

CLEO CLAYTON SANTOS SILVA

**ANÁLISE DE COMPLEXIDADE DA PRECIPITAÇÃO MENSAL NO
ESTADO DE PERNAMBUCO UTILIZANDO O SAMPLE ENTROPY**

RECIFE-PE – AGOSTO/2016.



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

**ANÁLISE DE COMPLEXIDADE DA PRECIPITAÇÃO MENSAL NO
ESTADO DE PERNAMBUCO UTILIZANDO O SAMPLE ENTROPY**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada como exigência parcial à obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Biometria e Estatística Aplicada

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes

Co-orientador(a): Prof.(a) Dr.(a) Tatijana Stosic

RECIFE-PE – AGOSTO/2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

**ANÁLISE DE COMPLEXIDADE DA PRECIPITAÇÃO MENSAL NO ESTADO DE
PERNAMBUCO UTILIZANDO O SAMPLE ENTROPY**

CLEO CLAYTON SANTOS SILVA

Dissertação julgada adequada para
obtenção do título de Mestre em Biometria
e Estatística Aplicada, defendida e
aprovada por unanimidade em 17/08/2016
pela Banca Examinadora.

Orientador:

Prof. Dr. RÔMULO SIMOES CEZAR MENEZES
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Banca Examinadora:

Prof(a). Dr(a). TATIJANA STISIC
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Prof. Dr. PEDRO HUGO DE FIGUEIRÉDO
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

A MINHA FAMÍLIA...

Dedico este trabalho aos meus pais de criação Marieta e Badinho (in memoriam). Os senhores foram o alicerce para Eu nunca desistir e chegar ao final desse sonho. Aos meus pais Anuzia e Ceza, a minha irmã Cléia, a minha madrinha Pureza, aos primos-irmãos Katianny e Rudnney e ao meu sobrinho Gabriel.

DEDICO

Agradecimentos

Como entender a coragem de quem decide largar tudo para enfrentar a vida numa cidade nova em busca dos seus sonhos? Compreender certas loucuras nunca será tarefa fácil, as mães que o digam. As minhas agradeço infinitamente por tudo, pois mesmo sem o entendimento perfeito das minhas decisões aceitaram que quem sai para o mundo a ele deve ir, e quem sabe um dia voltar. Marieta (in memoriam) e Anuzia, queridas mães, os seus ensinamentos irão permear minha existência em qualquer lugar. Mais uma vez meu muito obrigado. Bem-agrado a Deus por estar presente na minha vida e por acalmar o coração dos que deixei e sentiram pela minha ausência.

A minha madrinha Pureza nunca terei palavras suficientes para demonstrar toda gratidão pelo amor de mãe que tem por mim. Ser criado pela Senhora desde os primeiros meses da minha existência me fez ser quem eu sou e seguir seus passos numa profissão que gosto muito: ser professor. Obrigado por me dar dois irmãos, Katianny e Rudnney, meninos que desde criança só me dão orgulho.

A minha irmã Cléia pela paciência em administrar o que deixei em Aracaju e pela força refletida em palavras positivas ao longo desses anos. Agradeço por cada foto e vídeo enviado mostrando o desenvolvimento do meu sobrinho Gabriel.

Ao meu Pai Ceza por se fazer presente. As avós, tios (as), primos (as) e parentes em geral que mesmo ausente jamais seriam esquecidos. Uma admiração, um sorriso, um abraço, enfim, um olhar simples e expressivo se fez de grande apoio para mim.

Aos amigos de Sergipe que se fizeram presentes durante esses anos através do aplicativo Whatsapp em grupos criados para mantermos contatos, saiba que o caminho se tornou mais alegre graças à camaradagem de vocês que proporcionaram momentos incríveis, principalmente nos encontros que fizemos quando ia a Aracaju. Lembro-me de cada despedida realizada durante o mês de março/2014.

Recordando que para todo fim existiu um percurso, a alegria de conviver com pessoas em que pude chamar de amigos só me trouxe felicidade. Amizade, palavra despida de preconceitos e sinônimo de amor e companheirismo me fez continuar nessa luta durante esses anos para construção desse sonho. Que a gente possa continuar rindo muito, nos ajudando e que possamos compartilhar a sensação de dever cumprido. Minha eterna gratidão a Glauce Guerra e Maigan Alcântara (DUENDES), a Isaac Pedro, Glaucia Tadu, Cristiane Albuquerque (Cris, obrigado por abrir meus olhos num momento que precisava ouvir conselhos de mãe), Wesley Lima, Gutemberg Ferreira, Edineide Ramalho, Paula Shinozaki, Hérica Silva (responsável pela divulgação do edital de seleção e por me acolher durante a matrícula no mestrado), Diego Vicente, Lêda Valéria e Ikaro Barreto (Ikaro, obrigado pelo grande auxílio na construção da apresentação do Seminário IV). Amigos da Biometria, com vocês o percurso foi mais fácil.

Características como paciência e humildade deveriam ser essenciais a todos os seres. Tive sorte dos professores envolvidos nesta pesquisa ter muito disso. Ao meu orientador Prof^o. Dr^o. Rômulo Simões obrigado por acreditar em nosso trabalho. Sou grato também a Prof^a. Dr^a. Tatijana Stosic e ao Prof^o. Dr^o. Antonio Samuel pelos apontamentos com perspectivas ao enriquecimento deste estudo. Ao Prof^o. Dr^o. Paulo Duarte agradeço pelas instruções em cada apresentação de seminários presente nas disciplinas envolvidas neste período de curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e ao secretário Marco por cada dúvida e solicitação atendida enquanto discente do Programa de Pós Graduação em Biometria e Estatística Aplicada da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Enfim, para realização dessa conquista, agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta. A todos os citados e não citados, a minha gratidão permanente. Meu obrigado por tudo!!!

“Tudo é do Pai, toda honra e toda glória,
é dEle a vitória alcançada em minha
vida.”

Padre Fábio de Melo.

Resumo

A precipitação pluviométrica é uma das fases 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. Vários estudos tem demonstrado que as mudanças climáticas tem alterado significativamente os padrões de precipitação em várias partes do globo. O objetivo deste trabalho é avaliar a variabilidade de séries temporais de precipitação no Estado de Pernambuco através de dados mensais de precipitação datados 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 os maiores valores de entropia (maior complexidade) concentram-se no Agreste e Zona da Mata Pernambucana, indicando que a dinâmica da chuva é mais irregular nesta região do que no restante do estado. 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 the functioning of ecosystems, because it regulates water availability for various uses and environmental services. Several studies have shown that climate change has significantly altered precipitation patterns in many parts of the globe. The present work aims to make an assessment of the rainfall time series 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 shows that the higher values of entropy (greater complexity) concentrate in the Agreste and Atlantic Forest Zone, indicating that the rainfall dynamic is more regular in these regions than in other parts of the state. 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 monthly scale.

Keywords: Hydrological cycle, rainfall, time series, entropy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processos que compõem o ciclo hidrológico.....	6
Figura 2 – Chuvas convectivas.....	7
Figura 3 – Chuvas frontais.....	8
Figura 4 – Chuvas orográficas.....	9
Figura 5 – Mapa da região Nordeste do Brasil subdividido em regiões de acordo com características climáticas e de urbanização	12
Figura 6 – Quadro (mapa) da região Nordeste do Brasil.....	13
Figura 7 – Mapa de Pernambuco com as Mesorregiões: Região Metropolitana (1), Zona da Mata (2), Agreste (3), Sertão (4) e Sertão de São Francisco (5). 15	
Figura 8 – Ilustração do método MSE: transformação da série original usando fator de escala $\tau = 2$ e $\tau = 3$	21
Figura 9 – Disposição espacial dos postos pluviométricos localizados no Estado de Pernambuco.....	23
Figura 10 – 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.	28
Figura 11 – 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.	28
Figura 12 – Séries temporais de precipitação das estações Caruaru (IPA) (a) e Cumaru (b), localizadas na Mesorregião do Agreste Pernambucano no período de 1950 a 2012.	29
Figura 13 – 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.	29
Figura 14 – Séries temporais de precipitação das estações Recife (Várzea) (a) e São Lourenço (b), localizadas na Mesorregião do Recife no período de 1950 a 2012.	30
Figura 15 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Tacaratu (IPA).....	32
Figura 16 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Petrolina (Pau Ferro).....	33

Figura 17 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Arco Verde (INMET).....	34
Figura 18 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Verdejante.....	35
Figura 19 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Caruaru (IPA).....	36
Figura 20 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Cumaru.....	37
Figura 21 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Vitória de Santo Antão (IPA).....	38
Figura 22 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Sirinhaém (IPA).....	39
Figura 23 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Recife (Várzea).....	40
Figura 24 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de São Lourenço.....	41
Figura 25 – Média histórica da precipitação mensal no Estado de Pernambuco, no período de 1950 a 2012.....	43
Figura 26 – Desvio padrão da precipitação mensal no Estado de Pernambuco, no período de 1950 à 2012.....	44
Figura 27 – Disposição espacial da precipitação através da estimativa de complexidade temporal.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística descritiva e os valores de <i>SampEn</i> das séries temporais de precipitação das estações no período de 1950 a 2012.	30
Tabela 2 - Resultado da análise de <i>SampEn</i> e estatística descritiva de precipitação das estações localizadas na Mesorregião do São Francisco.....	59
Tabela 3 - Resultado da análise de <i>SampEn</i> e estatística descritiva de precipitação das estações localizadas na Mesorregião do Sertão pernambucano.	59
Tabela 4 - Resultado da análise de <i>SampEn</i> e estatística descritiva de precipitação das estações localizadas na Mesorregião do Agreste Pernambucano.	60
Tabela 5 - Resultado da análise de <i>SampEn</i> e estatística descritiva de precipitação das estações localizadas na Mesorregião da Zona da Mata Pernambucana.	61
Tabela 6 - Resultado da análise de <i>SampEn</i> e estatística descritiva de precipitação das estações localizadas na Mesorregião Metropolitana de Recife.	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

As	Clima Tropical (Chuvas no Inverno)
BSH	Clima Semi-Árido Quente
CHESF	Companhia de Hidro Elétrica do São Francisco
EBAPE	Empresa de Abastecimento e Extensão Rural
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	Inverse Distance Weighting
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPA	Instituto Agrônômico de Pernambuco
ITEP	Instituto Tecnológico de Pernambuco
LAMEP	Laboratório de Meteorologia de Pernambuco
mm	Milímetro
MSE	Multiscale Sample Entropy
NEB	Nordeste do Brasil
SampEn	Sample Entropy

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral.....	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 O Ciclo Hidrológico	4
3.2 Precipitação	6
3.3 Precipitação na Região Nordeste do Brasil	11
3.4 Precipitação no Estado de Pernambuco.....	14
3.5 Entropia	16
3.6 Medidas de Entropia	17
3.6.1 Entropia de Shannon.....	17
3.6.2 Entropia conjunta e Entropia condicional	17
3.6.3 Entropia relativa e Informação mutua.....	18
3.6.4 Entropia Tsallis.....	19
3.6.5 Entropia amostral (<i>Sample Entropy</i>)	19
3.6.6 Entropia de multi-escala (<i>Multiscale Entropy</i>)	20
3.6.7 Entropia de permutação (<i>Permutation Entropy</i>)	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
4.1 Dados	23
4.2 Metodologia	24
4.2.1 Implementação do algoritmo Sample Entropy (SampEn).....	24
4.2.2 Inverse Distance Weighting (IDW)	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5.1 Análise exploratória	27
5.2 Precipitação média	42
5.3 Análise da Entropia.....	44
5.4 Análise da Entropia por Mesorregiões	45
5.4.1 Mesorregião do São Francisco Pernambucano	45
5.4.2 Mesorregião do Sertão Pernambucano.....	46
5.4.3 Mesorregião do Agreste Pernambucano	47

5.4.4 Mesorregião da Zona da Mata Pernambucana	47
5.4.5 Mesorregião Metropolitana do Recife.....	48
6. CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
APÊNDICE	59

1. INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico envolve vários processos tais como a evaporação, a precipitação, a intercepção, a transpiração, a infiltração, a percolação, e o escoamento superficial. Este 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 do ciclo hidrológico, 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 do ciclo hidrológico (CHIARANDA, et al, 2012).

A precipitação pode ser compreendida como a fase do ciclo hidrológico que é responsável pelo retorno das águas condensadas na atmosfera à superfície terrestre em diferentes formas: chuva, granizo, neblina, neve, orvalho ou geada. Quando o vapor de água presente na atmosfera condensa-se ao atingir elevadas altitudes ou encontra massas de ar frias, formando as nuvens que quando carregadas de vapor de água retornam a superfície terrestre em forma de chuva, ocorre um fenômeno denominado precipitação pluviométrica. Este é caracterizado pela alta variabilidade no tempo e no espaço, que provém de interações entre fatores climáticos característicos das regiões (PINTO, et al, 1988).

Diferentes mecanismos podem ocorrer devido à ascensão do ar úmido, fundamental para originar precipitação. Através desses mecanismos, as precipitações podem ser classificadas segundo três padrões: convectivas (chuvas de pequenas durações, com grandes intensidades e abrangência em pequenas áreas, sujeitas às inundações e tempestades), ciclônicas ou frontais (chuvas de grandes durações, com médias intensidades que podem provocar inundações quando acompanhadas de ventos fortes), e orográficas (chuvas de grandes durações, com pequenas intensidades, em pequenas áreas com localização próximas às elevações topográficas) (PINTO, et al, 1988).

Localizado na Região Nordeste do Brasil, o Estado de Pernambuco apresenta condições climáticas diversificadas. Caracterizado pelo clima tropical, a 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 e temperatura média de 25 °C, sendo os meses de janeiro a março os mais quentes (GUEDES, 2012).

O clima em Pernambuco caracteriza-se pela presença de chuvas frontais de outono a inverno mais concentradas, e chuvas de convecção no período mais quente do ano, em dezembro e janeiro, com umidade variando de acordo com as taxas pluviométricas, que diminuem do litoral para o interior e do Sul para o Norte, e com as taxas aumentadas em função da posição do relevo nas bordas da Borborema, provocando a ascensão da massa de ar, a condensação e as chuvas orográficas (ANDRADE, 2001).

Este trabalho tem por objetivo analisar a variabilidade temporal e espacial de precipitação no estado de Pernambuco tendo como base de dados séries temporais mensal 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*, proporcionando uma estimativa da complexidade da precipitação no estado de Pernambuco.

Esta dissertação está organizada em seis capítulos. Neste primeiro capítulo temos uma breve introdução dos estudos sobre precipitação e a precipitação no Estado de Pernambuco. O segundo capítulo apresenta os objetivos geral e específicos do trabalho. No terceiro capítulo estão descritos os fundamentos teóricos que serviram de base para o desenvolvimento deste, onde foram abordados conceitos sobre o ciclo hidrológico e os processos que o constitui, dando uma atenção maior para o processo de precipitação e de precipitação no Estado de Pernambuco e em suas mesorregiões. Ainda neste capítulo foram apresentadas as definições básicas do método utilizado para o desenvolvimento deste trabalho (entropia), onde foi feito uma revisão de literatura com ênfase em aplicações destes métodos em hidrologia. O quarto capítulo abrange os dados e a metodologia utilizada para realização das análises. No quinto capítulo, estão descritos os resultados obtidos nas análises dos dados de precipitação com base no referencial apresentado no terceiro capítulo. No sexto capítulo estão as considerações finais de toda discussão relatada no quinto capítulo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar a variabilidade espaço temporal da precipitação no estado de Pernambuco, Brasil, com base em dados de precipitação mensal, por meio da metodologia *Sample Entropy (SampEn)* desenvolvido para quantificar a complexidade em séries temporais não lineares e em seguida interpolar através do método *Inverse Distance Weighting (IDW)*, proporcionando uma estimativa da complexidade da precipitação no Estado de Pernambuco.

2.2 Objetivos específicos

- Estudar o método *Sample Entropy* e ferramentas computacionais para implementação do método.
- Aplicar este método nas séries temporais mensais de precipitação no Estado de Pernambuco investigando a complexidade climática das estações analisadas.
- Concluir se a complexidade da precipitação no Estado de Pernambuco mostra padrões de variabilidade espacial e identificar os possíveis fatores correlacionados (geofísicos e ambientais).

3. REVISÃO DE LITERATURA

O Estado de Pernambuco, localizado na região Nordeste do Brasil e caracterizado pelo clima tropical, apresenta certa variabilidade de chuva quando analisado em cada uma das cinco mesorregiões (Metropolitana do Recife, Zona da Mata Pernambucana, Agreste Pernambucano, Sertão Pernambucano e São Francisco Pernambucano) que compõe o seu território. Dentre os processos que envolvem o ciclo hidrológico, a precipitação pluviométrica merece destaque pois é uma variável meteorológica de grande importância, principalmente para a produção agrícola, onde a alta variabilidade das chuvas pode provocar incertezas na colheita, e em períodos sem precipitação dentro da estação chuvosa, pode agravar ainda mais a calamidade das secas.

A precipitação pluvial exerce forte influência sobre as condições ambientais em variáveis como a temperatura do ar e do solo, a umidade do ar e a radiação solar, entre outros, não tendo efeito somente sobre o balanço hídrico.

Portanto, este capítulo segue com a definição e caracterização do que venha a ser o ciclo hidrológico e os processos que o envolve, dando uma atenção maior para o processo de precipitação, objeto do nosso estudo, seguido pelas características da precipitação presente na região Nordeste do Brasil e finalizada pela precipitação no Estado de Pernambuco, proveniente de onde os dados foram coletados, em estações presente neste Estado. A partir daí listamos uma série de entropias que podem ser aplicadas em hidrologia, com uma maior ênfase para o método relevante em nosso estudo, o SampEn, onde no decorrer deste trabalho será descrito todo seu passo a passo para construção do algoritmo que utilizamos para realizar nossas análises.

3.1 O Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico é constituído de um conjunto de fases as quais representam os diferentes caminhos por meio dos quais a água circula na natureza (CHIARANDA, et al, 2012). Esta pode ser encontrada em estado sólido, líquido ou gasoso; na atmosfera, na superfície da Terra, no subsolo ou nas grandes massas

constituídas pelos oceanos, mares e lagos. A água muda de estado ou posição com relação à Terra, seguindo as linhas principais desse ciclo, mantendo uma distribuição equilibrada no decorrer do tempo (PINTO, et al, 1988). O ciclo hidrológico envolve vários processos tais como a evaporação, a precipitação, a interceptação, a transpiração, a infiltração, a percolação, e o escoamento superficial.

- Evaporação – processo pelo qual a umidade, em sua forma líquida ou sólida, passa para a forma gasosa (vapor d'água), cujo termo é usado para descrever a perda de água das superfícies aquáticas ou de solo nu (AYOADE, 1996).

- Precipitação – o termo precipitação é usado para qualquer deposição em forma líquida ou sólida e derivada da atmosfera, ou seja, refere-se às várias formas líquidas e congeladas da água, como a chuva, a neve, o granizo, o orvalho, a geada e o nevoeiro (AYOADE, 1996).

- Interceptação – parte da precipitação não atinge o solo, seja porque fica retida pela vegetação ou devido à evaporação durante a própria queda, resultando em uma perda com relação ao volume que atinge o solo. A essa primeira perda (com relação ao volume que atinge o solo) dá-se a denominação de interceptação (PINTO et. al., 1988).

- Transpiração – é a evaporação devida à ação fisiológica dos vegetais. As plantas, através de suas raízes, retiram do solo a água para suas atividades vitais. Parte dessa água é cedida à atmosfera, sob a forma de vapor, na superfície das folhas (PINTO et. al., 1988).

- Infiltração – fenômeno de penetração da água nas camadas de solo próximas à superfície do terreno, movendo-se para baixo, através dos vazios, sob a ação da gravidade, até atingir uma camada suporte, que a retém, formando então a água do solo (PINTO et. al., 1988).

- Percolação – é a passagem de um sistema líquido através de um sistema sólido disperso, ou seja, representa uma simples filtração (PAIVA NETO, 1942).

- Escoamento superficial – é o segmento do ciclo hidrológico que estuda o deslocamento das águas na superfície da Terra. Este considera o movimento da água a partir da menor proporção de chuva que, caindo sobre um solo saturado de

umidade, escoam pela sua superfície, formando sucessivamente as enxurradas (PINTO et. al., 1988).

A figura 1 ilustra os processos que envolvem o ciclo hidrológico.

Figura 1 – Processos que compõem o ciclo hidrológico.



Fonte: Só Biologia. Disponível em:

http://www.sobiologia.com.br/conteudos/bio_ecologia/ecologia27.php

Sendo assim, o ciclo hidrológico, dotado de certa aleatoriedade temporal e espacial, configura processos complexos, uma vez que as etapas precedentes à precipitação estão dentro do alvo da meteorologia, competindo ao hidrólogo o conhecimento das fases do ciclo que se transcorrem sobre a superfície terrestre, dos quais, precipitação, evaporação e transpiração, escoamento superficial e escoamento subterrâneo. (CAMPOS e STUDART, 2006)

3.2 Precipitação

A precipitação pode ser compreendida como a fase do ciclo hidrológico que é responsável pelo retorno das águas condensadas na atmosfera à superfície terrestre em diferente forma: chuva, granizo, neblina, neve, orvalho ou geada. Quando o vapor de água presente na atmosfera condensa-se ao atingir elevadas altitudes ou encontra massas de ar frias, formando as nuvens que quando carregadas de vapor de água retornam a superfície terrestre em forma de chuva, ocorre um fenômeno

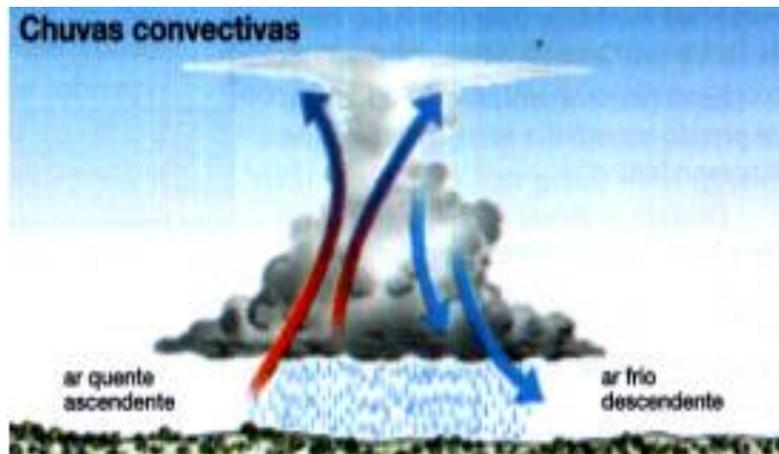
denominado precipitação pluviométrica. Este é considerado aleatório no tempo e no espaço, que provém de interações entre fatores climáticos característicos das regiões (PINTO et. al., 1988).

Em virtude da água ser o componente principal na constituição dos organismos vivos, a distribuição temporal e espacial das precipitações é um dos fatores que condicionam o clima e que estabelecem o tipo de vida de uma região. As precipitações se originam de nuvens formadas pelo resfriamento por expansão adiabática de massas de ar que se elevam na atmosfera. De acordo com o mecanismo que origina a elevação da massa, as precipitações podem ser dos tipos orográfico, convectivo ou frontal (TUBELIS e NASCIMENTO, 1992).

Segundo Ayoade (1996) a precipitação, de acordo com o fator responsável pela ascensão da massa de ar, é classificada em três tipos principais:

- Convectivas – Mais intensa que a precipitação ciclônica ou orográfica, porém seja normalmente mais curta quanto a duração, a precipitação do tipo convectiva é frequentemente acompanhada de trovões. A figura 2 ilustra a formação dessas chuvas.

Figura 2 – Chuvas convectivas.



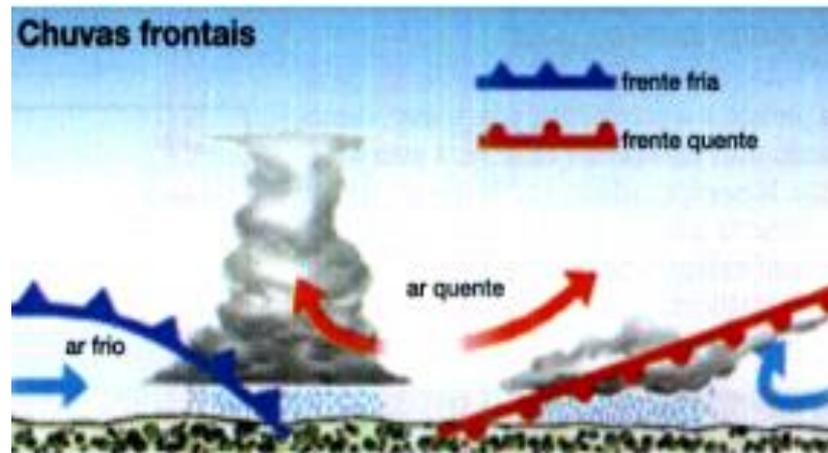
Fonte: FORSDYKE, A. G., 1975.

As chuvas convectivas costumam ser em pequenas durações, porém em grande intensidade, abrangendo pequenas áreas sujeitas a inundações e tempestades.

- Ciclônicas ou frontais – Causada por um movimento vertical do ar em grande escala, associado com sistemas de baixa pressão como as depressões, a

precipitação deste tipo é moderadamente intensa e contínua, afetando áreas muito extensas à medida que a depressão se desloca, não sendo tão intensa como a convectiva, mas possui uma duração mais prolongada. A figura 3 ilustra o processo de formação das chuvas frontais.

Figura 3 – Chuvas frontais.

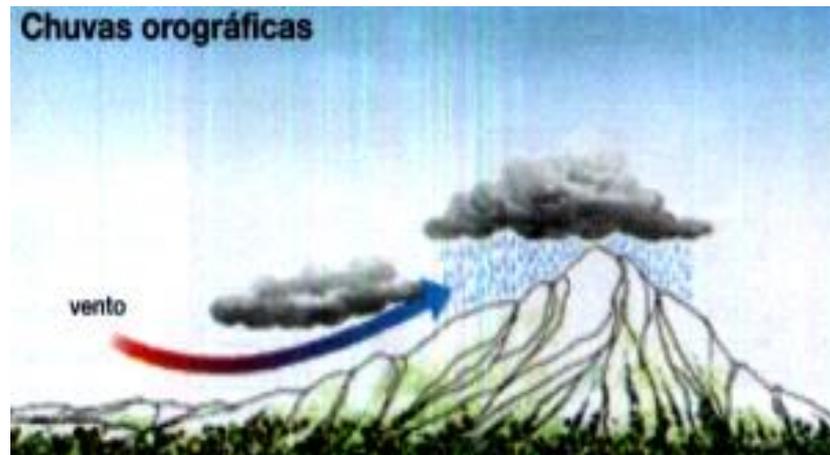


Fonte: FORSDYKE, A. G., 1975.

São chuvas que ocorrem em grandes durações, porém com médias intensidades que, quando acompanhadas de ventos fortes, podem provocar inundações.

- Orográficas – É caracterizada como sendo causada inteira ou principalmente pela elevação do ar úmido sobre o terreno elevado, sendo que, as montanhas sozinhas, não possuem muita eficiência para fazer com que a umidade seja removida da massa de ar que se desloca por elas. Porém as áreas montanhosas recebem mais precipitação do que os terrenos baixos adjacentes. Este fenômeno pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4 – Chuvas orográficas.



Fonte: FORSDYKE, A. G., 1975.

Essas chuvas tem ocorrência em pequenas áreas como localização próximas as elevações topográficas, ocorrendo em grandes durações, mas com pequena intensidade.

Praticamente toda precipitação resulta do resfriamento adiabático devido à ascensão das massas de ar, e as chuvas são mais elevadas nas áreas de ascendência das massas de ar. Devido a isso, a distribuição da precipitação sobre a superfície terrestre é muito mais complexa do que a da insolação ou da temperatura do ar. Um máximo de precipitação ocorre tanto no continente como nos oceanos em torno do Equador, onde a convergência dos valores de superfície origina ascensão em grande escala do ar instável úmido e moderadamente quente, enquanto o volume de precipitação diminui na direção dos polos, em cada hemisfério, alcançando mínimas secundárias nos subtropicais, caracterizados pela alta pressão com sistemas de ventos divergentes e pela subsidência vertical (AYOADE, 1996).

As características das precipitações que mais interferem no processo de erosão do solo são a intensidade, a duração e a frequência da precipitação e sua erosividade. Tucci (2004) informa que para elaboração de projetos de obras hidráulicas é necessário conhecer as três grandezas que caracterizam as precipitações máximas: intensidade, duração e frequência. Garcez e Alvares (1995) expõem essas grandezas que caracterizam uma chuva como segue:

- Intensidade – representado pela letra i , é a velocidade da precipitação $i = h/t$ que pode ser expressa em mm/min, mm/h ou litros/segundo/hectare.

- Duração – representado pela letra t , é o intervalo de tempo transcorrido entre o instante em que se iniciou a precipitação e o seu término, tendo como unidade de medida usual o minuto ou hora.
- Frequência – definida por uma altura pluviométrica e uma duração, a frequência é o número de ocorrências de uma determinada precipitação no decorrer de um intervalo de tempo fixo.

Para possibilitar o plantio em época adequada, o planejamento de irrigação, aplicação de adubos e defensivos, a utilização de máquinas agrícolas, entre outros, o conhecimento das probabilidades de ocorrência de chuva é de grande interesse no planejamento agrícola. Por meio da agrometeorologia operacional, pode-se obter valores de estimativas que irão permitir tomadas de decisão, por exemplo: preparo do solo, semeadura, irrigação e colheita (CHAVES, 1999). Segundo Morais (2001), os níveis de probabilidade de precipitação pluvial devem ser adotados com base em critérios econômicos, particularmente, o valor da cultura, a disponibilidade de recursos hídricos e o custo da irrigação.

Em hidrologia, quando estamos tratando dos procedimentos pelo qual se pode avaliar ou medir valores que deem uma indicação de um evento de precipitação em uma determinada região, nos referimos à pluviometria. Conforme Pinto (1988), para medir as precipitações, exprime-se a quantidade de chuva pela altura de água caída e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável, e esta é avaliada por meio de medidas executadas em pontos previamente escolhidos, utilizando-se aparelhos chamados pluviômetros. Para Ayoade (1996), o volume da chuva captado por uma dado pluviômetro, em determinado local, depende de fatores como a altura do pluviômetro acima do solo, a velocidade do vento e a taxa de evaporação.

Sendo assim, para não influenciar o volume de chuva coletado, os pluviômetros devem estar longe de quaisquer obstáculos, como por exemplo, paredes ou árvores e, através do conhecimento dos totais precipitados, poder obter um perfeito gerenciamento do recurso hídrico.

As medições das observações meteorológicas são executadas em locais conhecidos como postos ou estações meteorológicas. Dependendo do número de elementos meteorológicos medidos, da frequência da medição e da condição do observador meteorológico, amador ou profissional, quatro tipos de postos podem ser reconhecidos, como segue (AYOADE, 1996):

- Estações sinóticas – são estações controladas por observadores profissionais em tempo integral de forma contínua, fazendo observações instrumentais horárias dos elementos do tempo.
- Estações agrícolas – são estações controladas por observadores em tempo parcial, realizando pelo menos duas observações instrumentais diárias dos principais elementos do tempo atmosférico.
- Estações climatológicas – são estações controladas por observadores em tempo parcial, fazendo apenas uma ou duas observações instrumentais diárias da temperatura, umidade, precipitação e vento.
- Estações (ou postos) pluviométricas – são postos controlados por observadores em tempo parcial que fazem leituras diárias apenas de precipitação.

As estações pluviométricas, como são conhecidos os postos de medição de chuvas, são fixados geograficamente mantendo uma determinada regularidade na distribuição espacial, cuja finalidade é de prever dados para a constituição de séries históricas ininterruptas e confiáveis.

Com a finalidade de que as observações feitas em diferentes estações meteorológicas sejam precisas e compatíveis, um posto meteorológico, independente do seu tipo, deve localizar-se em uma superfície nivelada coberta com grama e medindo pelo menos 9 por 6 metros de tamanho, não devendo este posto situar-se próximo ou sobre um morro, em uma depressão, ou sobre uma vertente íngreme, devendo estar distante de qualquer obstáculo, tais como edifícios ou árvores (AYOADE, 1996).

3.3 Precipitação na Região Nordeste do Brasil

A região Nordeste do Brasil (NEB) tem 1.558.196 km², o que equivale a 18% do território nacional e possui a maior costa litorânea do País, tendo, dentre os estados nordestinos, a Bahia com a maior costa litorânea, com 932 km e o Piauí somente 60 km de litoral (SILVA et al, 2011). Situado entre os paralelos do 01° 02' 30" de latitude norte e 18° 20' 07" de latitude sul e entre os meridianos de 34° 47' 30" e 48° 45' 24" a oeste do meridiano de Greenwich, o Nordeste se limita ao norte e ao

leste com o Oceano Atlântico, ao sul com os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo e a oeste com os Estados do Pará, Tocantins e Goiás (SILVA et al., 2006).

Segundo IBGE (2002), o Nordeste é dividido em quatro zonas geográficas:

- Meio Norte – faixa de transição entre a Amazônia e o sertão, chove cerca de 2.000 mm anuais no litoral mais para o leste, caindo para 1.500 no interior e no sul do Piauí, só chove em média 700 mm por ano.
- Sertão – localizado no interior do Nordeste com clima semiárido, possui chuvas irregulares e escassas, além de períodos de estiagem, sendo a caatinga a vegetação típica.
- Agreste Nordestino – localizado no alto do Planalto da Borborema, é uma zona de transição entre a Zona da Mata e o Sertão, onde as terras mais úmidas estão do lado leste do planalto (Zona da Mata) enquanto o clima vai ficando cada vez mais seco para o interior (sertão).
- Zona da Mata – localizada entre o Planalto do Borborema e a costa litorânea, no leste, se estendendo desde o Rio Grande do Norte até o sul da Bahia, onde as chuvas são mais abundantes.

Figura 5 – Mapa da região Nordeste do Brasil subdividido em regiões de acordo com características climáticas e de urbanização



Fonte: Info Escola: navegando e aprendendo. Disponível em:
<http://www.infoescola.com/geografia/regiao-nordeste/>

Conforme Silva et al. (2002), Os tipos de clima que existem no Brasil e estão presentes na região Nordeste são: Clima Equatorial Úmido, presente em parte do Maranhão e na divisa com o Pará; Clima Litorâneo Úmido, presente do litoral da Bahia ao Rio Grande do Norte; Clima Tropical, presente na Bahia, Ceará, Maranhão e Piauí; e Clima Topical Semiárido, presente em todo sertão nordestino.

A região Nordeste do Brasil é a maior em número de Estados, compreendendo as unidades federativas de Alagoas (AL), Bahia (BA), Ceará (CE), Maranhão (MA), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Rio Grande do Norte (RN), Piauí (PI) e Sergipe (SE). A figura 5 mostra a divisão da região Nordeste por unidades federativas e suas respectivas capitais.

Figura 6 – Quadro (mapa) da região Nordeste do Brasil



Fonte: IBGE, 2016. Disponível em: <http://7a12.ibge.gov.br/mapas-7a12/brasil>

3.4 Precipitação no Estado de Pernambuco

O Estado de Pernambuco, localizado na Região Nordeste do Brasil, possui uma área de 98.311,62 km² onde reside uma população de 8.796.448 habitantes distribuídos em 184 municípios e um Distrito Estadual, entre os quais os dez municípios mais populosos, em ordem decrescente são: Recife, Jaboatão dos Guararapes, Olinda, Caruaru, Petrolina, Paulista, Cabo de Santo Agostinho, Camaragibe, Vitória de Santo Antão e Garanhuns. Para 2015 sua população esta estimada em 9.345.173 habitantes, de acordo com o censo de 2010 (BITOUN et al., 2012). Os principais rios deste são o rio Capibaribe, Ipojuca e Pajeú e São Francisco.

Situado entre as paralelos 7°18'17" e 9°28'43" de latitude sul e os meridianos de 34°48'15" e 41°21'22" de longitude a oeste, no Nordeste brasileiro, o Estado de Pernambuco oferece condições climáticas diversificadas, em sua posição geográfica, vegetação e topografia, sendo este Estado caracterizado por dois tipos climáticos, conforme classificação climática de Köppen, os climas As' e BSh, ou seja, 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).

O clima no Estado de Pernambuco é tropical. Este apresenta uma estação chuvosa, de janeiro a agosto, e uma seca no restante do ano, com maiores pluviosidades de março a julho apresentando valores médios em torno de 2.000 mm e temperatura média de 25 °C, sendo os meses de janeiro a março os mais quentes. Em característica do clima tropical, a umidade relativa do ar situa-se em torno de 81,5%, com pouca variação (GUEDES, 2012).

O Estado de Pernambuco é limitado pelos estados de Alagoas (ao sul), Paraíba (ao norte), Ceará (ao oeste) e o Oceano Atlântico (ao leste), subdividido em cinco mesorregiões: Metropolitana do Recife, Zona da Mata, Agreste, Sertão e São Francisco (SILVA et al., 2011). A figura 6 ilustra a divisão do Estado de Pernambuco por Mesorregiões.

Figura 7 – Mapa de Pernambuco com as Mesorregiões: Região Metropolitana (1), Zona da Mata (2), Agreste (3), Sertão (4) e Sertão de São Francisco (5).



Fonte: POSSAS, J. M. C et al, 2012

A mesorregião metropolitana do Recife tem sua localização latitudinal conferindo temperaturas estáveis ao longo do ano, com amplitude térmica anual máxima de 5 °C, devido à sua localização na Zona Intertropical, faixa de maior incidência solar do planeta, onde são constantes as temperaturas entre os meses de verão e inverno. O clima regional constitui em uma região sob influência, ao longo da maior parte do ano, da massa Tropical Atlântica, caracterizada como uma massa tropical quente e úmida por conta de sua área de origem, sobre o Atlântico Sul (GIRÃO et al., 2006). Considerado um clima bastante úmido, as temperaturas médias anuais registram uma variação entre 25 °C para mínimas e 30 °C para máximas, concentrando os meses de primavera (outubro, novembro e dezembro) e verão com temperaturas mais elevadas, e no inverno (junho, julho e agosto) apresentando uma média de 23 °C, ou seja, uma redução de temperatura não significativa, com maior pluviosidade compreendido no litoral do Nordeste, com precipitação média anual de 2.050 mm, nos anos considerados normais (MANSO et al., 2006).

A mesorregião do Sertão, assim como a do Agreste Pernambucano, do ponto de vista da sua climatologia caracteriza-se por apresentarem índices pluviométricos anuais muito variáveis, possuindo anos com altos índices e outros com índices muito abaixo da normal climatológica. 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 Agreste é uma zona de transição entre o litoral e o interior do Estado, de clima mais seco e menores índices pluviométricos (SILVA, 2003) e temperatura média anual em torno de 26 °C e grande amplitude

térmica, 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 e temperaturas heterogêneas (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 e recebeu este nome por ter sido coberta pela Mata Atlântica (FERREIRA, 2006). Esta região está próxima ao mar e 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, principalmente, no verão, tendo como elemento influenciador o mecanismo de circulação das massas de ar (FERRAZ et. al., 2006). Com estação chuvosa no verão e elevada evaporação, a temperatura média anual fica em torno de 26 °C e a precipitação pluviométrica próxima de 400 mm anuais, irregularmente distribuída, caracterizando uma semi-aridez bem acentuada (DANTAS et. al., 1998)

3.5 Entropia

No estudo da física, uma medida da quantidade de desordem que há em um sistema é caracterizado como entropia. Em estatística, esta é uma medida de quantidade de incerteza que há em certa quantidade de dados, ou seja, é a medida de quantidade de informação regular presente nesses dados. Já em séries temporais, a entropia nos proporcionará o grau de complexidade de uma série. Portanto, ao considerarmos uma série histórica, poderemos identificar que quando houver uma alta entropia, a série é difícil de ser modelada e conseqüentemente de se realizar previsões. Já quando houver uma baixa entropia, entenderemos que esta possui uma baixa complexidade ou variabilidade, indicando que é uma série que

tende a ser mais fácil realizar previsões, já que os dados possuem uma baixa variabilidade (SILVA, 2014).

3.6 Medidas de Entropia

3.6.1 Entropia de Shannon

O conceito de entropia em teoria da informação foi introduzido por Shannon (1948) para estudar a transmissão de sinais. Em estatística a entropia é uma medida de incerteza associada com uma variável aleatória. Sendo X uma variável aleatória discreta com função de probabilidade $p(x) = Pr \{X = x\}$, a entropia de Shannon (SHANNON, 1948) $H(X)$ é definida como:

$$H(X) = - \sum p(x) \log p(x) \quad (1)$$

onde \log é considerado na base 2 e entropia é medida em *bits*.

Em hidrologia a entropia Shannon foi amplamente utilizada para analisar a variabilidade espacial e temporal de precipitação e vazão (MISHRA et al., 2009; da SILVA et al., 2016).

3.6.2 Entropia conjunta e Entropia condicional

A entropia conjunta $H(X, Y)$ é uma medida de incerteza quando duas variáveis X e Y são consideradas simultaneamente (COVER e THOMAS, 1991).

$$H(X, Y) = \sum_{x \in X} \sum_{y \in Y} p(x, y) \log p(x, y) \quad (2)$$

Para quantificar a entropia ou a incerteza de X condicionada Y , uma outra medida foi criada. Surge então, a definição de entropia condicional (COVER e THOMAS, 1991), como segue:

$$H(X|Y) = \sum_{y \in Y} P(y)H(X|Y = y) = - \sum_{y \in Y} \sum_{x \in X} p(x, y) \log p(x|y) \quad (3)$$

Em hidrologia a entropia conjunta foi utilizada para estimar a distribuição conjunta de precipitação e vazão (SINGH et al., 2012), a entropia condicional foi aplicada em avaliação de modelos hidrológicos (AMOROCHO & ESPILDORA, 1973).

3.6.3 Entropia relativa e Informação mútua

De acordo com Vedral (2002), quando supomos dois conjuntos de eventos discretos p e q com as correspondentes distribuições de probabilidade $p(x)$ e $q(x)$, a entropia relativa entre essas duas distribuições é dada por:

$$D(p||q) = - \sum_{x \in X} p(x) \log \frac{p(x)}{q(x)} \quad (4)$$

Vedral (2002) afirma que esta função é uma medida de “distância” entre $p(x)$ e $q(x)$, e, uma vez que deixa de ser simétrica $D(p||q) \neq D(q||p)$, não é uma métrica de matemática.

Uma outra medida de entropia é a informação mútua $I(X;Y)$. Esta mede o quanto, em média, a realização da variável aleatória Y nos fala sobre a realização de X , isto é, por quanto a entropia de X é reduzida, quando sabemos que a realização de Y aconteceu.

$$I(X;Y) = H(X) + H(Y) - H(X,Y) = \sum_{y \in Y} \sum_{x \in X} p(x, y) \log \frac{p(x, y)}{p(x)p(y)} \quad (5)$$

Quanto mais independentes forem X e Y , menor será a diferença entre $H(X) + H(Y)$ e $H(X,Y)$, pois a informação mútua entre variáveis aleatórias independentes é

nula, o que reforça que a informação mútua pode ser vista como uma medida de dependência entre variáveis aleatórias (COVER e THOMAS, 1991).

A entropia relativa e a informação mútua foram utilizadas para desenvolver os métodos de planejamento de redes de estações hidrológicas (CHEN et al., 2008).

3.6.4 Entropia Tsallis

Para uma determinada distribuição de probabilidade discreta $p=(p_1, p_2, \dots, p_n)$, a entropia de Tsallis, introduzida por Tsallis (1988), considerada como uma generalização da entropia de Boltzmann-Gibbs, é definida como:

$$S_q(p) = \frac{k}{q-1} \left(1 - \sum_{i=1}^n p_i^q \right) \quad (6)$$

Onde q é um parâmetro real positivo, e quando $q \rightarrow 1$ obtemos a entropia de Boltzmann-Gibbs $S_{BG} = S_1(p) = -k \sum_i p_i \ln p_i$. Para $K=1$ e $q \rightarrow 1$ obtemos a entropia de Shannon.

A entropia de Tsallis foi utilizada para modelar a distribuição de velocidade de água e a concentração dos sedimentos em rios (CUI & SINGH, 2012; CUI & SINGH, 2013).

3.6.5 Entropia amostral (*Sample Entropy*)

O método *Sample Entropy* ($SampEn(m,r,N)$), 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

$$SampEn(m, r, N) = -\ln\left(\frac{A^m(r)}{B^m(r)}\right) \quad (7)$$

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.

Em hidrologia o método *Sample Entropy* foi utilizado para analisar a complexidade de series temporais de precipitação e vazão (DONG & MENG, 2013; CHOU, 2014).

3.6.6 Entropia de multi-escala (*Multiscale Entropy*)

Multiscale sample entropy (MSE) introduzida por Costa *et al.* (2005), representa uma generalização do método *Sample entropy (SampEn)* (Richman e Moorman 2000). As medidas tradicionais baseadas em conceito da *entropia* aumentam com o grau de aleatoriedade do processo estocástico e não conseguem quantificar a complexidade como “uma riqueza na estrutura temporal do processo” caracterizada pela maior regularidade do que o processo aleatório (COSTA *et al.*, 2005).

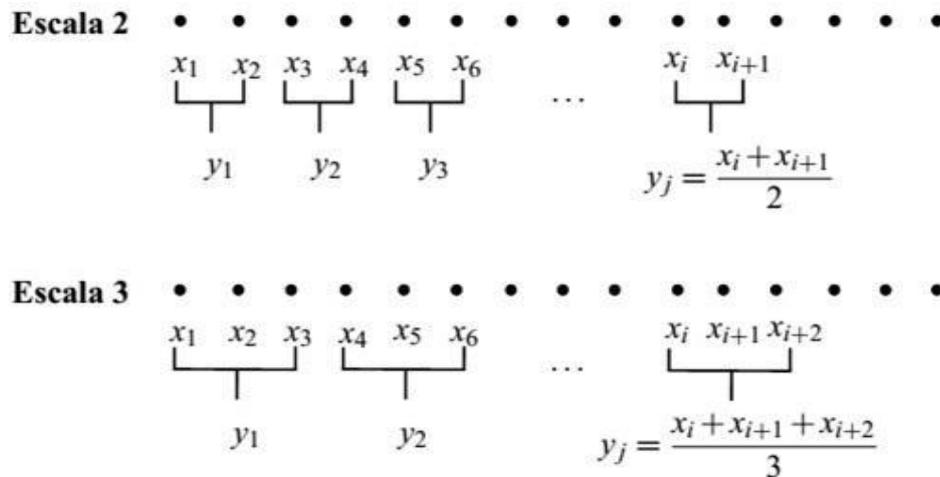
Ambos os processos completamente aleatórios (ruído branco) e o processo completamente regular (ex. periódico) possuem uma menor complexidade do que um processo estruturalmente complexo (ex. ruído $1/f$) (COSTA *et al.*, 2005).

A implementação do método *MSE* exige primeiro a transformação da série original $x(i), i = 1, \dots, N$ para outras escalas produzindo $x^\tau(j), j = 1, \dots, N/\tau$ onde

$$x^\tau(j) = \frac{1}{\tau} \sum_{i=(j-1)\tau+1}^{j\tau} x(i) \quad (8)$$

e τ é o fator da escala. Este procedimento é representado na Figura 7.

Figura 8 – Ilustração do método MSE: transformação da série original usando fator de escala $\tau = 2$ e $\tau = 3$.



Fonte: Adaptado de Costa et al, 2005.

Para cada série transformada calcula-se o valor de *SampEn* e constrói-se o gráfico *SampEn* versus o fator da escala τ . Este método permite analisar a complexidade do processo estocástico nas escalas distintas resultando em uma melhor quantificação da complexidade estrutural de uma série temporal do que os métodos tradicionais baseados em entropia, que analisam a repetição dos padrões na série utilizando uma escala única (COSTA *et al.*, 2005).

Em hidrologia o método MSE foi utilizado para avaliar as alterações hidrológicas causadas pela atividade humana (ARAUJO *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2012; LI & ZHANG, 2008).

3.6.7 Entropia de permutação (*Permutation Entropy*)

Conforme Feldman e Crutchfield (1998), a entropia de Shannon e outras medidas clássicas não consideram a relação temporal entre os valores da série analisada e não fornecem a informação sobre a organização temporal dos valores baseada nas correlações temporais.

Sendo assim, no intuito de incorporar estas informações na análise de complexidade, Bandt e Pompe (2002) introduziram uma nova medida chamada

Entropia de Permutação (*Permutation Entropy*), utilizando uma representação simbólica mais natural baseada na comparação dos valores consecutivos da série.

A seguir, pode-se observar o algoritmo da Entropia de Permutação:

Para uma série temporal $X_t, t=1, \dots, T$ constroem-se $T - (d - 1)$ vetores d -dimensionais $X_t = \{x_t, x_{t+1}, \dots, x_{t+d-1}\}$. Para cada um desses $T - (d - 1)$ vetores, investigam-se as permutações $\pi = (r_0, r_1, \dots, r_{d-1})$ dos símbolos $(0, 1, \dots, d - 1)$, que são definidas pelo ordenamento $X_{t+r_0} \leq X_{t+r_1} \leq \dots \leq X_{t+r_{d-2}} \leq X_{t+r_{d-1}}$. Para cada π calcula-se frequência relativa $p(\pi) = f(\pi)/(T - (d - 1)\tau)$ onde $f(\pi)$ é a frequência de permutação π na série dos vetores $X_t, t = 1, \dots, T - (d - 1)$. A entropia de permutação de ordem $d \geq 2$ é definida como

$$H(x) = - \sum p(\pi) \log p(\pi) \quad (9)$$

onde \sum inclui todas $d!$ permutações π de ordem d .

Os valores da entropia de permutação encontram-se no intervalo $0 \leq H(x) \leq \log d!$, com limite inferior para uma série crescente ou decrescente (só uma permutação aparece) e limite superior para uma série completamente aleatória (todas $d!$ possíveis permutações aparecem com a mesma probabilidade). Uma série se considera complexa (apresenta uma “uma riqueza na estrutura temporal do processo”) quando $H(d) \leq \log d!$ (BANDT; POMPE, 2002; ZANIN et al, 2012). A escolha dos parâmetros d depende do sistema analisado. Para obter uma estatística confiável é recomendado escolher d de acordo com $T > 5 d!$ (RIEDL et al, 2013).

Recentemente este método foi aplicado nas series temporais de vazão para classificar o regime hidrológico (SERINALDI et al.,2014).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

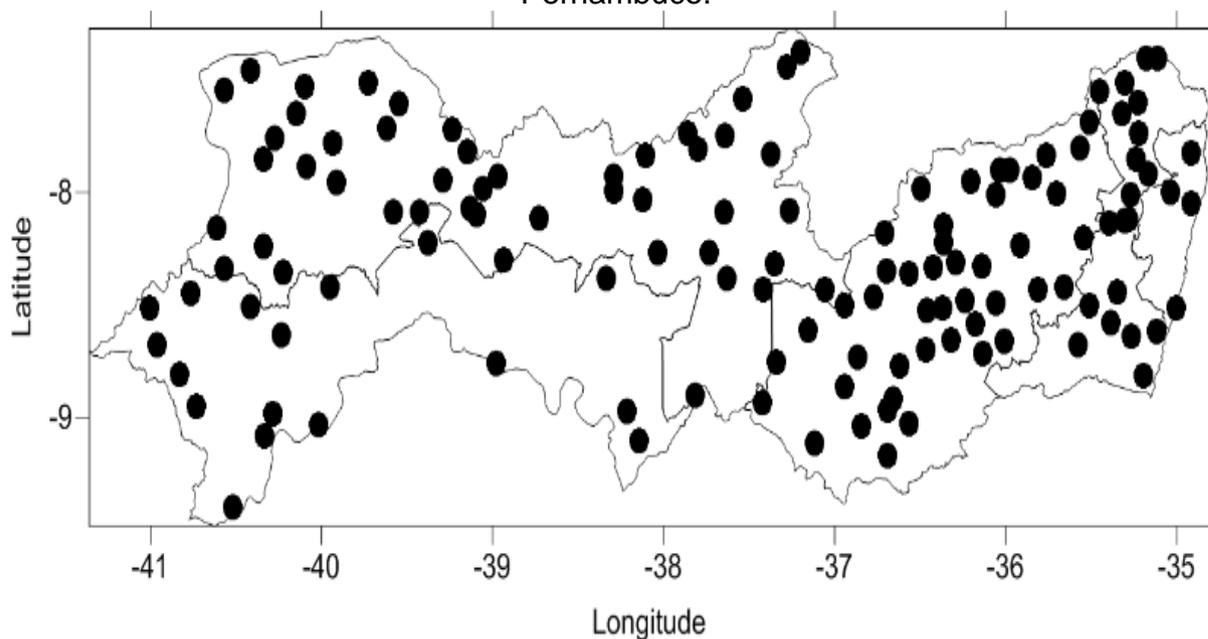
4.1 Dados

Os dados utilizados foram adquiridos através do LAMEP – Laboratório de Meteorologia de Pernambuco, órgão pertencente ao Instituto Tecnológico de Pernambuco (ITEP), associação civil de direito privado sem fins econômicos, qualificada como organização social, sendo centro de referência regional na oferta de soluções tecnológicas para o setor produtivo, visando à modernização e ao desenvolvimento sustentável de Pernambuco e da Região Nordeste.

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 8.

Os dados faltantes nas séries históricas foram preenchidas utilizando o WinPreci (SILVA, 2015).

Figura 9 – Disposição espacial dos postos pluviométricos localizados no Estado de Pernambuco.



As análises de entropia (Sample Entropy) foram feitas no software Microsoft Visual Studio 6.0. Para aplicação desta técnica são disponíveis códigos abertos em linguagem C. O código para aplicação do Sample Entropy está disponível no endereço <<http://www.physionet.org/physiotools/sampen/c/>>. A interpolação espacial e a plotagem dos mapas foi feita utilizando Surfer 11.0. Para construção dos gráficos de séries temporais e dos histogramas foi utilizado o programa R-project 3.2.2, disponível para download no endereço <<https://www.r-project.org/>>.

4.2 Metodologia

Para analisar a variabilidade das séries temporais de precipitação no estado de Pernambuco, utilizamos o método *Sample Entropy (SampEn)*. Os resultados foram utilizados para estimar os valores da média e entropia nas áreas onde não temos estações meteorológicas, preenchendo todo o território da região. A técnica de interpolação utilizada *Inverse Distance Weighting (IDW)* realiza estas estimativas dando um peso maior aquelas estações que se encontram mais próximas do local onde queremos realizar a estimativa.

4.2.1 Implementação do algoritmo Sample Entropy (SampEn)

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

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

$$x(i) = [x(i), x(i + 1), \dots, x(i + m - 1)], i = 1, \dots, N - m + 1 \quad (10)$$

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

$$d_m[x(i), x(j)] = \max_{k=0, m-1} [|x(i + k) - x(j + k)|] \quad (11)$$

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

$$B_i^m(r) = \frac{B_i}{(N - m - 1)} \text{ e } A_i^m(r) = \frac{A_i}{(N - m - 1)} \quad (12)$$

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:

$$B^m(r) = \frac{1}{N - m} \left(\sum_{i=1}^{N-m} B_i^m(r) \right) \quad (13)$$

e

$$A^m(r) = \frac{1}{N - m} \left(\sum_{i=1}^{N-m} A_i^m(r) \right) \quad (14)$$

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*:

$$SampEn(m, r, N) = -\ln \left(\frac{A^m(r)}{B^m(r)} \right) \quad (15)$$

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).

4.2.2 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

$$\hat{Z}_{(S_0)} = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_{(S_i)} \quad (16)$$

onde, $\hat{Z}_{(s_0)}$ é o valor estimado para cada local S_0 , N é o número de pontos observados, λ_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:

$$\lambda_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}} \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (18)$$

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_{i0} 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 igual a 1.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os resultados obtidos para as análises do método *Sample Entropy* (*SampEn*), foram interpolados e mostrados espacialmente sob o mapa do Estado de Pernambuco. Esses valores foram distribuídos espacialmente conforme localização de cada posto de coleta e posteriormente interpolados utilizando o *Inverse Distance Weighting (IDW)* com peso $p=2$. Foram obtidos os valores das médias e desvios padrão de cada variável em estudo, em cada um dos 133 postos pluviométricos, distribuídos espacialmente no território pernambucano, como já visto na figura 8. Foram calculadas as estatísticas de *SampEn* para as séries históricas de precipitação, coletadas nos postos pluviométricos adquiridos através do LAMEP – Laboratório de Meteorologia de Pernambuco, órgão pertencente ao Instituto Tecnológico de Pernambuco - ITEP, referente aos anos de 1950 a 2012. Todas as estimativas de *Sample Entropy* foram feitas admitindo $m = 2$ e $r = 0,2$.

5.1 Análise exploratória

A Figura 10 à Figura 14 apresentam as séries temporais originais de precipitação. Foram escolhidas duas estações de cada mesorregião, uma apresentando maior variabilidade, representadas pelas estações Tacaratu (IPA) (Figura 9a), Arco Verde (INMET) (Figura 10a), Caruaru (IPA) (Figura 11a), Vitória de Santo Antão (IPA) (Figura 12a) e Recife (Várzea) (Figura 13a), e outra apontando menor variabilidade, correspondendo às estações Petrolina (Pau Ferro) (Figura 9b), Verdejante (Figura 10b), Cumaru (Figura 11b), Sirinhaém (IPA) (Figura 12b) e São Lourenço (Figura 13b), respectivamente.

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, com destaque para a estação Recife (Várzea) localizada na Mesorregião Metropolitana do Recife que diferente das demais analisadas, apresentou concentração em torno de 500 mm.

Figura 10 – 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.

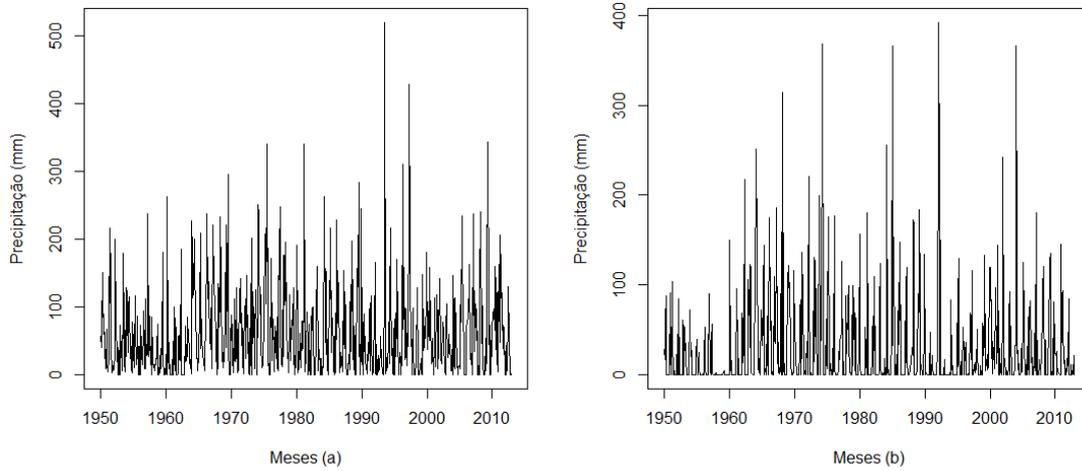


Figura 11 – Séries temporais de precipitação das estações Arco Verde (INMET) (a) e Verdejante (b), localizadas na Mesorregião do Sertão Pernambucano no período de 1950 a 2012.

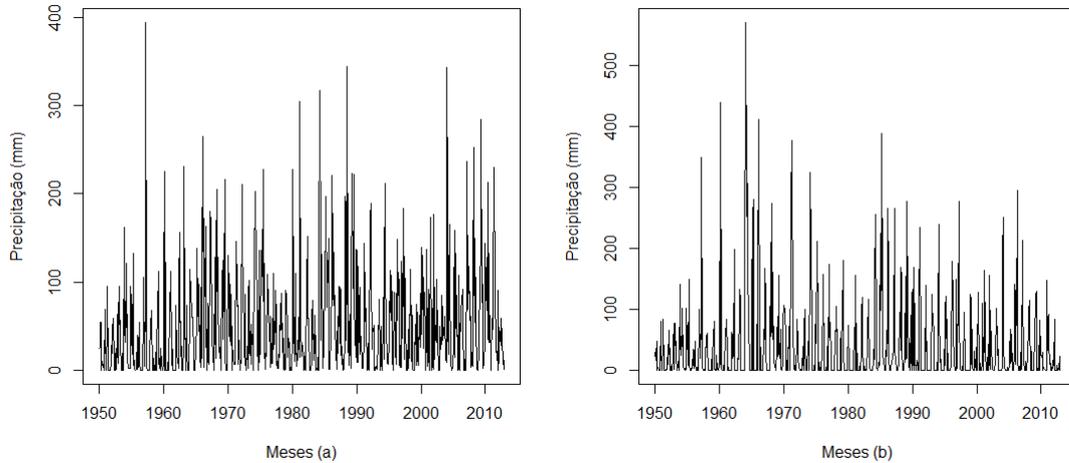


Figura 12 – Séries temporais de precipitação das estações Caruaru (IPA) (a) e Cumaru (b), localizadas na Mesorregião do Agreste Pernambucano no período de 1950 a 2012.

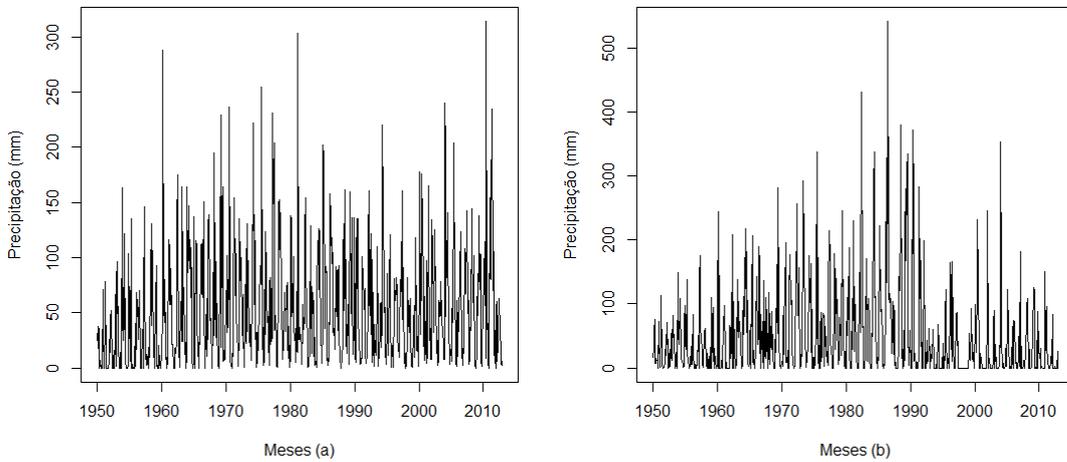


Figura 13 – Séries temporais de precipitação das estações Vitória de Santo Antão (IPA) (a) e Sirinhaém (IPA) (b), localizadas na Mesorregião da Zona da Mata Pernambucana no período de 1950 a 2012.

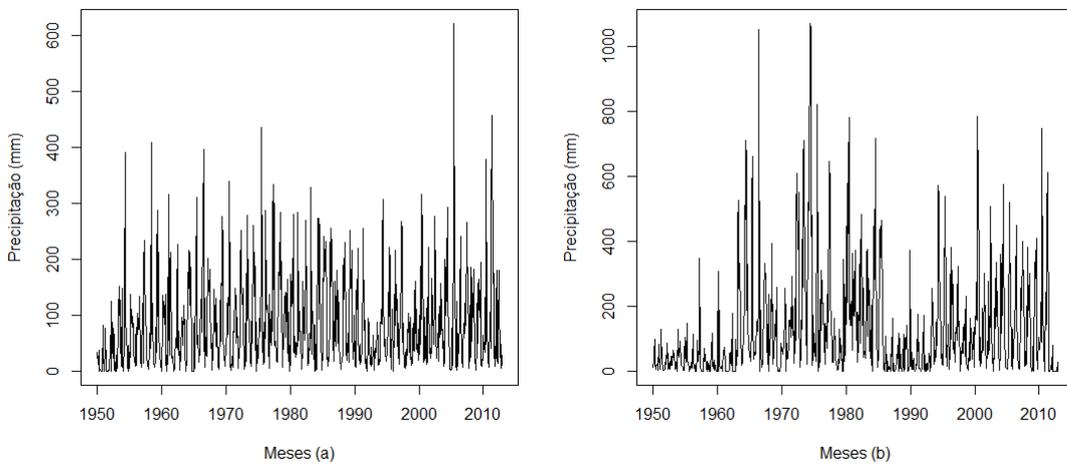
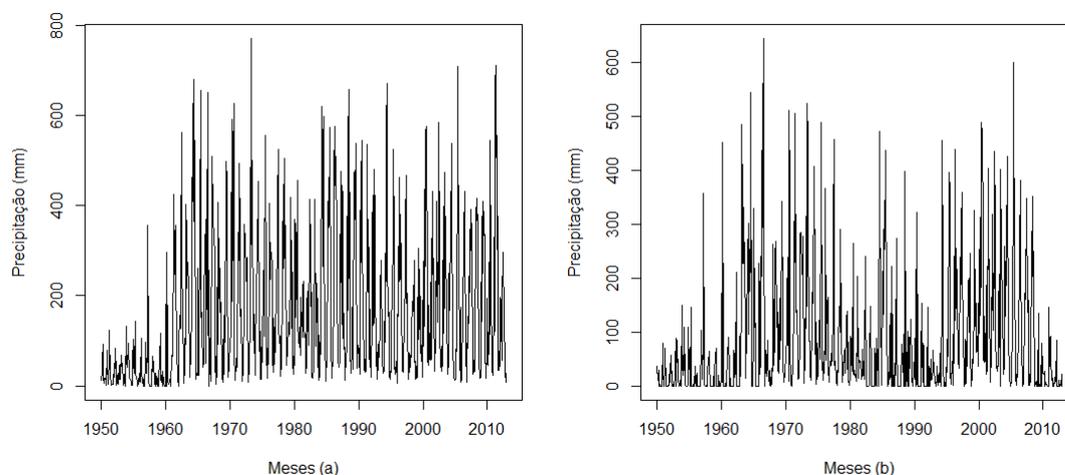


Figura 14 – Séries temporais de precipitação das estações Recife (Várzea) (a) e São Lourenço (b), localizadas na Mesorregião do Recife no período de 1950 a 2012.



Os resultados das medidas descritivas e de *SampEn* das dez estações selecionadas são apresentados na Tabela 1. 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 dentre o período de anos analisados onde o pico foi muito alto. Os resultados de *SampEn* e de estatística descritiva para todas 133 estações são apresentadas em Apêndice.

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

Mesorregião	Estação	<i>SampEn</i>	Média	Desvio Padrão
São Francisco Pernambucano	Tacaratu (IPA) *	1,392329	61.11	66.53
Sertão Pernambucano	Petrolina (Pau Ferro)	0.523870	29.67	54.74
	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	Vitória de Santo Antão (IPA)	1,340583	83.50	81.22

Pernambucana	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

Para complementar informações sobre a precipitação no Estado de Pernambuco, foram construídos histogramas com os dados mensais das estações analisadas referente a cada um dos meses, num total de 12 histogramas. Sendo assim, o conjunto de Figuras de Figura 15 a Figura 24 representa o histograma para as variáveis precipitação dentre as estações analisadas em cada uma das cinco Mesorregiões.

Figura 15 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Tacaratu (IPA).

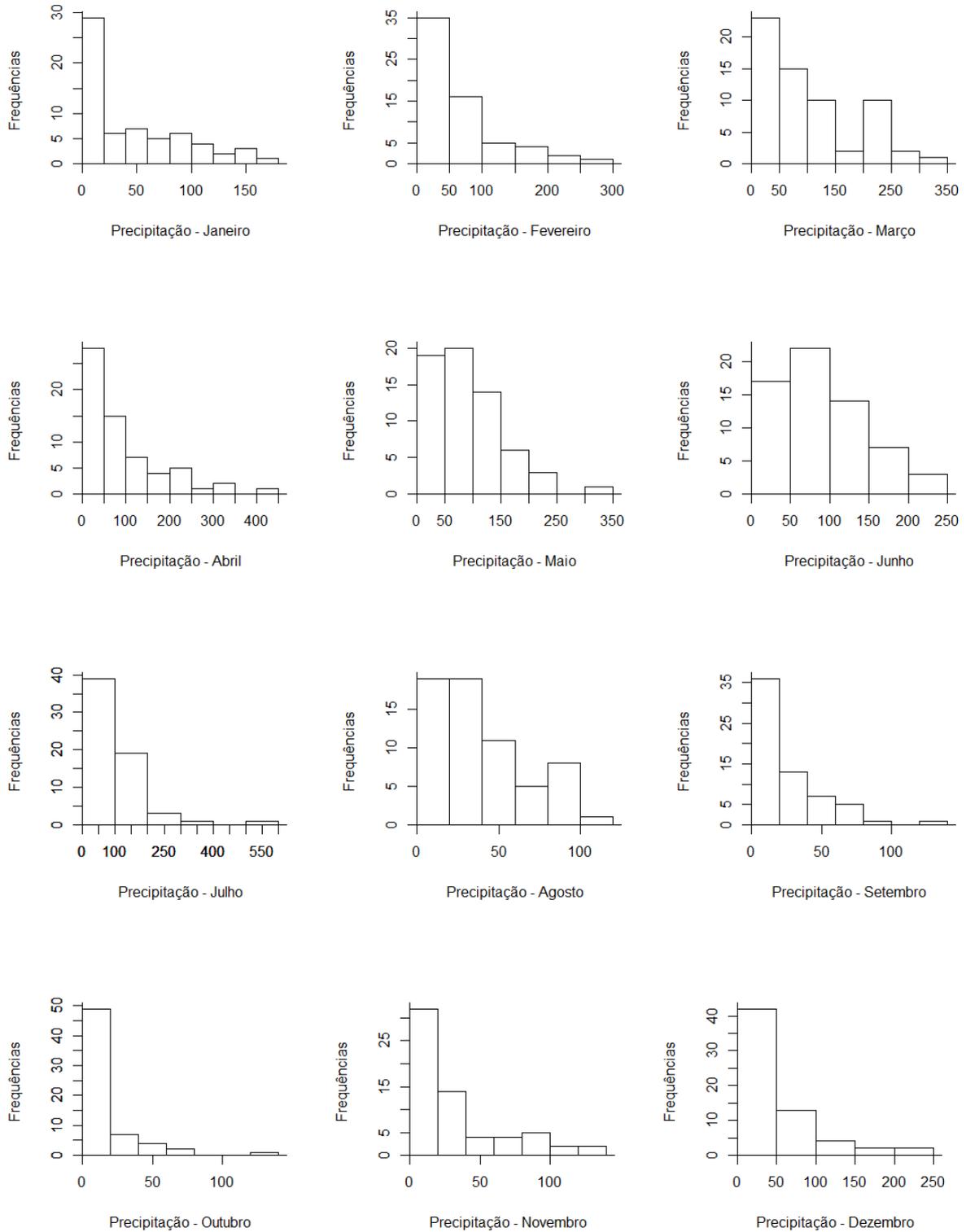


Figura 16 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Petrolina (Pau Ferro).

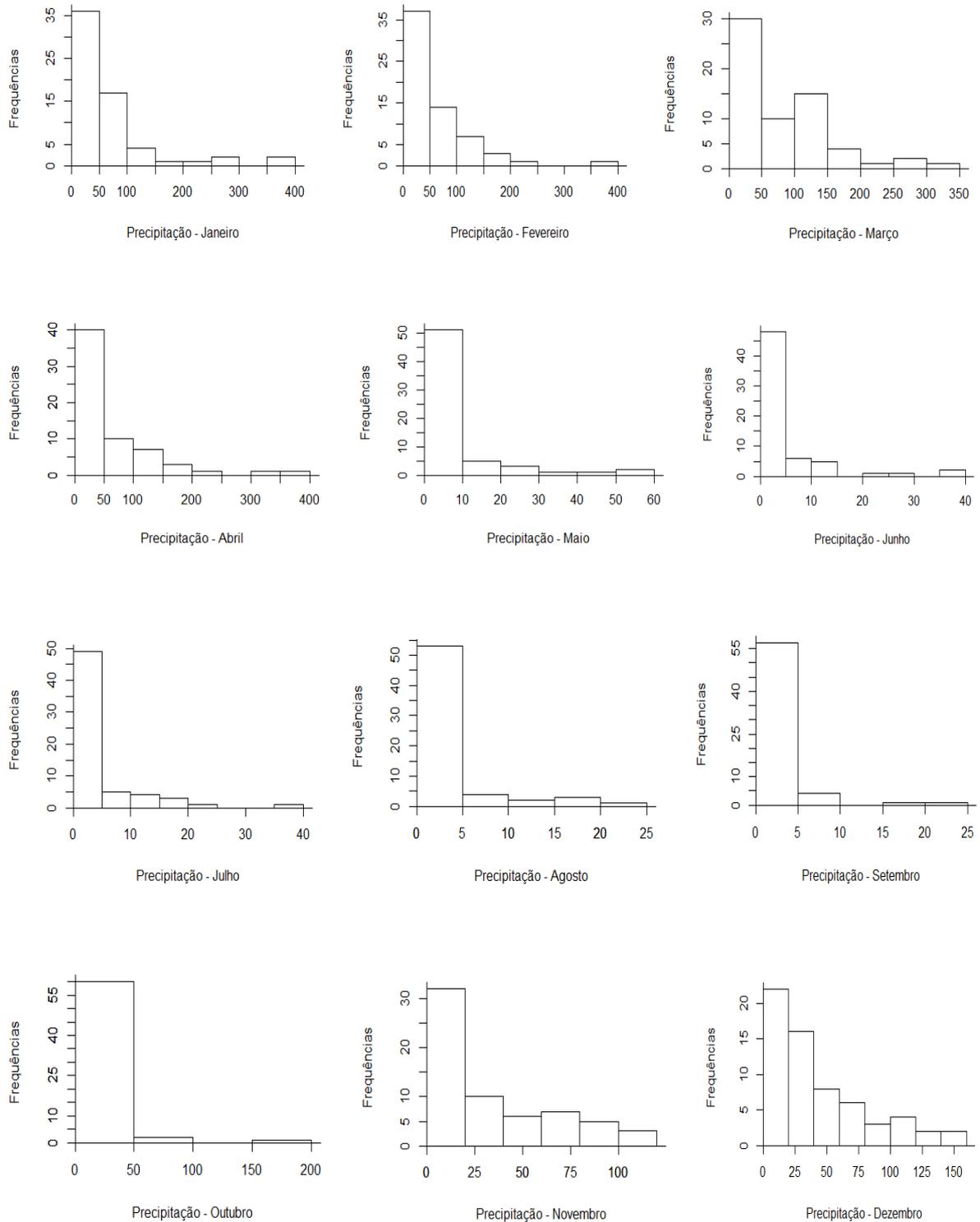


Figura 17 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Arco Verde (INMET).

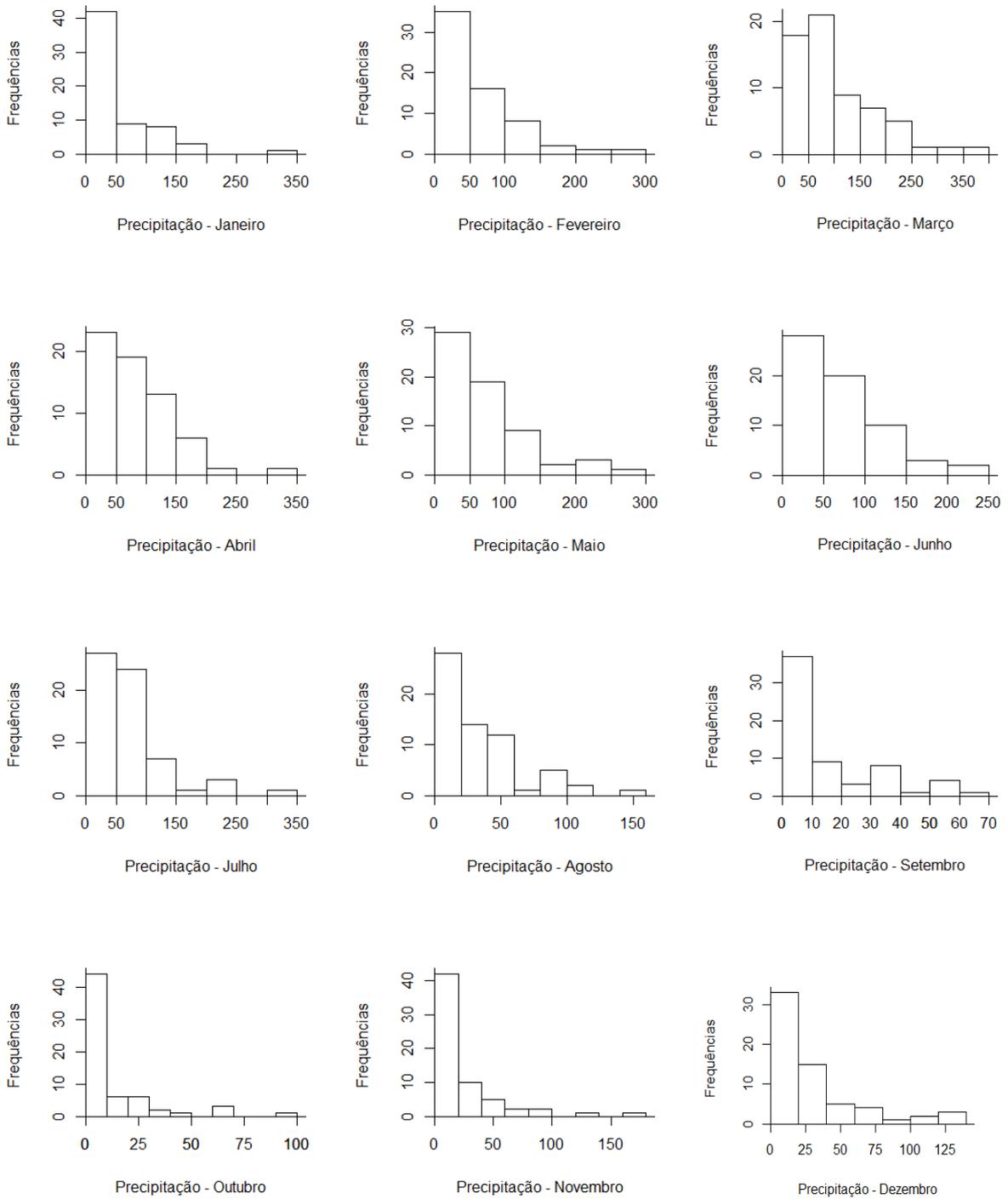


Figura 18 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Verdejante.

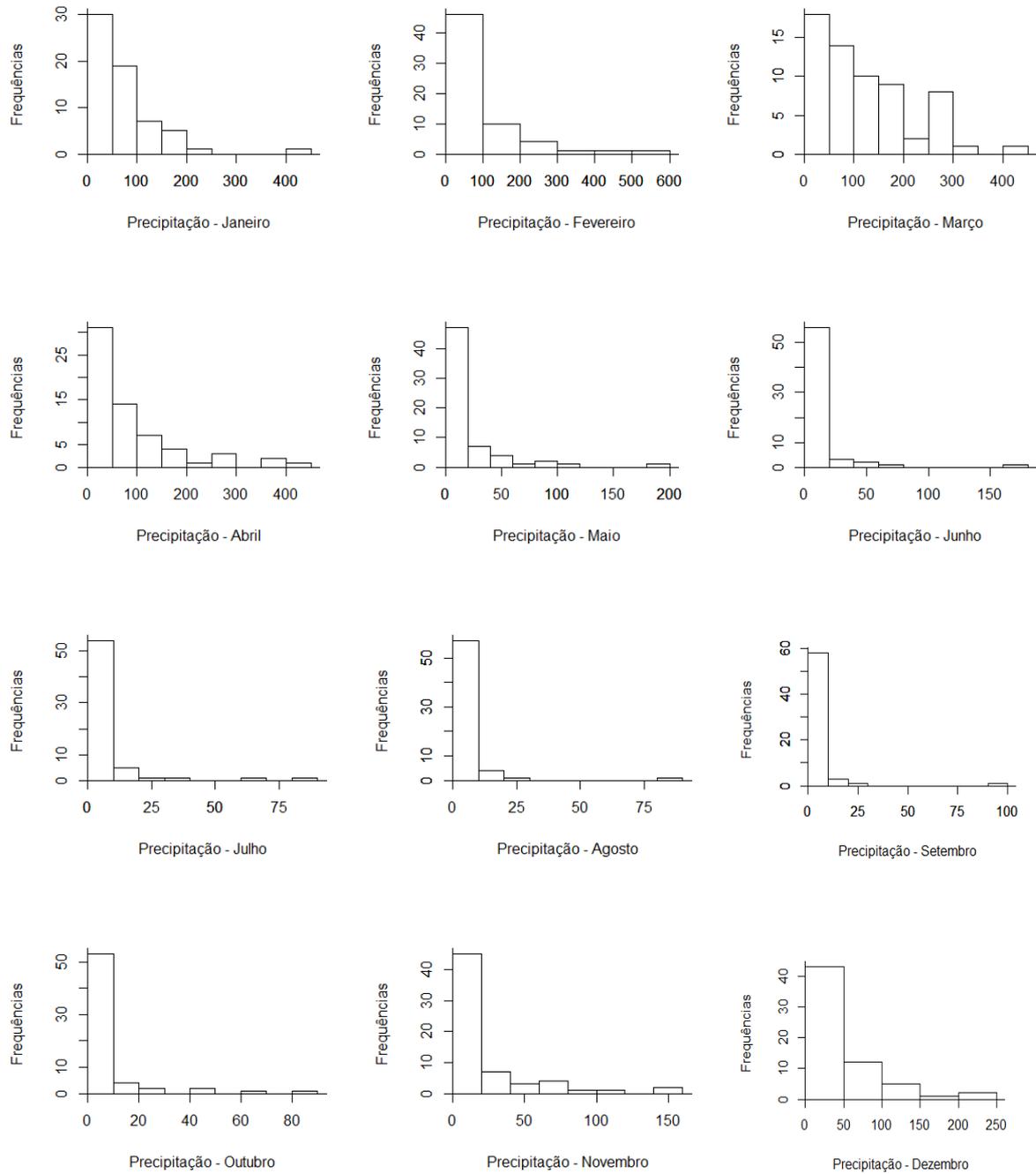


Figura 19 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Caruaru (IPA).

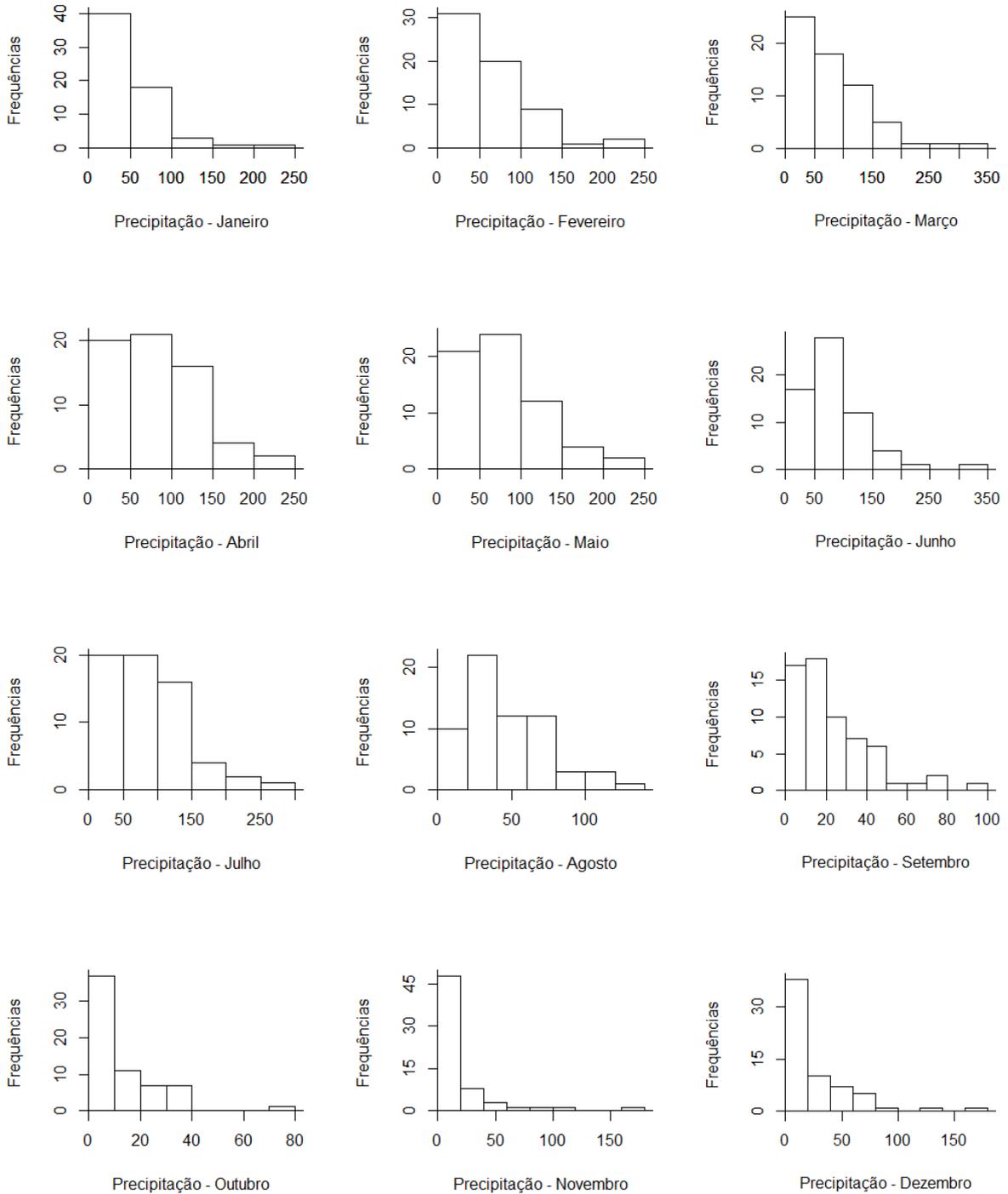


Figura 20 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Cumaru.

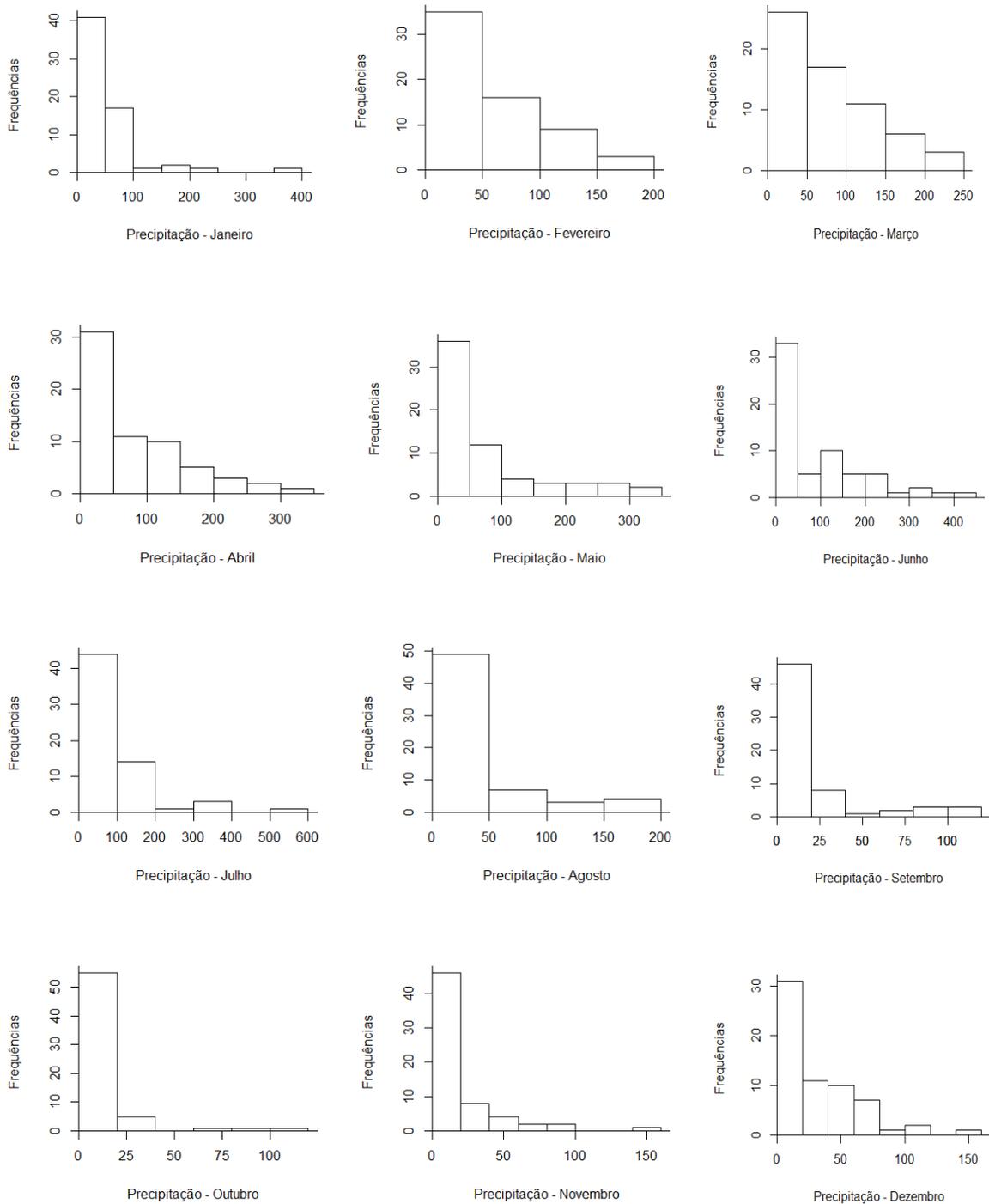


Figura 21 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Vitória de Santo Antão (IPA).

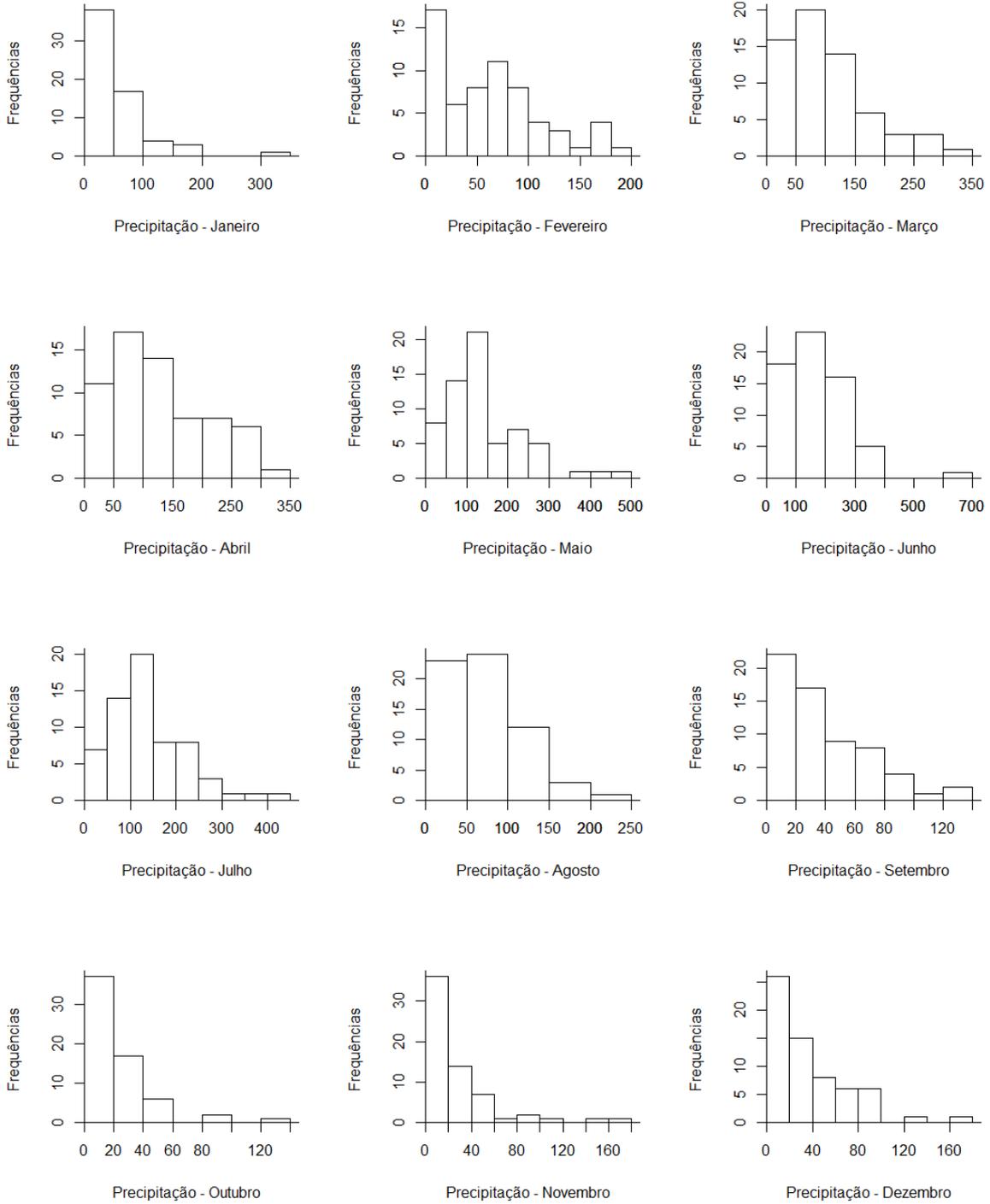


Figura 22 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Sirinhaém (IPA).

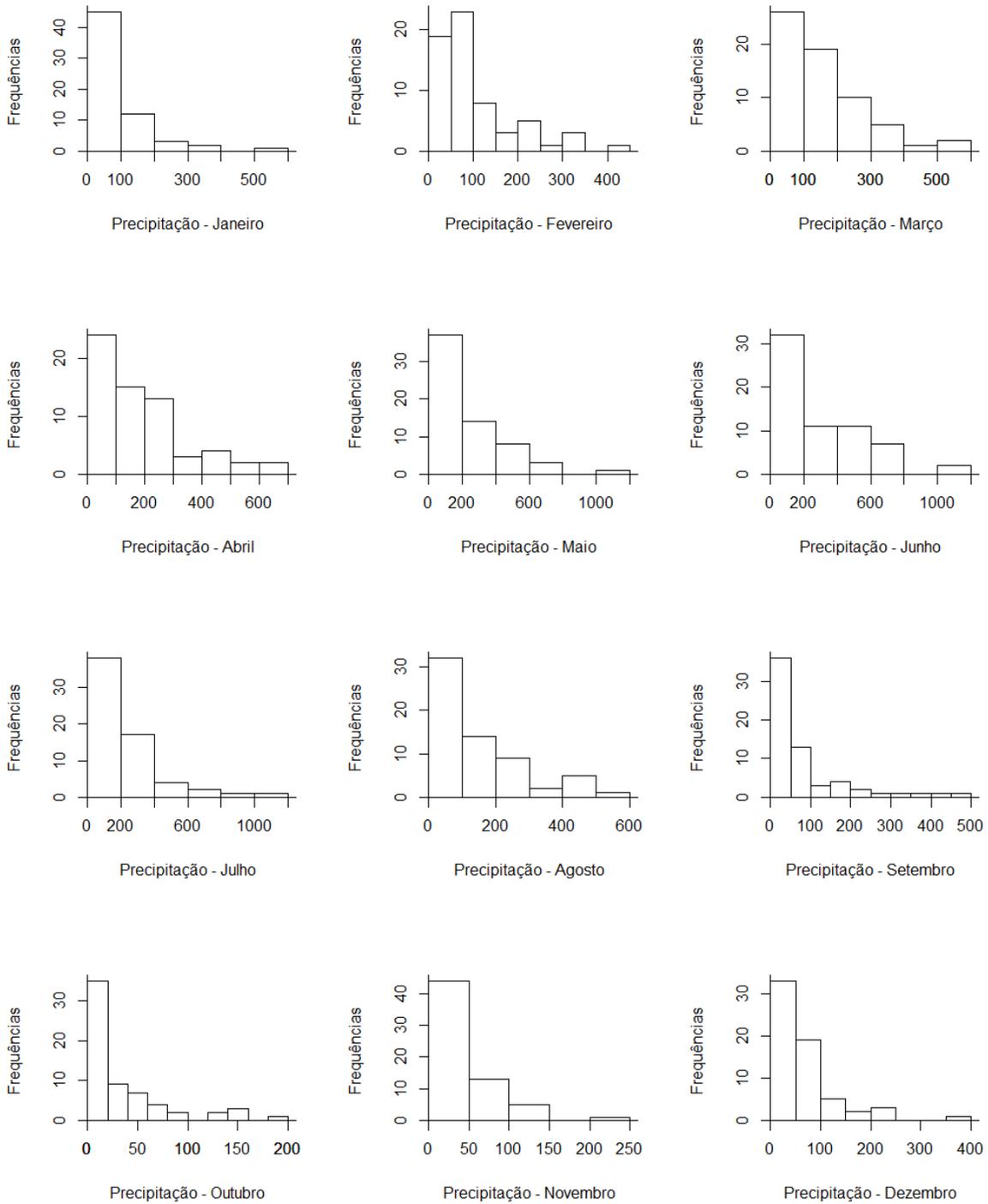


Figura 23 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de Recife (Várzea).

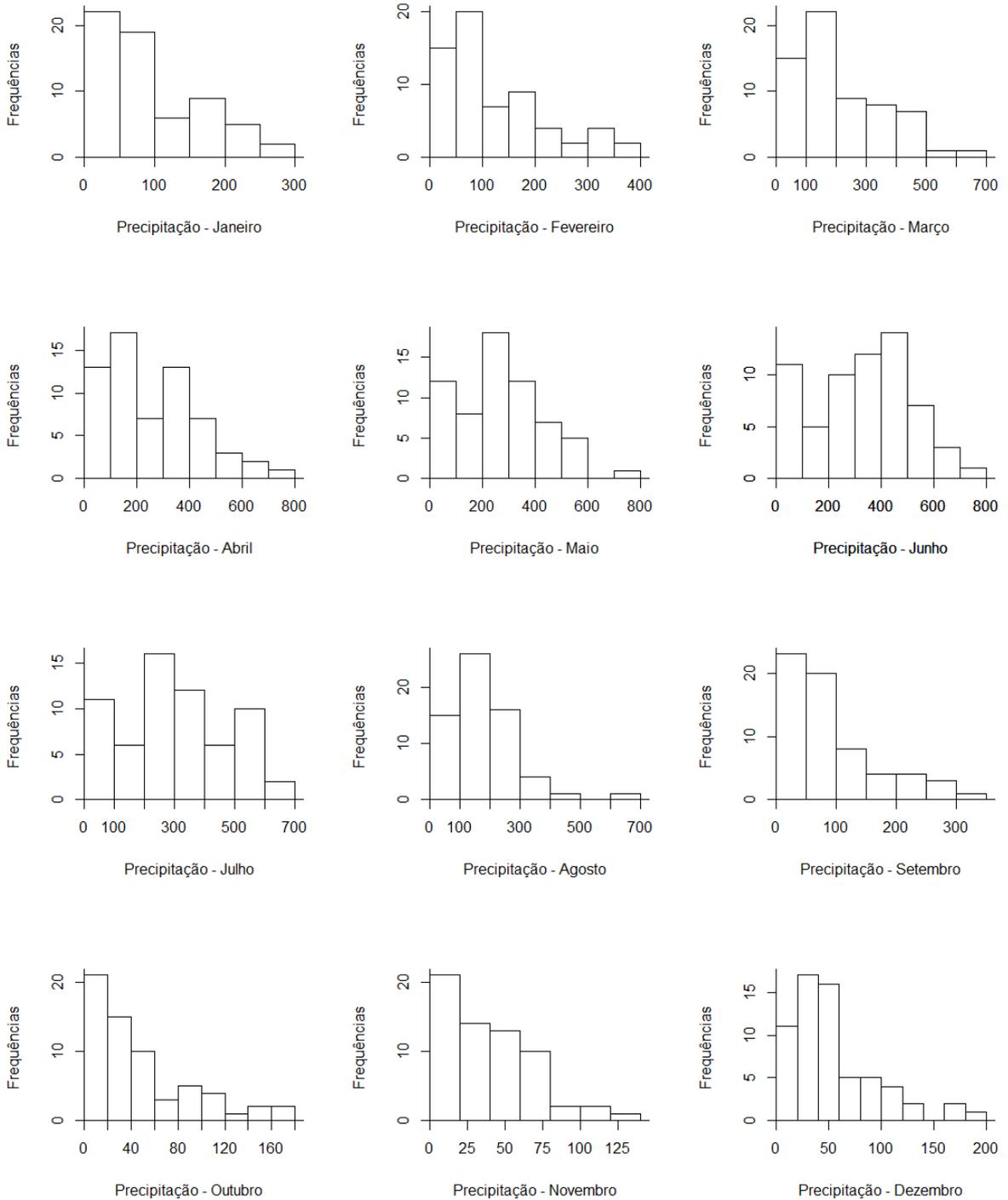
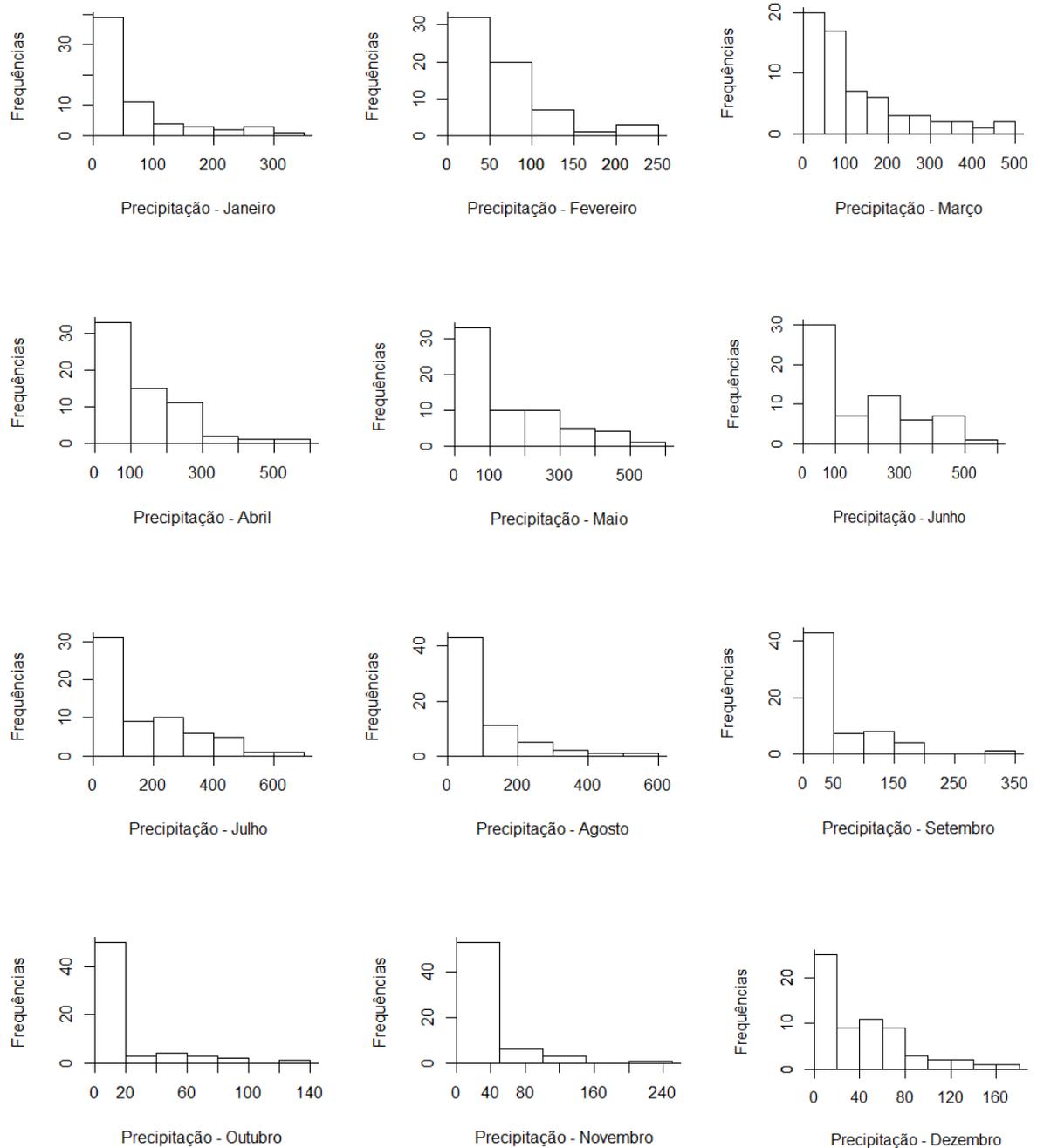


Figura 24 – Histograma de precipitação durante os meses para a estação de São Lourenço.



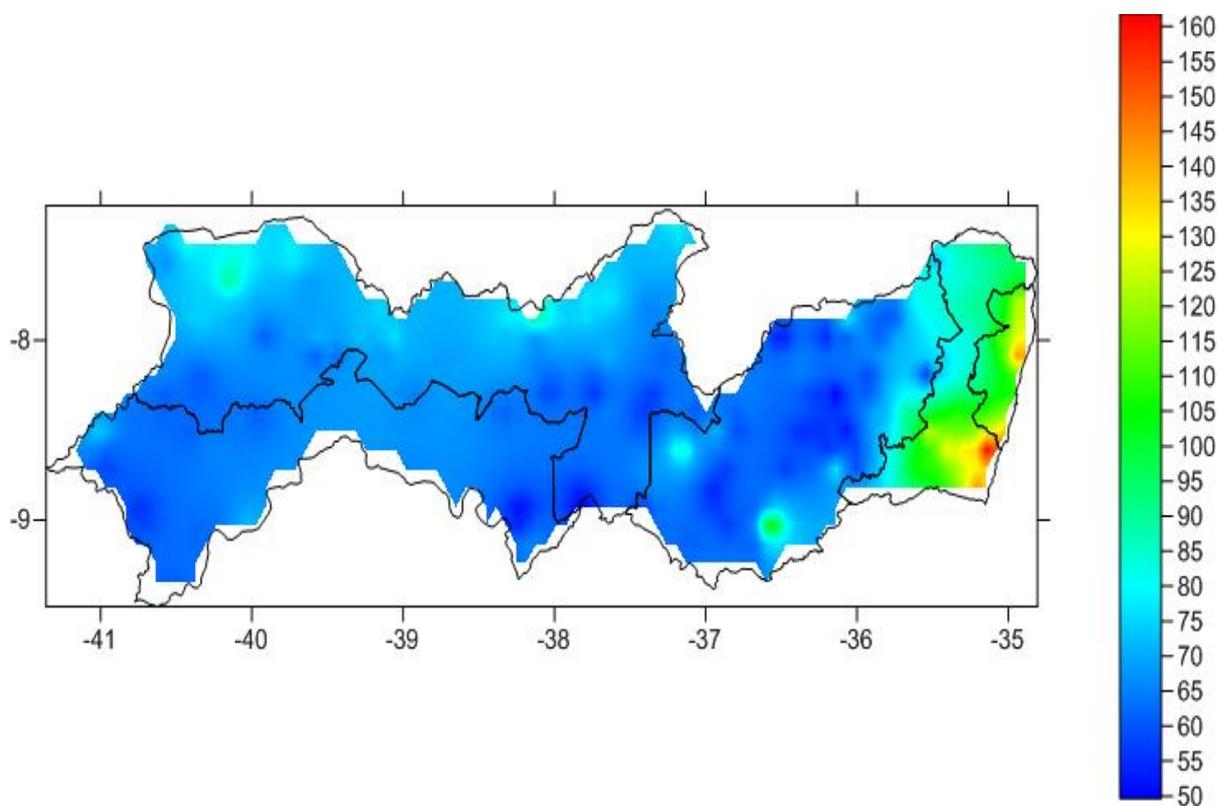
5.2 Precipitação média

A precipitação média mensal (Figura 25) apresentou maior variabilidade na mesorregião Metropolitana do Recife, o que corresponde aos tons alaranjados no mapa. Este resultado condiz com o conhecimento prévio sobre o fenômeno em estudo, onde se esperam maiores variabilidades referente as chuvas que caem na região. Este fato pode ser justificado pela forte influência da massa Tropical Atlântica ao longo da maior parte do ano, considerando um clima bastante úmido com precipitação média anual de 2.050 mm.

Seguida da Zona da Mata Pernambucana, é possível notar uma certa irregularidade nos dados de precipitação média mensal, o que pode ser justificado pelo alto índice pluviométrico presente na região durante o inverno, com chuvas em quantidades além das necessidades, durante cerca de 8 a 11 meses.

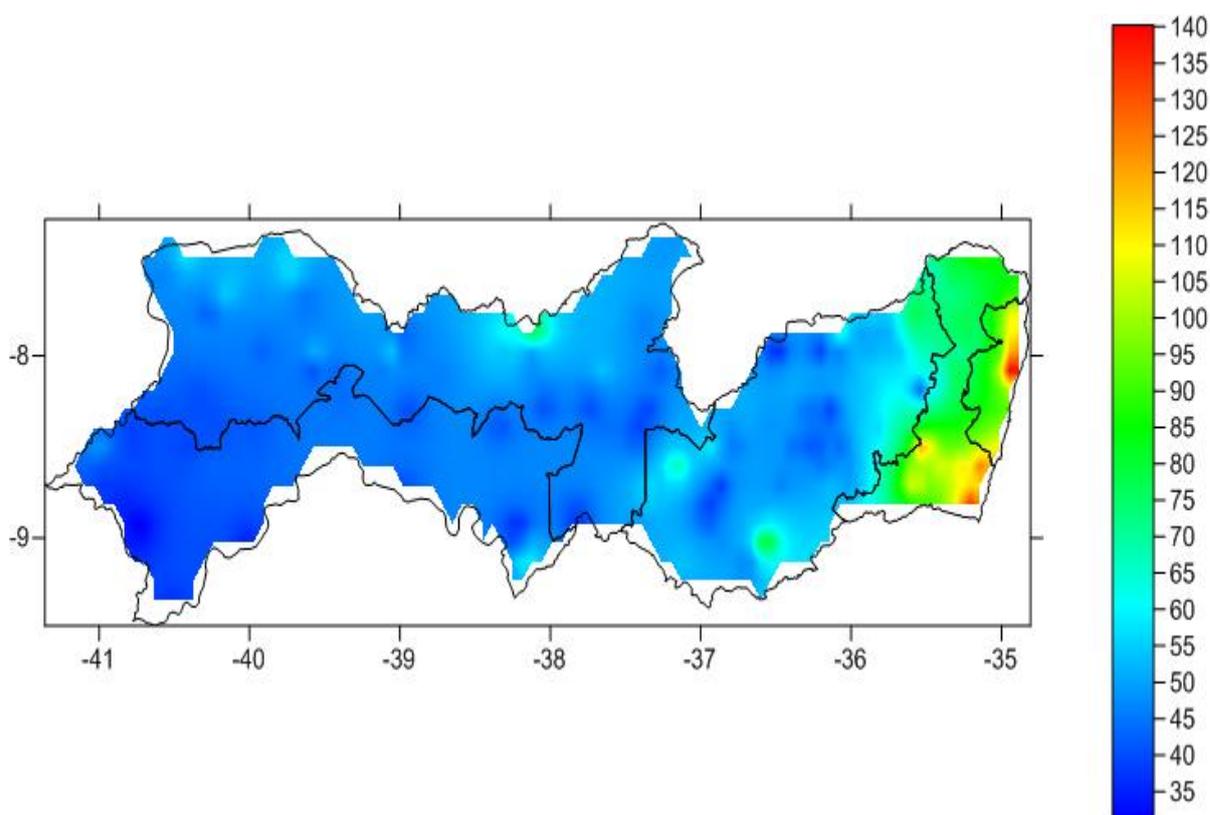
O baixo nível de precipitação encontra-se na mesorregião do São Francisco Pernambucano, caracterizada pelo clima semiárido quente presente na região. A média mensal de chuva sobre esta mesorregião para o período em análise foi de grande destaque entre as estações presentes, quando obtiveram valores compreendidos entre os intervalos de 29.67 à 61.11. Este fato pode ser explicado pela irregularidade de distribuição das chuvas na região, com precipitação pluviométrica próxima de 400 mm anuais, caracterizando uma semi-aridez acentuada, sendo esta, uma estação seca com chuvas concentradas no verão.

Figura 25 – Média histórica da precipitação mensal no Estado de Pernambuco, no período de 1950 a 2012.



O desvio padrão (Figura 26) apresentou uma relação com a média das mesorregiões. Nota-se que as maiores variabilidades da precipitação média estão localizadas nas mesorregiões Metropolitana do Recife e na Zona da Mata Pernambucana, e uma menor variabilidade da mesma na mesorregião do São Francisco Pernambucano.

Figura 26 – Desvio padrão da precipitação mensal no Estado de Pernambuco, no período de 1950 à 2012.



5.3 Análise da Entropia

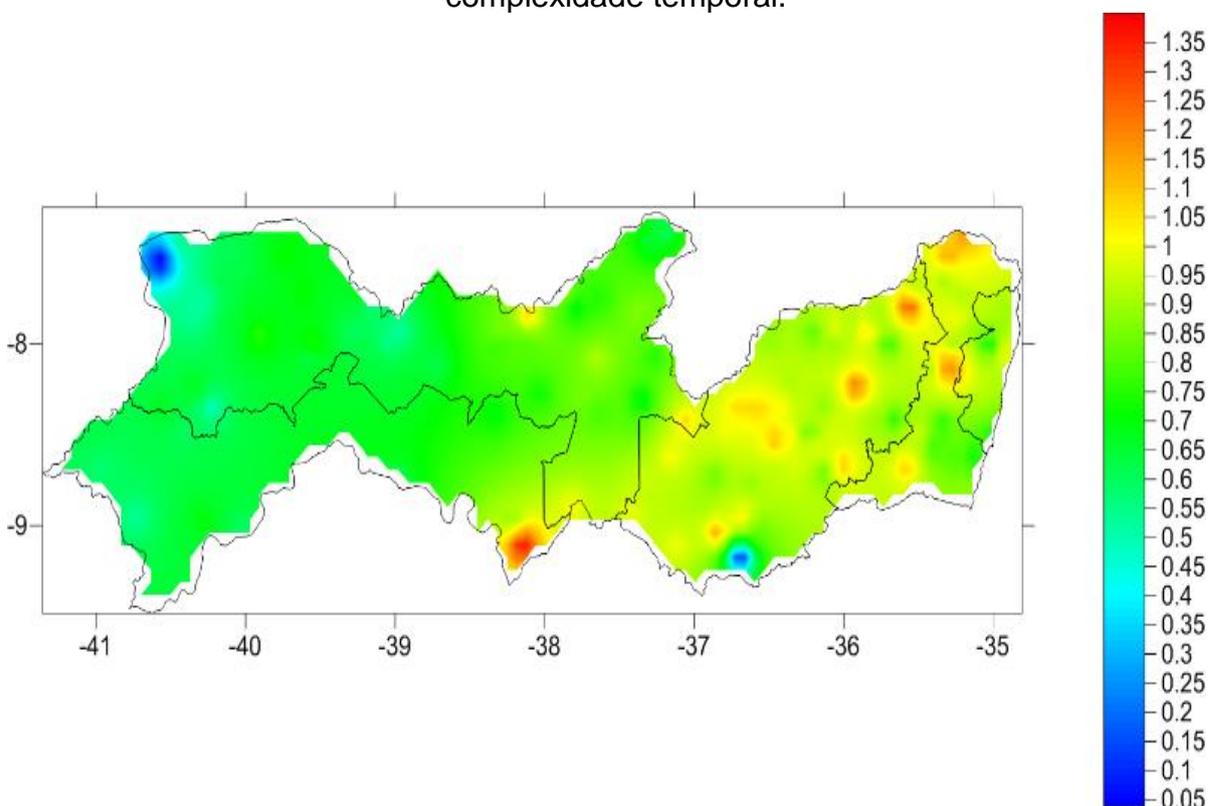
A entropia (SampEn) estimada para as séries mensais de precipitação podem ser observadas na Figura 27. Podemos notar que o aumento da complexidade (maior valor de SampEn) está nas áreas localizadas no planalto da Borborema e leste até o litoral (Agreste e Zona da Mata) indicado por tons alaranjados, 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.

Figura 27 – Disposição espacial da precipitação através da estimativa de complexidade temporal.



A média do índice de Sample Entropy 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.

5.4 Análise da Entropia por Mesorregiões

5.4.1 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 (precipitação pluviométrica próxima de 400 mm anuais) que são distribuídos ao longo do período analisado em uma maneira mais regular. As estações de Tacaratu (IPA), de Petrolândia e de Lagoa Grande mostram os índices de SampEn mais elevados (1.39 – 0.89 – 0.71). As regiões onde se encontram estas estações são caracterizadas pelo clima semiárido das regiões que ambas possuem, com verões quentes e úmidos, período em que praticamente quase toda chuva do ano cai. As demais estações apresentaram baixo índice de SampEn (entre 0.52 e 0.69), 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 – 0.59). O clima petrolinense é classificado como semiárido quente com regime de chuvas de primavera-verão, sendo caracterizado pela escassez de chuvas, possuindo forte evaporação por conta das altas temperaturas.

5.4.2 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 o clima semiárido com 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 – 1.01), ou seja, estas são 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 – 0.51, respectivamente. O menor índice de SampEn (0,003) foi obtido para a estação de Araripina (CHESF). Fato que pode ser justificado pelos poucos meses chuvosos na região, de janeiro a abril.

5.4.3 Mesorregião do Agreste Pernambucano

Ao analisar a mesorregião Agreste Pernambucano notamos que esta possui o índice pluviométrico a cargo do relevo, já que o Agreste é a transição entre o litoral e o interior do Estado. A média de 0.94 foi obtida no índice de SampEn para toda região. 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 – 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 possuir uma grande complexidade na análise desta mesorregião por seu regime de pluviosidade está bastante influenciado pelo Planalto do Borborema, que impede a chegada da umidade que vem do litoral para provocar precipitações mais abundantes. As precipitações pluviométricas escassas estão concentradas entre 500 mm a 1.000 mm.

5.4.4 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) nos resultados, com índice de SampEn igual a 1.34 – 1.23 – 1.18, respectivamente. Para a estação de Vitória de Santo Antão (IPA), vale destacar a unidade geoambiental presente que é o planalto do Borborema, marcada pela altitude elevada, o que pode influenciar a variabilidade temporal de chuva, resultando em elevados índices de entropia para a região. 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 – 0.76 respectivamente.

5.4.5 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. O clima litorâneo é úmido com precipitação média anual de 2.050 mm. 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.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os vários processos que envolvem o ciclo hidrológico, a precipitação representa o elo entre as fases atmosférica e terrestre deste ciclo e pode ser compreendida como a fase responsável pelo retorno das águas condensadas na atmosfera à superfície terrestre. O fenômeno que caracteriza a alta variabilidade no tempo e no espaço, provendo de interações entre fatores climáticos característico das regiões é denominado precipitação pluviométrica, caracterizando-se por ser um fator de grande importância no controle do ciclo hidrológico.

Em Pernambuco a variabilidade das chuvas está associada as condições climáticas diversificadas em sua posição geográfica, vegetação e topografia, que em característica do clima tropical, apresenta uma estação chuvosa de janeiro a agosto com as maiores pluviosidade de março a julho, explicando as diferenças entre os regimes pluviométricos encontrados que se expressam na variabilidade climática pernambucana.

A entropia, medida da quantidade de informação regular presente nos dados, quando utilizada nas séries temporais, nos fornece o grau de complexidade de uma série. O método *Sample Entropy* possui aplicações em estudos climáticos, como em estudos da variabilidade temporal na hidrologia. Este é um exemplo de uma estatística utilizada para medir o grau de complexidade (irregularidade) de uma série temporal.

Este trabalho teve como objetivo a observação da variabilidade espaço temporal da precipitação no Estado de Pernambuco. Foram estudadas séries mensais de precipitação no período de 1950 a 2012. Estas séries são provenientes de 133 postos pluviométricos, das quais foram realizadas estimativas das estatísticas de *Sample Entropy (SampEn)*, e posteriormente, interpolados os resultados utilizando o *Inverse Distance Weighting (IDW)*, ampliando as estimativas para todo território pernambucano.

Os resultados observados em cada mesorregião do estado de Pernambuco mostram que as maiores médias de precipitação encontra-se 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 pela chuvas que caem em grandes quantidades durante cerca de 8 a 11 meses na mesorregião da Zona da Mata Pernambucana. As menores precipitações encontra-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.

De modo geral, 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 base nestes 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 eco sistema relacionado à hidrologia.

Para trabalhos futuros sugere-se verificar o método *Sample Entropy* (*SampEn*) e o *Multiscale Sample Entropy* (*MSE*) em dados diários, já que como as séries que trabalhamos foram baseadas em dados mensais, não seria viável aplicar o MSE nestas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, M. P., ESQUEF, I. A.; MELLO, A. R. G.. Image thresholding using Tsallis entropy. **Pattern Recognition Letters**, Elsevier, v. 25, n. 9, p. 1059–1065, 2004.

AMOROCHO, J.; ESPILDORA, B.. Entropy in the assessment of uncertainty in hydrologic systems behavior and in mathematical model performance. In: **Proceedings of the International Symposium on Uncertainties in Hydrologic and Water Resource Systems**, v. 9, n. 6, p. 1511-1522, 1973.

ANDRADE, M. C. de. Espaço e tempo na agroindústria canavieira de Pernambuco. **Estudos Avançados**. v. 15, n. 43. São Paulo, p. 267-280, 2001.

ARAÚJO, L. S.; SANTOS, J. R. S.; FILHO, M. C; STOSIC, B. D.; STOSIC, T.. Avaliação da influência do sistema Cantareira na bacia do Rio Piracicaba através da análise de complexidade. **Rev. Bras. Biom.**, São Paulo, v.33, n.3, p. 403-413, jul.-set., 2015.

AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. 4. Ed. Rio de Janeiro; Bertrand Brasil, 1996.

BANDT, C.; POMPE, B. Permutation entropy: A natural complexity measure for time series. **Physical Review Letters**, v. 88, n. 17, p. 174102:1-174102:4, 2002.

BITOUN, J.; MIRANDA, L.; SOUZA, M. A. de A.; LYRA, M. R. S. de B.. Região Metropolitana do Recife no contexto de Pernambuco no Censo 2010. **Observatório das Metrôpoles**. Recife, 2012.

CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. C.. **Hidrologia de Reservatórios: A Construção de uma Teoria**. 1ª. ed. Fortaleza: ASTEF, 310 p, 2006.

CHAVES, M. A. **Sistema de informação e modelagem de radiação solar**. 237 f. Tese de Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

CHEN, Y. C.; WEI, C.; YEH, H. C.. Rainfall network design using kriging and entropy. **Hydrological processes**, v. 22, n. 3, p. 340-346, 2008.

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**, v. 7, p. 117-122, 2012.

CHOU, C. M.. Complexity analysis of rainfall and runoff time series based on sample entropy in different temporal scales. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 28, n. 6, p. 1401-1408, 2014.

COSTA, M., GOLDBERGER, A. L.; PENG, C. K.. Multiscale entropy analysis of biological signals. **Physical review E**, v. 71 n. 2, p. 021906, 2005.

COVER, T M ; THOMAS J A. Information theory and statistics. **Elements of Information Theory**. John Wiley & Sons, New York: p. 279-335, 1991.

CUI, H.; SINGH, V. P.. Two-dimensional velocity distribution in open channels using the Tsallis entropy. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18 n.3, p. 331-339, 2012.

CUI, H.; SINGH, V. P.. Suspended sediment concentration in open channels using tsallis entropy. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.19 n. 5, p. 966-977, 2013.

DANTAS, J. A.; SANTOS, M. C.; HECK, R. J.. Caracterização de podzólicos amarelos irrigados e não irrigados de submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]**, v. 22, n. 4, p. 761-771, 1998.

DONG, L.; MENG, L.. Application of sample entropy on measuring precipitation series complexity in jiansanjiang branch bureau of china. **Nature Environment and Pollution Technology**, v. 12, n. 2, p. 249, 2013.

FARIA, C. Região Nordeste. Info Escola: navegando e aprendendo. Disponível em: < <http://www.infoescola.com/geografia/regiao-nordeste/>>. Acesso em: 06/06/2016.

FELDMAN, D.P.; CRUTCHFIELD, J.P. Measures of statistical complexity: Why? **Physics Letters A**, v. 238, n. 4, p. 244–252, 1998.

FERRAZ, J. S. F.; ALBUQUERQUE, U. P.; MEUNIER, I. M. J.. Valor de uso e estrutura da vegetação lenhosa às margens do riacho do Navio, Floresta, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 1, p. 125-134, 2006.

FERREIRA, F. F.; LACERDA, F. F.; ARAGÃO, J. O. R.. 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, 2006

FORSDYKE, A. G. **Previsão do Tempo e Clima, tradução de Fernando de Castro Ferro**, Melhoramentos, Edusp, série prisma nº 17, São Paulo, 1975.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2ª Edição Revista e Atualizada, Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1995.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A.; GUERRA, A.. 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)**, v. 23, n. 1, p. 3-41, 2006.

GUEDES, M. V.. **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, 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geografia do Brasil. Região Nordeste. Rio de Janeiro: **SERGRAF**, 2000. 466p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapas, 2016. Disponível em: < <http://7a12.ibge.gov.br/mapas-7a12/brasil>>. Acesso em: 06/06/2016.

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

LAKE, D. K.; MOORMAN, J. R.; HANQING, C. Sample Entropy estimation using sampen. **Physionet**, 2012. Disponível em: <<http://physionet.org/physiotools/sampen/>>. Acesso em: 15 dez. 2015

LI, Z.; ZHANG, Y. K.. Multi-scale entropy analysis of Mississippi River flow. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 22, n. 4, p. 507-512, 2008.

LIRA, V. M. DE; OLIVEIRA, F. M. DE; DANTAS, R. T.; SOUZA, W. M. DE. Alterações da precipitação em municípios do Estado de Pernambuco. **Engenharia Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 52-61, jan/jun 2006.

MANSO, V.A.V.; COUTINHO, P. N.; GUERRA, N. C.; SOARES JUNIOR, C. F. A.. Erosão e progradação do litoral brasileiro (Pernambuco). In: **Dieter Muehe. (Org.). Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: MMA, v. 1, p. 179-196, 2006.

MISHRA, A. K.; ÖZGER, M.; SINGH, V. P.. An entropy-based investigation into the variability of precipitation. **Journal of Hydrology**, v. 370, n. 1, p. 139-154, 2009.

MORAIS, A. R.; BOTELHO, V. A.; CARVALHO, L. G.; MUNIZ, J. A.; LAGE G. Estimativa da precipitação provável em Lavras (MG) através da distribuição gama. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 305-310, 2001.

PAIVA NETO. Percolação ou agitação na química dos complexos sorptivos do solo. **Bragantia**, v. 2, n. 3, p. 93-99, 1942.

PINTO, N. L. de S; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A; GOMIDE, F. L. S.. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., 1988.

POSSAS, J. M. C. et al. Zoneamento agroclimático para cultura do pinhão-manso no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 993-998, 2012.

RICHMAN, J. S.; MOORMAN, J. R. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology**, v. 278, n. 6, p. 2039-2049, 2000.

RIEDL M., MÜLLER A., WESSEL N. Practical considerations of permutation entropy. **The European Physical Journal Special Topics**, v. 222, n. 2, p. 249-262, 2013.

SERINALDI, F.; ZUNINO, L.; ROSSO, O. A.. Complexity–entropy analysis of daily stream flow time series in the continental United States. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 28, n. 7, p. 1685-1708, 2014.

SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. **The Bell System Technical Journal**, v. 27, p. 379-423, 1948.

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

SHI W.; SHANG P. Cross-sample entropy statistic as a measure of synchronism and cross-correlation of stock markets. **Nonlinear Dynamics**, Springer, v. 71, n. 3, p. 539–554, 2013.

SILVA, A. S. A. 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, 2015.

SILVA, A. O. da et al. Análise espaço-temporal da evapotranspiração de referência sob diferentes regimes de precipitação em Pernambuco. **Revista Caatinga, Mossoró**, v. 24, n. 2, p. 135-142, abr.-jun., 2011.

SILVA, A. O. da et al. Zoneamento agroclimático da Pitangueira para três cenários distintos de precipitação pluvial em Pernambuco. **Revista Caatinga, Mossoró**, v. 24, n. 1, p. 104-115, jan.-mar., 2011.

SILVA, V. D. P. R. DA; BELO FILHO, A. F.; ALMEIDA, R. S. R.; DE HOLANDA, R. M.; DA CUNHA CAMPOS, J. H. B.. Shannon information entropy for assessing space–time variability of rainfall and streamflow in semiarid region. **Science of The Total Environment**, v. 544, p. 330-338, 2016.

SILVA, A. V.; CUNHA, E. L. P.; MEIRELES, L. R.; GOTTSCHALK, S.; MOTA, R. A.; LANGONI, H. Toxoplasmose em ovinos e caprinos: estudo soropidemiológico em duas regiões do Estado de Pernambuco, Brasil. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 33, n. 1, jan-fev, p. 115-119, 2003.

SILVA, J. R. S.. Avaliação de autocorrelações e complexidade de séries temporais climáticas no Brasil. 114 f. Tese de Doutorado em Biometria e Estatística Aplicada – Departamento de Estatística e Informática, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.

SILVA, P. R. da; PEREIRA, E. R. R.; AZEVEDO, P. V. DE; SOUSA, F. DE A. S. DE; SOUSA, I. F. DE. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região

Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 131-138, 2011.

SILVA, V. DE P. R. da; GUEDES, M. J. F.; LIMA, W. F. A.; CAMPOS, J. H. B. C.. Modelo de previsão de rendimento de culturas de sequeiro, no semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 83-87, 2002.

SILVA, V. DE P. R. DE; SOUSA, F. DE A. S.; CAVALCANTI, E. P.; SOUZA, E. P.; SILVA, B. B. da. Teleconnections between sea-surface temperature anomalies and air temperature in northeast Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 68, p. 781-792, 2006.

SINGH, V. P., ZHANG, L., & RAHIMI, A. (2012). Probability distribution of rainfall-runoff using entropy theory. **Transactions of the ASABE**, 55(5), 1733-1744.

SO BIOLOGIA. Ciclo da água. Disponível em: <http://www.sobiologia.com.br/conteudos/bio_ecologia/ecologia27.php>. Acesso em: 06/06/2016.

TSALLIS, C. Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics. **Journal of statistical physics**. Springer, v. 52, n. 1-2, p. 479–487, 1988.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 943p, 2004.

VEDRAL, V. The role of relative entropy in quantum information theory. **Reviews of Modern Physics**, APS, v. 74, n. 1, p. 197, 2002.

ZANIN, M.; ZUNINO, L.; ROSSO, O. A.; PAPO, D.. Permutation entropy and its main biomedical and econophysics applications: a review. **Entropy**, v. 14, n. 8, p. 1553-1577, 2012.

ZHANG, Q.; ZHOU, Y.; SINGH, V. P.; CHEN, X.. The influence of dam and lakes on the Yangtze River streamflow: long-range correlation and complexity analyses. **Hydrological Processes**, v. 26, n. 3, p. 436-444, 2012.

APÊNDICE

Tabela 2 - Resultado da análise de SampEn e estatística descritiva de precipitação das estações localizadas na Mesorregião do São Francisco.

Estação	SampEn	Média	Desvio Padrão
Afrânio	0.618244	48.57	74.00
Petrolina	0.635982	35.94	59.92
Belém de São Francisco (IPA)	0.624420	39.09	64.93
Petrolândia	0.886901	32.69	48.15
Tacaratu (IPA) *	1,392329	61.11	66.53
Dormentes	0.615129	37.12	62.73
Petrolina	0.591555	34.63	60.31
Petrolina (Pau Ferro)	0.523870	29.67	54.74
Santa Maria da Boa Vista (Jutai)	0.634802	42.58	65.39
Dormentes (Lagoas)	0.598538	38.32	60.82
Lagoa Grande	0.705044	40.45	62.92
Afrânio (Arizona)	0.570449	36.97	56.18
Terra Nova	0.657625	43.23	67.70
Santa Maria da Boa Vista (Urimamã)	0.639452	40.68	60.56
Floresta (Fazenda Santa Paula)	0.687198	40.14	61.35
Petrolina (Bebedouro)	0.643569	39.80	61.06
Santa Maria da Boa Vista (Malhada Real)	0.584815	34.44	72.10

Tabela 3 - Resultado da análise de SampEn e estatística descritiva de precipitação das estações localizadas na Mesorregião do Sertão pernambucano.

Estação	SampEn	Média	Desvio Padrão
Araripina (IPA) - Est. Exp.	0.537748	57.95	81.12
Ouricuri	0.654312	45.76	70.41
Salgueiro (IPA)	0.630534	45.28	67.47
Serra Talhada (IPA)	0.862293	64.69	82.11
Serra Talhada (EBAPE)	0.769255	51.73	69.88
Arcoverde (INMET)	1,080291	50.64	58.27
Inajá (CHESF)	1,015052	35.78	48.12
Araripina (CHESF)	0.002656	46.16	67.11
São José do Belmonte (CHESF)	0.533825	54.24	76.60
Sertânia (CHESF)	0.742113	41.46	61.47
Bodocó (IPA)	0.674478	47.49	70.38
Exu	0.714306	58.89	80.11
Mirandiba	0.617106	45.64	68.27
Iguaraci (Jabitaca)	0.862577	44.88	64.44
Tabira	0.820438	48.04	70.91
Sertânia (Algodões)	0.649640	37.37	55.31
Moreilândia (IPA)	0.749539	52.43	71.65

Cedro	0.683152	51.43	71.89
Trindade	0.498556	41.35	74.20
Ipubi	0.628631	55.49	91.74
Santa Filomena	0.609231	42.99	66.07
Granito	0.711461	43.26	67.06
São José do Egito (Faz. Muquén)	0.648139	48.42	72.67
Betânia (IPA)	0.718021	39.29	56.70
Sertânia (Moderna)	0.799622	36.64	55.07
Afogados da Ingazeira	0.740927	51.21	78.85
Custódia	0.924205	53.72	70.64
Itapetim	0.599261	48.14	79.90
Santa Cruz da Venerada (IPA)	0.682329	38.96	57.88
Parnamirim (IPA)	0.629121	40.05	61.32
Ouricuri (Barra de São Pedro)	0.516116	46.63	75.34
Bodocó (Feitoria)	0.605633	53.12	83.47
Serrita	0.585826	47.52	73.29
Verdejante	0.507212	39.39	69.95
Triunfo (IPA)	1,102212	87.41	95.78
Carnaíba	0.667435	50.93	80.27
Serra Talhada (Varzinha)	0.796781	44.69	63.49
Serrita (Santa Rosa)	0.559892	49.56	77.45
Salgueiro (Açude Boa Vista)	0.645986	45.10	65.06
Ouricuri (Sítio Estaca)	0.763201	42.03	59.42
Custódia (Povoado Caiçara)	0.851778	38.33	54.18
Parnamirim (Açude Aboboras)	0.658403	42.63	63.00
Quixaba (IPA)	0.862389	53.56	72.08
Santa Filomena (Campo Santo)	0.678562	39.32	59.62
Santa Cruz da Venerada (Faz. Bezerras)	0.479931	39.23	62.30
Salgueiro (Conceicao das Creoulas)	0.659787	39.36	64.54
Ibimirim (Jeritaco)	0.780754	43.50	64.64

Tabela 4 - Resultado da análise de SampEn e estatística descritiva de precipitação das estações localizadas na Mesorregião do Agreste Pernambucano.

Estação	SampEn	Média	Desvio Padrão
Bom Conselho (IPA)	0.002656	43.16	58.48
Pesqueira (IPA)	1,091507	52.32	65.86
Belo Jardim (IPA)	1,037888	49.32	61.54
São Bento do Una (IPA)	1,139879	49.11	59.00
Caruaru (IPA)	1,268335	52.77	51.88
Gravatá	0.916270	41.68	55.50
Itaiba	0.998159	48.94	57.42
Brejo da Madre de Deus	0.926062	51.70	67.05
Toritama	0.888868	41.51	56.75
Taquaritinga do Norte	1,018921	73.88	86.79

Vertentes	0.889276	42.92	61.86
Poção	0.960487	51.29	63.96
Águas Belas (IPA)	1,002806	53.59	60.63
Santa Cruz do Capibaribe	0.814223	34.87	51.41
Barra de Guabiraba	0.755376	70.19	91.11
Sanharó (IPA)	1,103473	47.77	61.57
Altinho	0.968681	42.46	50.81
Ibirajuba	0.981504	42.78	52.31
Jatauba	0.871335	33.86	51.22
Panelas	1,121481	44.90	51.74
São Caetano	0.868606	34.54	45.42
São Joaquim	0.890792	54.70	70.03
Cachoeirinha	0.818094	36.78	52.35
Jurema	0.820247	52.26	76.94
Lajedo	0.973623	47.55	58.67
Machados	0.899613	73.53	83.41
Bom Jardim (IPA)	1,316135	82.08	83.39
Alagoinha	1,014536	41.28	55.63
Tupanatinga	0.954426	57.09	68.85
Cumaru	0.753223	50.50	71.11
Buíque	1,026432	69.71	87.80
Pedra	0.969628	59.68	71.47
Saloá	1,041385	47.58	54.90
Paranatama	0.997061	53.97	62.59
Brejão	0.820797	88.16	113.96
Jucati	0.933925	45.38	55.65
Surubim (IPA) *	0.883634	45.68	53.17
Iati	1,157965	47.57	56.02
Pedra (São Pedro do Cordeiro)	0.894037	33.43	49.12
Frei Miguelinho (Algodão do Manso)	1,060892	47.17	53.58
Belo Jardim (Serra do Vento)	0.903474	51.64	64.11
Tacaimbó	0.934590	41.97	54.79
Caetés	0.877567	48.38	60.30
São Bento do Uma	1,048630	41.62	52.09
Pedra (Tará)	0.823664	36.95	56.04

Tabela 5 - Resultado da análise de SampEn e estatística descritiva de precipitação das estações localizadas na Mesorregião da Zona da Mata Pernambucana.

Estação	SampEn	Média	Desvio Padrão
Palmares (IPA)	1,103694	114.76	111.35
Vitória de Santo Antão (IPA)	1,340583	83.50	81.22
Itambé (IPA)	1,229758	93.34	93.50
Vitória de Santo Antão	1,148613	76.55	82.10
Aliança	1,003543	75.74	84.49

Macaparana	0.974000	65.33	72.27
Carpina (Est. Exp. de Cana-de-Açúcar)	1,029400	79.94	90.07
Nazaré da Mata (IPA)	0.905802	75.39	90.53
Paudalho (IPA)	0.875562	69.59	86.71
Timbaúba (IPA)	1,17656	82.81	88.01
Rio Formoso (Usina Cucau) *	0.798031	114.23	136.11
Cortês	0.975599	125.30	128.64
Barreiros (IPA)	0.879847	136.17	143.80
Ribeirão (Fazenda Capri) *	0.742167	86.96	111.84
Sirinhaém (IPA)	0.706139	127.42	167.15
Pombos	0.912818	52.66	70.13
Itambé	1,035851	93.82	103.23
Vicência	0.891822	70.41	82.48
Glória do Goitá	0.905538	67.41	78.47
Gameleira	0.762272	109.41	136.52

Tabela 6 - Resultado da análise de SampEn e estatística descritiva de precipitação das estações localizadas na Mesorregião Metropolitana de Recife.

Estação	SampEn	Média	Desvio Padrão
Ipojuca (Porto de Galinhas - IPA)	0.725423	111.97	137.16
Recife (Várzea)	1,015663	164.98	159.98
Igarassu	0.895807	123.23	137.92
São Lourenço	0.697762	85.90	116.52