

**Análise de complexidade da precipitação mensal no estado de Pernambuco utilizando o  
Sample Entropy**

**Complexity analysis of monthly precipitation in the state of Pernambuco using Sample  
Entropy**

**Análisis de complejidad de la precipitación mensual en el estado de Pernambuco  
utilizando la Entropía de Muestra**

Recebido: 20/08/2020 | Revisado: 29/08/2020 | Aceito: 02/09/2020 | Publicado: 04/09/2020

**Cleo Clayton Santos Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7595-3063>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: [cleoclayton@hotmail.com](mailto:cleoclayton@hotmail.com)

**Rômulo Simões Cezar Menezes**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8740-366X>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: [rmenezes@ufpe.br](mailto:rmenezes@ufpe.br)

**Tatijana Stosic**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5691-945X>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: [tastosic@gmail.com](mailto:tastosic@gmail.com)

**Antonio Samuel Alves da Silva**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8759-0036>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: [samuelfmathematical@gmail.com](mailto:samuelfmathematical@gmail.com)

**Resumo**

A precipitação pluviométrica é uma das etapas do ciclo hidrológico responsáveis pelo retorno das águas condensadas na atmosfera à superfície terrestre. É um processo natural de extrema importância para o funcionamento dos ecossistemas, pois regula a disponibilidade hídrica para os diversos usos e serviços ambientais. O objetivo deste trabalho é avaliar a variabilidade de séries temporais de precipitação do estado de Pernambuco através de dados mensais de precipitação coletados durante o período de 1950 a 2012, cedidos pelo Laboratório de Meteorologia de Pernambuco (LAMEP), órgão pertencente ao Instituto Tecnológico de

Pernambuco (ITEP). Os dados foram analisados através do método Sample Entropy (SampEn), desenvolvido para quantificar a complexidade em séries temporais não lineares, e interpolados através do método Inverse Distance Weighting (IDW), proporcionando uma estimativa da complexidade da precipitação no estado de Pernambuco. Os resultados mostraram que para todo estado de Pernambuco, os valores de entropia das séries de precipitação mensal são classificados de moderado a baixo, indicando que ao longo de toda região, as séries não são difíceis de serem modeladas para realização de possíveis previsões da mesma na escala mensal.

**Palavras-chave:** Ciclo hidrológico; Precipitação; Série temporal, Entropia.

### **Abstract**

Rainfall is one of the phases of the hydrological cycle responsible for the return of the condensed water from the atmosphere to the Earth's surface. It is a natural process of utmost importance for ecosystem functioning because it regulates water availability for various uses and environmental services. The present work aims to assess the rainfall variability in Pernambuco, Brazil, using monthly precipitation data for the period from 1950 to 2012, collected from the Meteorological Laboratory of Pernambuco State (LAMEP), division of the Technological Institute of Pernambuco (ITEP). Data were analyzed using the Sample Entropy method (SampEn) developed to quantify the complexity of nonlinear time series, and interpolated by Inverse Distance Weighting (IDW) method, providing an estimate of the complexity of the rainfall in the state of Pernambuco. The results show that for all regions of Pernambuco, entropy values of monthly rainfall series are classified from moderate to low, indicating the feasibility of modeling of precipitation dynamics on a monthly scale.

**Keywords:** Hydrological cycle; Rainfall; Time series; Entropy.

### **Resumen**

La precipitación es una de las fases del ciclo hidrológico responsable del retorno del agua condensada en la atmósfera a la superficie de la Tierra. Es un proceso natural extremadamente importante para el funcionamiento de los ecosistemas, ya que regula la disponibilidad de agua para los diversos usos y servicios ambientales. El objetivo de este trabajo es evaluar la variabilidad de las series temporales de precipitación en el estado de Pernambuco a través de datos de precipitación mensual fechados durante el período de 1950 a 2012, proporcionados por el Laboratorio de Meteorología de Pernambuco (LAMEP), un órgano perteneciente al Instituto Tecnológico de Pernambuco (ITEP) Los datos se analizaron utilizando el método de Entropía de Muestra (SampEn), desarrollado para cuantificar la complejidad en series de tiempo

no lineales, y se interpolaron a través del método de ponderación de distancia inversa (IDW), proporcionando una estimación de la complejidad de la precipitación en el estado de Pernambuco. Los resultados mostraron que para todo el estado de Pernambuco, los valores de entropía de las series de precipitación mensual se clasifican de moderados a bajos, lo que indica que en toda la región, las series no son difíciles de modelar para hacer posibles predicciones de las mismas en el escala mensual.

**Palabras clave:** Ciclo hidrológico; Precipitación; Series temporales; Entropía.

## 1. Introdução

O ciclo hidrológico constitui-se de um conjunto de fases as quais representam os diferentes caminhos por meio dos quais a água circula na natureza. Dentre os processos que o envolve, a precipitação é toda água líquida ou sólida que cai da atmosfera para a superfície da Terra e representa o elo entre as fases atmosférica e terrestre (Chiaranda, et al, 2012). Quando o vapor de água presente na atmosfera condensa-se ao atingir elevadas altitudes ou encontra massas de ar frias formando as nuvens, que carregadas de vapor de água retornam a superfície terrestre em forma de chuva, ocorre um fenômeno denominado precipitação pluviométrica (Pinto, et al, 1988).

Caracterizado pelo clima tropical, o estado de Pernambuco oferece condições climáticas diversificadas em sua posição geográfica, vegetação e topografia, com precipitações no outono e inverno em parte do litoral do Estado e semiárido quente no sertão com temperatura média anual maior que 18 °C (Silva et al., 2011). Sua umidade relativa do ar situa-se em torno de 81,5%, e as maiores pluviosidades são concentradas nos meses de março a julho, resultando em valores médios em torno de 2.000 mm, sendo os meses de janeiro a março os mais quentes (Guedes, 2012). Localizado na Região Nordeste do Brasil, Pernambuco é subdividido em cinco mesorregiões: Metropolitana do Recife, Zona da Mata, Agreste, Sertão e São Francisco (Silva et al., 2011).

A mesorregião metropolitana do Recife tem sua localização na Zona Intertropical. O clima constitui em uma região sob influência da massa Tropical Atlântica quente e úmida por conta de sua área de origem sobre o Atlântico Sul (Girão et al., 2006). As temperaturas médias anuais registram uma variação entre 25 °C para mínimas e 30 °C para máximas, concentrando os meses da primavera e verão com temperaturas mais elevadas e no inverno uma média de 23 °C. Sua precipitação média anual é de 2.050 mm (Manso et al., 2006).

A mesorregião do Sertão e a do Agreste Pernambucano caracteriza-se por apresentarem índices pluviométricos anuais muito variáveis. No Sertão a estação chuvosa restringe-se de janeiro a abril. No Agreste as precipitações pluviométricas são menos concentradas do que no Sertão, apresentando o período que vai de fevereiro a maio como o mais chuvoso do ano (Lacerda, 1996). O Sertão possui o clima tropical semi-árido, quente e seco, com precipitações pluviométricas escassas e mal distribuídas, entre 350 mm e 800 mm. Já no Agreste, o clima é o tropical, quente e úmido a semiárido, com precipitações pluviométricas escassas entre 500 mm a 1.000 mm (Guedes, 2012).

A mesorregião da Zona da Mata, localizada ao leste entre o Planalto da Borborema e a costa que se estende do Rio Grande do Norte ao sul da Bahia, possui chuvas abundantes (Ferreira, 2006). Esta região possui alto índice pluviométrico no inverno e clima ameno durante todo ano (SILVA et al., 2003). Embora exista um decréscimo acentuado de precipitação durante cerca de 5 a 6 meses, na Zona da Mata litorânea existem chuvas em quantidade além das necessidades, durante cerca de 8 a 11 meses (Lira et. al., 2006).

A mesorregião do São Francisco Pernambucano possui um clima do tipo BSH semi-árido, com estação seca bem definida e com chuvas concentradas no verão, tendo como elemento influenciador o mecanismo de circulação das massas de ar (Ferraz et. al., 2006). Sua temperatura média anual fica em torno de 26 °C e a precipitação pluviométrica próxima de 400 mm anuais, caracterizando uma semi-aridez bem acentuada (Dantas et. al., 1998).

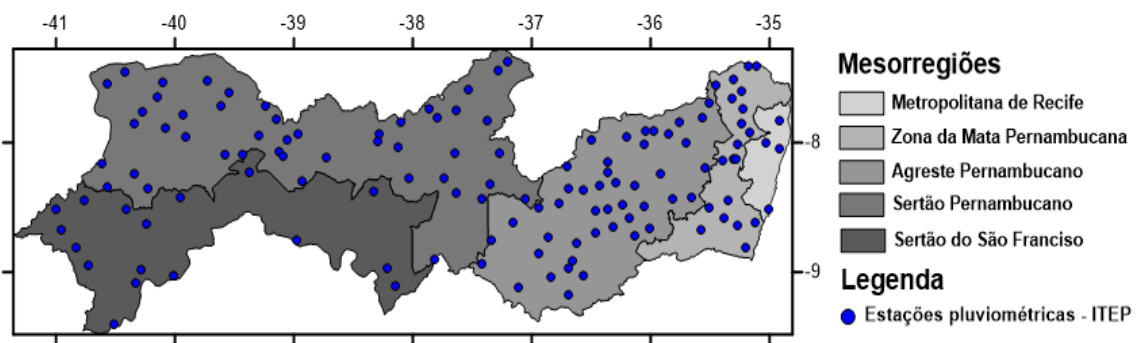
Observa-se, portanto, que o estado de Pernambuco apresenta regiões com características climáticas bastante diferenciadas, com fortes variações tanto na quantidade de precipitação pluviométrica como na época em que predominam essas precipitações. Essa variabilidade deriva de vários processos complexos, em nível local, regional e global, que interagem entre si e podem afetar o padrão de chuvas em Pernambuco. Sendo assim, torna-se necessário o melhor entendimento dessas variações, de forma a subsidiar as atividades de modelagem da dinâmica espacial e temporal da precipitação.

Este trabalho tem por objetivo analisar a variabilidade temporal e espacial de precipitação em Pernambuco tendo como base de dados séries temporais mensais de precipitação para o período de 1950 a 2012, disponibilizadas pelo Laboratório de Meteorologia de Pernambuco (LAMEP), do Instituto Tecnológico de Pernambuco (ITEP). Esses dados foram analisados através da metodologia *Sample Entropy* (Richman e Moorman, 2000) desenvolvido para quantificar a complexidade em séries temporais não lineares, e interpolados através do método *Inverse Distance Weighting (IDW)*, proporcionando uma estimativa da complexidade da precipitação no estado de Pernambuco.

## 2. Metodologia

O presente estudo é uma pesquisa de natureza quantitativa (Pereira et al., 2018). Os dados utilizados foram adquiridos através do LAMEP – Laboratório de Meteorologia de Pernambuco, órgão pertencente ao Instituto Tecnológico de Pernambuco (ITEP). As séries disponibilizadas são registros históricos de precipitação mensal obtidas através de 133 postos pluviométricos distribuídos sobre o estado de Pernambuco, compreendendo o período de 1950 a 2012, cuja disposição espacial é mostrada na Figura 1. Os dados faltantes nas séries históricas foram preenchidos utilizando o método de interpolação trend surface analysis (Silva, 2019).

**Figura 1:** Disposição espacial dos postos pluviométricos localizados no Estado de Pernambuco.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

As análises de entropia foram feitas no software Microsoft Visual Studio 6.0. Para aplicação desta técnica são disponíveis códigos abertos em linguagem C. O código para aplicação está disponível no endereço <<http://www.physionet.org/physiotools/sampen/c/>>. A interpolação espacial, mapas e gráficos das séries temporais foram feitas utilizando a linguagem R (R Core Team, 2019).

### 2.1 Entropia amostral (*Sample Entropy*)

O método *Sample Entropy*, introduzido por Richman e Moorman (2000), é definido como sendo o logaritmo natural da probabilidade condicional de que duas sequências similares (dentro de um nível de tolerância  $r$ ), para  $m$  pontos, permanecem similares para  $m+1$  pontos. Conforme Shi e Shang (2013), este método determina quantos vetores construídos de uma série

temporal de dados estão dentro de um intervalo estatisticamente significativo que pode ser definido como similaridade.

O índice *Sample Entropy* é definido como

$$SampEn(m, r, N) = -\ln\left(\frac{A^m(r)}{B^m(r)}\right)$$

onde  $B^m(r)$  é a probabilidade de dois vetores serem similares para  $m$  pontos,  $A^m(r)$  é a probabilidade de dois vetores serem similares para  $(m + 1)$  pontos. Assim *SampEn* representa a probabilidade condicional que duas sequencias que são similares para  $m$  pontos permanecem similares para  $(m + 1)$  pontos (quando um dado consecutivo é adicionado). Uma maior complexidade (menor regularidade) da série temporal gera o valor do *SampEn* mais alto.

## 2.2 Implementação do algoritmo *Sample Entropy*

Seja  $x(1), \dots, x(N)$  uma série temporal de tamanho  $N$ , o algoritmo de *SampEn* ( $m, r, N$ ) é descrito como:

Construir  $N - m + 1$  vetores de tamanho  $m$  onde:

$$x(i) = [x(i), x(i + 1), \dots, x(i + m - 1)], i = 1, \dots, N - m + 1 \quad (1)$$

Definir a distância  $d_m$  entre os vetores  $x(i)$  e  $x(j)$ , onde:

$$d_m[x(i), x(j)] = \max_{k=0, m-1} [|x(i + k) - x(j + k)|] \quad (2)$$

Para cada  $i = 1, \dots, N - m$ ; calcula-se:

$$B_i^m(r) = \frac{B_i}{(N - m - 1)} \text{ e } A_i^m(r) = \frac{A_i}{(N - m - 1)} \quad (3)$$

onde  $B_i$  é o número dos vetores  $x(j)$  de tamanho  $m$  que são similares aos vetores  $x(i)$  dentro da distância  $r$ :  $d_m[x(i), x(j)] \leq r$  e  $A_i$  é o número dos vetores  $x(j)$  de tamanho  $(m + 1)$  que são similares aos vetores  $x(i)$  dentro da distância  $r$ .

Calcula-se:

$$B^m(r) = \frac{1}{N-m} \left( \sum_{i=1}^{N-m} B_i^m(r) \right) \quad (4)$$

e

$$A^m(r) = \frac{1}{N-m} \left( \sum_{i=1}^{N-m} A_i^m(r) \right) \quad (5)$$

onde  $B^m(r)$  é a probabilidade de dois vetores serem similares para  $m$  pontos,  $A^m(r)$  é a probabilidade de dois vetores serem similares para  $(m + 1)$  pontos.

Por fim, calcula-se o índice *Sample Entropy*:

$$SampEn(m, r, N) = -\ln \left( \frac{A^m(r)}{B^m(r)} \right) \quad (6)$$

que representa a probabilidade condicional que duas sequencias que são similares para  $m$  pontos permanecem similares para  $m+1$  pontos (quando um dado consecutivo é adicionado).

### 2.3 Inverse Distance Weighting (IDW)

O *Inverse Distance Weighting (IDW)*, proposto por Shepard (1968), é um método de interpolação que combina a ideia de proximidade, pressupondo que quanto mais distante um ponto observado estiver do estimado, menor será seu peso. Logo, menor será sua influência sobre o valor estimado. Sua expressão matemática é dada por

$$\hat{Z}_{(S_0)} = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_{(S_i)} \quad (7)$$

onde,  $\hat{Z} = (S_0)$  é o valor estimado para cada local  $S_0$ ,  $N$  é o número de pontos observados,  $\lambda_i$  é o peso atribuído a  $i$ -ésima localidade e  $Z_{(S_i)}$  é o valor observado. Através das equações abaixo, podemos determinar o peso:

$$\lambda_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}} \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (8)$$

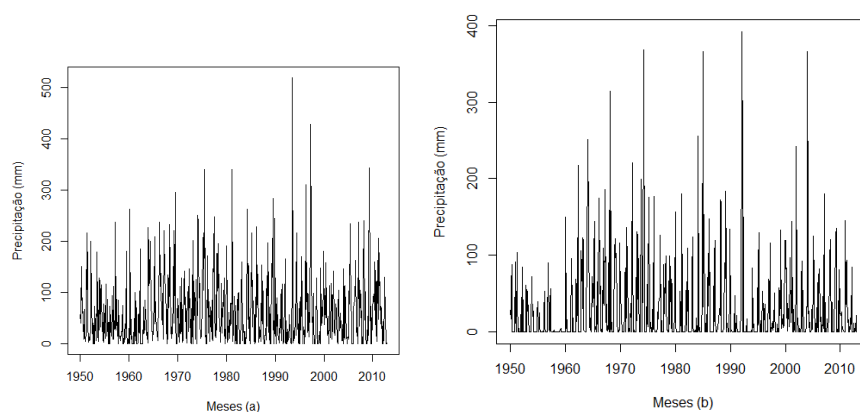
Quando a distância aumenta, o peso sofre uma redução a um fator  $p$ , ou seja, quando o expoente  $p$  aumenta, o peso diminui para pontos distantes e aumenta para pontos mais próximos. Logo, sendo  $d_{i_0}$  a distância entre o local de previsão  $S_0$  e os locais medidos  $S_i$ , os pesos serão dimensionados de forma que a sua soma será 1.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Análise exploratória

A Figura 2 à Figura 6 apresentam as séries temporais originais de precipitação. Foram escolhidas duas estações de cada mesorregião, uma apresentando maior variabilidade, representadas pelas estações Tacaratu (IPA) (Figura 2a), Arco Verde (INMET) (Figura 3a), Caruaru (IPA) (Figura 4a), Vitória de Santo Antão (IPA) (Figura 5a) e Recife (Várzea) (Figura 6a), e outra apontando menor variabilidade, correspondendo às estações Petrolina (Pau Ferro) (Figura 2b), Verdejante (Figura 3b), Cumaru (Figura 4b), Sirinhaém (IPA) (Figura 5b) e São Lourenço (Figura 6b), respectivamente.

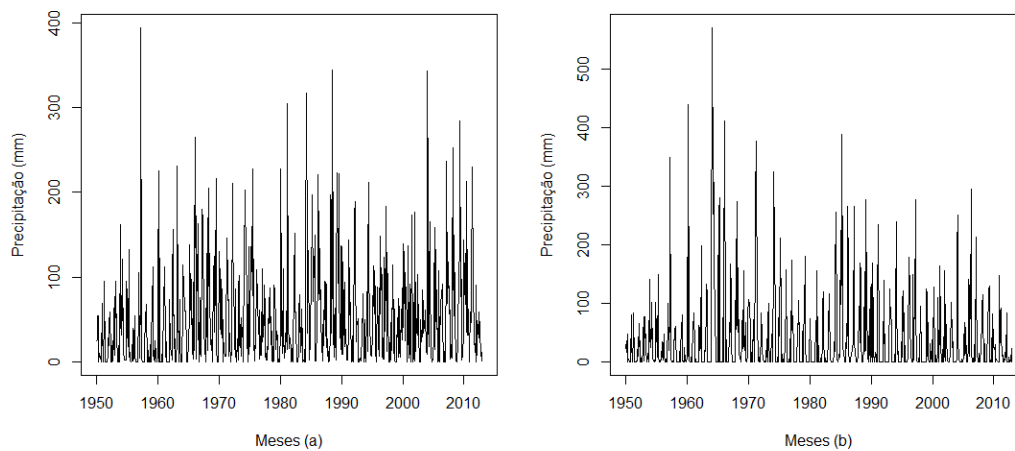
**Figura 2:** Séries temporais de precipitação das estações Tacaratu (IPA) (a) e Petrolina (Pau Ferro) (b), localizadas na Mesorregião do São Francisco Pernambucano no período de 1950 a 2012.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

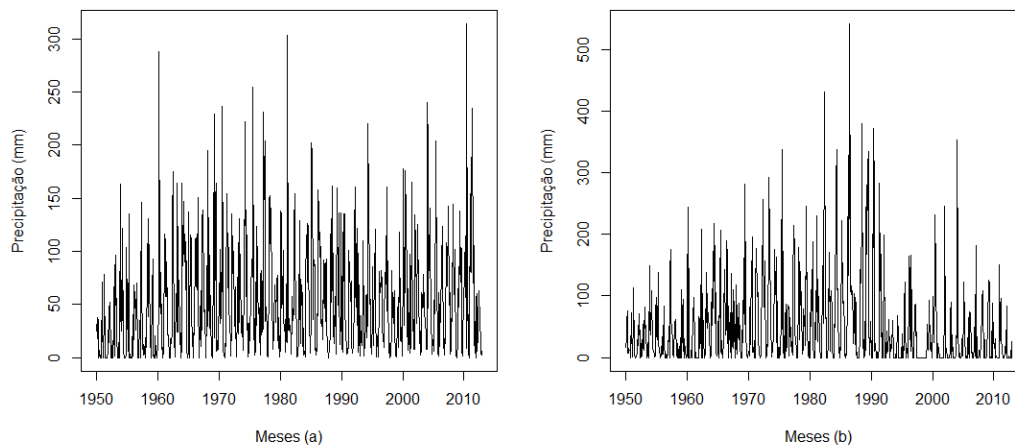


**Figura 3:** Séries temporais de precipitação das estações Arco Verde (INMET) (a) e Verdejante (b), localizadas na Mesorregião do Sertão Pernambucano no período de 1950 a 2012.



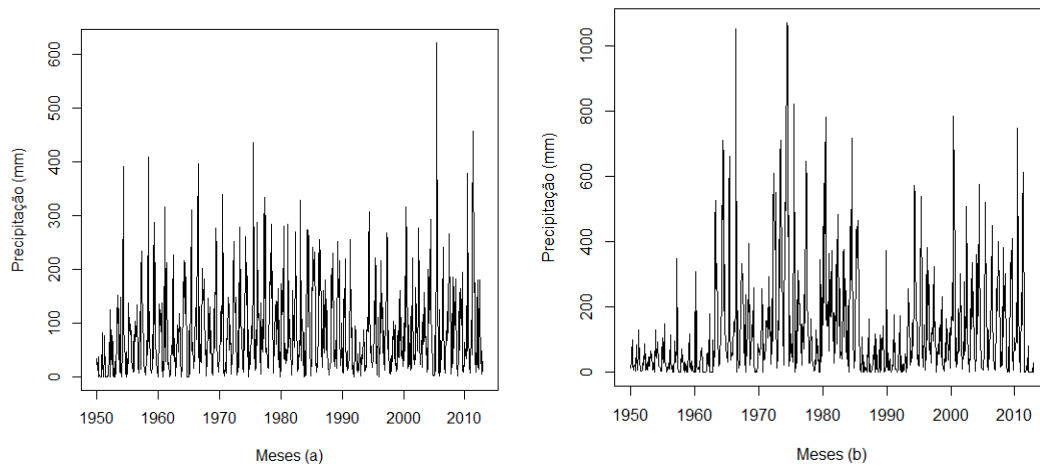
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

**Figura 4:** Séries temporais de precipitação das estações Caruaru (IPA) (a) e Cumaru (b), localizadas na Mesorregião do Agreste Pernambucano no período de 1950 a 2012.



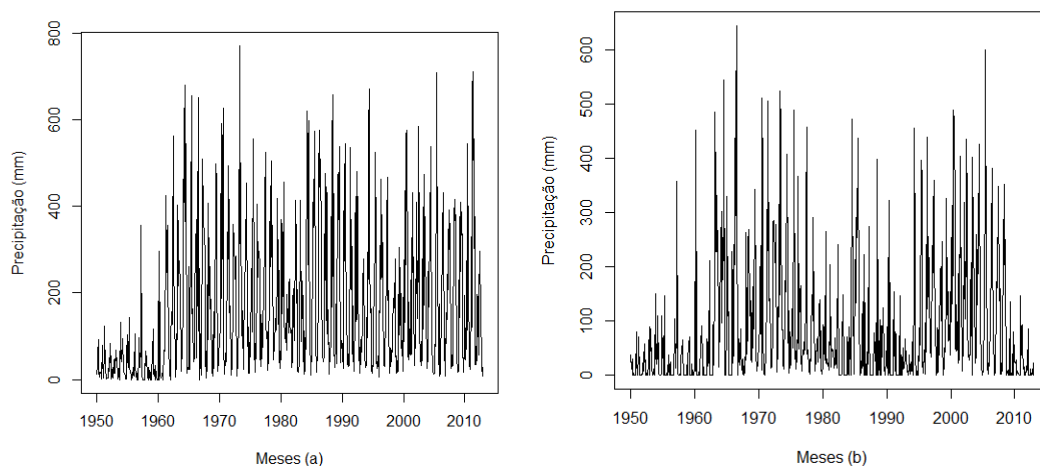
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

**Figura 5:** Séries temporais de precipitação das estações Vitória de Santo Antão (IPA) (a) e Sirinhaém (IPA) (b), localizadas na Mesorregião da Zona da Mata Pernambucana no período de 1950 a 2012.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

**Figura 6:** Séries temporais de precipitação das estações Recife (Várzea) (a) e São Lourenço (b), localizadas na Mesorregião do Recife no período de 1950 a 2012.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Analisando os gráficos é possível perceber que as séries temporais originais de precipitação possuem uma variabilidade considerável, concentrando-se em torno de 300 mm com a presença de picos acentuados em destaque para a estação Recife (Várzea) localizada na

Mesorregião Metropolitana do Recife que diferente das demais analisadas apresentou concentração em torno de 500 mm.

Os resultados das medidas descritivas e de *SampEn* das dez estações selecionadas são apresentados na Tabela 1

**Tabela 1:** Estatística descritiva e os valores de *SampEn* das séries temporais de precipitação das estações no período de 1950 a 2012.

| Mesorregião                | Estação                      | SampEn   | Média  | Desvio Padrão |
|----------------------------|------------------------------|----------|--------|---------------|
| São Francisco Pernambucano | Tacaratu (IPA)               | 1,392329 | 61.11  | 66.53         |
|                            | Petrolina (Pau Ferro)        | 0.523870 | 29.67  | 54.74         |
| Sertão Pernambucano        | Arco Verde (INMET)           | 1,080291 | 50.64  | 58.27         |
|                            | Verdejante                   | 0.507212 | 39.39  | 69.95         |
| Agreste Pernambucano       | Caruaru (IPA)                | 1,268335 | 52.77  | 51.88         |
|                            | Cumaru                       | 0.753223 | 50.50  | 71.11         |
| Zona da Mata Pernambucana  | Vitória de Santo Antão (IPA) | 1,340583 | 83.50  | 81.22         |
|                            | Sirinhaém (IPA)              | 0.706139 | 127.42 | 167.15        |
| Metropolitana do Recife    | Recife (Várzea)              | 1,015663 | 164.98 | 159.98        |
|                            | São Lourenço                 | 0.697762 | 85.90  | 116.52        |

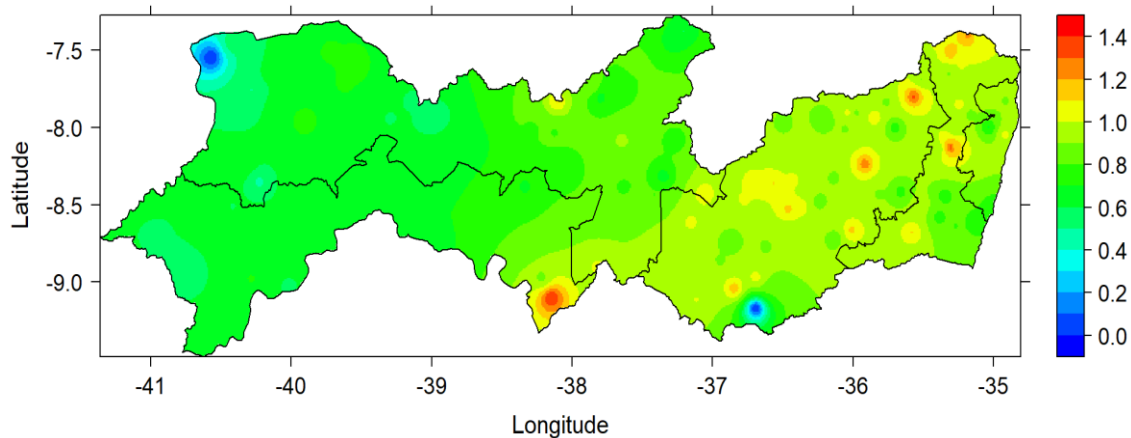
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Observa-se que os valores de *SampEn* são maiores para estações que apresentam maior média de precipitação indicando maior complexidade e menor regularidade na dinâmica de chuva. Um comportamento diferente observou-se para a estação de Sirinhaém (IPA) localizada na Mesorregião da Zona da Mata Pernambucana que apresentou a maior média e o maior desvio, quando esta encontrava-se com o menor índice de *SampEn* dentre as estações analisadas nesta Mesorregião. Este fato pode ser justificado pela quantidade de chuva que caiu em determinados meses dentro o período de anos analisados onde o pico foi muito alto.

### 3.2 Análise da Entropia

A entropia estimada para as séries mensais de precipitação pode ser observada na Figura 7.

**Figura 7:** Distribuição espacial da estimativa de complexidade (*SampEn*) temporal para o estado de Pernambuco.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Podemos notar que o aumento da complexidade (maior valor de *SampEn*) está nas áreas localizadas no planalto da Borborema e leste até o litoral (Agreste e Zona da Mata) indicado por tons alaranjados, o que significa que a variabilidade das séries de precipitação nessas regiões é maior que no restante da região. Foi observado que a menor complexidade (menor valor de *SampEn*) das séries temporais está na parte oeste de Borborema (Sertão) caracterizadas pelos tons azuis indicando uma dinâmica mais regular. As áreas que apresentam valores intermediários de entropia estão indicadas por tons esverdeados do mapa.

Através dessas análises da entropia e pela visualização no mapa, os resultados mostram uma variabilidade espacial da entropia que pode ser utilizada para diferenciar entre regimes da chuva da região. A média do índice de *SampEn* calculados para postos pluviométricos do estado de Pernambuco e selecionadas para análise foi de 0.82. Isso significa que, de maneira geral, o estado pernambucano não apresenta uma dinâmica de grande complexidade.

### 3.3 Análise da Entropia por Mesorregiões

#### 3.3.1 Mesorregião do São Francisco Pernambucano

A mesorregião do São Francisco Pernambucano apresenta uma média do índice de *SampEn* de 0.68 indicando que esta não apresenta uma dinâmica de grande complexidade, o que pode ser a consequência de baixos índices pluviométricos (precipitações pluviométricas de 400 mm) que são distribuídos ao longo do período analisado. As estações de Tacaratu (IPA),

de Petrolândia e de Lagoa Grande mostram os índices de *SampEn* mais elevados (1.39, 0.89 e 0.71). As regiões onde se encontram estas estações são caracterizadas pelo clima semiárido com verões quentes e úmidos, período em que quase toda chuva do ano cai. As demais estações apresentaram baixo índice com destaque para as estações de Petrolina (Pau Ferro), Afrânio (Arizona) e Santa Maria da Boa Vista (Malhada Real) que apresentaram os menores índices de *SampEn* (0.52, 0.57 e 0.59).

### **3.3.2 Mesorregião do Sertão Pernambucano**

A mesorregião do Sertão Pernambucano apresenta uma média do índice de *SampEn* de 0.69 indicando que esta não apresenta uma dinâmica climática de grande complexidade no que diz respeito à precipitação. Esta região também apresenta um índice pluviométrico baixo em relação a outras regiões do estado (precipitações pluviométricas entre 350 mm e 800 mm) sendo mal distribuídas ao longo do ano. As estações de Triunfo (IPA), Arcoverde (INMET) e Inajá (CHESF) mostram os maiores valores do índice de *SampEn* (1.10, 1.08 e 1.01), caracterizadas por possuírem maior complexidade e menor regularidade na dinâmica mensal de chuva. As estações que apresentam uma menor complexidade e assim maior regularidade dos dados são de Santa Cruz da Venerada (Faz. Bezerros), de Trindade e de Verdejante, com índice de *SampEn* de 0.48, 0.50 e 0.51, respectivamente.

### **3.3.3 Mesorregião do Agreste Pernambucano**

A mesorregião do Agreste Pernambucano possui uma média de 0.94 obtida no índice de *SampEn*. As chuvas são mal distribuídas em grande parte da região, frequentes no período que vai de fevereiro a maio. O clima quente e úmido a semiárido é o clima presente na região. Estes fatos indicam uma dinâmica de chuva menos regular e o índice de *SampEn* mais elevado. Os maiores índices de *SampEn* (1.32, 1.27 e 1.16) foram obtidos para as estações de Bom Jardim (IPA), Caruaru (IPA) e Iati, ou seja, existe uma menor regularidade na dinâmica de chuva nestas localizações. Podemos destacar o município de Caruaru que apresenta uma grande complexidade por seu regime de pluviosidade está influenciado pelo Planalto da Borborema, que impede a chegada da umidade que vem do litoral para provocar precipitações abundantes.

### **3.3.4 Mesorregião da Zona da Mata Pernambucana**

No que se refere a análise da mesorregião da Zona da Mata Pernambucana, seu índice de complexidade apresenta uma média de 0.97, a maior entropia registrada dentre as demais mesorregiões analisadas. Fato este que pode ser justificado por a região possuir um alto índice pluviométrico no inverno com chuvas durante cerca de 8 a 11 meses. As estações de Vitória de Santo Antão (IPA), Itambé (IPA) e Timbaúba (IPA) são as três que apresentaram uma maior complexidade (maior entropia) com índice de *SampEn* igual a 1.34, 1.23 e 1.18, respectivamente. As estações com menor regularidade dos dados são as estações de Sirinhaém (IPA), Ribeirão (Fazenda Capri) e Gameleira que apresentam os índices de 0.71, 0.74 e 0.76 respectivamente.

### **3.3.5 Mesorregião Metropolitana do Recife**

Influenciado por massas tropicais marítimas, a Mesorregião Metropolitana do Recife apresenta uma média de *SampEn* de 0.83, considerando intermediária comparando com outras mesorregiões. A estação de Recife (Várzea) possui maior entropia (1.02) seguido da estação de Igarassu (0.90), que pode refletir o fato de esta região possuir um clima tropical úmido com baixas amplitudes térmicas e precipitações abundantes ao longo do ano. A estação de São Lourenço registrou uma menor complexidade nos dados (0.70), ou seja, apresentou uma maior regularidade dentre as estações analisadas nesta mesorregião.

### **3.3.6 Avaliação geral do estado de Pernambuco**

Os resultados observados em cada mesorregião do Estado de Pernambuco mostram que as maiores médias de precipitação se encontram nas mesorregiões metropolitana do Recife seguida da Zona da Mata Pernambucana. Este comportamento corresponde ao fato da grande influência da massa tropical Atlântica ao longo da maior parte do ano na mesorregião do Recife e pelas chuvas que caem em grandes quantidades durante cerca de 8 a 11 meses na mesorregião da Zona da Mata Pernambucana. As menores precipitações encontram-se na mesorregião do São Francisco Pernambucano. Esta região apresenta uma estação seca prolongada, com chuvas concentradas no verão e com clima semiárido quente.

Os resultados de análise *SampEn* das séries de precipitação em Pernambuco mostraram que os maiores valores de entropia observados deram-se no Agreste e Zona da Mata

Pernambucana, o que pode ser notado através da média do índice de SampEn para cada mesorregião, 0.94 e 0.97, respectivamente, o que significa que a complexidade das séries de precipitação mensal nessas regiões é maior que no restante da região, indicando uma dinâmica da chuva mais irregular nesta região do que no restante do Estado. Portanto, se as maiores entropias observadas são classificadas como moderadas, significa que em toda região não temos grande variabilidade nos valores mensais de precipitação.

#### **4. Considerações Finais**

Com base nos resultados do presente estudo, concluiu-se que a variabilidade temporal das séries de precipitação mensal no estado de Pernambuco é classificada como moderada a baixa, indicando que ao longo de toda região, as séries não são difíceis de serem modeladas para realização de possíveis previsões da mesma. Isso significa que, de maneira geral, o estado Pernambucano não apresenta uma dinâmica climática de grande complexidade. Com estes resultados podemos concluir que a análise de complexidade pode ser útil em estudos de precipitação, onde este método aplicado fornece informações sobre o comportamento dinâmico das séries temporais climáticas, e assim pode contribuir na formação de determinada base científica para avaliação e previsão das consequências ambientais presente em determinados componentes do ecossistema relacionado à hidrologia.

#### **Agradecimentos**

Para elaboração deste trabalho faz-se necessário manifestar sinceros agradecimentos pela colaboração e empenho das pessoas envolvidas e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro. Os autores também agradecem pelo apoio financeiro do CNPq e FACEPE, tanto pelas bolsas de estudo e de pesquisa, quanto pelos auxílios financeiros através dos processos: CNPq 307445/2018-6, 304497/2019-3, 441305/2017-2; INCT -MCTI / CNPq / CAPES / FAPs 465764/2014-2; Facepe APQ-0296-5.01/17, APQ-0532-5.01/14.

## Referências

- Chiaranda, R., Rizzi, N. E., Colpini, C., Soares, T. S., & Silva, V. S. M. (2012). Análise da Precipitação e da Vazão da Bacia do Rio Cuiabá. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 7, 117-122.
- Chou, C. M. (2014). Complexity analysis of rainfall and runoff time series based on sample entropy in different temporal scales. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28, 1401-1408.
- Dantas, J. A., Santos, M. C., & Heck, R. J. (1998). Caracterização de podzólicos amarelos irrigados e não irrigados de submédio São Francisco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]*, 22, 761-771.
- Dong, L., & Meng, L. (2013). Application of sample entropy on measuring precipitation series complexity in jiansanjiang branch bureau of china. *Nature Environment and Pollution Technology*, 12, 249.
- Ferraz, J. S. F., Albuquerque, U. P., & Meunier, I. M. J. (2006). Valor de uso e estrutura da vegetação lenhosa às margens do riacho do Navio, Floresta, PE, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 1, 125-134.
- Ferreira, F. F., Lacerda, F. F., & Aragão, J. O. R. (2006). Relação entre a precipitação observada no leste de Pernambuco e os dados da bóia PIRATA localizada em 32W e 08S. In: *XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais 1980 – 2006*, cbmet.com. Edição XIV, Florianópolis.
- Girão, O., Corrêa, A., & Guerra, A. (2006). Influência da Climatologia Rítmica sobre áreas de risco: o caso da Região Metropolitana do Recife para os anos de 2000 e 2001. *Revista de Geografia (Recife)*, 23, 3-41.
- Guedes, M. V. (2012). Situação das áreas de reserva legal e proteção dos recursos naturais em assentamentos rurais da Mata Meridional pernambucana. Dissertação de Mestrado.



Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Recife.

Lacerda, F.F. (1996). Estimativa da variabilidade espacial das chuvas nas microrregiões homogêneas do Estado de Pernambuco em 1995. In: *XI Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Cachoeira Paulista.

Lira, V. M., Oliveira, F. M., Dantas, R. T., & Souza, W. M. De (2006). Alterações da precipitação em municípios do Estado de Pernambuco. *Engenharia Ambiental*, 3, 52-61.

Manso, V. A. V., Coutinho, P. N., Guerra, N. C., & Soares Junior, C. F. A. (2006). Erosão e progradação do litoral brasileiro (Pernambuco). In: *Dieter Muehe. (Org.). Erosão e progradação do litoral brasileiro*, 1, 179-196.

Pereira, A. S., et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Recuperado de [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1).

Pinto, N. L. De S., Holtz, A. C. T., Martins, J. A., & Gomide, F. L. S. (1988). *Hidrologia Básica*.

R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Richman, J. S., & Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American Journal of Physiology- Heart and Circulatory Physiology*, 278, 2039-2049.

Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In: *Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference*. 517-524.

Shi, W., & Shang P. (2013). Cross-sample entropy statistic as a measure of synchronism and cross-correlation of stock markets. *Nonlinear Dynamics*, 71, 539–554.

Silva, A. S. A. (2015). Ferramentas para modelagem e interpolação de dados ambientais em escala regional. 104 p. Doutorado em Biometria e Estatística Aplicada – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife – PE.

Silva, A. S. A., Stosic, B., Menezes, R. S. C., & Singh, V. P. (2019). Comparison of Interpolation Methods for Spatial Distribution of Monthly Precipitation in the State of Pernambuco, Brazil. *Journal of Hydrologic Engineering*, 24, 04018068.

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Cleo Clayton Santos Silva – 25%

Rômulo Simões Cezar Menezes – 25%

Tatijana Stosic – 25%

Antonio Samuel Alves da Silva – 25%