ENTROPIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO MUNICÍPIO DE CABACEIRAS – PB, BRASIL

Valneli da Silva Melo¹, Raimundo Mainar Medeiros²

RESUMO

O município de Cabaceiras – PB, localizado na região do semiárido paraibano, exibe alta variabilidade espaço-temporal das precipitações pluviais e tem o menor índice pluviométrico registrado no Nordeste do Brasil. Objetiva analisar a série pluviométrica (1926-2011) avaliando-se parâmetros estatísticos através da teoria da entropia que produzem padrões espaciais que possibilitam compreender as características das chuvas na área estudada. O desvio-padrão da entropia anual varia uniformemente aos valores de entropia, mostrando com isso pequena oscilação de seus dados em torno dos valores médios. A técnica da entropia estabelece ferramenta adequada para divulgar a variabilidade dos dados em torno da média, ao invés da técnica convencional do desvio-padrão.

Palavras-chave: índice pluviométrico menor, recursos hídricos, semiárido.

ENTROPY OF RAINFALL IN RAIN CABACEIRAS MUNICIPALITY - PB, BRAZIL

ABSTRACT

The municipality of Cabaceira - PB is located in semi-arid region of Paraíba State displays high spatiotemporal variability of rainfall and has the lowest amounts of rainfall in the Northeast of Brazil. It aims to analyze the rainfall series (1926-2011) evaluating statistical parameters through the theory of entropy that produce spatial patterns that make it possible to understand the characteristics of rainfall in the study area. The standard deviation of annual entropy varies uniformly to entropy values, showing that with small fluctuations in their data around the average values. Entropy technique establishes appropriate tool to disseminate data variability around the mean, rather than the conventional standard deviation technique.

Keywords: rainfall index lower, water resources, semi-Arid

¹Mestra em Meteorologia, UFCG - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB. E-mail: valnelismello@hotmail.com;

² Meteorologista, Doutor em Meteorologia, UFCG - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, e-mail: mainarmedeiros@gmail.com

INTRODUÇÃO

A região semiárida nordestina é, fundamentalmente, caracterizada pela ocorrência de chuvas escassas, irregulares (espacial e temporal) de secas frequentes, sendo usual a ocorrência de eventos de alta intensidade e de pouca duração de tempo, desprovido de volume de escoamento de água dos rios, essa situação pode ser explicada em função da variabilidade temporal das precipitações e das características geológicas dominantes, além dos sistemas meteorológicos atuantes. O semiárido nordestino caracteriza-se por um acentuado déficit hídrico com precipitação anual média abaixo da isoieta de 800 mm, e elevada variabilidade na distribuição espacial e temporal das chuvas (sazonalidade inter e intraanual), onde se localizam as áreas com menor índice de desenvolvimento humano (SUDENE, 1990). A precipitação pluvial média anual no semiárido do Estado da Paraíba é inferior a 800 mm e, na parte litorânea, os totais anuais podem superar os 1500 mm. A variação espacial da precipitação pluvial no Estado é provocada por diferentes sistemas atmosféricos que atuam na costa Leste do Nordeste do Brasil em conformidade com Silva et al. (2003).

Em regiões semiáridas, como o Nordeste do Brasil, o monitoramento da precipitação, principalmente durante o período chuvoso é muito importante para tomada de decisões que possam trazer benefício para população. Atualmente, um bom monitoramento da precipitação pluviométrica é uma ferramenta indispensável na mitigação de secas e enchentes em conformidade com Paula et al. (2010). Dentre os elementos do clima, a precipitação é o que mais influencia na produtividade agrícola segundo os autores Ortolani e Camargo (1987), especialmente nas regiões tropicais onde o regime de chuvas é caracterizado por eventos de curta duração e alta intensidade de acordo com Santana et al. (2007). Por ser um elemento essencial na classificação climática de regiões tropicais, a precipitação e sua variabilidade associada a outros elementos do clima, provoca uma

flutuação no comportamento geral dos climas locais. O monitoramento do regime pluviométrico da região nos últimos anos tem mostrado que a escassez de recursos hídricos acentua os problemas socioeconômicos, em particular ao final de cada ano, com os totais pluviométricos em torno ou abaixo da média da região conforme Marengo e Silva Dias (2006).

Em termos geológicos, é constituído por dois tipos estruturais: o embasamento cristalino, representado por 70% da região semiárida, e as bacias sedimentares, os solos geralmente são rasos (cerca de 0,60 m), apresentando baixa capacidade de infiltração, alto escoamento superficial e reduzida drenagem natural. Prado (2008) destaca que os rios no semiárido recebem água diretamente das chuvas, portanto fluem na estação chuvosa e desaparecem, ao seu término, de forma gradual. Os rios intermitentes estão vastamente espalhados nesta região, sendo caracterizados por extremos de cheia e seca, e formação de poças temporárias ou efêmeras no leito seco dos rios.

A precipitação pluvial é um dos elementos meteorológicos que apresenta maior variabilidade tanto em quantidade quanto em distribuição mensal e anual de uma região para outra segundo Almeida (2003). Aragão (1975) afirma que a principal razão da existência do semiárido nordestino é a ausência de um mecanismo dinâmico que provoque movimentos ascendentes.

Objetiva-se analisar a variabilidade dos padrões diários, mensais e anuais de ocorrência de chuva da série pluviométrica (1926-2011) de Cabaceiras, região inserida no semiárido paraibano, e discutir acerca da disponibilidade hídrica na área de estudo segundo Cavalcante et al. (2005), apresentam reduzida profundidade, são muito susceptíveis à erosão e ressalta que o controle da erosão deve ser muito intenso, observando o comportamento da entropia, da precipitação e dos desvios-padrão da entropia e da precipitação nos períodos analisados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

O município de Cabaceiras localizado no estado da Paraíba apresenta uma área de 400,22 km². Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 7°18' 36'' e 7°35'50'' de latitude

sul e entre os meridianos de 36°12'24'' e 36°25'36'' de longitude oeste. Está inserido na mesorregião da Borborema e microrregião do Cariri Oriental, limitando-se com os municípios de São João do Cariri, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel, Boqueirão e Boa Vista (Figura 1).

Figura 1. Localização do município de Cabaceiras com destaque para a bacia hidrográfica do Rio Paraíba. (Adaptada por Sousa, L. F. e Santos, E. G., 2015).

A área de estudo localizada na região do Cariri da Paraíba compreende em grande parte, a área da bacia de contribuição do açude de Boqueirão, que apresenta a montante, duas bacias contribuintes, a do Alto Paraíba e a do rio Taperoá. É uma área aberta, sobre o planalto, com relevo suave ondulado, altitude variando em grande parte entre 400 e 600 m, e drenagem voltada para o leste, o que facilita a penetração uniforme das massas atlânticas de sudeste, propiciando temperaturas amenas (<26°C), e uma maior amplitude térmica diária. Nas áreas com relevo mais deprimido, a precipitação média anual é inferior a 400 mm, aumentando com a altitude no sentido dos divisores da drenagem Francisco (2010).

A área de estudo encontra-se inserida na Borborema, na unidade geomorfológica denominada Planalto da Borborema de formas tabulares e convexas. O Planalto da Borborema segundo Sousa et al. (2003), se

constitui no mais importante acidente geográfico da Região Nordeste, exercendo na Paraíba um papel de particular importância no conjunto do relevo e na diversificação do clima.

O Cariri da Paraíba compreende em grande parte, a área da bacia de contribuição do açude de Boqueirão, que apresenta a montante, duas bacias contribuintes, a do Alto Paraíba e a do rio Taperoá. É uma área aberta, sobre o planalto, com relevo suave ondulado, altitude variando em grande parte entre 400 m a 600 m, e drenagem voltada para o leste, o que facilita a penetração uniforme das massas atlânticas de sudeste, propiciando temperaturas amenas (<26°C), e uma maior amplitude térmica diária. Nas áreas com relevo mais deprimido a precipitação média anual é inferior a 400 mm, aumentando com a altitude no sentido dos divisores da drenagem. Os solos mais representativos são:

o Luvissole Crômico Vértico fase pedregosa relevo suave ondulado, predominante em grande parte da região; os Vertissolos relevo suave ondulado e ondulado predominam nas partes mais baixa, no entorno do açude de Boqueirão e os Planossolos Nátricos relevo plano e suave ondulado, ao norte. Nas áreas mais acidentadas, ocorrem os Neossolos

Litólicos Eutróficos fase pedregosa substrato gnaisse e granito. Em toda a área, a vegetação é do tipo caatinga hiperxerófila (Figura 2). É uma região tradicionalmente pastoril, onde tem predominando a criação de caprinos. Outrora com produção expressiva de algodão e na atualidade cultiva palma e culturas alimentares (Francisco, 2010).

Figura 2. Mapa de solos do município de Cabaceiras. Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da área de estudo é considerado do tipo Bsh - Semiárido quente, precipitação predominantemente, abaixo de 600 mm.ano⁻¹ e temperatura mais baixa, devido ao efeito da altitude. As chuvas da região sofrem influência das massas Atlânticas de sudeste e do norte (Francisco et al., 2011).

A entropia é uma grandeza termodinâmica em regra associada ao grau de desordem, medindo parte da energia que não pode ser transformada em trabalho, inicialmente utilizado por Clausius em 1850. É uma função de estado cujo valor cresce durante um processo natural em um sistema fechado, esta grandeza permite definir a Segunda Lei da Termodinâmica, assim, um processo tende a dar-se de forma espontânea em único sentido. Pode ser entendida como o aumento da desordem interna de um sistema enquanto a reserva interna de energia livre diminui segundo Epstein (1988). A entropia está

relacionada com o número de configurações (ou arranjos) de mesma energia que um dado sistema pode assumir, pois quanto maior o número de configurações, maior a entropia. Por esta razão, a entropia é geralmente associada ao conceito subjetivo de desordem, envolvendo também as diferentes possibilidades de configurações energéticas. Por isso, a noção de desordem, embora útil e muito comum, pode ser imprecisa e incompleta em muitos casos.

No estudo da variabilidade de precipitação, as probabilidades são definidas como a frequência que ela ocorre em determinado período. A variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial, face à sua incerteza e irregularidade ao longo do tempo, constitui-se num problema crucial em estudos climatológicos. Essa variabilidade é ainda maior em regiões tropicais, particularmente no Nordeste do Brasil onde atuam vários sistemas atmosféricos, como a zona de convergência

intertropical, os sistemas frontais, as brisas de leste e os vórtices ciclônicos. Esta variabilidade mostra-se maior em regiões tropicais do globo terrestre, dentre elas o nordeste brasileiro (Silva et al., 2003).

Shannon (1948) utilizou os conceitos de Mecânica Estatística desenvolvidos por Boltzmann e aplicou na análise dos sistemas de comunicação. O grau de aleatoriedade de um sistema é mais bem compreendido através da determinação do grau de liberdade, ou seja, da forma com que as mensagens se distanciam dos padrões encontrados. Notadamente, nos estudos onde a quantidade de dados é muito grande, a aplicação dos conceitos da teoria da entropia facilita a identificação de informação genuína dos padrões estruturais. Essa teoria, por sua vez, parece ter inaugurado uma nova abordagem para a compreensão de fenômenos das mais diversas áreas. Isso pode ser verificado pela influência exercida na Física, na Genética, dentre outros ramos de estudo.

Para Bertoni e Tucci (1993), o conhecimento da precipitação durante o ano é o fator determinante para estimar, dentre outras ações, a necessidade de irrigação de culturas e o abastecimento de água doméstico e industrial. Visto dessa forma, a precipitação configura-se como uma das variáveis meteorológicas indispensáveis ao processo de desenvolvimento socioeconômico de uma região.

Moulin (2005) afirma que os dados de precipitação são importantes à medida que podem se tornar fundamentais para diversas atividades humanas, a exemplo da geração de energia elétrica, da navegação fluvial, dos sistemas de irrigação, da exploração de aquíferos, da prevenção de erosão hídrica, das obras de engenharia (pontes, viadutos, portos e obras para dispersão de poluentes em corpos de água), da ocupação do solo no tocante a áreas inundáveis e do suprimento de água para cidades e complexos industriais.

O potencial de recursos hídricos sempre foi determinante na sobrevivência e evolução de uma sociedade. A água funciona como fator de desenvolvimento, pois ela é utilizada para inúmeros usos diretamente relacionados com a economia regional,

nacional e internacional. Os usos múltiplos da água aceleram-se em todas as regiões, continentes e países, aumentando à medida que as atividades econômicas se diversificam e as necessidades por este recurso natural crescem para atingir níveis de sustentação compatíveis com as pressões da sociedade de consumo, da produção industrial e agrícola (Tundisi, 2003).

Liu et al. (2010) utilizaram a entropia cruzada no intuito de analisar séries temporais de taxas de câmbio em países asiáticos verificando o nível de sincronia entre duas séries temporais. De modo particular, nas cidades de Cingapura, Tailândia e Taiwan, os valores da entropia cruzada após a crise das moedas asiáticas foram superiores aos mesmos valores observados no período anterior à crise. Para os autores, a entropia cruzada é bastante eficiente na descrição da correlação entre séries temporais.

A incerteza pode ser quantificada pela entropia, levando-se em conta todos os tipos de informações disponíveis, e representada pela distribuição de probabilidade da variável controlada. Interpretando um conjunto composto por n elementos e se considerando p_i como a probabilidade de encontrar o sistema no i -ésimo microestado, a entropia de Shannon é igual à entropia da mecânica estatística (Silva et al., 2003).

Uma amostra pequena de dados reflete, muitas vezes, a dificuldade na análise da distribuição de probabilidade da variável por métodos convencionais. Sendo assim, pode-se amenizar esse tipo de problema por meio do uso da teoria da entropia, a qual é capaz de determinar distribuições de probabilidade menos parciais com pequenas amostras de dados. Essa característica da entropia é particularmente importante principalmente em estudos onde a escassez de dados é grande (Sousa et al., 2012).

Dados de precipitação pluvial

Utilizou-se da série diárias de precipitação pluvial do município de Cabaceiras – PB compreendido no período de 1926-2011. Nesta série realizaram-se preenchimentos de falhas, homogeneização, consistência com base no critério de se analisar

apenas aquelas séries contínuas após seus preenchimentos. Os dados diários de precipitação pluvial utilizados foram coletados pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1990) e fornecidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA, 2006). Realizaram-se os cálculos da entropia por planilhas eletrônicas e aplicaram-se as seguintes equações como descrito a seguir.

Cálculo da entropia marginal da precipitação

A teoria da entropia pode servir de base para melhor compreender e/ou aumentar o grau de informações sobre um sistema, no que se refere à incidência/ não incidência de fenômenos a ele relacionados. Por isso, essa teoria foi utilizada neste estudo para analisar a variabilidade da precipitação pluvial do município de Cabaceiras - PB e, assim, obter a delimitação dos recursos hídricos na região. A sequência de dados diários de chuva em cada ano foi descrita pela distribuição de probabilidade de ocorrência de precipitação e o valor médio da entropia anual foi obtido para cada posto por meio da entropia da informação de Shannon. A entropia foi considerada como a estimativa da incerteza da ocorrência de um determinado evento num processo aleatório discreto, que pode ser obtida por (Shannon, 1948):

$$H = -k \sum P_i \log P_i$$

em que; P_i é o resultado da probabilidade da i -ésima variável aleatória discreta, k é uma constante positiva, cujo valor depende das unidades utilizadas, e H é a entropia da variável aleatória. Assumindo a constante k , como unidade de estimativa, igual a 1 e a base do logaritmo 2, a equação acima pode ser simplificada como:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

em que; H é obtido em “bit”, como unidade de medida da entropia, e n é o número possível de

eventos da variável aleatória discreta. A unidade de entropia pode ser bit para a base 2, napiers ou nats para a base neperiana e hartley para a base 10. Utilizou-se a unidade bit para entropia, que significa dígito binário, ou seja, a menor unidade na notação numérica binária que pode assumir o valor 0 ou 1. Se todos os p_i 's são iguais, isto é, $p_i = 1/n$, então a entropia é $H = \log_2 n$. Assim, H é uma função monotonicamente crescente em n . Para um dado n , H é máximo quando todos os p_i 's são iguais. Ao contrário, H é mínimo e igual a zero quando todos os p_i 's, exceto um, é zero. Isso significa que todo resultado da variável aleatória é sempre o mesmo e, portanto, um dos p_i 's torna-se unitário. Assim, o valor da entropia, varia dentro do intervalo de zero a $\log_2 n$, de acordo com a forma da distribuição de probabilidade dos p_i 's. O valor da entropia decresce com o aumento do número de contraste e aumenta com o decréscimo desse número. Visto dessa maneira, a entropia pode ser considerada como uma estimativa funcional da incerteza associada à distribuição de probabilidade. Para cada série histórica de precipitação de um ano, está sendo admitido que r_i representa a precipitação pluvial diária correspondente ao i -ésimo dia do ano. Por exemplo, valores diários de precipitação pluvial de 1 de janeiro e 31 de dezembro para o mesmo ano podem ser expressos por r_1 e r_{365} , respectivamente. Assim, a precipitação total durante um ano não-bissexto R que é expressa pelo somatório dos valores diários, variando de $i = 1$ até $i = 365$, pode ser representada por:

$$R = \sum_{i=1}^{365} r_i$$

Em que os valores de r_i podem ser zero para alguns dias e diferentes de zero para outros. As séries de precipitação formadas por $r_1, r_2, \dots, r_n$ podem ser fixadas como a frequência de ocorrência acumulada de chuvas para 1, 2, ..., i -ésimo dia do ano, respectivamente. Assim, a frequência relativa da precipitação (p_i) será obtida dividindo-se r_i pelo tamanho total da amostra (R), ou seja: p_i

$= r_i/R$. A frequência relativa (p_i) é fixada como uma probabilidade de ocorrência do total da precipitação no i -ésimo dia, e, portanto, sua distribuição representa a característica probabilística da partição temporal da precipitação ao longo do ano, isto é, a ocorrência da incerteza da precipitação. Que pode ser descrita como:

$$H = - \sum_{i=1}^n \frac{r_i}{R} \log_2 \left(\frac{r_i}{R} \right)$$

em que; o valor de H é independente da ordem sequencial de r_i na série temporal; assume o valor zero quando R ocorre apenas uma vez no ano e o valor máximo ($\log_2 n$) quando R ocorre em todos os dias do ano. Logo, a entropia aproxima-se do seu valor máximo quanto mais uniforme for sua distribuição, isto é, quando os dados da série apresentam pouca variabilidade temporal. Assim, H pode ser uma estimativa da variabilidade da precipitação no sentido de escala. Quando as séries anuais de precipitação para n anos estão disponíveis, num mesmo posto pluviométrico, a melhor estimativa da entropia daquele posto pode ser obtida através da média aritmética de seus valores anuais e expressa por:

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H$$

em que $\bar{H}$ é a entropia média e n o número de anos que foram utilizados no cálculo de H . O ganho de uma informação resulta no decréscimo da entropia e vice-versa. A entropia torna-se zero quando existe certeza absoluta da ocorrência de certo evento, ou estatisticamente, quando todas as probabilidades de um conjunto, exceto uma, é zero.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados pluviométricos diários para o município de Cabaceiras, no período de 1926 a 2011, foram utilizados na análise da entropia da precipitação pluvial anual. O comportamento da precipitação está representado na Figura 3, percebe-se certa regularidade dos totais anuais precipitados com mínimos no início do período considerado e em alguns anos iniciais da década de 1930, década de 1940, na década de 1950 e início da década de 1960. Por outro lado, o final da década de 1950 apresentou os menores índices pluviométricos. Esses resultados corroboram com Xavier et al. (2012) que consideraram uma cronologia para os eventos El Niño (EN) e La Niña (LN) ao longo do período 1900 – 2000.

Figura 3. Comportamento da precipitação pluvial anual em Cabaceiras - PB (1926 – 2011).

Tomando-se como base os dados diários de precipitação, foram obtidos os totais mensais e anuais para todo o período. A Figura 4 exibe o curso anual da entropia da precipitação pluvial. Observa-se um comportamento relativamente homogêneo da entropia anual no decorrer do período

considerado. Esse fato é comprovado pela Figura 5 que esboça o desvio-padrão dessa variável anual. Notar que a entropia decresce exatamente nos períodos de menores precipitações, demonstrando assim a variabilidade da ocorrência de chuvas nesse período.

Figura 4. Entropia anual da precipitação pluvial.

Figura 5. Desvio-padrão da entropia anual.

A Tabela 1 exibe algumas estatísticas básicas da entropia e da precipitação pluvial com base em totais diários e anuais de precipitação pluvial. O percentual da média se refere ao percentual do parâmetro analisado representado pelo desvio-padrão. Assim, observa-se que a média da entropia calculada com base em valores diários de precipitação pluvial (7,52 bits) é superior àquele obtido com a utilização dos dados anuais (4,39 bits). Assim como mostrado na Figura 4 e 5, os valores da entropia e do desvio-padrão da entropia

apresentam mesmo padrão de comportamento, sendo o percentual anual da média o de menor representatividade. Segundo Maruyama et al. (2005), a técnica da entropia é mais eficiente para detectar a desordem dos dados em torno da média do que o método convencional da variância. Essa ideia está aqui bem comprovada, pois o desvio-padrão da entropia, enquanto medida de variabilidade dos dados, se comporta inversamente ao desvio-padrão da precipitação pluvial anual.

Tabela 1. Estatística da entropia e da precipitação com base em totais diários e anuais de precipitação em Cabaceiras no período 1926 - 2011.

Parâmetros estatísticos	Entropia (bits)		Precipitação (mm)
	Diária	Anual	Anual
Média	7,52	4,39	336,6
Desvio-padrão	0,927	0,073	199,5
Percentual da média	59,3	0,017	59,3

A Figura 6 exibe o desvio-padrão da entropia diária, com valores reduzidos, com exceção do período 1945-1955, para o qual observamos valores próximos da média dos demais anos. Nesse período em destaque, enquanto indicativo de uma maior oscilação

entre os dados médios, nota-se exatamente os menores valores de entropia (Figura 2). Logo, a entropia aproxima-se do seu valor mínimo à medida que houver menos uniformidade de sua distribuição, isto é, quando os dados da série apresentam variabilidade temporal.

Figura 6. Desvio-padrão da entropia diária para Cabaceiras (1926 – 2011).

A Figura 7 mostra a correlação entre o desvio-padrão da entropia diária e o desvio-padrão da entropia anual. Observa-se um forte relacionamento positivo entre os

valores diários e anuais de entropia. O coeficiente de determinação entre esses desvios foi de 93% e a curva ajustada foi uma função linear.

Figura 7. Correlação entre valores diários e anuais de entropia em Cabaceiras (1926-2011).

O relacionamento entre coeficientes de variação diários e anuais de entropia é mostrado na Figura 8. Neste caso, a correlação é crescente e com variância explicada próximo aos 50%, sendo a curva ajustada a uma função

linear. Os resultados mostram que a entropia diária, enquanto estimativa funcional da incerteza associada à ocorrência de chuva nesse curto período, não apresenta um mesmo padrão que aquele observado em escala anual.

Figura 8. Correlação da variância explicada diária e anual da entropia da precipitação em Cabaceiras - PB (1926-2011).

A correlação entre valores anuais de precipitação e entropia anual é mostrada na Figura 9. A análise da

figura exhibe o padrão de relacionamento entre essas variáveis ajustadas a uma função exponencial.

Figura 9. Relacionamento entre entropia anual e precipitação anual em Cabaceiras (1926-2011).

CONCLUSÕES

O desvio-padrão da entropia anual varia uniformemente aos valores de entropia, mostrando com isso uma pequena oscilação de seus dados em torno dos valores médios.

A técnica da entropia se constitui uma ferramenta apropriada para expressar a variabilidade de dados em torno da média do que a técnica convencional do desvio-padrão.

A variabilidade dos padrões de ocorrência de precipitação no município de

Cabaceiras é maior nos períodos de La Niña do que nos períodos de EL Niño.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, H. A. Variabilidade anual da precipitação pluvial em Cabaceiras, PB, In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XIII, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2003, **Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, pp. 835-837, 2003.
- ARAGÃO, J. O. R. **Um estudo das estruturas das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), 1975.(INPE-789-TPT/017).
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: Tucci, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, UFRGS, ABRH, Porto Alegre. Cap. 5, p. 177-200, 1993.
- FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas**. 2010. 112f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- FRANCISCO, P. R. M.; PEREIRA, F. C.; MEDEIROS, R. M. SÁ, T. F. F. Zoneamento de risco climático e aptidão de cultivo para o município de Picuí – PB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.5, p.1043-1055, 2011.
- LIU, L. Z.; QIAN, X. Y.; LUA, H. Y. Cross-sample entropy of foreign exchange time series. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v.389, n.21, p.4785-4792, 2010.
- MARENGO, J.; SILVA DIAS, P. **Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos**. Capítulo 3 em Águas Doces do Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação, 2006, pp.63-109, Eds. A. Rebouças, B., Braga e J. Tundisi. Editoras Escrituras, SP.
- MARUYAMA, T.; KAWACHI, M. T.; SINGH, V. P. Entropy-based assessment and clustering of potential water resources availability. **Journal of Hydrology**, v.309, n.1-4, p.104-113, 2005.
- MEGNA, P. R.; MEDEIROS, R. M.; MELO, V. A. **Estudo Agroclimático do Município de Cabaceiras-PB**, Campina Grande: EDUFPG, 2016.
- MOULIN, G. D. **Técnicas de entropia e de geoestatística no dimensionamento de redes pluviométricas**. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Vitória, 2005.
- ORTOLANI, A. A.; CAMARGO, M. B. P. **Influência dos fatores climáticos na produção. Ecofisiologia da Produção Agrícola**. Piracicaba: Potafos, 249 p., 1987.
- PAULA, R. K.; BRITO, J. I. B.; BRAGA, C. C. Utilização da análise de componentes principais para verificação da variabilidade de chuvas em Pernambuco. XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...** Belém do Pará, PA. 2010, CD Rom.
- PARAÍBA. (2006). **Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA**. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, DF, 112p.
- PRADO, D. E. **As Caatingas da América do Sul**. In: Ecologia e Conservação da Caatinga. 3ed. Inara R. Leal, Marcelo Tabarelli e José Maria Cardoso da Silva (Editores). Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2008. 822p. il. pp. 03-73.
- SANTANA, M. O.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A.; SILVA, D. D. Caracterização da estação chuvosa para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de**

Agrometeorologia, v.15, n.1, p.114-120, 2007.

SILVA, V. P. R.; CAVALCANTI, E. P.; NASCIMENTO, M. G.; CAMPOS, J. H. B. C. Análises da precipitação pluvial no Estado da Paraíba com base na teoria da entropia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.269-274, 2003.

SOUSA, E. P.; SILVA, V. P. R.; CAMPOS, J. H. B. C.; OLIVEIRA, S. D. A Teoria da Entropia na Análise da Precipitação no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.5, n.2, p.386-399, 2012.

SOUSA, R. F.; MOTTA, J. D; GONZAGA, E. N; FERNANDES, M. F; SANTOS, M. J. Aptidão agrícola do Assentamento Venâncio Tomé de Araújo para a Cultura do Sorgo (*Sorghum bicolor* - L. Moench). **Revista de**

Biologia e Ciências da Terra, v.3, n.2, p.s/n, 2003.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Dados pluviométricos mensais do nordeste** – Série pluviometria 5. Estado da Paraíba. Recife, 239p. 1990.

TUNDISI, J. G. Recursos Hídricos. Multiciência: Revista Interdisciplinar dos Centros e Núcleos da Unicamp. **Instituto Internacional de Ecologia**, São Carlos, 2003. Disponível em: <http://www.multiciencia.unicamp.br>. Acesso em: 05 mar. 2013.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, M. A. F. S.; DIAS, P. L. S. Inter-relações entre eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a chuva nas bacias hidrográficas do Ceará. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, p 111-126, 2012.