability of rainfall distribution patterns in a Mediterranean region. **Atmospheric Research**, v. 57, p. 123–138, 2001.

RODRIGUEZ, J. L. Atlas escolar da Paraíba. 2.ed. João Pessoa: Grafset, 2000.

SILVA, D. F; BORGES, C; SILVA, M. F. C. S. D; CORREIA, K. G. Zoneamento agroclimático e aptidão climática de culturas para Monteiro (PB). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBMET, 2006.

TONKAZ, T. Spatio-temporal assessment of historical droughts using SPI with GIS in GAP Region, Turkey. **Journal of Applied Sciences**, v. 12, n. 6, p. 2565-2571, 2006.

TSAKIRIS, G; VANGELIS, H. Towards a drought watch system based on Spatial SPI. **Water Resources Management**, v. 18, p. 1-12, 2004.

UNAL, Y.; KINDAP, T.; KARACA, M. Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. **International Journal of Climatology**, v. 23, p. 1045–1055, 2003.