



## Análise da teoria da entropia utilizando dados pluviométricos referentes ao município de Sousa – PB entre os anos 2005-2015

### *Entropy theory analysis using pluviometric data of the city of Sousa (PB) between 2005-2015*

*Felipe Marinho Coutinho de Souza<sup>1</sup>, Izaias Romário do Nascimento<sup>1</sup>, Letícia Barbosa de Lacerda<sup>1</sup>, Péricles de Farias Borges<sup>2</sup> & Lázaro de Souto Araújo<sup>2</sup>*

**Resumo:** O estudo da precipitação é de grande importância, visto que essa variável é primordial no ciclo hidrológico e em diversas atividades humanas. A entropia como teoria da incerteza, permite o estudo da variabilidade da precipitação. O objetivo do presente trabalho é avaliar a aplicação da teoria da entropia na análise da variabilidade das taxas pluviométricas do município de Sousa – PB. Foram utilizados dados diários de precipitação de um período de 11 anos, aos quais foi aplicada a teoria da entropia para cálculo da entropia anual e após isso a construção de gráficos de entropia, precipitação e número de dias com chuvas para o município. A precipitação apresentou uma grande variação entre os anos avaliados, da mesma forma se comportaram os dados de dias chuvosos, visto que as duas variáveis estão intrinsecamente ligadas. A entropia anual para o município teve uma alta correlação com o comportamento dos dados das outras duas variáveis, sendo que nos anos de maior precipitação e dias chuvosos foram observados maiores valores de entropia, valores esses superiores aos encontrados em outras localidades da região semiárida, o que demonstra uma baixa variabilidade temporal da precipitação nos anos de maior chuva.

**Palavras-chave:** *Agrometeorologia; Manejo de água; Pluviometria; Semiárido.*

**Abstract:** The precipitation study it is of great importance, since this variable is primordial in the hydrological cycle and in several human activities. The entropy as uncertainty theory allows the study of precipitation variability. The objective of this work is to evaluate the application of the entropy theory in the analysis of the variability of the pluviometric rates of the city of Sousa - PB. Used daily precipitation data from a period of 11 years, to which the entropy theory was applied to calculate the annual entropy and after that the construction of entropy graphs, precipitation and number of days with rainfall for the municipality. The rainfall presented a great variation between the evaluated years, just as the data of rainy days behaved, since the two variables are intrinsically linked. The annual entropy for the municipality had a high correlation with the data behavior of the other two variables, and in the years of higher rainfall and rainy days, higher values of entropy were observed, higher values than those found in other locations in the semi-arid region. which shows a low temporal variability of precipitation in the years of higher rainfall.

**Keywords:** *Agrometeorology; Water management; Pluviometry; Semiarid.*

\*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 15/07/2019; aprovado em 30/06/2020.

<sup>1</sup> Graduando em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, felipemarinhopbc@gmail.com\*, izaias.agronomia@gmail.com, lacerda.lbl@gmail.com;

<sup>2</sup> Doutor, professor do Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba (DCFS/CCA/UFPB), periclesca@hotmail.com, lazaro.souto@hotmail.com.

## INTRODUÇÃO

A região semiárida brasileira é fundamentalmente, caracterizada por apresentar baixos índices pluviométricos e esses serem distribuídos irregularmente tanto de forma espacial quanto temporal. Conforme Silva et al. (2005) a média anual pluviométrica dessa região apresenta valores entre 300 a 800 mm, este, variando consideravelmente, até mesmo dentro de alguns quilômetros de distância e em escalas de tempo diferentes. De acordo com Almeida et al. (2010) no período chuvoso é comum a observação de locais onde as pessoas estão acumulando água em seus reservatórios e em outros tendo problemas quanto a escassez da água, evidenciando bastante essa irregularidade na distribuição da precipitação nessa região. Já a variação temporal é identificada quando não é observado nenhum tipo de regularidade ao longo dos anos.

Essa variabilidade pluvial verificada na região Nordeste brasileira sofre influência de vários sistemas meteorológicos, muitas vezes associado ao deslocamento meridional da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e ao tempo de sua permanência em latitudes mais ao sul do Equador. Além disso, de fenômenos atmosféricos e oceânicos de grande escala que se processa sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais, entre outros eventos que o influenciam (Lucena et al., 2011).

Sendo um dos pilares para caracterizar o clima de uma região, a precipitação pluviométrica, segundo Bezerra (2004) é de suma importância para o desenvolvimento das atividades econômicas e do ecossistema de uma região. No Nordeste é comum a utilização da agricultura de sequeiro. Desta forma, o sucesso da produção, é dependente da quantidade e regularidade pluviométrica do local do plantio (Silva et al., 2011).

Nesse contexto, a variação espaço-temporal de ocorrência da precipitação pode ser bem mais compreendida a partir da utilização da teoria da entropia. De acordo com Kawachi et al. (2001), a entropia é utilizada com eficiência na avaliação qualitativa das variáveis hidrológicas. Além disso, a entropia surge como uma saída importante para estudos onde a escassez de dados é alta. Uma vez que a maioria dos métodos convencionais possui dificuldade em analisar em uma pequena amostra de dados, a distribuição da probabilidade da variável (Sousa et al., 2012).

A entropia é originária da Física, inicialmente utilizado em termodinâmica por Clausius, em 1850. Dentro da mecânica estatística, sua interpretação probabilística é conferida por Boltzmann em 1877. Dado o contato com a probabilidade registrado alguns anos depois, em 1906, por Planck. Mais recentemente utilizado por Shannon (1948), na análise econômica e em solução de problemas conectados a teoria de codificação e transmissão de dados.

A verificação do grau de incerteza ou o tamanho da desordem de ocorrência da precipitação é a principal demanda a ser observada quando se utiliza essa teoria nessas aplicações. A incerteza pode ser avaliada pela entropia, dando importância todos os tipos de informações disponíveis, e representada pela

distribuição de probabilidade da variável controlada. A distribuição espacial da precipitação está relacionada a fatores meteorológicos e hidrológicos (Maruyama et al., 2005).

Diante do exposto o objetivo do presente trabalho é avaliar a aplicação da teoria da entropia na análise da variabilidade das taxas pluviométricas do município de Sousa – PB.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Uma medida utilizada para calcular a incerteza ou irregularidade de uma variável é a entropia. Usando a teoria de informação da entropia, definida por Shannon (1948), a incerteza de uma variável ou a incerteza de sua probabilidade e distribuição é o valor esperado negativo do logaritmo da FDP da variável (Guedes e Sousa, 2011).

Conforme Chiaranda et al. (2012), o estudo dessa variável meteorológica é de suma importância para organização das atividades agrícolas a serem exercidas no local, pois permite um planejamento mais consistente e confiável. Ou seja, o estudo dessa variável, resultará em benefícios para o setor agrícola, principalmente em locais onde a precipitação não é uniforme.

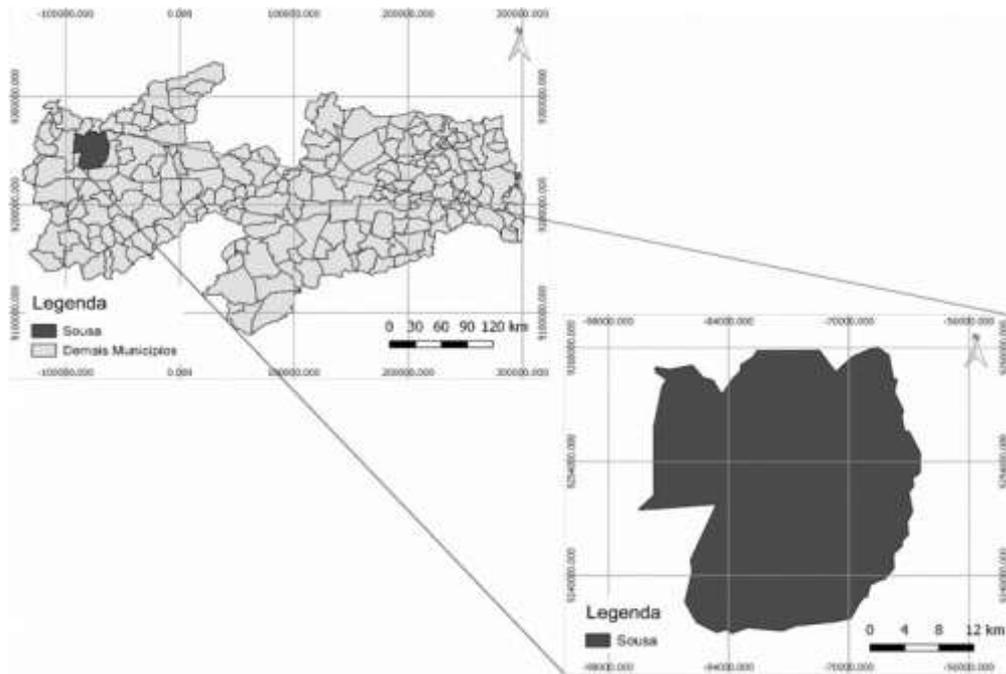
Uma pequena amostra de dados reflete, muitas vezes, a dificuldade na análise de probabilidade e da distribuição da variável por métodos convencionais. Deste modo, pode-se atenuar esse tipo de problema através do uso da teoria da entropia, a qual é capaz de determinar distribuições de probabilidade menos 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).

## METODOLOGIA

O estado da Paraíba tem uma área de 56.584,6 km<sup>2</sup> e está situado entre os paralelos de 6°02'12" e 8°19'18" de latitude Sul e entre 34°45'54" e 38°46'12" de longitude a oeste do Meridiano de Greenwich, localizando-se, portanto, no extremo leste do Nordeste Brasileiro (Sousa et al., 2012), o qual predomina a região semiárida, possui quatro mesorregiões bem definidas, sendo elas: Agreste, Borborema, Mata Paraibana e Sertão (Rodríguez, 2002). O clima do estado, de acordo com a classificação de Köppen, é dividido em As (Tropical com chuvas de inverno), o qual predomina na Mata Paraibana, Sertão e em parte do Agreste, BSh (Árido do tipo Estepário, seco e quente), predomina em toda a Borborema e parte do Agreste e Sertão, e em algumas partes da Mata Paraibana os tipos Aw (Tropical com chuvas de verão) e Am (Tropical do tipo monções) (FRANCISCO et al., 2015).

O município de Sousa – PB (Figura 1), o qual está inserido na mesorregião Sertão, situado no semiárido paraibano, a cerca de 538,7 km da capital João Pessoa, está a uma latitude de -6,75 Sul, -38,21 de longitude Oeste e uma altitude média de 233,06 m e uma área de 842 km<sup>2</sup> (Souza, 2017).

**FIGURA 1:** Área de estudo. Município de Sousa – PB.



**FONTE:** SIRGAS 2000/ZONA 25 S.

Os dados utilizados para a realização do presente trabalho são diários, referentes a um período de 11 anos, 2005 a 2015, obtidos no Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande (DCA/UFCG).

Para o cálculo da entropia foi utilizada a equação proposta por Shannon (1948) (Equação 1), que conforme esta a entropia é considerada a estimativa da incerteza da ocorrência de um determinado evento num processo aleatório (SILVA et al., 2003), a unidade da entropia pode ser em bits, napiers ou hartley, sendo que para cada uma deve ser usada uma base logarítmica, sendo essas 2, base neperiana e 10, respectivamente, no caso do presente trabalho foi utilizada a base 2 para a unidade em bits.

$$H = -k \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad [1]$$

Onde: H – Entropia, bits;  $p_i$  – Probabilidade da  $i$ -ésima variável aleatória discreta, adimensional; k – Constante positiva cujo valor depende da unidade, no caso de bits que é igual a 1; n – Número possível de eventos da variável aleatória discreta, adimensional.

A frequência relativa ( $P_i$ ) no presente trabalho é a probabilidade de ocorrência do total de precipitação no  $i$ -ésimo dia, representando a incerteza da ocorrência de precipitação no determinado dia, para cálculo do mesmo utiliza-se (equação 2):

$$P_i = \frac{r_i}{R} \quad [2]$$

Onde:  $r_i$  – Corresponde a precipitação pluvial no  $i$ -ésimo dia do ano, mm;  $R$  – Expressa o somatório da precipitação na série analisada, mm.

Substituindo a Equação 2 na Equação 1, têm-se a Equação 3:

$$H = -k \sum_{i=1}^n \frac{r_i}{R} \log_2 \left( \frac{r_i}{R} \right) \quad [3]$$

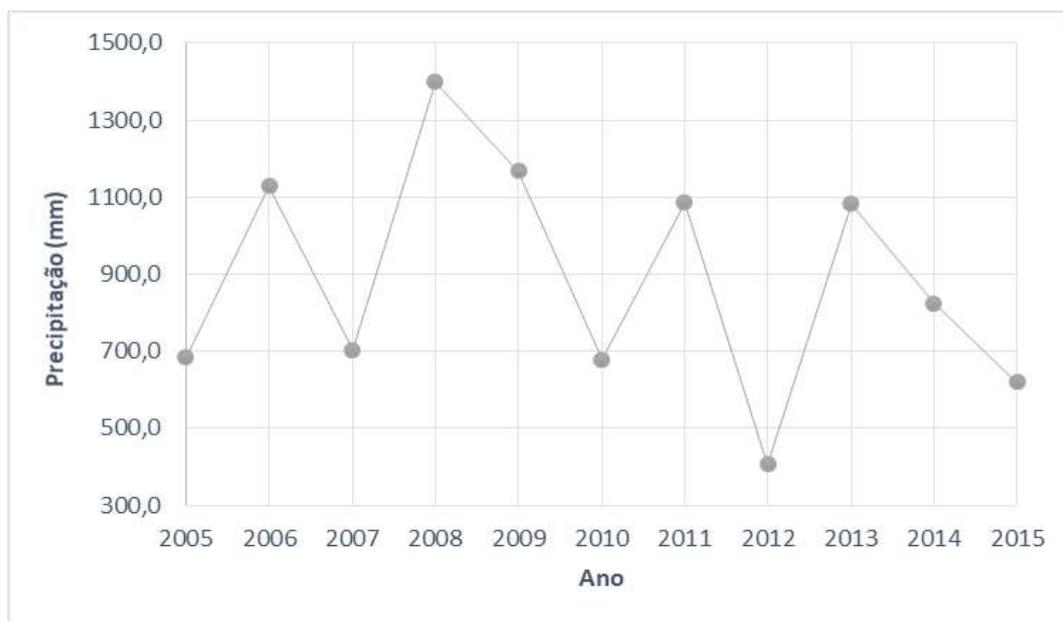
Para melhor apresentação dos resultados correspondentes as precipitações anuais, do número de dias com chuvas no ano e da entropia, foram elaborados gráficos com estes valores, relativos aos dados de 11 anos.

#### 4. RESULTADO E DISCUSSÕES

O acompanhamento da precipitação anual, apresentado na figura 2, é possível observar a irregularidade pluviométrica durante os anos estudados. Quando maior a irregularidade de chuvas na região, menor a entropia.

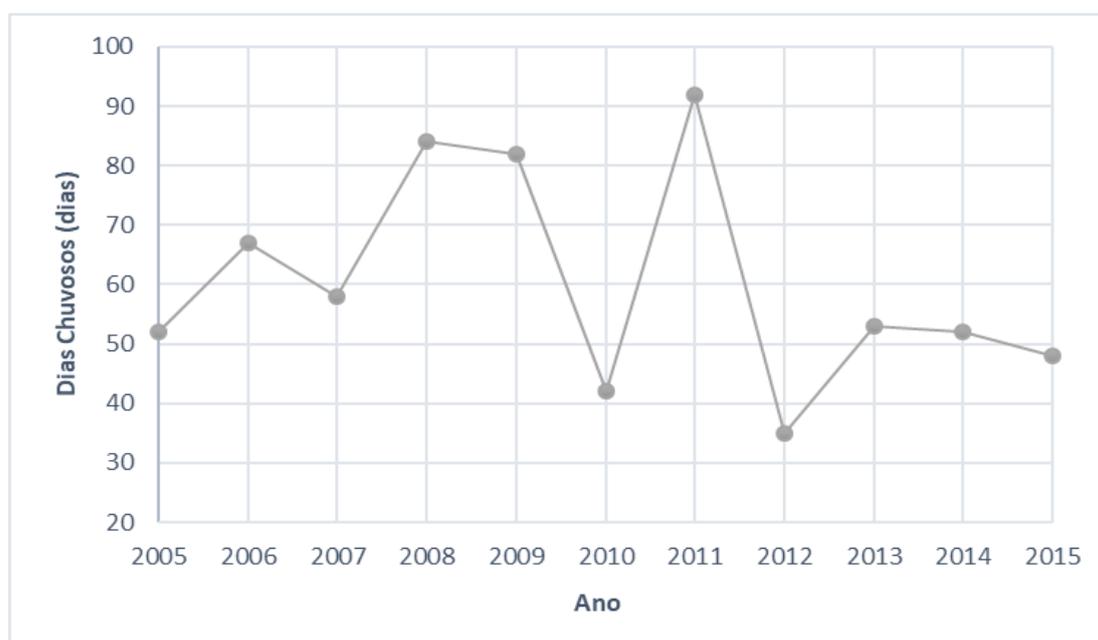
Trabalhos realizados por Medeiros et al. (2015) apresentam resultado semelhantes quanto a essas variações dos índices pluviométricos, o qual pode também ser corroborado pelos resultados obtidos por Sousa et al. (2012), os quais mostraram que para o município de Pombal, também localizado na mesorregião Sertão, apresentou baixas quanto a regularidade das chuvas.

**FIGURA 2:** Gráfico referente a precipitação em relação aos anos estudados.



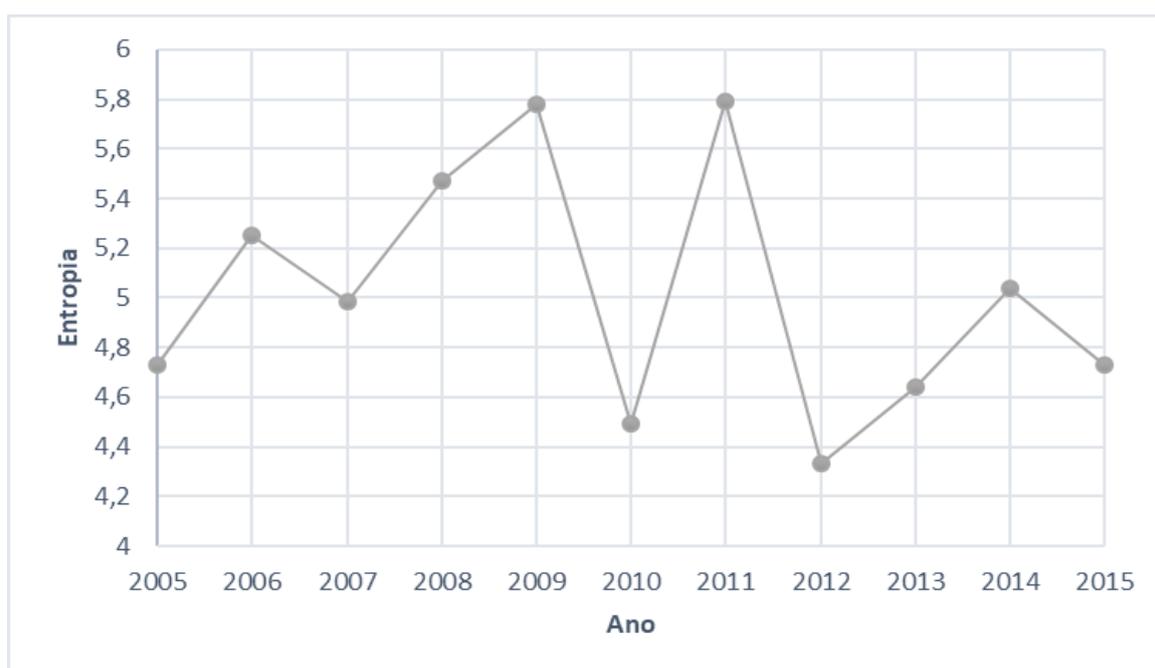
Quanto aos Dias Chuvosos, não apresentam resultados discrepantes em relação à Precipitação, isso se dá por conta da relação intrínseca destes fatores, como apresentado na figura 3, bem como na figura anterior (Figura 2), entre os anos de 2010, 2011 e 2012 é possível observar um pico em relação tanto aos Dias de chuva, quanto a precipitação.

**FIGURA 3:** Gráfico referente aos Dias Chuvosos em relação aos anos estudados.



Ao observar os valores de entropia, é perceptível sua semelhança com os valores das demais figuras anteriores, isso se dá pelo fato de que quanto maior o número de dias chuvosos e acúmulo de precipitação, menor a irregularidade temporal da precipitação, dado pela maior entropia (Figura 4). 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, ou seja, a chuva é má distribuída ao longo do ano.

**FIGURA 4:** Gráfico referente à Entropia em relação aos anos estudados.



A entropia é máxima quando todos os dias há registro de precipitação iguais entre si, dessa forma a entropia torna-se uma função logarítmica crescente em  $n$ , em que aumenta de acordo com o número de dias da série (Silva et al., 2003), se tratando do período de um ano, em que  $n$  é igual a 365, o valor máximo com o logaritmo na base 2 é próximo a 8,51 bits, e a variação temporal é zero, dessa forma, os anos em que tem-se maior valor de entropia são aqueles com menor variação temporal da distribuição da precipitação, que conforme possível observar na figura 4 são os anos de 2008, 2009 e 2011, corroborando com os anos de maior precipitação e dias chuvosos (Fig. 2 e 3, respectivamente).

Os valores da entropia para o município de Sousa variaram entre 4,3 a 5,8 bits, valores esses superiores aos encontrados por Lêdo et al. (2012) na bacia do Alto Jaguaribe no Ceará, cujo os mesmos variaram entre 2,31 a 2,56 bits para a entropia anual, com isso verifica-se que a entropia é superior a de outras regiões e não é tão grande a variação da precipitação para o município.

## CONCLUSÕES

A técnica da entropia se constitui uma importante ferramenta para expressar a variabilidade de dados; O município de Sousa – PB apresentou valores mais representativos de entropia nos anos de 2008, 2009 e 2011, com uma média de 5,1 bits, sendo considerado um valor alto, ou seja, pouca variabilidade temporal da precipitação nesses anos, no entanto na maioria dos anos a precipitação teve uma acentuada variação, com isso é interessante a captação nos períodos de maior precipitação e utilização nos períodos de pouca chuva.

## REFERÊNCIAS

- [1] ALMEIDA, H. A.; FARIAS, M. P.; CABRAL JUNIOR, J. B.; CABRAL, L. N. Variabilidade temporal e espacial da chuva nas localidades mais secas da Paraíba. In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 9, 2010, Fortaleza, Anais... Fortaleza: SBCG, 2010.
- [2] BEZERRA, Ricardo Braz. Variabilidade espacial do balanço hídrico climatológico da região Norte do Brasil e influência do de. 2004. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.
- [31] CHIARANDA, R.; RIZZI, N. E.; COLPINI, C.; SOARES, T. S.; SILVA, V. S. M. Análise da precipitação e da vazão da bacia do Rio Cuiabá. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v. 7, n. 1, p. 117-122, 2012.
- [4] FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D.; MATOS, R. M. Classificação Climática de Köppen e Thornthwait para o Estado da Paraíba. Brasileira de Geografia Física, v.8, n.4, p.1006-1016, 2015.
- [5] KAWACHI, T.; MARUYAMA, T.; SINGH, V. P. Rainfall entropy delineation of water resources zones in Japan. Journal of Hydrology, v. 246, p. 36-44, 2001.
- [6] LÊDO, E. R. F.; ARRAES, F. D. D.; SILVA, M. G. Análises da precipitação na bacia do Alto Jaguaribe baseado na teoria da entropia. In: INOVAGRI International Meeting, 2012, Fortaleza. Anais..., Fortaleza: 2012

- [7] LUCENA, D. B.; GOMES FILHO, M. F.; SERVAIN, J. Avaliação do impacto de eventos climáticos extremos nos Oceanos Pacífico e Atlântico sobre a estação chuvosa no nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, n. 2, p. 297-312, 2011.
- [8] 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.
- [9] MEDEIROS, R. M.; SILVA, V. P. R.; GOMES FILHO, F. M.; FRANCISCO, P. R. M. Aplicação da teoria da entropia no estudo da precipitação pluvial em Teresina-PI. *Revista de Geografia (UFPE)* v. 32, n. 2, 2015.
- [10] RODRIGUEZ, J. L. (Org.). *Atlas Escolar da Paraíba*. João Pessoa, ed. Grafset, 2002.
- SHANNON, C. E. The mathematical theory of communications. I and II. *Bell System Tech. Journal*, 1948.
- [11] SILVA, L., ALMEIDA, H. A., COSTA FILHO, J. F. Captação de água de chuvas na zona rural: uma alternativa para a convivência no semiárido nordestino. In: *Simpósio de Captação de água de chuvas no semiárido*, 5, Teresina, PI. CD-ROM, 2005.
- [12] 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*, Campina Grande, v. 7, n. 2, p.269-274, 2003.
- [13] SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; AZEVEDO, P. V.; SOUSA, F. A. S.; SOUSA, I. F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 15, n. 2, p. 131-138, 2011.
- [14] 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.