

Estimativa da entropia pluvial em Bom Jesus Piauí, Brasil
Estimation of pluvial entropy in Bom Jesus Piauí, Brazil
Estimación de la entropía pluvial en el Buen Jesús Piauí, Brasil

Recebido: 25/06/2020 | Revisado: 09/07/2020 | Aceito: 16/07/2020 | Publicado: 20/07/2020

Romildo Morant de Holanda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7945-3616>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: romildomorant@gmail.com

Raimundo Mainar de Medeiros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3455-9876>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: mainarmedeiros@gmail.com

Manoel Viera de França

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4973-9327>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: manoelvieira.ufrpe@gmail.com

Resumo

Têm-se como objetivo avaliar as flutuações das entropias pluviais nos ciclos diários, mensais e anuais e na ocorrência da quadra seca e chuvosa e dos desvios padrões, no período 1960-2018 em Bom Jesus Piauí. Realizaram-se os preenchimentos de falhas, homogeneização e consistência dos dados tomando-se por base os critérios de analisar para aquelas séries contínuas após seus preenchimentos, o método aplicado para o preenchimento das falhas nos dados foi pelo inverso da distancia ao quadrado. Os dados diários de chuva foram cedidos da estação meteorológica convencional do Instituto Nacional de Meteorologia. Registraram-se altos valores de entropia em anos com intensa precipitação, e valores de entropias baixas em anos de menores índices pluviais, ocasionados pelas suas irregularidades.

Palavras-chaves: Oscilação diária da precipitação; Disponibilidade hídrica; Desordem energética.

Abstract

The objective is to evaluate fluctuations in rainfall entropies in daily, monthly and annual cycles and in the occurrence of dry and rainy seasons and standard deviations, in the period 1960-2018 in Bom Jesus Piauí. Fault filling, homogenization and consistency of data were performed based on the criteria of analyzing for those continuous series after their filling, the method applied to fill in the data flaws was by the inverse of the squared distance. The daily rain data was provided from the conventional meteorological station of the National Institute of Meteorology. High entropy values were recorded in years with intense rainfall, and low entropy values in years of lower rainfall, caused by their irregularities.

Keywords: Daily rainfall oscillation; Water availability; Energy disorder.

Resumen

El objetivo es evaluar las fluctuaciones en las entropías de lluvia en ciclos diarios, mensuales y anuales y en la ocurrencia de estaciones secas y lluviosas y desviaciones est andar, en el período 1960-2018 en Bom Jesus Piauí. El llenado de fallas, la homogeneización y la consistencia de los datos se realizaron con base en los criterios de análisis para aquellas series continuas despu es de su llenado, el método aplicado para llenar los defectos de los datos fue por el inverso de la distancia al cuadrado. Los datos diarios de lluvia provienen de la estación meteorológica convencional del Instituto Nacional de Meteorología. Se registraron altos valores de entropía en años con lluvia intensa, y bajos valores de entropía en a os de menor precipitación, causados por sus irregularidades.

Palabras clave: Oscilaci n diaria de lluvia; Disponibilidad de agua; Desorden energético.

1. Introdu o

A entropia   uma grandeza termodinâmica em princípio acrescentada ao grau de desordem, aferindo parte da energia que não pode ser decomposta em trabalho, primeiramente aplicada por Clausius em 1850. Entropia   um desempenho de estado cujo valor cresce durante um processo natural em um sistema fechado, esta grandeza permite definir a Segunda Lei da Termodinâmica, alargando-se a dar-se de contorno natural em único sentido (Hastenrath, 2012).

Ferreira, Silva, Stosic, Menezes, Irmão & Souza, (2018) avaliaram a flutua o espacial da pluviometria mensal para o estado de Pernambuco, usando o método da entropia. Este método aplicou-se a medida de complexidade de séries temporais, avaliando as correla es

temporais entre os seus valores, utilizando uma representação simbólica baseada nas comparações dos valores consecutivos. Os resultados revelaram que os índices da entropia reduzem com a distância do litoral, indicando maiores oscilações e menores previsibilidades pluviiais mensais nas regiões da zona da Mata e Agreste pernambucano e menor flutuações e maiores previsibilidades mensais nas regiões do Sertão e alto Sertão Pernambucano.

A entropia vem sendo estudadas em diversas áreas na hidrologia (Fan, 2013; Serinaldi, Zunino & Rosso 2014; Lange, Rosso & Hauhs, 2013; Serinaldi, Zunino & Rosso, 2014), (Fan, 2013) detectou as mudanças abruptas nos dados temporais de vazão acarretadas por fatores naturais e antrópicos, na fisiologia (Nicolaou & Georgiou, 2012; Ferlazzo, 2014), engenharia (Yan, Liu & Gao, 2012), geofísica (Consolini, Michhelis, 2014), nos estudos das finanças (Bariviera, 2015) e em estudos de sistemas caóticos (Rosso, 2013).

Harmancioglu & Singh (1998); Harmancioglu, Singh & Alpaslan (1992) aplicarão a teoria da entropia para determinação de zonas pluviiais e estimativas dos recursos hídricos em grande escala. Husain (1989) aplicou a metodologia da entropia para escolher o número de estações em uma extensa rede de postos fluviométricos e identificar regiões com máxima informação hidrológica.

A técnica de dimensionamento de postos pluviiais adotando como base a metodologia da entropia é outra aplicação que esta sendo explorada nos segmentos dos recursos hídricos dos Estados brasileiro. Moulin (2005) em seus estudos estabeleceu que o número ideal de estações para uma rede pluviométrica local é de 18 postos para cobrir todo o Estado do Espírito Santo. Segundo ainda o autor no estudo do princípio de maximização da informação, somente 15 estações eram suficientes para representar aquela rede. Os resultados foram obtidos por modelo estocástico expressando em 41 formas de mapas de entropia, onde foram observados os intervalos correspondentes ao grau de incerteza pluvial e identificando regiões com maior ou menor entropia.

Guedes, Souza & Sousa (2010) aplicaram a metodologia da teoria da entropia e realizaram análise de agrupamento, métricas para representar a aleatoriedade da intensidade e ocorrência de chuva mensal; utilizaram-se desta metodologia visando avaliar a disponibilidade potencial dos recursos hídricos na região Nordeste do Brasil (NEB).

Melo & Medeiros (2016) avaliaram a teoria da entropia e seus padrões espaciais o qual possibilitou a entender as características pluviiais do município de Cabaceiras - PB. Os autores observaram que o desvio padrão da entropia anual modificou-se uniformemente com os valores da entropia em torno da média.

Medeiros (2019) avaliou a entropia pluvial para os municípios de São Bento do Una, Serra Talhada e Caruaru - PE, durante os anos 2012, 2016, 2008 e 2011, com atuação do fenômeno El Niño(a) e suas variabilidades para os seus respectivos períodos secos e chuvosos. A pesquisa mostrou como resultado que os índices pluviométricos estão interligados às irregularidades e às atuações dos sistemas meteorológicos de micro e escala local os quais provocaram índices pluviométricos abaixo da média histórica municipais. Nos municípios: São Bento do Una e Serra Talhada a atuação do El Niño(a) não está relacionada a aumentos ou redução dos índices pluviométricos. Os cenários pluviométricos incorporam de forma adequada à oscilação espacial e temporal das chuvas, permitindo tornar a classificação e a regionalização climática acertada aos modelos de previsão em uso no Brasil.

Medeiros, Silva & Gomes Filho, (2015) analisaram a série pluvial entre o período de 1930 - 2010 para Teresina - PI, aplicando a teoria da entropia, como sendo capaz de produzir padrões espaciais que possibilitam envolver as características pluviométricas da área estudada. O desvio padrão anual fluiu uniformemente quanto aos valores de entropia, mostrando pequenas oscilações em seus dados em torno da média. A variabilidade dos padrões de ocorrência pluviométrica no município de Teresina é maior nos períodos de La Niña do que nos períodos de EL Niño, com valores de entropia anual oscilando entre 2,68 bits (mínimo) e 6,47 bits (máximo), com um valor médio de 5,39 bits.

Medeiros (2019) analisou as flutuações dos padrões pluviométricos diários, mensais e anuais e debateu a disponibilidade hídrica, ressaltando o procedimento da entropia pluvial no período seco e chuvoso e seus desvios padrão da entropia no período 1962-2015 para Recife - PE, com o intuito de compreender as características dinâmicas das chuvas da área estudada. O autor concluiu que em Recife nos períodos de La Niña não se registrou influência nos índices pluviométricos. O desvio padrão da entropia anual variou uniformemente aos valores da entropia, mostrando pequenas flutuações pluviométricas em seus dados em torno da média.

Souza (2011) mostrou que é aceitável proporcionar a hipótese da aplicação da teoria da entropia a qual delimitaram os recursos hídricos do Estado da Paraíba. Já Souza, Silva, Campos & Oliveira, (2012) afirmam que o conceito da entropia pode ser utilizado em diversas áreas do conhecimento e que vem sendo avaliado o grau de incerteza do padrão de distribuição das chuvas na área de estudo, os autores afirmaram ainda que a entropia é uma ferramenta eficaz para representar a variabilidade dos dados em torno da média.

A entropia e o índice de sazonalidade podem afetar a dinâmica do crescimento vegetativo. Souza, Feng, Antonino, Montenegro, Souza & Porporato (2016) mostraram que o

desenvolvimento da caatinga responde, tanto ao total de chuva, como à sua distribuição da ao longo do ano (sazonalidade).

Têm-se como objetivo avaliar as flutuações das entropias pluviais nos ciclos diários, mensais e anuais pluviais e na ocorrência da quadra seca e chuvosa e dos desvios padrões, no período 1960-2018 em Bom Jesus Piauí.

2. Metodologia

Bom Jesus Piauí localiza-se na latitude 09°04' sul e longitude 44°21' oeste, com altitude de 277 metros. (Figura 1). Segundo a classificação climática de Köppen (1928, 1931) o clima de Bom Jesus Piauí é do tipo *Aw'*, (tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno), resultados análogos foram encontrados por Medeiros (2016); Alvarez, Stape, Sentelhas, Gonçalves & Sparove, (2014). O município de Bom Jesus Piauí dentro do referido estado localizado no sul do estado.

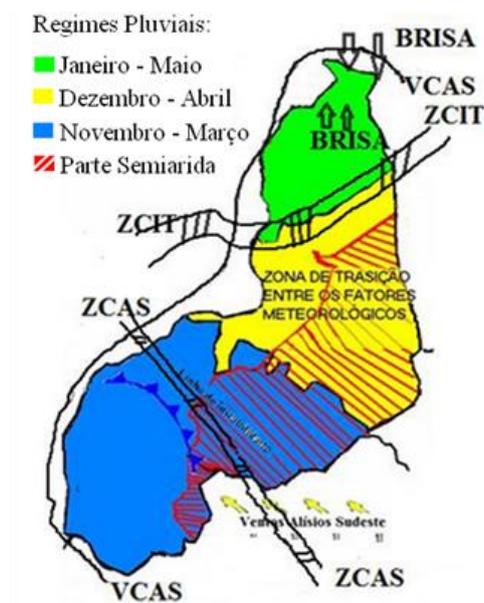
Figura 1. Posicionamento da cidade de Bom Jesus Piauí dentro do referido estado.



Fonte: Medeiros (2020).

Dadas às informações climatológicas e dinâmicas do NEB, Bom Jesus do Piauí tem seu clima controlado pela flutuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul e dos vestígios das frentes frias, contribuição dos vórtices ciclônicos de altos níveis, deste que seu centro esteja no oceano, às formações e intensificações das linhas de instabilidade e dos aglomerados convectivos, auxiliado pelos ventos alísios de sudeste, a convergência de umidade e a troca de calor sensível por latente e vice-versa, a ajuda da orografia e seus efeitos locais. As contribuições dos efeitos locais, fatores que aumentam a cobertura de nuvens, a umidade relativa do ar ocasionam chuvas de intensidades moderadas as fracas em quase todos os meses, sendo o fenômeno La Niña o principal fator ocasionador de episódio de chuvas acima da média climatológica provocando inundações, alagamento, enchentes, enxurradas e desmoronamento. (Figura 2). (Medeiros, 2016).

Figura 2. Regimes pluviais e seus principais fatores provocadores de chuva no Piauí.



Fonte: Medeiros (2016).

Utilizaram-se dados diários pluviais de Bom Jesus do Piauí, no período no 1962-2018. Realizaram-se os preenchimentos de falhas, homogeneização e consistência e analisando os dados contínuos. Caso ocorram problemas nos equipamentos ou por impedimento do observador que resultem em dias sem observação ou mesmo intervalo de tempos maiores, os dados falhos foram preenchidos com os dados de três postos vizinhos, localizados o mais próximo possível, onde se aplicou da seguinte forma. Os dados diários pluviais utilizados

foram cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia, da estação meteorológica convencional em operação na área de estudo. (INMET, 1960-2018).

$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{N_x}{N_A} P_A + \frac{N_x}{N_B} P_B + \frac{N_x}{N_C} P_C \right)$$

Em que:

P_x é a chuva que se deseja determinar;

N_x é o valor da precipitação diária do posto x ;

N_A , N_B e N_C são, respectivamente, as precipitações diárias observadas dos postos vizinhos A, B e C;

P_A , P_B e P_C são, respectivamente, as precipitações observadas no instante que o posto x falhou.

O computo da entropia foi concretizados em planilhas eletrônicas aplicando-se as equações seguintes

2.1. Cálculo da entropia marginal da precipitação

A teoria da entropia serve de base para melhor compreender ou aumentar o grau de informações sobre um sistema, o que se refere à incidência ou não de fenômenos a ele relacionados. A teoria da entropia foi utilizada neste estudo para analisar a variabilidade da precipitação e 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 em um processo aleatório discreto, que foi obtida pela Equação 1 (Shannon, 1948):

$$H = -k \sum P_i \log P_i \quad \text{Eq.(1)}$$

Onde:

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 1 pode ser simplificada na Equação 2:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad \text{Eq.(2)}$$

Onde:

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 monotonamente 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 a série histórica pluvial de um ano, foi admitido que r_i representa a precipitação diária correspondente ao enésimo dia do ano. Por exemplo, valores diários pluviais de 1 de janeiro e 31 de dezembro para o mesmo ano podem são expressos por r_1 e r_{365} , respectivamente. Assim, a precipitação total durante um ano não bissexto R é expressa pelo somatório dos valores diários, variando de $i = 1$ até $i = 365$, sendo representada pela Equação 3:

$$R = \sum r_j \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

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, ..., enésimo dia do ano, respectivamente. Assim, a frequência

relativa da precipitação (P_i) será obtida dividindo-se r_i pelo tamanho total da amostra (R), aplicando a Equação 4:

$$P_i = r_i/R \quad \text{Eq. (4)}$$

A frequência relativa (P_i) é fixada como uma probabilidade do total da precipitação no i -ésimo dia, e, portanto, sua distribuição de ocorrência representa a característica probabilística da partição temporal da precipitação ao longo do ano, sendo a ocorrência da incerteza da precipitação, aplicando a Equação 5.

$$H = -\sum_{i=1}^n \frac{r_i}{R} \log_2 \left(\frac{r_i}{R} \right) \quad \text{Eq.(5)}$$

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, em um mesmo posto pluviométrico, a melhor estimativa da entropia daquele posto pode ser obtida através da média aritmética de seus valores anuais e expressa pela Equação 6:

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H \quad \text{Eq.(6)}$$

Onde:

H é a entropia média e

n o número de anos que se aplicou ao 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.

3. Resultados e Discussões

A precipitação passa a ser a única fonte de fornecimento de água. Por isso, ao escoar superficialmente a água é barrada em pequenos açudes e usada para o abastecimento e irrigação. Além disso, muitas vezes, uma pequena fração é captada e armazenada em cisternas para fins potáveis. No entanto, este elemento do clima é extremamente variável tanto em magnitude e em sua distribuição espacial e temporal para qualquer região e, em especial, no nordeste brasileiro, Almeida & Pereira, (2004); Almeida & Silva, (2007).

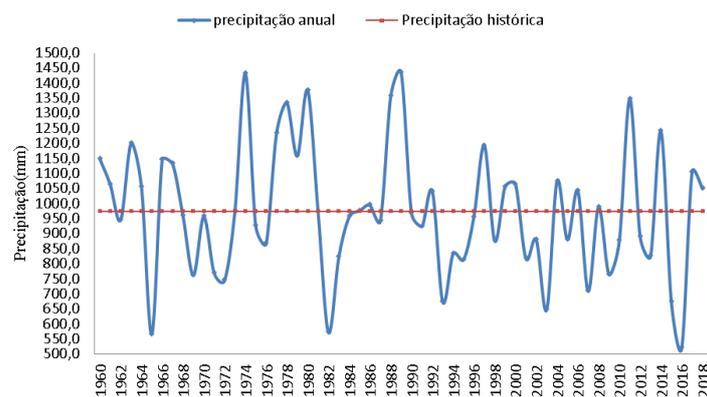
Há quatro décadas passadas, especialistas perceberam que a finitude recursos naturais aliadas à fragilidade dos ecossistemas deste planeta não suportaria o ritmo do aumento econômico imposto pela humanidade segundo relatos dos autores Barbieri, (2007), Sachs, (2015).

Noronha, Hora & Silva. (2016) em seus estudos sobre a ocorrência prolongada de secas em virtude da mudança climática, demonstrou a necessidade de um perfeito entendimento e de uma melhor previsão de suas ocorrências.

Com precipitação média histórica de 974,8 mm e com 59 anos de observações registradas, sobressair os anos 1965, 1969 a 1972. 1982, 1993, 2003, 2007 e 2016 com índices pluviométricos abaixo dos 800 mm ano. Os anos 1975, 1978, 1980, 1989, 2011 e 2014 com cotas pluviométricas superiores os 1200 mm. Os anos 1962, 1971, 1985, 1986 e 2009 seus índices pluviométricos foram igual à média histórica. (Figura 3). Estas variabilidades pluviométricas estão interligadas aos efeitos de meso e larga escala atuantes (Marengo, Alves, Beserra & Lacerda, 2011).

Na Figura 3 observam-se as flutuações pluviométricas anuais e médias históricas entre 1960-2018 em Bom Jesus Piauí. Destaca-se nove anos com chuva próxima a normalidade (média histórica), vinte e quatro anos com chuva acima da normalidade e vinte dois anos com chuva abaixo da normalidade, tais variabilidades são decorrentes dos fatores provocadores de chuvas ou inibidores na área de estudo. Tais oscilações foram semelhante ao estudo de Medeiros, Holanda & Silva, (2018) o que corroboram com os resultados discutidos.

Figura 3. Precipitação total anual e média histórica entre 1960-2018 em Bom Jesus Piauí.

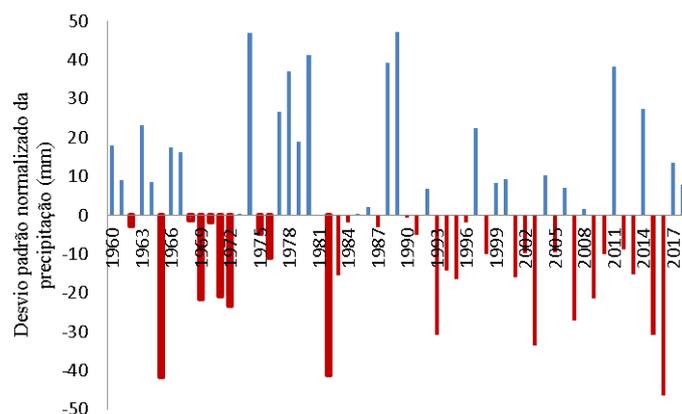


Fonte: Medeiros (2020).

As oscilações anuais do desvio padrão da precipitação entre os anos de 1960- 2018 (Figura 4). As elevadas flutuações nos desvios negativos foram registradas nos anos de 1965, 1982, 1993, 2003, 2007, 2015 e 2016.

Os desvios positivos de elevadas oscilações ocorreram nos anos 1974, 1978, 1980, 1988, 1989, 2001 e 2014. Os anos 1962, 1968, 1970, 1984, 1985, 1986, 1990, 1996 e 2008 são os desvios intermediários positivos e negativos ocorridos próximos à zero. Estas oscilações são decorrentes dos sistemas atmosféricos registrados e atuantes durante o período de estudo cujo estudo corrobora com os resultados de Medeiros, (2019).

Figura 4. Desvio padrão da precipitação anual em Bom Jesus Piauí entre 1960-2018.



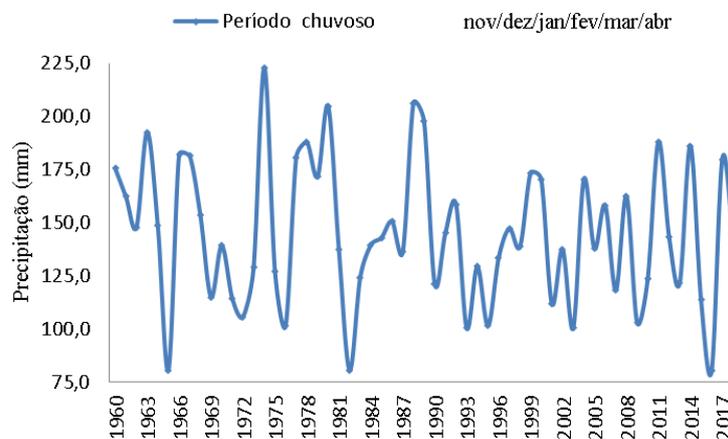
Fonte: Medeiros (2020).

Katz (1991); Katz & Brown, (1992) comprovaram que a frequência relativa de eventos extremos depende das mudanças no desvio padrão e não apenas da média. Katz (1991) supõe que uma mudança em uma variável climática que possua distribuição de probabilidade poderá

resultar em uma mudança na forma de sua classificação, estudos como os dos autores acima citados corroboram com estes resultados. Galvani, (2011) afirmou que o desvio padrão é importante para informações do “grau de dispersão dos valores em relação ao valor médio”. O coeficiente de variância é utilizado para fazer comparações em termos relativos e expressa “a variabilidade de cada conjunto de dados normalizada em relação à média, em porcentagem”.

A precipitação média do período chuvoso correspondente aos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril (Figura 5) flutuaram em 80,7 mm nos anos de 1965, 1982 e 2017 a 223 mm no ano de 1974.

Figura 5. Precipitação do período chuvoso (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril) em Bom Jesus Piauí entre 1960-2018.



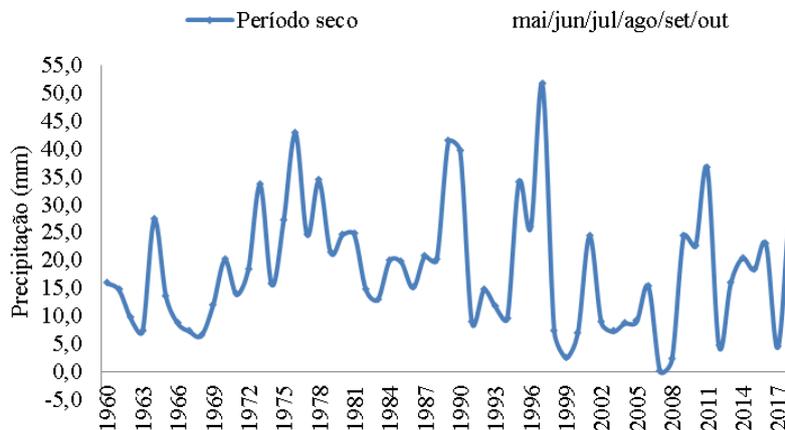
Fonte: Medeiros (2020).

Os anos de 1980 e 1989 seus índices pluviométricos registraram-se com chuvas acima dos 200 mm. Nos demais anos os índices pluviométricos oscilaram entre 100 a 192,2 mm. Resultados semelhantes foram encontrados por Marengo, Alves, Beserra & Lacerda, (2011) e por Medeiros, Holanda & Silva, (2018).

Na Figura 6 observam-se as flutuações dos índices pluviométricos do período seco (maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro) em Bom Jesus Piauí entre 1960-2018. As oscilações pluviométricas oscilaram entre 0,0 mm no ano de 2007 a 51,6 mm no ano de 1997 com uma média para o período de 18,2 mm.

Os anos de 1999, 2007 registraram índices pluviométricos menor de 5 mm e o ano de 1997 com 51,6 mm. Chama-se a atenção da comunidade em geral que qualquer evento de chuvas extremas ultrapassa a climatologia do período seco. (Marengo, Alves, Beserra & Lacerda, 2011).

Figura 6. Precipitações do período seco (maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro) em Bom Jesus Piauí entre 1960-2018.

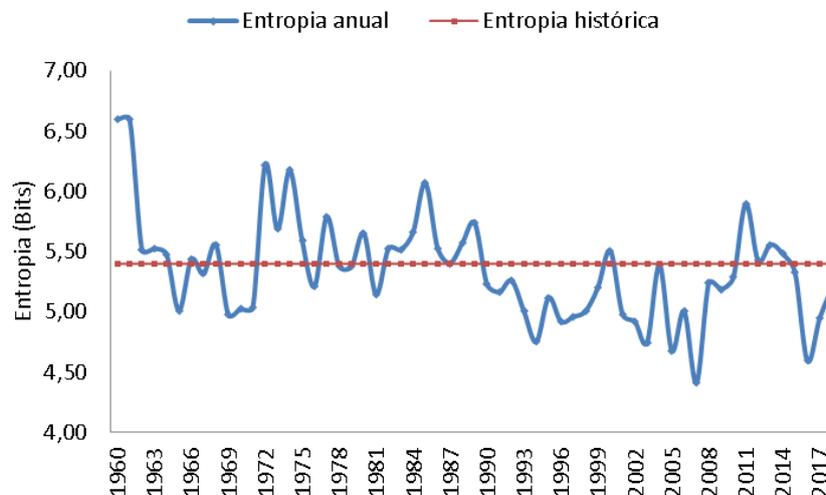


Fonte: Medeiros (2020).

Com uma entropia histórica de 5,4 Bits e suas flutuações oscilando entre 4,4 Bits a 6,6 Bits. (Figura 7). As maiores flutuações das entropias acima da média climatológica registraram-se os anos de 1960, 1973, 1975, 1986 e 2012.

As menores flutuações das entropias abaixo da média ocorreram nos anos de 1994, 2004, 2007 e 2016. Os anos com entropia próxima ou igual ao valor histórico da entropia foram: 1967, 1968, 1979, 1988, 2001, 2005, 2012 e 2015. Observou-se que a entropia sofreu diminuição em seus índices quando ocorreram menores registros pluviiais, confirmando deste modo a variabilidade da ocorrência de chuvas na área de estudo tal resolução esta em conformidade a afirmação de Silva, Filho Belo, Souza, Braga, Holanda, Almeida & Braga, (2018).

Figura 7. Entropia da precipitação total anual e média histórica entre 1960-2018 em Bom Jesus Piauí.

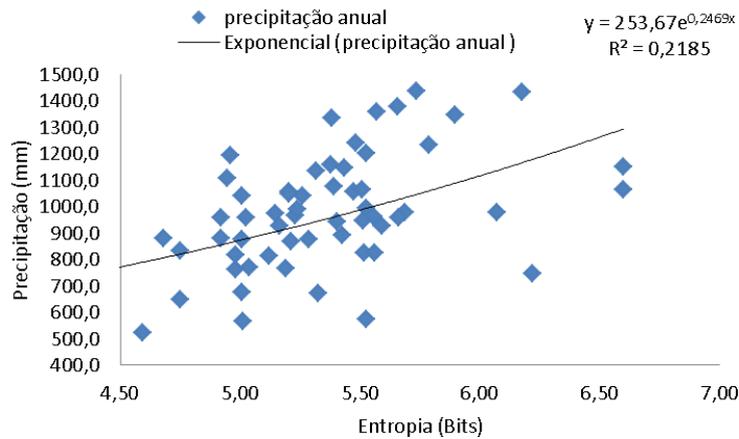


Fonte: Medeiros (2020).

Na Figura 8 têm-se a relação entre valores anuais pluviais e da entropia. A análise exhibe o padrão de relacionamento entre esses elementos ajustadas como uma função exponencial. Observar-se que em escala anual, a entropia se apresenta como uma medida de confiabilidade da probabilidade de incidência (ou não) em relação à precipitação, explicando 63,5% da série.

Esses resultados conferem com aqueles alcançados por Belo Filho, (2010), quando achou coeficiente de variância (CV) pluvial anual em algumas localidades do Estado do Ceará variando entre 28,8% e 41%. O autor ressaltou que a variabilidade interanual da precipitação é mais elevada que a anual, estes resultados foram também obtidos por Silva, Pereira, Azevedo, Souza & Sousa, (2011), com valores de CV variando de 84% a 243% para o Estado da Paraíba.

Figura 8. Relacionamento entre a precipitação e entropia anual em Bom Jesus Piauí entre 1960-2018.

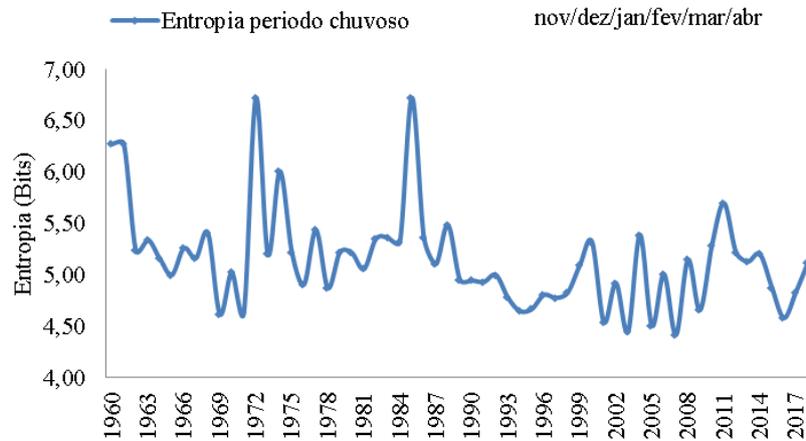


Fonte: Medeiros (2020).

Marengo, Rusticucci, Penalba & Renon, (2010) e Noronha, Hora & Silva, (2016) em seus estudos sobre a ocorrência prolongada de secas em virtude da mudança climática, mostraram a necessidade de melhor entendimento e de uma previsão de ocorrência com mais sensibilidade.

Na Figura 9 observam-se as flutuações das entropias da precipitação média do período chuvoso (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril) em Bom Jesus Piauí entre 1960-2018. Com uma média interanual de 5,1 bits e suas oscilações fluindo entre 6,6 Bits nos anos de 1972 e 1986 a 4,4 Bits no ano de 2008. Os demais anos a entropia oscilou entre os valores referenciados.

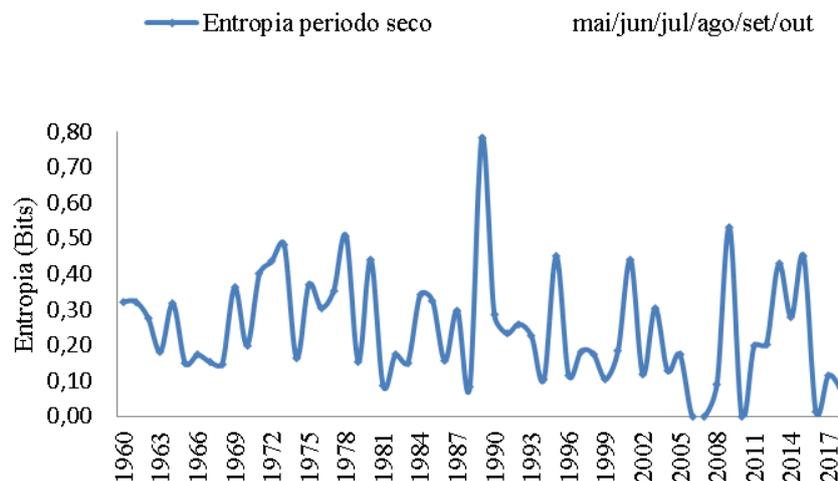
Figura 9. Entropia pluvial média do período chuvoso (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril) em Bom Jesus Piauí entre 1960-2018.



Fonte: Medeiros (2020).

As oscilações das entropias do período seco fluíram entre 0,0 Bits nos anos de 2006, 2007, 2010 e 2016 a 0,78 no ano de 1989 a média interanuais de 0,2 bits. (Figura 10).

Figura 10. Entropia da precipitação média do período seco (maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro) em Bom Jesus Piauí entre 1960-2018.



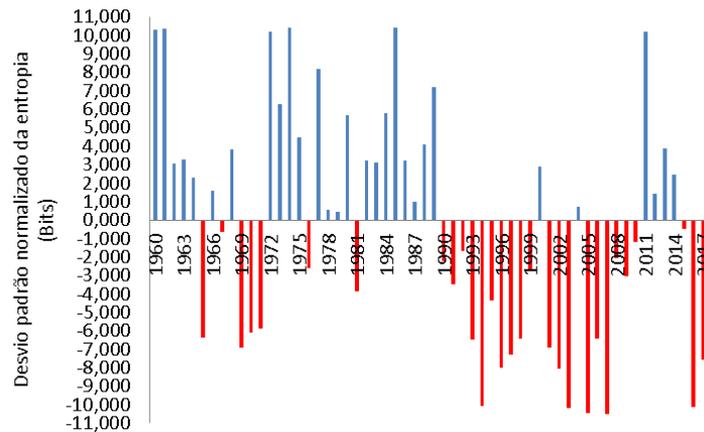
Fonte: Medeiros (2020).

A técnica de entropia é mais eficiente que a técnica convencional da variância para detectar a desordem dos dados em torno da média, de acordo com Maruyama, Kawachi & Singh, (2005).

Na Figura 11 observam-se os desvios padrões normalizados da entropia da precipitação do período de 1960-2018 em Bom Jesus do Piauí. Entre os anos de 1960 a 1964 e

os anos de 1966 e 1968 o desvio padrão positivos fluíram entre 1,7 Bits a 10,1 Bits. Entre os períodos de anos (1972-1975), (1977 a 1980) e (1982-1989), os anos de 2000 e 2004 e entre os anos de 2011 a 2014 os desvios da entropia oscilaram entre 0,2 Bits a 10,2 Bits. Em 50,8 dos anos a entropia foi registrada com o desvio normalizada negativa e suas flutuações foram registradas entre -0,2 a -9,8 Bits.

Figura 11. Desvio padrão da entropia da precipitação entre 1960-2018 em Bom Jesus Piauí.



Fonte: Medeiros (2020).

A entropia é máxima quando ocorrem registros de índices pluviométricos iguais em dias iguais entre si, dessa forma a entropia recua para uma função logarítmica crescente em n , que aumenta conforme o número de dias da série (Silva, Cavalcanti, Nascimento & Campos, 2003).

A Tabela 1 mostra os parâmetros estatísticos básicos da entropia e da precipitação, com base em totais diários e anuais. O percentual da média se refere ao do parâmetro analisado, representado pelo desvio padrão. Observou-se que a média da entropia com base em valores diários de precipitação (5,1 bits) foi inferior ao obtido com a utilização dos dados anuais (5,4 bits). As Figuras 10 e 11 demonstram os valores da entropia e do desvio padrão da entropia os quais apresentam padrão de comportamento diferente, sendo o percentual anual da média o de menor representatividade. Segundo Maruyama, Kawachi & Singh, (2005) a técnica da entropia é mais eficiente para detectar a desordem dos dados em torno da média do que o método convencional ao do coeficiente de variância. Essa ideia está evidenciada, pois o desvio padrão da entropia, enquanto medida de variabilidade dos dados, se comporta inversamente ao do desvio padrão pluviométrico.

Diversas metodologias têm sido utilizadas para se analisar as flutuações pluviiais, enquanto a entropia mostra-se eficiente em conformidade com alguns trabalhos. Medeiros, Silva & Gomes, (2015), que avaliaram a aplicação no estudo da pluvial utilizando-se da metodologia da entropia em Teresina – Piauí, concluíram que a entropia é mais eficiente que o desvio padrão na análise de dados em torno da média, os resultados do estudo corrobora com os dados apresentados.

Tabela 1. Parâmetros estatísticos da entropia e precipitação com base em totais diários e anuais no município de Bom Jesus Piauí entre 1960 - 2018.

Parâmetros Estatísticos	Entropia(Bits) Diária anual		Período chuvoso	Período seco	Precipitação Anual (mm)	Período Chuvoso(mm)	Período Seco(mm)
Média	5,1	5,4	5,1	0,21	974,8	144,9	18,2
Desvio padrão	0,3	0,4	0,5	0,25	215,0	33,5	11,1
Percentual média	5,4	7,4	0,49	0,22	22,0	23,2	60,1

Fonte: Medeiros, (2020).

Kagan, Linnik & Rao, (1973) afirmaram que, quando a entropia de uma variável aleatória é maximizada, sob a restrição de que a variância e a média são conhecidas para uma série de valores da variável, como sendo uma função de densidade de probabilidade para essa série a qual se reduz a uma função de distribuição normal. Isso implicitamente significa que o uso da variância é limitado para o caso da distribuição ser a normal.

Bussab, Miazak & Andrade (1990) afirmam que o critério utilizado para detectar homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre os grupos é o da soma dos quadrados residual baseado na Análise de Variância da entropia. Assim, quanto menor for esse valor, mais homogêneos serão os elementos dentro de cada grupo e melhor será a partição.

4. Considerações Finais

A variabilidade pluvial é maior em localidades com menor número de dias chuvosos e menor precipitação anual, dependendo não unicamente do total acumulado.

O desvio padrão da entropia anual oscilou de maneira uniforme com os valores da entropia, mostrando uma pequena flutuação em seus dados em torno da média.

A técnica da entropia se constitui em ferramenta apropriada para expressar a variabilidade de dados em torno da média, em comparação com a técnica convencional do desvio padrão.

Registraram-se altos valores de entropia em anos com intensa precipitação e valores de entropias baixas em anos de menores índices pluviiais, ocasionados pelas irregularidades pluviiais.

A entropia é uma técnica eficaz para a avaliação da variabilidade de dados pluviiais em torno da média, podendo ser amplamente usada na meteorologia e climatologia.

A estação seca da área de estudo apresenta uma baixa entropia, demonstrando assim uma variabilidade na precipitação superior à da estação chuvosa e da série anual.

Os índices pluviiais estão interligados as irregularidades e as atuações dos sistemas meteorológicos atuantes de micro e meso escala local que ocasionaram índices pluviiais abaixo da média histórica municipal.

O estudo fornece informações de aplicações da entropia em diversos setores e os autores indicam estes estudos para serem aplicadas em determinadas cultivares da área estudada.

Referências

Almeida, H. A., & Pereira, F. C., (2007). Captação de água de chuva: uma alternativa para escassez de água. In: *Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, 15, Aracaju, SE, Anais..., Aracaju: CD-ROM.

Almeida, H. A., & Silva, L. (2004). Modelo de distribuição de chuvas para a cidade de Areia, PB. In: *I Congresso Intercontinental de Geociências*, Fortaleza, CE, Anais..., Fortaleza.

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G. (2014). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 22, 711–28.

Barbieri, J. C. (2007). *Gestão ambiental empresarial*. São Paulo: Saraiva.p.230.

Bariviera, A. F. (2015). Permutation entropy in information theory tour through different interest rate maturities: the libor case. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 373, 20150119. 2015.

Belo Filho, A. F. (2010). *A teoria da entropia aplicada no estudo da precipitação pluvial e da vazão fluvial no nordeste do Brasil*. (Tese de Doutorado). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 53f.

Bussab, W. O., Miazak, E. S., & Andrade, D. F. (1990). Introdução à análise de grupamentos. In: *Simpósio Brasileiro de Probabilidade e Estatística*, IME-USP, São Paulo, 105p.

Consolini, G., & Michelis, P. (2014). Permutation entropy analysis of complex magnetospheric dynamics. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 115, 25-31.

Fan, J. (2013), Detecting abrupt change of stream flow at Lintong station of Wei river. *Mathematical Problems in Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, 2013, 9.

Ferlazzo, E. (2014). Permutation entropy of scalp EEG: A tool to investigate epilepsies: Suggestions from absence epilepsies. *Clinical Neurophysiology*, 125(1), 13-20.

Ferreira, D. V. S., Silva, A. S. A., Stosic, T., Menezes, R. S. C., Irmão, R. A., & Souza, W. S. (2018). Análise da variabilidade espaço temporal da chuva mensal no estado de Pernambuco utilizando o método entropia de permutação. *Rev. Bras. Biom.* 36(2), 276-289. 2018.

Galvani, E. (2011). Estatística descritiva em sala de aula. In: Venturi, L. A. B. *Geografia: Práticas de campo, laboratório e sala de aula*. São Paulo: Editora Sarandi, 2011.

Guedes, R. V. S., Souza, S. S., & Sousa, F. A. S. (2010). Uso da entropia e da análise de agrupamento na avaliação da disponibilidade potencial de recursos hídricos do Nordeste do Brasil. *Revista Ambiente & Água*, 5(2), 175-187. 2010.

Harmancioglu, N. B., & Singh, V. P. (1999). Entropy in environmental and water resources. In: Herschy, R. W., & Fairbridg, E. R. W. (Eds.). *Encyclopedia of Hydrology and Water Resources*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 225-241. 1998.

Harmancioglu, N. B., Singh, V. P., & Alpaslan, N. (1992). Versatile uses of the entropy concept in water resources. In: Singh, V. P., Fiorentino, M. (Eds.). *Entropy and Energy Dissipation in Water Resources*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 91-117.

Hastenrath, S. (2012). Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. *Climatic Change*, 112(2), 243-251.

Husain, T. (1989). Entropy in hydrologic uncertainty measure and network design. *Water Resources Bulletin*, 25(3), 527-534.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Normal climatológica (1960-2018). Brasília, DF. 2019.

Kagan, A. M., Linnik Yu, V., & Rao, C. R. (1991). Characterization problems in mathematical statistics end entropy. *New York: Wiley*, 1973. 408-410.

Katz, R. W. (1991). Towards a statistical paradigm for climate change. Preprints, 7TH Conference on Applied climatology, *American Meteorological Society*, Boston.

Katz, R. W., & Brown, B. G. (1992). Extreme Events inaChanging Climate: Variability is more important than averages. *Climate Change*. 21(3), 289-302.

Köppen, W., & Geiger, R. (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: *Verlag Justus Perthes*.

Köppen, W. (1931). *Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science*. Berlin: *Walter de Gruyter*, 388.

Lange, H., Rosso, O. A., & Hauhs, M. (2013). Ordinal pattern and statistical complexity analysis of daily stream ow time series entropy. *The European Physical. Journal Special Topics*, 222(2), 535-552.

Marengo, J. A., Rusticucci, M., Penalba, O., & Renom, M. (2010). An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. *Climatic Change*, 98(3-4), 509-529. 2010.

Marengo, J. A., Alves, L. M., Beserra, E. A., & Lacerda, F. F. (2011). *Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas*. ISBN 978-85-64265-01-1. INSA. 303 – 422. Campina Grande-PB.

Maruyama, T., Kawachi, M. T., & Singh, V. P. (2005). Entropy-based assessment and clustering of potential water resources availability. *Journal of Hydrology*, 309(1-4), 104-113.

Medeiros, R. M. (2019). Variabilidade da entropia pluvial entre os municípios São Bento do Una, Serra Talhada e Caruaru (Pernambuco – Brasil) em período de el niño (a). *Revista Equador (UFPI)*, 8(1), 116 – 132, home: <http://www.ojs.ufpi.br/index.php/equador>.

Medeiros, R. M. (2019). Entropia pluviométrica na grande metrópole Recife-PE, Brasil. *Journal of Environmental Analysis and Progress*. 04(01), 031-047.

Medeiros, R. M., Holanda, R. M., & Silva, V. P. (2018). Tendências pluviais e análise da média móvel para São Bento do Una - PE, Brasil. *Revista de Geografia (Recife)* 35(5).

Medeiros, R. M. (2016). *Estudo agrometeorológico para o Estado do Piauí*. 138. Distribuição avulsa.

Medeiros, R. M. (2016). *Análise de aspectos climático, socioeconômico e ambiental e seus efeitos na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto e entorno*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande – PB. P.171. Fevereiro – 2016.

Medeiros, R. M., Silva, V. P. R., & Gomes Filho, M. F. (2015). Aplicação da teoria da entropia no estudo da precipitação pluvial em Teresina-PI. *Revista de Geografia*, 32(2), 206-218.

Melo, V. S., & Medeiros, R. M. (2016). Entropia da precipitação pluvial no município de Cabaceiras-PB, Brasil. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 10(50), 952-964. 2016.

Moulin, G. D. (2005). *Técnicas de entropia e de geoestatística no dimensionamento de redes pluviométricas*. *Dissertação* (Mestre em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo. 132.

Nicolaou, N., & Georgiou, J. (2016). Detection of epileptic electroencephalogram based on permutation entropy and support vector machines. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 202-209. 2012.

Noronha, G. C. D., Hora, M. D. A. G. M., & Silva, L. P. D. (2016). Rain Anomaly Index Analysis for the Santa Maria/Cambiocó Catchment, Rio de Janeiro State, Brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(1), 74-81.

Rosso, O. (2013). Characterization of chaotic maps using the permutation bandt-pompe probability distribution. *The European Physical Journal B*, 86(4), 1-13.

Sachs, J. D. (2015). The age of sustainable development. New York, US: *Columbia University Press*.

Silva, V. P. R., Filho Belo, A. F., Souza, E. P., Braga, C. C., Holanda, R. M., Almeida, R. R., & Braga, A. C. R. (2018). An analysis of rainfall based on entropy theory. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*. 5, 68 - 75.

Silva, V. P. R., Pereira, E. R. R., Azevedo, P. V., Sousa, F. A. Z., & Sousa, I. F. (2011). Análise da pluviometria e dias chuvosos e suas entropias na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(2), 131-138. 2011.

Silva, V. P. R., Cavalcanti, E. P., Nascimento, M. G., & Campos, J. H. B. C. (2003). Análises da precipitação pluvial no Estado da Paraíba com base na teoria da entropia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 7(2), 269-274.

Serinaldi, F., Zunino, L., & Rosso, O. A. (2014). Complexity {entropy analysis of daily stream flow time series in the continental United States. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28(7), 1685-1708.

Sousa, E. P., Silva, V. P. R., Campos, J. H. B. C., & Oliveira, S. D. (2012). A Teoria da Entropia na Análise da Precipitação no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 5(2), 386-399.

Sousa, R. F., Motta, J. D., Gonzaga, E. N., Fernandes, M. F., & Santos, M. J. (2013). Aptidão agrícola do Assentamento Venâncio Tomé de Araújo para a Cultura do Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 3(2), 55-75.

Souza, R., Feng, X., Antonino, A., Montenegro, S., Souza, E., & Porporato, A. (2016). Vegetation response to rainfall seasonality and interannual variability in tropical dry forests. *Hydrological Processes*, 30(20), 3583-3595.

Yan, R., Liu, Y., & Gao, R. X. (2012). Permutation entropy: a nonlinear statistical measure for status characterization of rotary machines. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 29, 474-484.

Percentage of contribution of each author in the manuscript

Romildo Morant de Holanda – 33,33%

Raimundo Mainar de Medeiros – 33,33%

Manoel Vieira de França – 33,33%