

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

FREDS FERNANDO ALVES DE ALMEIDA

**TENDÊNCIAS HIDROLÓGICAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS
SEMIÁRIDAS EM CONEXÃO COM MUDANÇAS CLIMÁTICAS:
PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA**

Recife

2017

Freds Fernando Alves de Almeida
Engenheiro Agrônomo

**Tendências hidrológicas em bacias hidrográficas semiáridas em conexão com
mudanças climáticas: precipitação e temperatura**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Ciências do Solo.

Orientador: Prof. Dr. José Ramon Barros
Cantalice

Recife
2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

A447t Almeida, Freds Fernando Alves de
Tendências hidrológicas em bacias hidrográficas semiáridas em
conexão com mudanças climáticas: precipitação e temperatura /
Freds Fernando Alves de Almeida. – 2017.
130 f. : il.

Orientador: José Ramon Barros Cantalice.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo,
Recife, BR-PE, 2017.
Inclui referências.

1. Variáveis climáticas 2. Séries temporais 3. Função de
distribuição de probabilidade 4. Métodos não-paramétricos
5. Teste Mann Kendall 6. Estimador de declive de Sen I.
Cantalice, José Ramon Barros, orient. II. Título

CDD 631.4

FREDS FERNANDO ALVES DE ALMEIDA

Tendências hidrológicas em bacias hidrográficas semiáridas em conexão com mudanças climáticas: precipitação e temperatura

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Ciências do Solo.

Aprovada em 21 de Fevereiro de 2017

Prof. Dr. José Ramon Barros Cantalice
Orientador
Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

Dr. Roni Valter de S. Guedes
Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC

Prof. Dr. Moacyr Cunha Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco - DEINFO

Prof. Dr. Vicente de Paula Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco - DTR

Prof. Dr. Wagner Luis da Silva Souza
Instituto Federal de Pernambuco – IFPE

A Deus, pelo dom da vida, e pela benção de cada dia...

Aos meus pais José Fernando Alves de Almeida (in memoriam) e Maria Alves de Almeida, pelo amor incondicional, incentivo pelo estudo, enfim por todas as vitórias conquistadas em minha vida, sem eles nada disso seria possível...

Aos meus irmãos Fernando José, Maria Nazaré, Nazilda Fernanda, Naudenécia Alves e Flávio Alves, por representarem muito bem meus pais, estimulando-me e apoiando-me sempre na minha formação profissional...

A toda minha família, especialmente meus sobrinhos...

A minha esposa Débora Teresa, pelo companheirismo, incentivo, cumplicidade e carinho...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pela possibilidade de ingresso no curso de pós-graduação (doutorado).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa durante todo o curso.

Ao Prof. Dr. José Ramon Barros Cantalice pela orientação, confiança e ensinamentos, durante essa importante etapa de minha vida.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Roni Valter, Prof. Dr. Moacyr Cunha, Prof. Dr. Vicente de Paula, Prof. Dr. Wagner Luis e o Dr. Valdemir de Paula, meu muito obrigado pelas sugestões e contribuições neste trabalho.

A todos os Professores que fazem parte do Programa de Pós – Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) por compartilhar seus conhecimentos nas disciplinas do curso de doutorado.

A todos que fazem parte do Laboratório de Manejo e Conservação do Solo (UFRPE), pela amizade e colaboração direta ou indireta na realização deste trabalho.

Aos colegas de Turma de doutorado por compartilhar bons momentos de estudo no decorrer das disciplinas, e pela amizade.

À Secretaria do curso da Pós-Graduação nas pessoas de Socorro e Josué (in memoriam), sempre disponíveis para nos auxiliar e pelo carinho com todos no PPGCS.

... Meus sinceros agradecimentos.

Tendências hidrológicas em bacias hidrográficas semiáridas em conexão com mudanças climáticas: precipitação e temperatura

RESUMO

As mudanças climáticas tornaram-se tema frequente na comunidade científica, nesse contexto o semiárido brasileiro, que apresenta elevada variabilidade climática, constitui-se em objeto de estudo nos cenários de mudanças climáticas previstos pelo IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) nos últimos anos. O objetivo deste trabalho foi verificar os padrões de precipitação e temperatura em cidades do Sertão do Estado de Pernambuco, e identificar a presença ou não de tendências nestas variáveis climáticas, em séries históricas de precipitação e temperatura da região. Assim, verificou-se o comportamento das chuvas através da análise de distribuição e frequência da precipitação em séries históricas, e determinou-se a Função Distribuição de Probabilidade (FDP) com melhor ajuste para as séries de precipitação e temperatura. Também avaliou-se a existência ou não rupturas nas séries de precipitação e temperatura pelo Teste de Pettitt. Para ambas as variáveis detectou-se a presença de tendências através dos testes de Mann-Kendall e Estimador de Declive de Sen. Nas séries temporais de precipitação observou-se para a maioria das cidades uma maior frequência de eventos de chuvas abaixo da média, e a função de probabilidade que melhor se ajustou aos dados de precipitação foi a Weibull (tipo 3), para temperatura a distribuição do tipo Logística obteve a melhor aderência aos dados dentre as distribuições observadas, nas séries temporais de temperatura através da observação das anomalias, observou-se em todas as cidades um aumento da ordem de 2°C a 4°C em períodos distintos. A análise de tendência identificou uma redução da precipitação no período chuvoso em algumas cidades, e tendência de aumento da temperatura em todas as cidades analisadas.

Palavras-chave: Variáveis climáticas. Séries temporais. Função de distribuição de probabilidade. Métodos Não-paramétricos. Teste Mann Kendall. Estimador de declive de Sen.

Hydrological trends in semiarid watersheds addressing climate change: rainfall and temperature

ABSTRACT

Nowadays the climate changes are a frequent issue of scientific community, so in this context the Brazilian semiarid is a climate change spot in the scenarios developed by IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). The objective this work was to identify climate change trends from rainfall and temperature of Pernambuco State, Brazil. In this way, it was obtained the frequency analyses and rainfall pattern of historical series, as well as the Probability distribution Functions (PDFs) to temperature and rainfall for many Brazilian semiarid cities. Also was applied the probable break point by Petit test in rainfall and temperature data, as well as the Mann-Kendall and Sen's-slope trend tests. Were detected climate change trends in rainfall to fifteen cities, and in temperature to all studied localities. In rainfall time series were observed the highest rainfall frequency below to the average rainfall, and the best Probability distribution Function (PDF) was the Weibull (type 3). In the temperature time series were observed anomalies and temperature increase among 2 a 4 °C. Also were observed in some localities decrease trends in rainy season and increase trends in temperature to all places.

Keywords: Climate variables. Time Series. Probability distribution function. Non-parametric tests. Mann Kendall test. Sen's slope estimator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização geográfica do Estado de Pernambuco.....	45
Figura 2 - Cidades do Sertão do Estado de Pernambuco analisadas. (A) Precipitação; (B) Temperatura.....	46
Figura 3 - Distribuição Simétrica (Média = Mediana = Moda).....	51
Figura 4 - Distribuição Assimétrica Positiva (Moda < Mediana < Média).....	51
Figura 5 - Distribuição Assimétrica Negativa (Média < Mediana < Moda).....	51
Figura 6 - Situações de Curtose possíveis graficamente.....	53
Figura 7 - Histogramas de Distribuição e Percentual de Frequência em séries históricas de precipitação de cidades do Sertão do Estado de Pernambuco.....	64
Figura 8 - Função Densidade de Probabilidade (esquerda) e Função de Distribuição Acumulada (direita) que melhor se ajustaram aos dados de precipitação anual das cidades em estudo.....	76
Figura 9 - Teste de homogeneidade de Pettitt em dados de precipitação das cidades que apresentaram tendência (positiva ou negativa).....	87
Figura 10 - Anomalia de temperatura observada em série histórica de temperatura máxima, média e mínima da cidade de Arcoverde-PE.....	92
Figura 11 - Anomalia de temperatura observada em série histórica de temperatura máxima, média e mínima da cidade de Cabrobó-PE.....	93
Figura 12 - Anomalia de temperatura observada em série histórica de temperatura máxima, média e mínima da cidade de Ouricuri-PE.....	94
Figura 13 - Anomalia de temperatura observada em série histórica de temperatura máxima, média e mínima da cidade de Petrolina-PE.....	96
Figura 14 - Anomalia de temperatura observada em série histórica de temperatura máxima, média e mínima da cidade de Triunfo-PE.....	97
Figura 15 - Teste de Homogeneidade de Pettitt em dados de Temperatura Máxima, Média e Mínima na Cidade de Arcoverde-PE.....	109
Figura 16 - Teste de Homogeneidade de Pettitt em dados de Temperatura Máxima, Média e Mínima na Cidade de Cabrobó-PE.....	110
Figura 17 - Teste de homogeneidade de Pettitt em dados de temperatura máxima, média e mínima na cidade de Ouricuri-PE.....	111

Figura 18 - Teste de homogeneidade de Pettitt em dados de temperatura máxima, média e mínima na cidade de Petrolina-PE.....	113
Figura 19 - Teste de Homogeneidade de Pettitt em dados de temperatura máxima, média e mínima na cidade de Triunfo-PE.....	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Períodos de ocorrência de El Niño e La Niña.....	38
Tabela 2 - Características geográficas dos locais das estações utilizadas no estudo (Precipitação).....	47
Tabela 3 - Características geográficas dos locais das estações utilizadas no estudo (Temperatura).....	48
Tabela 4 - Precipitação média mensal e anual em (mm) com Desvio Padrão (σ) das séries históricas das cidades em estudo.....	58
Tabela 5 - Precipitação máxima e mínima em (mm) mensal e anual, e Coeficiente de Variação (CV) das séries históricas.....	60
Tabela 6 - Funções de Distribuição de Probabilidade que melhor se ajustaram a precipitação mensal e anual das séries históricas das cidades em estudo, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) com nível de 5% de probabilidade.....	67
Tabela 7 - Coeficiente de Assimetria de Pearson do conjunto de dados das séries históricas das cidades em estudo.....	78
Tabela 8 - Coeficiente de Curtose de Pearson do conjunto de dados das séries históricas das cidades em estudo.....	79
Tabela 9 - Testes de tendência Mann-Kendall e Sen's Slope para precipitação das cidades em estudo.....	82
Tabela 10 - Médias de temperatura máxima, média, mínima ($^{\circ}\text{C}$) e Desvio Padrão (σ) e máxima e mínima absoluta ($^{\circ}\text{C}$) em séries históricas de cidades do Sertão do Estado de Pernambuco.....	91
Tabela 11 - Funções de Distribuição de Probabilidade que melhor se ajustaram as temperaturas máxima, média e mínima mensal das séries históricas das cidades em estudo, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) com nível de 5% de probabilidade.....	99
Tabela 12 - Coeficiente de Assimetria de Pearson do conjunto de dados de temperatura máxima, média e mínima das séries históricas das cidades em estudo.....	102
Tabela 13 - Coeficiente de Curtose de Pearson do conjunto de dados de temperatura máxima, média e mínima das séries históricas das cidades em estudo.....	103

Tabela 14 - Testes de tendência Mann-Kendall e Sen's Slope para temperatura máxima.....	104
Tabela 15 - Testes de tendência Mann-Kendall e Sen's Slope para temperatura média.....	105
Tabela 16 - Testes de tendência Mann-Kendall e Sen's Slope para temperatura mínima.....	106

LISTA DE EQUAÇÕES

Eq (1) - Método da Ponderação Regional para imputação de dados faltantes.....	48
Eq (2) - Função Empírica de Distribuição Cumulativa (FEDC).....	50
Eq (3) - Teste de Kolmogorov-Smirnov.....	50
Eq (4) - Coeficiente de Assimetria de Pearson.....	50
Eq (5) - Coeficiente de Curtose de Pearson.....	52
Eq (6) - Estatística do Teste de Mann-Kendall (S).....	54
Eq.(7) - Teste Mann-Kendall - sinais de diferenças entre as combinações observadas (sgn x)	54
Eq (8) - Variância estatística do teste de Mann-Kendall – var (s).....	54
Eq (9) - Padrão normal de variáveis do teste Mann-Kendall (Z).....	54
Eq (10) - Estimador de declive de Sen (Qm).....	55
Eq (11) - Estimador de declive de Sen p/ N=ímpar (Qmi).....	55
Eq (12) - Estimador de declive de Sen p/ N=ímpar (Qmp).....	55
Eq (13) - Teste de Mann-Whitney (U t,T).....	56
Eq (14) - Estatística k(t) do teste de Pettitt.....	56
Eq (15) - Ponto de detecção de mudança abrupta (P).....	56
Eq (16) - Determinação de K crítico (Kcrit) (Teste de Pettitt).....	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	28
1.1 Hipóteses	30
1.2 Objetivo Geral	30
1.3 Objetivos Específicos	30
2 REVISÃO DE LITERATURA	31
2.1 O semiárido brasileiro e as mudanças climáticas.....	31
2.1.1 A Temperatura do ar como indicador de mudança	35
2.1.2 O Comportamento das precipitações pluviométricas no semiárido do Brasil ...	36
2.2 Hidrologia e séries temporais no semiárido.....	40
2.3 Distribuição estatística de dados hidroclimáticos	43
3 MATERIAL E MÉTODOS	45
3.1 Área de estudo	45
3.2 Dados Climáticos	46
3.3 Imputação de dados faltantes	48
3.4 Distribuição de frequência	49
3.5 Ajuste de distribuição	49
3.5.1 Teste de Kolmogorov-Smirnov	50
3.6 Coeficientes de Assimetria e Curtose de <i>Pearson</i>	50
3.7 Testes de tendências das séries temporais	53
3.7.1 Teste de Mann-Kendall	53
3.7.2 Estimador de declive de Sen (Sen's Slope)	54
3.8 Teste de Pettitt	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1 Comportamento do regime pluviométrico em cidades do Sertão do Estado de Pernambuco	57
4.2 Análise de frequência da distribuição da precipitação.....	62
4.3 Função distribuição de probabilidade das séries históricas de precipitação mensal e anual	65
4.4 Coeficientes de Assimetria e Curtose de <i>Pearson</i> para os dados de precipitação	77
4.5 Análise de tendência das séries históricas de precipitação	80
4.6 Teste de homogeneidade dos dados de precipitação das séries históricas das cidades que apresentaram tendência significativa	85

4.7 Padrões de temperatura em cidades do Sertão do Estado de Pernambuco.....	89
4.8 Anomalia de temperatura em cidades do Sertão do Estado de Pernambuco	90
4.9 Função distribuição de probabilidade das séries históricas de temperatura máxima, média e mínima mensal.....	98
4.10 Coeficientes de Assimetria e Curtose de <i>Pearson</i> para os dados de temperatura máxima, média e mínima	101
4.11 Análise de tendência das séries históricas de temperatura máxima, média e mínima	104
4.12 Teste de homogeneidade dos dados de temperatura máxima, média e mínima nas séries históricas das cidades do sertão do Estado de Pernambuco.....	108
5 CONCLUSÕES	115
REFERÊNCIAS.....	116

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de uma melhor compreensão das consequências das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos tem sido o maior desafio no planejamento e gerenciamento da água, especialmente em regiões áridas e semiáridas, dependentes da variabilidade do clima, principalmente a distribuição de chuvas (ZHAO et al., 2013). Porém, muitas são as incertezas associadas às mudanças climáticas, sejam devidas à variabilidade natural do clima ou à ação antropogênica, que determina incrementos na concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. (MARENGO, 2008)

As mudanças climáticas, embora ocorram em escala global, seus impactos variam muitas vezes de região para região (TRAJKOVIC; KOLAKOVIC, 2009). Portanto, a análise das mudanças nas variáveis meteorológicas (principalmente, precipitação e temperatura) representa uma tarefa importante na detecção de mudanças climáticas em escala regional (GOCIC; TRAJKOVIC, 2013).

Mudança climática foi definida pelo Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2001), pela World Meteorological Organization (WMO) e pela United Nations Environment Programme (UNEP) como 'uma variação estatisticamente significativa tanto no seu estado médio como em sua variabilidade, persistente por um longo período, de décadas ou mais. A mudança climática pode ocorrer devido a processos naturais internos (variabilidade interna) ou forçantes externos, ou a persistentes mudanças antropogênicas (variabilidade externa) na composição da atmosfera ou no Uso do Solo'.

Espera-se que as mudanças climáticas alterem os valores médios de temperatura e precipitação e aumente a variabilidade de eventos extremos na forma de inundações e secas ainda mais intensas e frequentes (IPCC, 2001).

Com um sistema hídrico, frágil o semiárido convive com altos registros de temperaturas (23°C - 30 °C), e as projeções em escala global, segundo IPCC (2007) a temperatura do planeta aumentará cerca de 1°C até 2100, com projeções de até 4,5°C no pior cenário, uma das consequências esperadas do aquecimento global é que o aumento da temperatura superficial levaria a um aumento da evaporação (SU et al., 2015).

Nesse contexto as regiões áridas e semiáridas apresentam sistemas fluviais caracterizados por longos períodos sem fluxo, com exceção de alguns rios perenes. O comportamento hidrológico do semiárido apresenta um padrão distinto

caracterizado pelo caráter intenso, pela concentração dos volumes de chuvas em curtos períodos de tempo e pela pouca duração, além de grande variação de recorrência das chuvas, irregular ocorrência espacial e temporal de suas chuvas, gerando escoamentos superficiais e subsuperficiais que muitas vezes ocorrem na forma de eventos extremos, rápidos e de picos simples com grande variabilidade anual e interanual (CANTALICE et al., 2013).

O manejo do solo mais utilizado na região do semiárido do Brasil é a queimada, onde a Caatinga é destocada e queimada para limpeza das áreas de plantio e, também, para produção de carvão, quando as matas ciliares ou zonas ripárias também são removidas com as queimadas e a exploração indiscriminada. Tudo isso ocorre em solos pouco evoluídos, e portanto rasos, favorecendo a produção de rápidos escoamentos superficiais, o que é desfavorável à conservação dos recursos naturais de solo, água e vegetação. Nessas condições a capacidade de uso do solo dessas bacias é logo ultrapassada, ocasionando a diminuição da cobertura vegetal da caatinga e a degradação do solo, que já aparece em alguns locais na forma de desertificação (CANTALICE et al., 2013).

Para alguns, como Schmidt (2009) os sistemas fluviais são altamente susceptíveis as mudanças climáticas induzidas em processo, e para outros como Reid (2009), os rios são potencialmente insensíveis a mudanças climáticas, a menos que essas sejam mudanças substanciais e, além do mais existe uma substancial histerese entre mudança climática e metamorfose dos rios. Dessa forma, percebe-se que a hidrologia das bacias hidrográficas e os sistemas fluviais semiáridos se constituem em um rico campo de pesquisa.

É comumente difícil distinguir o impacto das mudanças climáticas da variabilidade resultante de impactos antrópicos, a existência de evidências sugere que na maioria dos casos, os impactos humanos estão cada vez mais presentes e significativos. Por outro lado, a clareza dos sinais gerados pelos impactos da atividade humana pode ser reduzida pela variabilidade climática. Por exemplo, nas áreas onde ocorrem as variações climáticas associadas entre as condições de *El Niño* e *La Niña*, essas se sobrepõem as variações geradas pelos impactos causados pela atividade humana (WALLING, 2009).

Então, nesse cenário do ambiente semiárido brasileiro de natural vulnerabilidade e variabilidade hidroclimática emergem as seguintes questões:

- Como distinguir-se a variabilidade natural dos sistemas do ambiente semiárido das mudanças climáticas, e das mudanças impostas pelo impacto da atividade humana?
- Como se comportará o ambiente semiárido do Brasil frente às possíveis mudanças climáticas?
- Quais as alterações dos padrões hidrológicos, com uma evidente elevação da temperatura e mudanças no regime pluviométrico?

1.1 Hipóteses

Hipótese Nula (H_0) - As mudanças climáticas não interferem nos padrões hidrológicos alterando os fatores climáticos de precipitação e temperatura em bacias hidrográficas semiáridas de cidades do Sertão de Pernambuco constatados pelos testes de tendência.

Hipótese Alternativa (H_1) - As mudanças climáticas interferem nos padrões hidrológicos alterando os fatores climáticos de precipitação e temperatura em bacias hidrográficas semiáridas de cidades do Sertão de Pernambuco constatados pelos testes de tendência.

1.2 Objetivo Geral

Consolidar conhecimento sobre como se comportará o ambiente semiárido do Brasil frente às possíveis mudanças climáticas, e quais as repercussões nos padrões hidrológicos nas áreas semiáridas na perspectiva da mudança climática.

1.3 Objetivos Específicos

- Verificar os padrões de precipitação e temperatura no semiárido em cidades do Sertão do Estado de Pernambuco;
- Identificar a presença ou não de tendências positivas ou negativas em variáveis climáticas, especificamente no regime pluviométrico e na temperatura da região;
- Selecionar a distribuição estatística com melhor ajuste aos dados de precipitação e temperatura para expressão do padrão de distribuição dos dados climáticos das cidades do Sertão do estado de Pernambuco.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O semiárido brasileiro e as mudanças climáticas

Um melhor entendimento dos impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos têm tomado importância para os planejadores em manejo desses recursos, especialmente em regiões áridas e semiáridas, onde a disponibilidade de água é sensível aos regimes de chuvas e a evaporação (ZHAO et al., 2013). As mudanças climáticas e seus associados impactos na sociedade humana e nos ecossistemas têm recebido considerável atenção dos cientistas, do público e dos governos em todo mundo (MILLY et al., 2008).

Existe uma forte inter-relação entre clima e sistema hidrológico. Uma mudança em um desses sistemas irá forçosamente mudar o outro. No entanto, é difícil determinar o impacto da mudança climática na hidrologia. Dados hidrológicos são frequentemente de períodos curtos e a influência humana, através do mau uso do solo, por exemplo, também pode afetar as vazões dos cursos de água, umidade do solo e os volumes de água subterrânea, portanto, as várias causas possíveis de mudança hidrológica, ou de certo modo de variabilidade são de difícil separação. De forma geral, duas abordagens podem avaliar mudança climática e seus impactos: análises de dados para observação de mudanças e tendências, e cálculo de cenários através de modelos fisicamente baseados (STAHEL; HISDAL, 2006).

Assim, conforme a primeira abordagem acima comentada por Stahel e Hisdal (2006) e com o objetivo de avaliar os efeitos da variabilidade climática e da ação antrópica na bacia semiárida do Rio Wei, um grande tributário do Rio Amarelo na China, Zhao et al. (2013) utilizaram o teste não-paramétrico de Mann-Kendall e a transformação de Walvelet para detectar variações hidrometeorológicas na bacia. Foram identificados períodos específicos onde a variação foi da ação humana, e para maioria das estações fluviométricas observaram redução das vazões por conta da diminuição da precipitação e aumento da evapotranspiração potencial. Essa análise separou o efeito de mudança climática em determinadas sub-bacias, e os efeitos da atividade humana com, programas de conservação do solo, construção de reservatórios e irrigação em outras sub-bacias.

Conforme a segunda abordagem, o cálculo de cenários por modelos de base física (STAHEL; HISDAL, 2006; MILLY et al., 2005) analisaram as tendências em vazões em nível global utilizando 12 modelos do Programm for Climate Model

Diagnosis and Intercomparison (PCMDI) e obtiveram evidência de diminuição do fluxo de rios da África do Sub-Saara, no sudeste da Europa, na América do Sul, sudeste da Austrália e meio oeste da América do Norte, bem como, elevação do fluxo de rios da bacia do Prata da América Latina, do sudeste para o centro da América do Norte e Norte da Austrália. Essas alterações em torno de 4% para as elevações de escoamento nos rios foram creditadas a elevação da temperatura global em 1º C.

Outra ferramenta aplicada nesse tipo de estudo é a distribuição exponencial, que pode ser usada para representação de dados hidrológicos e sedimentológicos das áreas áridas e semiáridas, como mostrado por Tate e Freeman (2000) ao estudarem dados de oito estações fluviométricas do sudeste da África utilizando a distribuição exponencial para determinação de curvas de permanência de fluxo. Kjeldsen et al. (2000) utilizou a distribuição exponencial para representação da seca hidrológica no Zimbábue. A distribuição exponencial é uma distribuição contínua que algumas vezes é utilizada para modelar os intervalos de tempo entre a ocorrência de eventos (NAVIDI, 2008).

Na região semiárida do Brasil o padrão de chuvas é caracterizado pela variabilidade, com chuvas intensas concentradas em curtos períodos de tempo e pela pouca duração (12 mm min^{-1}), além de grande variação de recorrência das chuvas, irregular ocorrência espacial e temporal de suas chuvas. Conseqüentemente, apresentam sistemas fluviais caracterizados por longos períodos sem fluxo, com exceção de alguns rios perenes, que geram escoamentos superficiais e subsuperficiais que muitas vezes ocorrem na forma de eventos extremos, e seguidos com fase recessiva de hidrograma na forma exponencial (CANTALICE et al., 2013).

Em relação ao balanço hídrico da região semiárida do Brasil, que é negativo, de acordo com Rocha (2009) e Moura et al. (2007), resultante de precipitações médias anuais entre 300 a 600 mm, em período restrito a poucos meses do ano, insolação média de aproximadamente 2800 h ano^{-1} , temperaturas elevadas durante boa parte do ano, com médias anuais que variam de 23°C a 30°C , evaporação em torno de 2000 mm ano^{-1} e umidade relativa do ar média em torno de 50%.

Outra característica marcante do clima na região semiárida é a variabilidade intra e interanual da precipitação, além de uma distribuição espacial irregular, essa variabilidade climática associada aos baixos totais anuais sobre a região, resulta na frequente ocorrência de dias sem chuva, evidenciando os eventos de “seca”, em longo

prazo esse fenômeno tem sido abordado com algum grau de detalhamento pelos centros climáticos do Brasil e do Nordeste (MARENGO, 2001; SOUZA FILHO, 2003).

A região Nordeste abrange 18,27% do território brasileiro, possuindo uma área de 1.561.177,8 km², onde deste total 982.563,3 km² representam o semiárido brasileiro (MIN, 2005), que apresenta conforme Rodal e Sampaio (2002), grande variedade de paisagens e ambientes, sendo esta uma característica marcante da região. Os solos da região estão distribuídos percentualmente em Neossolos Litólicos (19,2%), Latossolos (21%), Argissolos (14,7%), Luvisolos (13,3%), Neossolos Quartzarênicos (9,3%), Planossolos (9,1%), Neossolos Regolíticos (4,4%) e Cambissolos (3,6%). Perfazendo 5,4% da região, podem também ser encontrados Neossolos Flúvicos, Vertissolos, Chernossolos, entre outros, em pequenas extensões (JACOMINE, 1996; CUNHA et al., 2010).

A Caatinga é o tipo de vegetação que cobre a maior parte da região semiárida do Brasil, onde neste ambiente os fatores climáticos são mais marcantes que outros fatores ecológicos, na definição da cobertura vegetal, nesse contexto observa-se que a Caatinga não é uniforme e varia de acordo com o volume das precipitações pluviométricas, da qualidade dos solos, da rede hidrográfica e da ação antrópica (GIULIETTI et al., 2002; 2006). Em sua composição a Caatinga exhibe espécies xerófilas, onde a maior parte das plantas apresenta espinhos, microfilia, cutículas impermeáveis, caducifolia, sistemas de armazenamento de água em raízes e caules modificados e mecanismos fisiológicos adaptados, a exemplo do fechamento dos estômatos nas horas mais quentes do dia, que permitem classificá-las como plantas xerófilas (GIULIETTI et al., 2006).

O uso e manejo convencional do solo no semiárido brasileiro, ainda se constitui na queima dessa vegetação no fim da estação seca, para o plantio no início da estação das chuvas, com baixo nível de tecnologia utilizado no plantio e cultivo, quando então, não são utilizadas técnicas de correção e adubação do solo, e sendo ainda comum nas áreas semiáridas, a pecuária extensiva (CANTALICE et al., 2013).

Na Região Semiárida do Brasil todo planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos dependem da variabilidade do clima, principalmente da distribuição de chuvas, porém dentro do que já se conhece do clima no semiárido, restam incertezas quanto sua associação com as mudanças climáticas, seja esta devido à variabilidade natural do clima ou resultante de atividades antrópicas (MARENGO, 2001).

De acordo com o IPCC (2001; 2007), mudança climática define-se como uma variação estatisticamente significativa tanto no seu estado médio como em sua variabilidade, persistente por um longo período, de décadas ou mais, e refere-se a qualquer mudança no clima ao longo do tempo, seja devido à variabilidade natural ou como resultado da atividade humana.

Várias linhas de evidência mostram que o clima da Terra está mudando, as temperaturas estão aumentando, a neve e os padrões de precipitação estão sendo alterados, e eventos climáticos mais extremos, como fortes tempestades, altas temperaturas e secas mais severas já estão ocorrendo (MELILLO et al., 2014). Alguns indicadores são utilizados no estudo dessas mudanças no clima, tais como: Os gases de efeito estufa, através das emissões e concentrações na atmosfera; O monitoramento das variáveis climáticas, principalmente temperatura e precipitação; Os oceanos, seus níveis e sua temperatura de superfície; O comportamento das geleiras nos polos norte e sul; Problemas de saúde e sociais relacionados às mudanças climáticas, como doenças e migrações; Além de alterações em ecossistemas naturais (EPA – US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2016).

A variabilidade no regime pluviométrico é uma característica importante dos climas semiáridos, e é provável que a mudança climática aumente essa variabilidade em muitas dessas regiões ao redor do mundo (BATISANI; YARNAL, 2010). Neste sentido, Ramos e Martinez-Casasnovas (2006) acrescentam que os climas semiáridos exibem padrões complexos de variabilidade espacial e sazonal da precipitação, acentuados pela imprevisibilidade da precipitação de ano para ano, dentro do ano e até mesmo durante um único evento de precipitação pluvial.

Muitas áreas áridas e semiáridas sofrerão decréscimo da disponibilidade dos recursos hídricos devido a mudança climática, evidenciados na forma de reduções de fluxo dos rios e recarga dos aquíferos, especificamente no Nordeste do Brasil (DÖLL; FLÖRKE, 2005). Neste sentido, o IPCC (2001 e 2007) reportam redução de precipitação, vazão dos rios e disponibilidade de água para regiões secas em latitudes médias e semiárido tropical entre 10 e 30%, e ainda redução da recarga de aquíferos em 70%.

2.1.1 A Temperatura do ar como indicador de mudança

A temperatura é uma medida fundamental para descrever o clima, e a temperatura em locais específicos pode ter efeitos abrangentes, determinando impactos na vida humana e nos ecossistemas (NOAA, 2016). No semiárido brasileiro as temperaturas médias anuais apresentam na maior parte da região valores na faixa de 23 °C a 30 °C (ROCHA, 2009). A temperatura média global na superfície da Terra é de 15°C (59 °F ou 288 °K), os extremos da temperatura de superfície registrados variam desde a temperatura mais fria de -89 °C (-128,6 °F) em Vostok na Antártida até a temperatura mais quente de 58 °C (136,4 °F) Aziziyah, Líbia (África) (DAHLMAN, 2015).

O conceito de uma temperatura média para o globo inteiro pode parecer estranho, uma vez que existe uma grande amplitude da temperatura, da noite para dia, entre extremos sazonais, e nos hemisférios norte e sul. Isto significa que algumas partes da Terra são bastante frias, enquanto outras partes são extremamente quentes. O conceito de uma temperatura média global pode parecer absurdo, porém é conveniente para se detectar e acompanhar mudanças na condição climática da Terra ao longo do tempo, funciona como um indicador simples da variabilidade interna do clima em simulações com modelos e em observações. Também, geralmente ela é usada como o índice mais simples de variabilidade e de mudança do clima global (BACK, 2001; BRAGANZA et al., 2003; HERRING, 2007).

A elevação da temperatura do ar ocasionando ondas de calor mais intensas, resultam em doenças e mortes, especialmente em populações vulneráveis, além disso padrões de temperatura anuais e sazonais também determinam os tipos de animais e plantas que podem sobreviver em locais específicos (DAHLMAN, 2015).

Alterações na temperatura podem perturbar uma ampla gama de processos naturais, especialmente se essas mudanças ocorrerem mais rapidamente do que as espécies de plantas e animais podem se adaptar, embora os organismos do bioma caatinga, encontrado apenas no semiárido nordestino, tenham demonstrado ao longo do tempo uma alta capacidade de adaptação, a elevação da temperatura em ambientes semiáridos têm pressionado a manutenção, bem como a capacidade de resiliência da fauna e flora na região semiárida (LINDOSO et al., 2013).

Em 2014 o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (International Panel on Climate Change - IPCC) indicou que cada uma das últimas três décadas

registraram sucessivamente os períodos mais quentes na superfície da Terra do que qualquer outra década anterior desde 1850. O período de 1983 a 2012 foi provavelmente o mais quente período de 30 anos dos últimos 1400 anos no Hemisfério Norte, onde tal avaliação é possível (Confiança média). Ainda segundo, o IPCC (2013), os dados combinados da média global da temperatura terrestre e oceânica calculados por uma tendência linear mostraram um aquecimento de 0,85 °C variando entre 0,65 °C a 1,06 °C durante o período de 1880 a 2012.

Entre 1900 e 2100 a temperatura global pode aquecer entre 1,4 °C e 5,8 °C, é o que revelam os modelos globais do IPCC (2013), representando um aquecimento mais rápido do que o detectado no século XX e que, aparentemente, não possui precedentes durante, pelo menos, os últimos 10.000 anos.

Os ciclos naturais de aquecimento e resfriamento global sempre existiram, o problema é que atualmente, precisamente desde o início da atividade industrial observou-se que o maior incremento de gases de efeito estufa, principalmente o CO₂, têm sido determinante em função desta atividade humana, causando aquecimento e interferindo no clima terrestre, modificando drasticamente sua variação natural (MARENGO, 2008). O mesmo autor afirma que estudos dos últimos 1000 anos da temperatura global indicaram que as mudanças não são exclusivamente devido a causas naturais, levando-se em conta que há incertezas nos registros paleoclimáticos, que são amostras retiradas das geleiras da Antártida, foi revelado através de modelos climáticos que as concentrações atuais de carbono são as mais altas dos últimos 420.000 anos e, provavelmente, dos últimos 20 milhões de anos. Sendo assim o aumento de quase 0,6 °C durante o século passado é pequeno se comparado com as projeções de aquecimento para o próximo século.

2.1.2 O Comportamento das precipitações pluviométricas no semiárido do Brasil

A quantidade e distribuição de precipitação está intimamente ligado ao bem-estar humano e o equilíbrio dos ecossistemas, a precipitação afeta diretamente a quantidade de água superficial e subterrânea disponível para os mais diversos usos, para beber, para irrigação, e para a indústria (BLUNDEN; ARNDT, 2016).

O regime hidrológico, crucial para os ecossistemas ribeirinhos, estabelece um modelo para os processos ecológicos, adaptações evolutivas e manutenção da biodiversidade nativa (POFF; ZIMMERMAN, 2010; HUANG et al., 2016). Por outro

lado é influenciado pelas atividades climáticas e antropogênicas, e muitos estudos de mudanças hidrológicas mundiais têm considerado estes dois fatores (HUANG et al., 2012; SCHNEIDER et al., 2013).

Mudanças no regime hidrológico implicam em impactos severos, principalmente na agricultura que é o setor mais sensível aos riscos relacionados com as alterações hidrológicas, devido ao fato de que as mudanças climáticas afetam dois dos mais importantes insumos diretos da produção agrícola que são a precipitação e a temperatura (PHILIP et al., 2014; ADDISU et al., 2015) além de diminuir o abastecimento de água e conseqüentemente a irrigação, tornando áreas agricultáveis em áreas ociosas, aumentando assim a severidade da erosão do solo destas áreas vulneráveis na ocasião de eventos extremos de precipitação (IPCC, 2001a, b).

Estão sendo estudados em escala global, nacional e regional a ocorrência de eventos extremos de precipitação, alguns destes resultados em escala global foram divulgados no Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2007). Estudos em escala nacional e regional estão sendo desenvolvidos visando identificar mudanças climáticas e seus impactos, dentre eles podemos citar: ÁSIA: Tabari e Talaee (2011), You et al. (2010), Some'e et al. (2012), Wang et al. (2012); Modarres, et al. (2007); EUROPA: Boccolari e Malmusi (2013), Gocic e Trajkovic (2013), Santos e Fragoso (2013); ÁFRICA: Addisu et al. (2015), Mishra et al. (2014), Degefu e Bewket (2014); AMÉRICA DO SUL: Salviano et al. (2016), Damé et al. (2013), Casimiro et al. (2013), Marengo et al. (2013); OCEANIA: McFarlane et al. (2012), Yilmaz e Perera (2015), Silberstein et al. (2012) Jakob e Walland (2016); AMÉRICA DO NORTE: Schnorbus et al. (2014), Jones et al. (2015), Kam e Sheffield (2016), Chattopadhyay e Edwards (2016).

No Nordeste brasileiro existem pelo menos sete sistemas atmosféricos responsáveis pela precipitação, dentre eles, podemos citar: (1) a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); (2) a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS); (3) as bandas de nebulosidade associadas a Frentes Frias; (4) os Distúrbios de Leste; (5) os Vórtices Ciclônicos e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN); (6) as Brisas terrestres e marítimas e (7) Eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (KOUSKY; GAN, 1981; Alves, 2001). Além desses mecanismos podemos destacar também a atuação das Linhas de Instabilidade (LI) e dos Complexos Convectivos, como os de circulação das Células de Hadley-Walker (MELO et al., 2011), bem como a atuação do Dipolo do Atlântico atuando no posicionamento da ZCIT.

Atuando no semiárido do Nordeste destaca-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) como o principal sistema atmosférico responsável pela precipitação nesta região, pode ser definida como uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo terrestre, a ZCIT é mais significativa sobre os oceanos, e por isso a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) é um dos fatores determinantes na sua posição e intensidade (SOUZA et al., 1999; FERREIRA E MELLO, 2005).

Os padrões termodinâmicos sobre as bacias dos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais têm a capacidade de modular e modificar fortemente, a circulação atmosférica na região tropical. Em anos que verificam-se anomalias positivas (*El Niño*) ou negativas (*La Niña*) (Tabela 1) da TSM, a Célula de Hadley, que atua no sentido meridional (norte-sul), e a Célula de Walker, que atua no sentido leste-oeste, são perturbadas, resultando em anomalias significativas na circulação atmosférica sobre os trópicos, com o deslocamento destas células de suas posições, esse mecanismo influencia na intensidade e duração do período chuvoso na região do semiárido brasileiro (FERREIRA; MELLO, 2005).

Tabela 1 – Períodos de Ocorrência de *El Niño* e *La Niña*

Período de Ocorrência			
<i>El Niño</i>		<i>La Niña</i>	
1877 - 1878	1888 - 1889	1886	1903 - 1904
1896 - 1897	1899	1906 - 1908	1909 - 1910
1902 - 1903	1905 - 1906	1916 - 1918	1924 - 1925
1911 - 1912	1913 - 1914	1928 - 1929	1938 - 1939
1918 - 1919	1923	1949 - 1951	1954 - 1956
1925 - 1926	1932	1964 - 1965	1970 - 1971
1939 - 1941	1946 - 1947	1973 - 1976	1983 - 1984
1951	1953	1984 - 1985	1988 - 1989
1957 - 1959	1963	1995 - 1996	1998 - 2001
1965 - 1966	1968 - 1970	2007 - 2008	
1972 - 1973	1976 - 1977		
1977 - 1978	1979 - 1980		
1982 - 1983	1986 - 1988		
1990 - 1993	1994 - 1995		
1997 - 1998	2002 - 2003		
2004 - 2005	2006 - 2007		
2009 - 2010			

Legenda:	Forte	Moderada(o)	Frac (a)
-----------------	-------	-------------	----------

Por exemplo, em anos de *El Niño*, quando há uma elevação da TSM no Oceano Pacífico Tropical, sobre o lado centro-leste, a convecção equatorial desloca-se para o leste, modificando a posição da Célula de Walker, o ar quente sobre esta região é empurrado, em função da continuidade da circulação atmosférica, originando uma célula descendente de Walker sobre o oceano atlântico, próximo à Região Nordeste do Brasil e à Amazônia Oriental (CPTEC/INPE, 2016), dependendo da intensidade desse mecanismo, há uma inibição da descida da ZCIT e, conseqüentemente há uma deficiência de formação de chuvas na Região Nordeste, sendo assim o fenômeno *El Niño* é um dos responsáveis pela redução das chuvas no semiárido brasileiro (SOUZA; AMBRIZZI, 2002).

Outros trabalhos destacam a influência do Oceano Atlântico Tropical na distribuição das precipitações nas regiões tropicais da América do Sul, principalmente sobre o Nordeste do Brasil (HASTENRATH; HELLER, 1977; MOURA; SHUKLA, 1981; GRIMM; TEDESCHI, 2009; RODRIGUES et al., 2010), onde destaca-se um padrão de anomalias da TSM sobre o oceano atlântico tropical, denominado de padrão de Dipolo do Atlântico. O Dipolo do Atlântico Tropical afeta diretamente o posicionamento da ZCIT, que por sua vez, influencia na distribuição das chuvas sobre o Nordeste (MENEZES et al., 2008).

O Padrão do Dipolo no Oceano Atlântico Tropical configura-se com fase positiva e negativa, atuando da seguinte forma, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais quentes e as águas do Atlântico Equatorial e Tropical Sul estão mais frias ocorrem movimentos descendentes transportando ar frio e seco dos altos níveis da atmosfera sobre a Região Norte e Nordeste, além de alguns países da África Ocidental, inibindo a formação de nuvens e diminuindo a precipitação na Fase Positiva do Dipolo, intensificando os períodos de estiagem. Por outro lado, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais frias e as águas do Atlântico Tropical Sul estão mais quentes ocorre um aumento nos movimentos ascendentes sobre as regiões citadas anteriormente, intensificando a formação de nuvens e aumentando os índices pluviométricos configurando-se na Fase Negativa do Dipolo, favorecendo a formação de precipitação (MOURA; SHUKLA, 1981; ARAGÃO, 1996).

De acordo com Pezzi e Cavalcanti (2001) condições de *El Niño* e Dipolo positivo no Atlântico Tropical, há uma ocorrência de eventos de precipitação abaixo da média em toda a Região Nordeste, enquanto, *El Niño* e Dipolo negativo ocorrem chuvas acima da média no norte do Nordeste e abaixo nas demais áreas da Região. Os

mesmos autores também observaram que em condições de *La Niña* e Dipolo negativo, observam-se chuvas acima da média, enquanto que *La Niña* com Dipolo positivo, precipitações abaixo da média em todo Nordeste, concluindo que a Influência do Dipolo no Atlântico Tropical na formação de precipitação no Nordeste é mais acentuada nos períodos de *La Niña* do que nos de *El Niño*.

2.2 Hidrologia e séries temporais no semiárido

Nas regiões áridas e semiáridas do mundo, os recursos hídricos são limitados e sofrem uma constante e crescente pressão no gerenciamento hídrico devido à expansão das populações, aumentando o consumo de água per capita e seu uso na agricultura, principalmente na irrigação (WHEATER et al., 2008).

O regime hidrológico em boa parte do semiárido brasileiro é de caráter intenso, quando um único evento de precipitação de curta duração, pode exceder o escoamento total de uma sequência de anos, gerando escoamentos superficiais e subsuperficiais que muitas vezes ocorrem na forma de eventos extremos, rápidos e de picos simples com grande variabilidade anual e inter-anual, porém também com variabilidade no espaço (CANTALICE et al., 2013).

Atualmente, o impacto das mudanças climáticas sobre o ciclo hidrológico representa um grande desafio para o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos no século XXI em muitos países (LI et al., 2007; SUN et al., 2013). Avanços nas pesquisas apontam que o aquecimento global tem o potencial de causar altas taxas de evaporação e intensificar o transporte de grandes quantidades de vapor de água na atmosfera, acelerando assim o ciclo hidrológico (SANTOS, 2012).

A avaliação dos efeitos das alterações climáticas sobre o escoamento das bacias hidrográficas é crucial para a gestão futura do abastecimento de água, bem como a geração de energia hidroelétrica, uso de água na agricultura e demais atividades dependentes do recurso hídrico, no entanto, realizar estas avaliações numa escala regional é um desafio, esta abordagem permite um melhor manejo da água disponível e ameniza os impactos futuros de eventos hidrológicos extremos e suas consequências para os recursos hídricos (SILBERSTEIN, et al., 2012).

A mudança climática é um fenômeno global com variações geográficas distintas. O principal desafio das alterações climáticas é o seu impacto na

disponibilidade e distribuição regional / local de água doce, perturbando assim os meios de subsistência e o ecossistema (XU, 1999; DESSU; MELESSE, 2013).

Segundo Piao et al. (2010) a China tem apresentado temperaturas crescentes, secas mais longas e vazões mais baixas nos rios nas últimas décadas, mas as projeções para o futuro do impacto sobre os recursos hídricos e as implicações para a agricultura ainda não são claras e há uma evidente necessidade de melhores simulações regionais das mudanças climáticas e suas consequências.

Thomson et al., (2005) descobriram que em regiões semiáridas no oeste dos EUA, onde já havia escassez de água de irrigação, as reduções nos rendimentos de água esperados naquela época já poderiam exceder 50% dos níveis atuais.

O impacto sobre os recursos hídricos das recentes tendências climáticas tem sido particularmente agudo no sudoeste da Austrália e o IPCC (2007) identificou a região como uma das que tiveram maior impacto sobre os recursos hídricos no mundo (HENNESSY et al. 2007). A proporção de precipitação que se torna vazão nos rios, que já é relativamente baixa em uma escala global, (MCMAHON et al., 2007), caiu quase dois terços de uma média de cerca de 10% nas bacias de abastecimento de água de Perth, Austrália (SILBERSTEIN et al., 2012). Desde meados da década de 1970, uma redução de 16% nas chuvas resultou em um declínio de mais de 50% da vazão nos principais reservatórios da região que abastecem a cidade australiana (PETRONE et al., 2010).

Os estudos do clima e suas alterações, são analisados sobretudo, através de dados meteorológicos extraídos de estações meteorológicas convencionais e automáticas, satélites, etc., que disponibilizam uma série temporal climática local, regional e/ou global (LONGOBARDI; VILLANI, 2010).

Uma série temporal é qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo (MORETTIN; TOLOI, 2006). Não necessariamente igualmente espaçadas, que apresentam dependência serial, isto é, dependência entre instantes de tempo, uma grande quantidade de fenômenos de natureza física, biológica, econômica, etc. podem ser enquadrada nesta categoria (MORETTIN; BUSSAB, 2014).

Segundo Prema e Rao (2015) uma série temporal é um conjunto de dados estatísticos, normalmente recolhidos em intervalos regulares, podendo a mesma ser analisada em pontos ou em períodos contínuos no tempo. As observações podem ser feitas a cada hora, dia, semana, mês ou ano, ou em qualquer outro intervalo regular, sendo o padrão dos dados um fator importante para entender como as séries

temporais se comportaram no passado, e se este comportamento puder ser esperado para continuar no futuro, o padrão passado pode ser usado para selecionar um método de previsão apropriado (BROCKWELL; DAVIS, 2013)

Uma das suposições mais frequentes sobre séries temporais é que a mesma seja estacionária, ou seja, desenvolve-se no tempo aleatoriamente ao redor de uma média constante, refletindo uma forma de equilíbrio estável, porém na prática, as séries temporais apresentam uma não-estacionariedade refletida na forma de tendência, sendo o caso mais simples aquele em que a série flutua ao redor de uma reta, com inclinação positiva ou negativa (tendência linear) (MORETTIN; TOLOI, 1981).

De acordo com Back (2001) é de grande importância em estudos de mudanças climáticas a identificação de alterações nos registros meteorológicos, uma vez que as aplicações de teorias de probabilidade partem do pressuposto que as séries históricas são homogêneas, isto é, não apresentam tendências.

A detecção de tendências hidrológicas, tem sido um tema ativo há mais de três décadas, principalmente através do extenso trabalho recente no campo das mudanças e variabilidade climática, o tema da detecção de tendências tem recebido ainda maior atenção (HAMED, 2008).

Para detecção de tendências em séries temporais de dados hidroclimatológicos o teste de Mann-Kendall (MK) (MANN, 1945; KENDALL, 1975) é um dos testes não-paramétricos amplamente utilizados para detectar tendências em séries temporais. O teste de Mann-Kendall é bastante utilizado em estudos de séries temporais de dados ambientais em função de não exigir a normalidade na distribuição dos dados, por outro lado, os testes paramétricos, exigem que os dados sejam normalmente distribuídos, o que nem sempre ocorre em séries temporais de dados climáticos e hidrológicos (HELSEL; FRANS, 2006; XU et al., 2010). Além disso, o teste de Mann-Kendall também apresenta baixa sensibilidade a rupturas abruptas devido a séries temporais não homogêneas (TABARI et al., 2011).

Embora as avaliações em grande escala das tendências hidroclimáticas forneçam indicações úteis de mudanças e variabilidade globais, estudos mais regionalizados são extremamente necessários para avaliar o impacto localizado e as medidas potenciais de adaptação (BAWDEN et al., 2014).

2.3 Distribuição estatística de dados hidroclimáticos

Os fenômenos naturais, dentre eles os fenômenos hidroclimáticos (precipitação e temperatura) contêm incertezas que lhes são inerentes sendo que existem duas fontes para tais incertezas: (1) a *aleatoriedade natural* associada às possíveis ocorrências (ou *realizações*) de um certo fenômeno; e (2) as imperfeições e/ou insuficiências do conhecimento humano sobre os processos que determinam tais ocorrências (NAGHETTINI; PORTELA, 2012).

Ainda de acordo com Naghettini e Portela (2012) as incertezas do primeiro tipo ou aleatórias podem ser expressas em termos da maior ou menor variabilidade de uma ou mais variáveis (ou grandezas mensuráveis) associadas ao fenômeno em estudo, enquanto que as incertezas do segundo tipo resultam da interpretação imperfeita ou imprecisa da realidade subjacente ao referido fenômeno, por parte dos modelos teóricos e/ou físicos utilizados para o caracterizar. Os autores afirmam que as incertezas aleatórias não podem ser reduzidas ou modificadas porque são intrínsecas à variabilidade dos fenômenos em questão. Em geral, essas incertezas apenas podem ser parcialmente estimadas pelo padrão da variabilidade exibido pelas amostras ou registros referentes a realizações desses fenômenos ou das variáveis que nele interferem.

Enquanto que, as incertezas que decorrem das limitações do conhecimento humano acerca dos mencionados fenômenos podem ser reduzidas, seja pela obtenção de dados e de informação adicionais, seja pela especificação de novos modelos teóricos (ou físicos) que melhor representem a realidade. Em ambos os casos, os conceitos e métodos da teoria de probabilidades e da estatística constituem conhecimentos indispensáveis para lidar com as incertezas e para as interpretar (ANG; TANG, 2007).

A análise de frequência de distribuição das precipitações fornece subsídios para o planejamento hídrico, principalmente na determinação de períodos críticos predominantes em uma determinada região, sejam eles eventos de seca, bem como também enchentes, o conhecimento do comportamento da distribuição das precipitações nos fornecem informações que visam reduzir as consequências causadas pela variabilidade do regime pluviométrico (SILVA et al., 2013).

Diversos estudos têm sido desenvolvidos envolvendo ajustes de funções de distribuição de probabilidade ou estimativa de probabilidade usando funções de

distribuição de probabilidade teóricas em análise de conjunto de dados de variáveis climáticas, e em sua maioria enfatizam os benefícios no planejamento de atividades que minimizem riscos climáticos (MAMOON; RAHMAN, 2017).

A seleção de uma distribuição de probabilidade que dê o melhor ajuste aos dados de precipitação é um importante tópico de pesquisa no campo da hidrologia estatística (SHARMA; SINGH, 2010).

O ajuste de distribuição é um procedimento de seleção de uma distribuição estatística que melhor se adapte a um conjunto de dados gerados por alguns processos aleatórios, a distribuição de probabilidade constitui-se em uma ferramenta importante para lidar com a incerteza, no entanto a seleção errada da distribuição estatística, resulta em erros de planejamento (KHUDRI; SADIA, 2013).

Estabelecer uma distribuição de probabilidade que forneça um bom ajuste à fenômenos climáticos tem sido um tema de interesse nos campos da hidrologia, meteorologia e outros, dentre alguns tipos de estudos de variáveis climáticas, podemos citar: (1) modelos de precipitação estocástica, (2) análise de frequência de precipitação e (3) tendências de precipitação relacionadas à mudança climática global (HANSON; VOGEL, 2008). Upadhyaya e Singh (1998) relataram que é provável prever a precipitação com boa precisão empregando distribuições de probabilidade diferentes para determinados períodos de retorno, embora a precipitação varie no espaço, no tempo e tem natureza aleatória.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O Estado de Pernambuco está localizado entre as Latitudes de 7° 20' a 9° 29' S e Longitudes de 34° 30' a 41° 21' W, limitado pelos estados de Alagoas e Bahia (ao sul), Paraíba e Ceará (ao norte), Piauí (ao oeste) e o Oceano Atlântico (ao leste). O estado pernambucano é dividido em 3 regiões: Zona da Mata e Litoral; Agreste e Sertão como podem ser observadas na Figura 1.

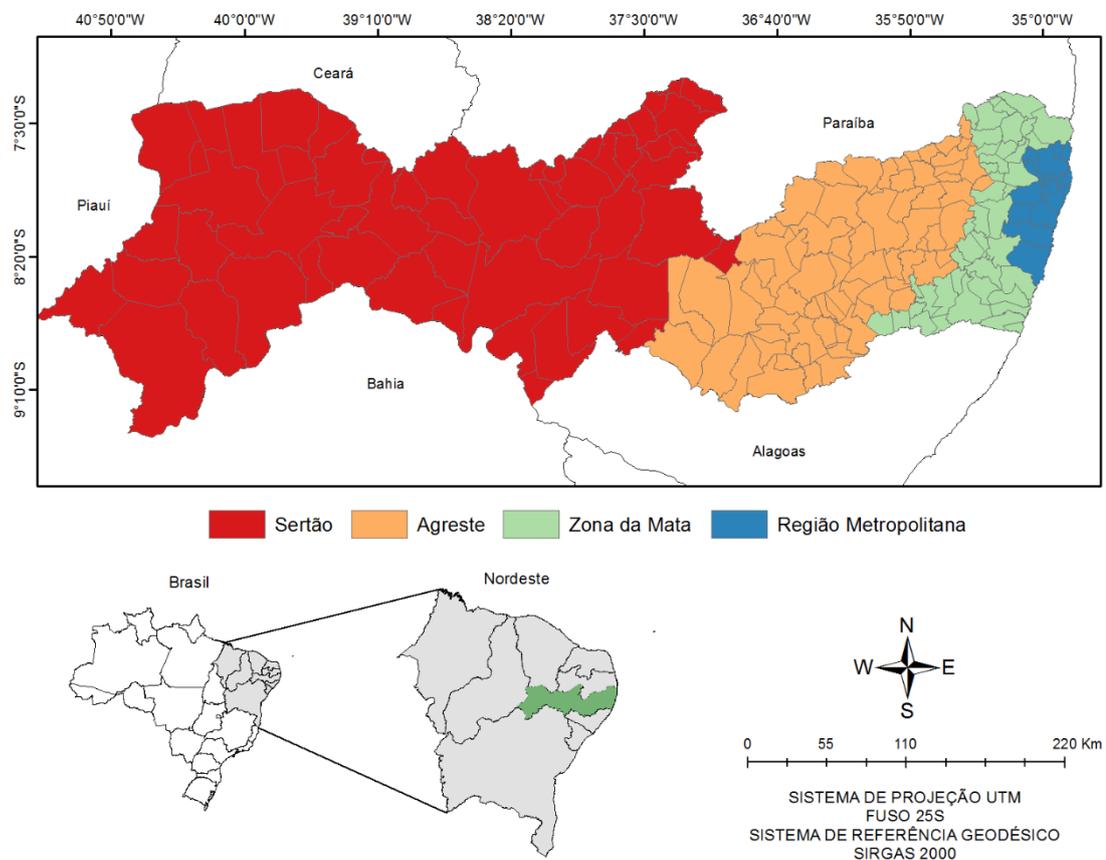


Figura 1 – Localização geográfica do Estado de Pernambuco

A área de estudo corresponde a toda área geograficamente conhecida como Sertão de Pernambuco, que é caracterizada pela irregularidade (espaço/tempo) no regime de chuvas, baixo índice pluviométrico, com precipitações médias anuais iguais ou inferiores 800 mm, temperaturas médias anuais que variam entre 23 a 30 C°, Insolação média de 2.800 h ano⁻¹, tem em sua vegetação o domínio da Caatinga, os solos, em sua maioria possuem uma textura areno-argilosa e são pobres em matéria

orgânica, o clima predominante do semiárido de Pernambuco é classificado como sendo do tipo quente e seco ou BSh de Köppen. Ou seja, quente e seco de estepe, com temperatura média anual superior a 18°C (ARAÚJO, 2011; ALVARES, 2014).

3.2 Dados Climáticos

Para este estudo foram utilizadas séries históricas de dados climatológicos de precipitação e temperatura (Figuras 2A e 2B, Tabela 2 e Tabela 3) da Região Nordeste do Brasil (NEB) em cidades do Sertão do Estado de Pernambuco, sendo a principal fonte os dados históricos da SUDENE (1990), seguindo-se a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC); Agência Nacional de Águas (ANA); Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA); *Departamento Nacional de Obras Contra as Secas* (DNOCS);

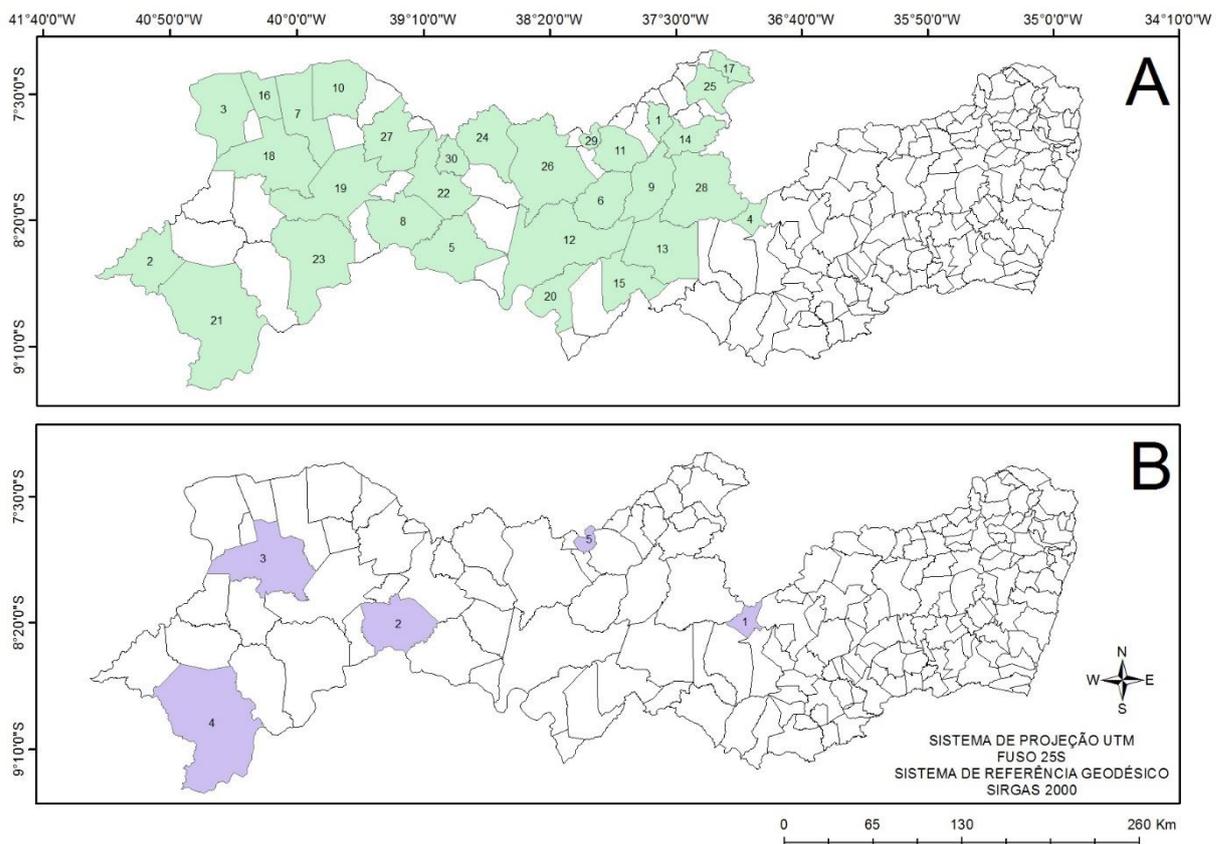


Figura 2 - Cidades do Sertão do Estado de Pernambuco analisadas. (A) Precipitação; (B) Temperatura

Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Pernambuco (EMATER-PE); Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), os dados de precipitação estão compilados e disponibilizados a partir dos bancos de dados do portal *Hidroweb* da Agência

Nacional de Águas – ANA, enquanto que os dados de temperatura são provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compilados e disponibilizados através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP).

O critério de escolha das cidades foi a disponibilidade de série histórica com no mínimo 30 anos, que é o padrão para a descrição estatística em termos de média e variabilidade dos elementos climáticos, como recomenda a Organização Meteorológica Mundial (OMM) agência especializada das Nações Unidas para a meteorologia.

Tabela 2 - Características geográficas dos locais das estações utilizadas no estudo (Precipitação)

Código da Estação		Estação	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude (m)	Período (Nº de anos)
00737023	1	Afogados da Ingazeira-PE	07°44'	37°38'	525	1914-2016 (103)
00841015	2	Afrânio-PE	08°29'	41°00'	530	1934-2016 (83)
00740014	3	Arapina-PE	07°33'	40°34'	620	1934-2016 (83)
00837005	4	Arcoverde-PE	08°26'	37°04'	663	1913-2016 (104)
00838004	5	Belém de São Francisco-PE	08°45'	38°57'	305	1935-2016 (82)
00838005	6	Betânia-PE	08°17'	38°02'	431	1936-2016 (81)
00739021	7	Bodocó-PE	07°48'	39°56'	440	1934-2016 (83)
00839002	8	Cabrobó-PE	08°30'	39°19'	350	1911-2016 (106)
00837011	9	Custódia -PE	08°06'	37°39'	542	1933-2016 (84)
00739023	10	Exu-PE	07°31'	39°43'	510	1934-2016 (83)
00737027	11	Flores-PE	07°52'	37°58'	460	1911-2016 (106)
00838000	12	Floresta-PE	08°32'	38°11'	361	1926-2016 (91)
00837025	13	Ibimirim-PE	08°23'	37°38'	445	1934-2016 (83)
00737030	14	Iguaraci-PE	07°55'	37°31'	585	1962-2016 (55)
00837038	15	Inajá-PE	08°55'	37°49'	355	1937-2016 (80)
00740018	16	Ipubi-PE	07°39'	40°08'	560	1962-2016 (55)
00737031	17	Itapetim-PE	07°22'	37°11'	630	1962-2016 (55)
00740021	18	Ouricuri-PE	07°53'	40°04'	432	1912-2016 (105)
00839013	19	Panamirim-PE	08°05'	39°34'	379	1911-2016 (106)
00938000	20	Petrolândia-PE	09°04'	38°18'	282	1935-2016 (82)
00940006	21	Petrolina-PE	09°23'	40°30'	376	1911-2016 (106)
00839016	22	Salgueiro-PE	08°04'	39°07'	415	1911-2016 (106)
00839018	23	Santa Maria da Boa Vista-PE	08°48'	39°50'	452	1911-2016 (106)
00738029	24	São José do Belmonte-PE	07°52'	38°47'	460	1911-2016 (106)
00737036	25	São José do Egito-PE	07°28'	37°17'	575	1914-2016 (103)
00738030	26	Serra Talhada-PE	07°59'	38°18'	435	1911-2016 (106)
00739026	27	Serrita-PE	07°49'	39°29'	440	1934-2016 (83)
00837033	28	Sertânia-PE	08°05'	37°16'	605	1911-2016 (106)
00738032	29	Triunfo-PE	07°50'	38°07'	1010	1911-2016 (106)
00738036	30	Verdejante-PE	07°55'	38°59'	455	1962-2016 (55)

Tabela 3 - Características geográficas dos locais das estações utilizadas no estudo (Temperatura)

Código da Estação	Estação	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude (m)	Período (Nº de anos)
82890	1 Arcoverde-PE	08°41'	37°08'	681	1973-2016 (44)
82886	2 Cabrobó-PE	08°51'	39°33'	341	1961-2016 (56)
82753	3 Ouricuri-PE	07°90'	40°04'	459	1975-2016 (42)
82983	4 Petrolina-PE	09°38'	40°48'	370	1962-2016 (55)
82789	5 Triunfo-PE	07°81'	38°11'	1105	1961-2016 (56)

3.3 Imputação de dados faltantes

As séries históricas de precipitação e temperatura que apresentaram falhas, foram submetidas a técnica de imputação de dados faltantes, para os dados de precipitação o método utilizado foi o da Ponderação Regional, que segundo Tucci (1993) é um método simplificado que normalmente é utilizado para o preenchimento de séries mensais e anuais de precipitações, este método visa a homogeneização do período de informações e à análise estatística das precipitações, onde dentre um grupo de postos ou estações pluviométricas são selecionados no mínimo três que possuam no mínimo uma série histórica de dados de dez anos, sendo assim para um posto Y que apresenta falhas, as mesmas são preenchidas da seguinte forma:

$$Y = \frac{1}{3} \left[\frac{X1}{Xm1} + \frac{X2}{Xm2} + \frac{X3}{Xm3} + \dots \right] . Ym \quad (1)$$

Em que:

Y = a precipitação do posto Y a ser estimada;

X1, X2 e X3 = as precipitações correspondentes ao mês (ou ano) que se deseja preencher, observadas em três estações vizinhas;

Ym = a precipitação média do posto Y;

Xm1, Xm2, Xm3 = as precipitações médias nas três estações circunvizinhas.

Após o preenchimento das falhas nas séries históricas foi efetuado um método complementar aos dados que foi a Análise de Consistência ou Método da Dupla Massa, desenvolvido pelo Geological Survey (USA), onde foram analisadas as séries

pluviométricas das estações vizinhas que foram utilizadas para a imputação de dados, esse método comprova o grau de homogeneidade dos dados disponíveis em um posto com relação às observações registradas em postos vizinhos, também é indicado apenas para séries mensais ou anuais.

No caso das falhas apresentadas nas séries históricas de temperatura foi empregada a técnica de imputação múltipla de dados faltantes denominada MCMC (Markov Chain Monte Carlo), que é um método de Monte Carlo baseado em Cadeia de Markov, e tem como objetivo simular distribuições multivariadas cujo limite é uma cadeia de Markov estacionária que tem a distribuição que se deseja encontrar.

De acordo com Gilks et al. (1996) além da estrutura de correlação entre as estações esse método leva em consideração a matriz de covariâncias dos dados, considerando também a correlação temporal, através da modelagem independente das séries temporais em cada estação. A imputação de dados faltantes nas séries de temperatura foi efetuada no Software XLSTAT para Windows versão 2016.

3.4 Distribuição de frequência

Os dados de precipitação foram submetidos a uma análise de distribuição de frequência, onde para cada mês utilizou-se a média histórica como referência na definição de três intervalos de classe, sendo eles:

$\leq \bar{X}/2$ = Precipitações menores que 50% da média;

$> \bar{X} / 2 \leq \bar{X}$ = Precipitações maiores que 50% da média e menores ou igual a média;

$> \bar{X}$ = Precipitações acima da média.

Histogramas de frequência foram feitos para cada estação, onde observam-se a distribuição e o percentual da frequência que cada intervalo apresentou, em relação ao total da série histórica mensal de precipitação.

3.5 Ajuste de distribuição

Foi aplicado aos dados de precipitação e temperatura (máxima, média e mínima) das cidades em estudo do Sertão do estado de Pernambuco o teste de aderência ou de ajuste de distribuição de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de

probabilidade, para se determinar que modelo de distribuição de probabilidade melhor aderiu a distribuição do conjunto de dados considerados neste trabalho.

3.5.1 Teste de Kolmogorov-Smirnov

O teste de Kolmogorov-Smirnov trata-se de uma ferramenta estatística de aderência ou ajuste de distribuição bem conhecida que compara uma função de distribuição empírica, com uma função de distribuição observada. Este teste baseia-se na Função Empírica de Distribuição Cumulativa (FEDC), que é dada por:

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \times [\text{Número de observações} \leq x] \quad (2)$$

A estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov (D) é dada pela maior diferença vertical entre as funções de distribuição cumulativa teórica e empírica:

$$D = \max_{1 \leq i \leq n} \left(F_{(x_i)} - \frac{i-1}{n}, \frac{i}{n} - F_{(x_i)} \right) \quad (3)$$

O teste de aderência de ajuste essencialmente avalia a compatibilidade de amostras aleatórias da distribuição de probabilidade teórica assumida, onde a hipótese nula - H_0 : dados da variável em questão seguem uma dada distribuição, enquanto que a hipótese alternativa - H_1 : dados da variável em questão não seguem nenhuma distribuição conhecida, ou a distribuição assumida (quando a intenção é avaliar o ajuste ou não a uma distribuição pré-determinada). Na aplicação do teste de aderência ou de ajuste de distribuição, a hipótese nula H_0 é rejeitada se a estatística do teste (p-valor) observado exceder o valor crítico do nível de significância estipulado.

3.6 Coeficientes de Assimetria e Curtose de *Pearson*

Determinou-se para as séries de precipitação e temperatura o coeficiente de assimetria e curtose de *Pearson* para comprovação da não-normalidade dos dados.

Para determinação do coeficiente de Assimetria utilizou-se o modelo do Coeficiente de Pearson, onde:

$$AS = \frac{\bar{x} - x_{mo}}{s} \quad (4)$$

Em que:

AS = Coeficiente de Assimetria de Pearson;

\bar{X} = Média da distribuição;

x_{mo} = Moda da distribuição;

s = Desvio padrão da distribuição.

Se:

- $AS = 0$, diz-se que a distribuição é simétrica (Figura3);

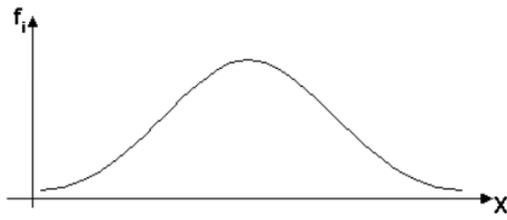


Figura 3 – Distribuição Simétrica (Média = Mediana = Moda)

- $AS > 0$, diz-se que a distribuição é assimétrica positiva (Figura 4);

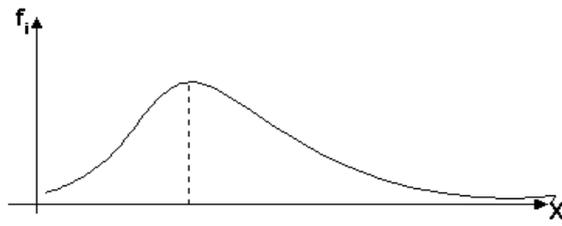


Figura 4 – Distribuição assimétrica positiva (Moda < Mediana < Média)

- $AS < 0$, diz-se que a distribuição é assimétrica negativa (Figura 5).

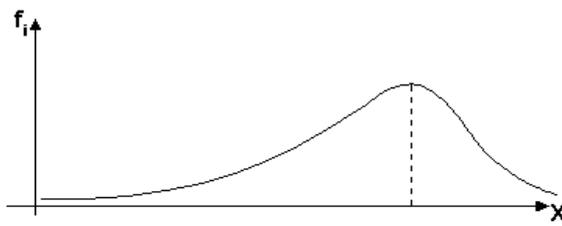


Figura 5 – Distribuição assimétrica negativa (Média < Mediana < Moda)

O coeficiente de Assimetria de *Pearson* nos permite uma comparação entre as distribuições encontradas, avaliando qual delas é mais ou menos assimétrica, quanto maior o coeficiente de Assimetria de *Pearson*, mais assimétrica é a curva, além disso podemos avaliar o grau de assimetria da distribuição, onde:

- Assimetria fraca se: $0 < |AS| < 0,15$
- Assimetria moderada se: $0,15 < |AS| < 1$
- Assimetria forte se: $|AS| > 1$

O coeficiente de Curtose de *Pearson* que é definido como o quociente entre amplitude semi-interquartílica e a amplitude entre 10^o e o 90^o percentis, sendo:

$$C_P = \frac{(\frac{Q_3 - Q_1}{2})}{P_{90} - P_{10}} \quad (5)$$

Em que:

C_P = Coeficiente de Curtose;

Q_1 = Primeiro quartil;

Q_3 = Terceiro quartil;

P_{10} = Décimo percentil;

P_{90} = Nonagésimo percentil.

O valor deste coeficiente para a curva normal é de 0,26367..., assim sendo, ao calcularmos o coeficiente de Curtose das distribuições encontradas, observam-se as seguintes possibilidades (Figura 6):

- Quando $C_P \approx 0,263$, diremos que a distribuição é **mesocúrtica**;
- Quando $C_P < 0,263$, diremos que a distribuição é **platicúrtica**;
- Quando $C_P > 0,263$, diremos que a distribuição é **leptocúrtica**.

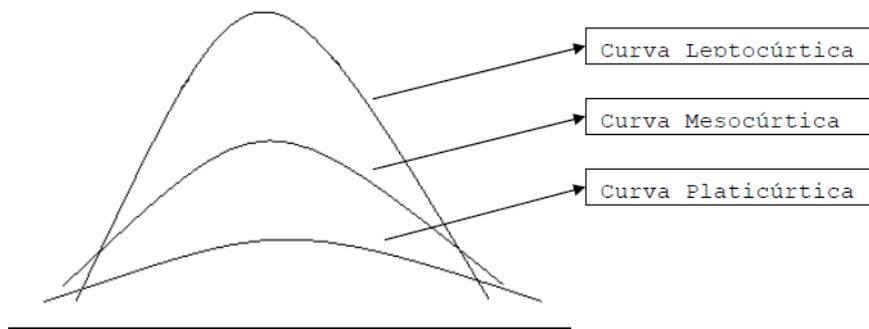


Figura 6 – Situações de Curtose possíveis graficamente

3.7 Testes de tendências das séries temporais

Aos dados de precipitação e temperatura foram aplicados os testes para a detecção de tendências significativas em séries temporais climatológicas, os testes de tendências podem ser classificados como métodos paramétricos e não-paramétricos, os testes paramétricos de tendência exigem que os dados sejam independentes e normalmente distribuídos, enquanto que os testes de tendência não-paramétricos exigem apenas que os dados sejam independentes, sem restrições para a distribuição dos dados (GOCIC; TRAJKOVIC, 2013).

Neste estudo foram utilizados dois métodos não-paramétricos o teste Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) e o Estimador de declive de Sen (SEN, 1968) para detectar as tendências das variáveis meteorológicas na totalidade das séries históricas e em função da sazonalidade com as avaliações mensal. Os softwares usados para as análise foram o Software XLSTAT para Windows versão 2016 e o Software R versão 3.3.1 (2016).

3.7.1 Teste de Mann-Kendall

Este é um teste não-paramétrico para avaliação de tendências de series temporais sem especificar se a tendência é linear ou não linear, no qual na hipótese da estabilidade de uma série temporal, os valores devem ser independentes, sendo, portanto, um teste robusto para influência de extremos, e insensível à falta de valores em séries incompletas. A estatística, o qual tem média zero e a variância (S) calculada como:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \operatorname{sgn}(X_j - X_k) \quad (6)$$

$$\operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x > 0 \\ 0, & \text{if } x = 0 \\ -1, & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$\operatorname{Var}(S) = [n(n-1)(2n+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5) / 18] \quad (8)$$

Em que:

X_j e X_k = valores sequencias;

n = tamanho da amostra;

t = a extensão do dado (período de tempo).

O padrão normal de variáveis z é computado como:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (9)$$

A hipótese nula (H_0) de não existir tendência na série é aceita $|Z| \leq \alpha_0 / 2$ se ao nível α_0 de significância do teste dos dois lados da tendência. Valores positivos de Z indicam tendências crescentes enquanto valores negativos de Z mostram tendências decrescentes. Os valores do teste estatístico foram calculados, e quando os valores situaram-se dentro dos limites de -1,96 a 1,96, a hipótese nula não foi rejeitada ao nível de significância de 1% e 5% de probabilidade usando-se um two-tailed test.

3.7.2 Estimador de declive de Sen (Sen's Slope)

Apesar do teste de Mann-Kendall permitir a detecção das tendências estatisticamente significativas, ele não fornece estimativas das magnitudes dessas tendências. Por esse motivo, a sua aplicação foi complementada por um estimador estatístico de tendência, designadamente, o Estimador de Declive de Sen, inicialmente proposto por Sen (1968).

O Estimador de declive de Sen determina a magnitude de uma tendência em uma série temporal, ou seja, se uma tendência linear estiver presente em uma série temporal, então a inclinação é verdadeira e pode ser estimada este método. Esta técnica é um método de classificação alinhado com procedimentos que primeiro removem o efeito da sazonalidade de cada dado, em seguida então somam-se os pares de pontos em um conjunto de dados da série temporal e, finalmente, produzem uma estatística a partir dessas somas. As estimativas de inclinação de N pares de dados são calculadas através da equação 10:

$$Q_{Méd} = \frac{X_j - X_k}{j - k} \quad \text{sendo, } i = 1, \dots, N \quad (10)$$

Em que:

X_j e X_k são os valores de dados temporais j e k ($j > k$), respectivamente. A mediana destes N valores de $Q_{Méd}$ é o estimador de inclinação de Sen.

Se houver apenas um dado em cada período de tempo, então $N = \frac{n(n-1)}{2}$, onde n é o número de períodos de tempo. Havendo múltiplas observações em um ou mais períodos de tempo, então $N < \frac{n(n-1)}{2}$, onde n é o número total de observações.

Os valores de N de $Q_{Méd}$ são classificados de menor a maior e a mediana de inclinação ou estimador de declive de Sen é calculada como:

$$Q_{Méd} = Q_{\frac{[N+1]}{2}} \quad , \text{ Se } N \text{ é ímpar.} \quad (11)$$

$$Q_{Méd} = Q_{\frac{N/2}} + Q_{\frac{[N+2]}{2}} \quad , \text{ Se } N \text{ é par.} \quad (12)$$

O sinal de $Q_{Méd}$ indica a tendência (crescente ou decrescente) dos dados, enquanto seu valor mostra a inclinação (magnitude) da tendência.

3.8 Teste de Pettitt

Para investigação se as séries temporais hidrológicas que foram estudadas apresentaram rupturas, foi utilizado o teste de Pettitt (1979) descrito em Back (2001)

que utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney, no qual se verifica se duas amostras X_1, \dots, X_t e X_{t+1}, \dots, X_T são da mesma população. A estatística $U_{t, T}$ faz uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que o membro da segunda, e pode ser escrita:

$$U_{t, T} = U_{t-1, T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(X_i - X_j) \quad \text{para } t = 2, \dots, T \quad (13)$$

Em que $\text{sgn}(x) = 1$ para $x > 0$; $\text{sgn}(x) = 0$ para $x = 0$; $\text{sgn}(x) = -1$ para $x < 0$.

A estatística $U_{t, T}$ é então calculada para os valores de $1 < t < T$, e a estatística $k(t)$ do teste de Pettitt se escreve:

$$k(t) = \text{MAX}_{1 \leq t \leq T} |U_{t, T}| \quad (14)$$

Esta estatística localiza o ponto onde houve uma mudança brusca na média de uma série temporal, e a sua significância pode ser calculada aproximadamente pela equação:

$$P \cong 2 \exp \{-6k(t^2) / (T^3 + T^2)\} \quad (15)$$

O ponto de mudança brusca é o t onde ocorre o máximo de $k(t)$. Os valores críticos de K podem ser calculados pela equação:

$$K_{\text{crit}} = \pm \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{P}{2}\right)(T^3 + T^2)}{6}} \quad (16)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Comportamento do regime pluviométrico em cidades do Sertão do Estado de Pernambuco

A Tabela 4 apresenta a precipitação média mensal e anual das séries Históricas das cidades em estudo. A partir das médias mensais de precipitação, para todas as cidades avaliadas ficou evidente uma distribuição irregular das mesmas, observando-se concentração das chuvas mensais em períodos de 3 a 5 meses do ano, iniciando-se eventualmente em dezembro, porém com maior expressão entre Janeiro e Abril, e enfraquecendo-se no mês de maio, salvo as exceções das cidades de Arcoverde-PE e Triunfo-PE.

Estas cidades apresentaram uma distribuição que difere das demais cidades analisadas, ambas sofrem influência da altitude e do fator orográfico, principalmente Triunfo-PE (1010 m), no caso de Arcoverde-PE (663 m) além da altitude, o fato de localizar-se em uma zona de transição climática entre o Agreste e o Sertão do Estado de Pernambuco, o que interfere na distribuição diferenciada da precipitação mensal.

O período crítico de estiagem para as cidades analisadas é entre os meses de junho a novembro, sendo os meses de Agosto, Setembro e Outubro os que registram as menores médias de precipitação mensal, no entanto algumas cidades como: Afrânio-PE; Belém de São Francisco-PE; Cabrobó-PE; Floresta-PE; Parnamirim-PE; Petrolândia-PE; Petrolina-PE; Salgueiro-PE e Santa Maria da Boa Vista-PE, apresentaram como média histórica de precipitação, já no mês de maio, chuvas abaixo de 30 mm, estas cidades concentram-se na mesorregião do Sertão do São Francisco, excetuando-se Parnamirim-PE e Salgueiro-PE que localizam-se na mesorregião denominada Alto Sertão, no entanto ambas fazem fronteira com o Sertão do São Francisco.

Também foram observadas as médias históricas anuais, onde podemos destacar as estações de Ipubi-PE com uma média de 845,8 mm em um período de 55 anos, esse registro opõe-se à média geral para o semiárido segundo Rocha (2009); Moura, et al. (2007) que fica entre 200 – 800 mm anuais, por outro lado, a estação localizada na cidade de Petrolândia-PE registrou em um período de 82 anos uma média anual de 400,2 mm, obviamente a variabilidade espaço-temporal que é característica do clima na região semiárida fica evidenciada por meio dos registros

Tabela 4 - Precipitação Média Mensal e Anual em (mm) com Desvio Padrão (σ) das Séries Históricas das Cidades em Estudo

ESTAÇÃO	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	ANUAL
1 Afogados da Ingazeira-PE	68,0 ± 75,5	101,7 ± 74,1	150,0 ± 105,1	121,7 ± 84,7	66,4 ± 63,5	36,1 ± 33,6	26,0 ± 28,0	9,8 ± 18,9	4,6 ± 10,5	10,2 ± 21,6	13,0 ± 22,5	30,4 ± 42,4	638,0 ± 262,0
2 Afrânio-PE	90,2 ± 95,5	84,5 ± 53,5	110,3 ± 71,6	75,2 ± 61,7	22,2 ± 17,0	10,5 ± 7,0	6,1 ± 4,7	4,8 ± 2,9	15,0 ± 9,8	35,5 ± 24,1	52,3 ± 42,9	66,0 ± 52,0	572,5 ± 174,4
3 Araripina-PE	116,3 ± 56,4	120,2 ± 51,4	170,2 ± 73,3	88,0 ± 63,8	37,4 ± 62,4	17,8 ± 47,9	12,0 ± 51,3	7,2 ± 29,7	9,9 ± 15,1	20,2 ± 20,6	47,9 ± 26,1	77,8 ± 39,7	724,8 ± 218,6
4 Arcoverde-PE	50,4 ± 56,4	61,5 ± 51,4	95,9 ± 73,3	86,8 ± 63,8	86,2 ± 62,4	72,2 ± 47,9	71,4 ± 51,6	37,9 ± 29,7	18,4 ± 15,0	24,2 ± 20,6	28,2 ± 26,1	38,4 ± 39,7	671,4 ± 207,4
5 Belém de São Francisco-PE	76,4 ± 98,6	65,4 ± 66,5	104,6 ± 91,0	58,5 ± 59,5	25,6 ± 36,1	11,6 ± 12,5	9,4 ± 9,1	3,5 ± 7,2	3,2 ± 6,9	7,1 ± 13,6	37,6 ± 56,1	47,7 ± 53,4	450,4 ± 204,8
6 Betânia-PE	67,8 ± 64,4	74,3 ± 59,9	122,9 ± 85,6	79,3 ± 60,2	40,2 ± 37,7	23,1 ± 24,6	17,9 ± 20,4	5,4 ± 7,5	7,1 ± 11,0	10,4 ± 16,6	23,1 ± 31,3	43,1 ± 44,4	514,6 ± 180,6
7 Bodocό-PE	115,4 ± 114,6	117,8 ± 109,9	146,4 ± 89,5	115,7 ± 112,6	46,2 ± 55,5	13,3 ± 11,5	12,6 ± 13,9	3,7 ± 6,6	4,8 ± 10,0	21,0 ± 27,2	48,3 ± 58,6	80,6 ± 84,2	725,8 ± 317,9
8 Cabrobό-PE	69,9 ± 64,1	82,2 ± 75,1	112,6 ± 82,3	72,2 ± 64,0	28,1 ± 31,6	14,1 ± 14,9	9,0 ± 10,9	3,1 ± 4,3	4,1 ± 11,2	10,4 ± 15,8	39,2 ± 40,7	55,8 ± 67,2	500,6 ± 202,8
9 Custόdia -PE	73,7 ± 72,8	105,9 ± 74,7	168,2 ± 138,2	132,0 ± 87,4	85,7 ± 69,8	58,0 ± 46,0	39,9 ± 38,5	16,6 ± 17,7	13,8 ± 19,1	13,9 ± 21,8	27,4 ± 33,0	34,6 ± 34,0	769,6 ± 275,9
10 Exu-PE	104,5 ± 82,1	122,0 ± 91,6	159,9 ± 88,4	106,0 ± 90,5	74,0 ± 71,5	33,3 ± 31,5	25,3 ± 34,0	12,0 ± 20,1	7,3 ± 15,3	21,5 ± 38,3	40,6 ± 49,4	61,1 ± 55,6	767,7 ± 310,3
11 Flores-PE	82,7 ± 75,1	115,4 ± 82,2	163,2 ± 105,4	126,9 ± 82,7	69,0 ± 56,0	35,3 ± 37,7	25,6 ± 27,7	9,7 ± 14,4	8,2 ± 14,5	14,4 ± 25,6	26,4 ± 36,4	37,6 ± 43,8	714,4 ± 265,7
12 Floresta-PE	67,5 ± 74,8	83,9 ± 76,6	120,0 ± 94,5	67,0 ± 61,0	25,9 ± 23,9	17,8 ± 21,2	12,5 ± 13,2	3,9 ± 4,8	5,4 ± 10,9	9,2 ± 17,6	21,4 ± 28,7	51,5 ± 60,1	486,0 ± 208,8
13 Ibirimir-PE	54,2 ± 64,5	76,8 ± 66,7	128,7 ± 109,5	100,8 ± 103,8	61,2 ± 58,4	37,9 ± 44,6	27,9 ± 34,5	11,4 ± 21,7	5,7 ± 11,8	11,3 ± 21,0	21,7 ± 27,6	38,8 ± 42,7	576,5 ± 270,3
14 Iguaraci-PE	78,6 ± 79,0	100,9 ± 73,4	164,7 ± 116,7	139,4 ± 107,1	75,5 ± 59,4	46,9 ± 32,3	32,2 ± 31,0	15,7 ± 24,8	11,2 ± 14,6	13,5 ± 20,6	22,5 ± 25,1	41,9 ± 48,3	743,1 ± 310,5
15 Inajá-PE	52,6 ± 55,6	49,9 ± 50,5	82,7 ± 75,8	50,0 ± 49,0	35,0 ± 33,5	31,7 ± 24,4	32,5 ± 23,0	15,1 ± 14,1	8,7 ± 12,4	9,1 ± 14,4	22,2 ± 25,6	37,9 ± 51,1	427,4 ± 172,2
16 Ipubi-PE	128,7 ± 106,2	135,0 ± 109,7	194,2 ± 142,7	116,8 ± 124,7	54,1 ± 55,8	30,6 ± 36,5	21,6 ± 26,0	6,5 ± 9,6	11,7 ± 19,6	17,2 ± 19,1	49,6 ± 43,5	79,7 ± 66,7	845,8 ± 362,3
17 Itapetim-PE	81,8 ± 70,9	114,8 ± 148,1	143,7 ± 95,2	137,0 ± 125,4	68,4 ± 68,8	41,1 ± 36,5	29,7 ± 24,9	12,9 ± 19,8	5,9 ± 9,6	16,8 ± 29,1	12,2 ± 17,0	34,8 ± 39,2	698,9 ± 363,1
18 Ouricuri-PE	91,9 ± 80,9	99,0 ± 84,1	137,3 ± 112,0	90,4 ± 79,1	36,2 ± 57,6	12,8 ± 19,4	8,8 ± 10,9	3,4 ± 7,3	5,6 ± 15,4	20,3 ± 31,0	38,4 ± 49,5	63,2 ± 57,8	607,2 ± 261,8
19 Pamamirim-PE	87,9 ± 78,7	104,1 ± 69,1	132,5 ± 89,6	78,8 ± 71,1	29,2 ± 33,1	11,7 ± 14,5	9,5 ± 12,8	3,1 ± 5,2	4,7 ± 11,0	13,5 ± 25,3	32,6 ± 44,9	59,3 ± 59,9	566,7 ± 200,6
20 Petrolândia-PE	54,4 ± 55,5	50,4 ± 50,3	82,4 ± 82,8	45,3 ± 51,9	28,9 ± 27,0	25,6 ± 23,2	21,1 ± 21,6	7,7 ± 7,2	8,9 ± 20,9	7,2 ± 11,1	28,6 ± 28,9	39,7 ± 44,2	400,2 ± 178,3
21 Petrolina-PE	71,6 ± 77,1	81,3 ± 81,2	97,4 ± 90,3	53,1 ± 58,6	8,7 ± 16,2	6,0 ± 14,3	3,4 ± 6,1	2,0 ± 4,2	3,8 ± 9,3	11,6 ± 22,3	42,6 ± 45,7	57,4 ± 56,5	438,8 ± 198,2
22 Salgueiro-PE	92,0 ± 71,9	103,3 ± 72,3	147,5 ± 96,7	83,8 ± 65,5	29,2 ± 35,1	10,6 ± 13,9	9,2 ± 12,2	3,6 ± 6,5	6,1 ± 12,0	14,5 ± 22,6	31,8 ± 37,1	56,2 ± 53,1	587,8 ± 191,2
23 Santa Maria da Boa Vista-PE	73,0 ± 86,7	78,8 ± 64,6	110,5 ± 103,1	62,1 ± 66,7	22,6 ± 27,8	8,2 ± 10,2	6,3 ± 11,6	2,0 ± 5,1	2,5 ± 6,3	13,4 ± 24,8	31,3 ± 40,0	52,0 ± 50,6	463,6 ± 231,3
24 São José do Belmonte-PE	95,4 ± 83,3	114,8 ± 82,5	163,3 ± 117,5	105,0 ± 80,7	36,2 ± 36,9	19,8 ± 19,9	12,6 ± 16,1	3,0 ± 5,7	4,4 ± 9,1	10,6 ± 18,1	31,0 ± 41,0	46,5 ± 49,2	642,6 ± 256,6
25 São José do Egito-PE	57,8 ± 62,6	82,1 ± 75,6	119,5 ± 95,3	109,7 ± 87,2	59,6 ± 59,2	33,5 ± 36,4	20,1 ± 24,1	6,6 ± 14,6	3,4 ± 9,1	6,4 ± 16,3	8,1 ± 15,6	24,8 ± 37,6	531,5 ± 287,4
26 Serra Talhada-PE	83,3 ± 82,4	106,1 ± 77,9	146,6 ± 96,5	101,8 ± 68,8	48,9 ± 45,8	27,5 ± 28,9	16,7 ± 18,3	7,4 ± 16,4	5,1 ± 11,3	12,7 ± 22,4	28,0 ± 38,6	50,1 ± 50,7	634,3 ± 240,3
27 Serrita-PE	91,1 ± 72,1	100,4 ± 70,3	141,5 ± 115,3	96,9 ± 78,7	40,4 ± 49,8	12,5 ± 12,7	9,9 ± 13,9	3,0 ± 5,5	3,5 ± 6,6	13,3 ± 18,5	37,9 ± 51,5	65,0 ± 61,0	615,4 ± 240,0
28 Sertânia-PE	53,6 ± 59,1	74,9 ± 59,3	121,1 ± 94,2	97,8 ± 73,7	55,7 ± 49,4	32,2 ± 30,4	22,2 ± 26,3	9,8 ± 13,1	7,4 ± 13,1	16,6 ± 22,7	17,7 ± 26,2	29,3 ± 41,1	538,3 ± 215,1
29 Triunfo-PE	110,7 ± 86,4	153,8 ± 108,9	209,5 ± 124,8	184,8 ± 117,3	146,0 ± 115,4	120,9 ± 82,8	97,0 ± 59,1	46,8 ± 44,3	22,1 ± 24,8	30,4 ± 34,4	37,7 ± 39,9	57,6 ± 51,1	1217,2 ± 377,7
30 Verdejante-PE	84,6 ± 75,0	111,2 ± 114,5	127,3 ± 76,5	98,1 ± 100,9	27,7 ± 34,0	14,3 ± 25,7	8,9 ± 16,0	3,9 ± 11,7	5,2 ± 12,7	8,7 ± 12,4	18,5 ± 24,9	43,0 ± 48,5	551,5 ± 297,3

históricos mensais e anuais, além disso outro fator que devemos levar em consideração é o tamanho da série que influencia nesses valores médios históricos.

A variabilidade interanual (sazonal) característica da precipitação na região semiárida do Nordeste está associada a variações de padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os oceanos tropicais, que afetam a posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o oceano atlântico, que contribui com ocorrência ou não de chuvas na região (HASTENRATH; HELLER, 1977; HASTENRATH, 1984; MOURA; SHUKLA, 1981), sendo assim, a ocorrência de baixos valores totais anuais pluviométricos durante o período chuvoso (Dezembro-Maio), está intimamente relacionado com variabilidade interanual nos registros de precipitação.

Em estudos específicos sobre clima no semiárido nordestino desenvolvidos pelo NAE (2005), Kayano e Andreoli (2009), Marengo et al. (2011), foram discutidos aspectos importantes sobre o regime hídrico e a vulnerabilidade desta região aos extremos da variabilidade de clima, onde os autores reiteram que a ocorrência de veranicos dentro do período chuvoso, dependendo da intensidade e da duração podem provocar sérios danos à agricultura local.

Os registros médios históricos confirmaram essa variabilidade interanual da precipitação, além disso pode-se observar uma alta variabilidade intrassazonal no regime pluviométrico através do desvio padrão (σ) na tabela anterior, onde encontramos valores maiores que a média histórica para alguns meses, sejam eles do período chuvoso ou do período de estiagem. Segundo Kayano e Andreoli (2009), a região semiárida do Brasil é a que apresenta a maior variabilidade intrassazonal na América do Sul.

As séries históricas além de nos permitir uma análise sobre os registros médios, também nos forneceram subsídios para visualizar a ocorrência de eventos extremos (máxima e mínima) de precipitação.

Na Tabela 5 podemos observar através dos registros de precipitação mínima e máxima das séries históricas, que mesmo no período chuvoso (Dezembro-Maio) eventualmente não ocorreram registros de precipitação, bem como no período de estiagem em algum momento da série temporal houve registros de precipitação que não são esperados para estes meses do ano, isto apenas reforça a alta variabilidade intrassazonal referenciada para toda região semiárida, confirmando-se nos dados históricos das cidades analisadas do Sertão do estado de Pernambuco.

Tabela 5 - Precipitação máxima e mínima em (mm) mensal e anual, e coeficiente de variação (CV) das séries históricas

Estação	Janeiro			Fevereiro			Março			Abril			Maio			Junho			Julho			Agosto			Setembro			Outubro			Novembro			Dezembro			ANUAL		
	P _{máx}	P _{mín}	CV																																				
1 Afogados da Ingazeira-PE	483,0	0,0	1,1	345,9	0,0	0,7	462,0	1,3	0,7	462,4	0,0	0,7	305,2	0,0	1,0	168,2	0,0	0,9	127,0	0,0	1,1	133,0	0,0	1,9	77,6	0,0	2,3	144,2	0,0	2,1	92,8	0,0	1,7	232,6	0,0	1,4	1279,0	153,6	0,4
2 Afrânio-PE	580,8	7,1	1,1	257,9	4,2	0,6	339,0	4,1	0,6	383,4	5,2	0,8	86,0	0,3	0,8	41,9	0,3	0,7	39,6	0,3	0,8	21,4	0,2	0,6	74,4	0,4	0,7	127,2	1,4	0,7	261,7	0,5	0,8	292,6	2,3	0,8	1185,5	197,5	0,3
3 Araripina-PE	431,0	2,8	0,7	462,1	6,0	0,7	725,8	20,0	0,6	304,3	4,8	0,7	135,6	1,1	0,8	61,2	1,3	0,7	74,8	1,0	1,0	81,0	0,2	1,4	49,5	0,3	0,8	66,0	0,3	0,7	269,5	1,4	0,8	278,7	2,0	0,7	1486,5	282,7	0,3
4 Arcoverde-PE	343,8	0,2	1,1	282,1	0,1	0,8	337,0	0,4	0,8	317,8	2,1	0,7	383,3	0,5	0,7	213,4	2,1	0,7	344,9	2,0	0,7	149,6	0,8	0,8	70,4	0,2	0,8	107,0	0,6	0,8	199,1	0,1	0,9	281,5	0,2	1,0	1182,7	309,2	0,3
5 Belém de São Francisco-PE	673,8	0,0	1,3	295,3	0,0	1,0	365,3	0,0	0,9	303,6	0,0	1,0	203,5	0,0	1,4	68,3	0,0	1,1	32,0	0,0	1,0	61,8	0,0	2,1	34,4	0,0	2,1	63,0	0,0	1,9	290,1	0,0	1,5	244,2	0,0	1,1	1200,5	58,5	0,5
6 Betânia-PE	370,0	0,0	0,9	248,6	0,0	0,8	429,4	5,4	0,7	274,4	0,0	0,8	172,5	0,0	0,9	164,0	0,0	1,1	92,0	0,0	1,1	39,0	0,0	1,4	67,8	0,0	1,5	99,8	0,0	1,6	147,0	0,0	1,3	213,3	0,0	1,0	977,5	141,5	0,3
7 Bodocó-PE	616,6	0,0	1,0	578,5	0,0	0,9	421,1	2,1	0,6	692,1	0,0	1,0	315,1	0,0	1,2	45,2	0,0	0,9	64,3	0,0	1,1	45,4	0,0	1,8	70,0	0,0	2,1	129,2	0,0	1,3	383,3	0,0	1,2	493,8	0,0	1,0	2187,7	276,9	0,4
8 Cabrobó-PE	351,0	0,0	0,9	371,4	0,0	0,9	376,5	0,1	0,7	261,6	0,0	0,9	165,8	0,0	1,1	74,4	0,0	1,1	77,2	0,0	1,2	25,8	0,0	1,4	76,8	0,0	2,8	78,7	0,0	1,5	217,1	0,0	1,0	534,8	0,0	1,2	1275,7	129,2	0,4
9 Custódia -PE	415,1	4,6	1,0	358,1	0,3	0,7	909,8	0,0	0,8	461,6	7,2	0,7	348,3	0,0	0,8	270,3	0,0	0,8	227,6	0,0	1,0	86,9	0,0	1,1	89,7	0,0	1,4	152,0	0,0	1,6	179,7	0,0	1,2	177,3	0,0	1,0	1769,2	189,2	0,4
10 Exu-PE	494,5	0,0	0,8	443,1	0,0	0,7	407,1	0,0	0,5	478,0	0,0	0,8	424,0	0,0	1,0	158,8	0,0	0,9	201,8	0,0	1,3	143,9	0,0	1,7	93,8	0,0	2,1	200,0	0,0	1,8	261,3	0,0	1,2	298,6	0,0	0,9	1882,1	189,0	0,4
11 Flores-PE	444,9	0,0	0,9	303,3	0,0	0,7	563,8	1,7	0,6	358,0	0,0	0,6	256,8	0,0	0,8	180,2	0,0	1,1	152,7	0,0	1,1	65,3	0,0	1,5	96,2	0,0	1,8	117,6	0,0	1,8	170,1	0,0	1,4	190,0	0,0	1,2	1471,9	207,4	0,4
12 Floresta-PE	376,4	0,0	1,1	346,1	0,0	0,9	447,8	0,0	0,8	299,9	0,0	0,9	101,6	0,0	0,9	123,4	0,0	1,2	67,0	0,0	1,1	21,6	0,0	1,2	73,1	0,0	2,0	77,0	0,0	1,9	133,0	0,0	1,3	276,2	0,0	1,2	1218,8	113,2	0,4
13 Ibirimir-PE	341,4	0,0	1,2	271,3	0,0	0,9	508,2	0,0	0,8	770,4	0,0	1,0	244,8	0,0	0,9	223,4	0,0	1,2	179,0	0,0	1,2	116,9	0,0	1,9	61,3	0,0	2,0	110,6	0,0	1,8	116,5	0,0	1,3	264,0	0,0	1,1	1642,8	39,3	0,5
14 Iguaraci-PE	454,7	0,0	1,0	287,6	2,2	0,7	427,6	6,0	0,7	510,8	7,0	0,8	246,1	0,0	0,8	120,4	0,0	0,7	129,6	0,0	1,0	120,8	0,0	1,6	64,8	0,0	1,3	107,2	0,0	1,5	101,0	0,0	1,1	306,8	0,0	1,1	1827,7	292,7	0,4
15 Inajá-PE	287,3	0,0	1,1	229,7	0,0	1,0	327,6	0,0	0,9	234,2	0,0	1,0	176,0	0,0	1,0	139,0	0,0	0,8	104,3	0,0	0,7	65,5	0,0	0,9	71,8	0,0	1,4	72,5	0,0	1,6	100,4	0,0	1,1	371,6	0,0	1,3	1007,2	122,2	0,4
16 Ipubi-PE	502,9	6,4	0,8	452,9	0,0	0,8	858,6	7,5	0,7	550,4	3,2	1,1	346,4	0,0	1,0	152,0	0,0	1,2	117,4	0,0	1,2	47,0	0,0	1,5	95,0	0,0	1,7	80,5	0,0	1,1	205,3	0,0	0,9	276,7	0,0	0,8	2001,6	280,9	0,4
17 Itapetim-PE	390,0	0,0	0,9	932,6	0,0	1,3	383,2	0,0	0,7	711,6	8,0	0,9	341,0	0,0	1,0	135,0	0,0	0,9	120,0	0,0	0,8	99,0	0,0	1,5	49,0	0,0	1,6	153,0	0,0	1,7	90,6	0,0	1,4	194,8	0,0	1,1	2449,2	204,5	0,5
18 Ouricuri-PE	598,5	0,0	0,9	393,5	0,0	0,8	717,0	0,0	0,8	431,3	0,0	0,9	495,6	0,0	1,6	153,1	0,0	1,5	52,0	0,0	1,2	62,0	0,0	2,1	115,0	0,0	2,7	170,6	0,0	1,5	285,0	0,0	1,3	295,7	0,0	0,9	1521,9	148,7	0,4
19 Parnamirim-PE	488,7	0,0	0,9	310,8	0,0	0,7	447,0	0,0	0,7	283,0	0,0	0,9	178,6	0,0	1,1	69,4	0,0	1,2	74,6	0,0	1,3	25,9	0,0	1,7	57,1	0,0	2,3	170,9	0,0	1,9	304,5	0,0	1,4	292,8	0,0	1,0	1235,6	160,2	0,4
20 Petrolândia-PE	309,8	0,0	1,0	216,0	0,0	1,0	363,6	0,0	1,0	234,3	0,0	1,1	137,0	0,0	0,9	152,0	0,0	0,9	169,4	0,0	1,0	36,6	0,0	0,9	170,1	0,0	2,3	59,0	0,0	1,5	124,5	0,0	1,0	257,0	0,0	1,1	932,8	83,9	0,4
21 Petrolina-PE	465,5	0,0	1,1	392,1	0,0	1,0	375,3	0,0	0,9	302,5	0,0	1,1	96,9	0,0	1,9	123,5	0,0	2,4	33,1	0,0	1,8	26,3	0,0	2,1	66,6	0,0	2,5	121,2	0,0	1,9	196,7	0,0	1,1	324,4	0,0	1,0	1059,6	57,6	0,4
22 Salgueiro-PE	428,4	0,0	0,8	339,2	0,0	0,7	527,5	7,6	0,7	271,2	0,0	0,8	201,0	0,0	1,2	75,4	0,0	1,3	57,5	0,0	1,3	48,0	0,0	1,8	70,4	0,0	1,9	113,7	0,0	1,6	197,4	0,0	1,2	252,4	0,0	0,9	1145,3	219,8	0,3
23 Santa Maria da Boa Vista-PE	453,8	0,0	1,2	294,5	0,0	0,8	793,0	0,0	0,9	279,2	0,0	1,1	131,6	0,0	1,2	51,9	0,0	1,2	84,0	0,0	1,8	41,4	0,0	2,5	36,7	0,0	2,4	121,2	0,0	1,8	251,4	0,0	1,3	231,3	0,0	1,0	1367,7	73,5	0,5
24 São José do Belmonte-PE	575,0	0,0	0,9	462,8	0,0	0,7	712,7	0,0	0,7	404,6	0,0	0,8	246,7	0,0	1,0	98,9	0,0	1,0	74,5	0,0	1,3	31,1	0,0	1,9	64,4	0,0	2,1	85,3	0,0	1,7	266,1	0,0	1,3	270,6	0,0	1,1	1445,6	157,0	0,4
25 São José do Egito-PE	287,0	0,0	1,1	351,5	0,0	0,9	465,3	0,0	0,8	439,0	0,0	0,8	322,0	0,0	1,0	176,9	0,0	1,1	103,2	0,0	1,2	115,0	0,0	2,2	70,5	0,0	2,6	142,8	0,0	2,5	95,0	0,0	1,9	210,5	0,0	1,5	1306,8	15,9	0,5
26 Serra Talhada-PE	517,8	0,0	1,0	477,0	0,0	0,7	434,0	0,0	0,7	345,1	0,0	0,7	219,3	0,0	0,9	141,6	0,0	1,0	72,0	0,0	1,1	112,1	0,0	2,2	100,4	0,0	2,2	123,4	0,0	1,7	165,7	0,0	1,4	246,9	0,0	1,0	2331,6	260,3	0,4
27 Serrita-PE	496,5	0,0	0,8	354,0	2,4	0,7	831,1	0,0	0,8	293,2	0,0	0,8	340,5	0,0	1,2	59,9	0,0	1,0	77,5	0,0	1,4	29,5	0,0	1,8	40,6	0,0	1,9	99,2	0,0	1,4	301,4	0,0	1,4	292,0	0,0	0,9	1544,1	238,0	0,4
28 Sertânia-PE	391,0	0,0	1,1	242,7	0,0	0,8	437,0	0,0	0,8	369,8	0,0	0,8	229,0	0,0	0,9	131,6	0,0	0,9	136,5	0,0	1,2	57,0	0,0	1,3	82,9	0,0	1,8	103,5	0,0	1,4	165,1	0,0	1,5	267,0	0,0	1,4	1293,1	174,7	0,4
29 Triunfo-PE	443,9	3,2	0,8	669,0	0,0	0,7	695,2	6,7	0,6	596,2	0,0	0,6	715,6	0,0	0,8	621,1	0,0	0,7	321,0	4,2	0,6	269,2	0,0	0,9	113,3	0,0	1,1	213,8	0,0	1,1	214,0	0,0	1,1	271,1	0,0	0,9	2331,6	260,3	0,3
30 Verdejante-PE	434,9	1,6	0,9	592,7	0,0	1,0	278,0	0,0	0,6	434,3	0,0	1,0	182,6	0,0	1,2	166,9	0,0	1,8	80,7	0,0	1,8	87,2	0,0	3,0	90,3	0,0	2,4	63,0	0,0	1,4	149,1	0,0	1,3	222,6	0,0	1,1	2209,6	189,9	0,5

Pode-se observar também nos registros de precipitação máxima a ocorrência de grandes volumes pluviométricos, onde registros observados em apenas um mês superaram a média de precipitação para todo ano, apenas as cidades de Arcoverde-PE e Triunfo-PE, por apresentarem uma distribuição distinta das demais cidades, em função da altitude (Arcoverde-PE e Triunfo-PE) e da zona de transição Sertão-Agreste (Arcoverde-PE), diferiram das demais cidades do sertão de Pernambuco neste sentido.

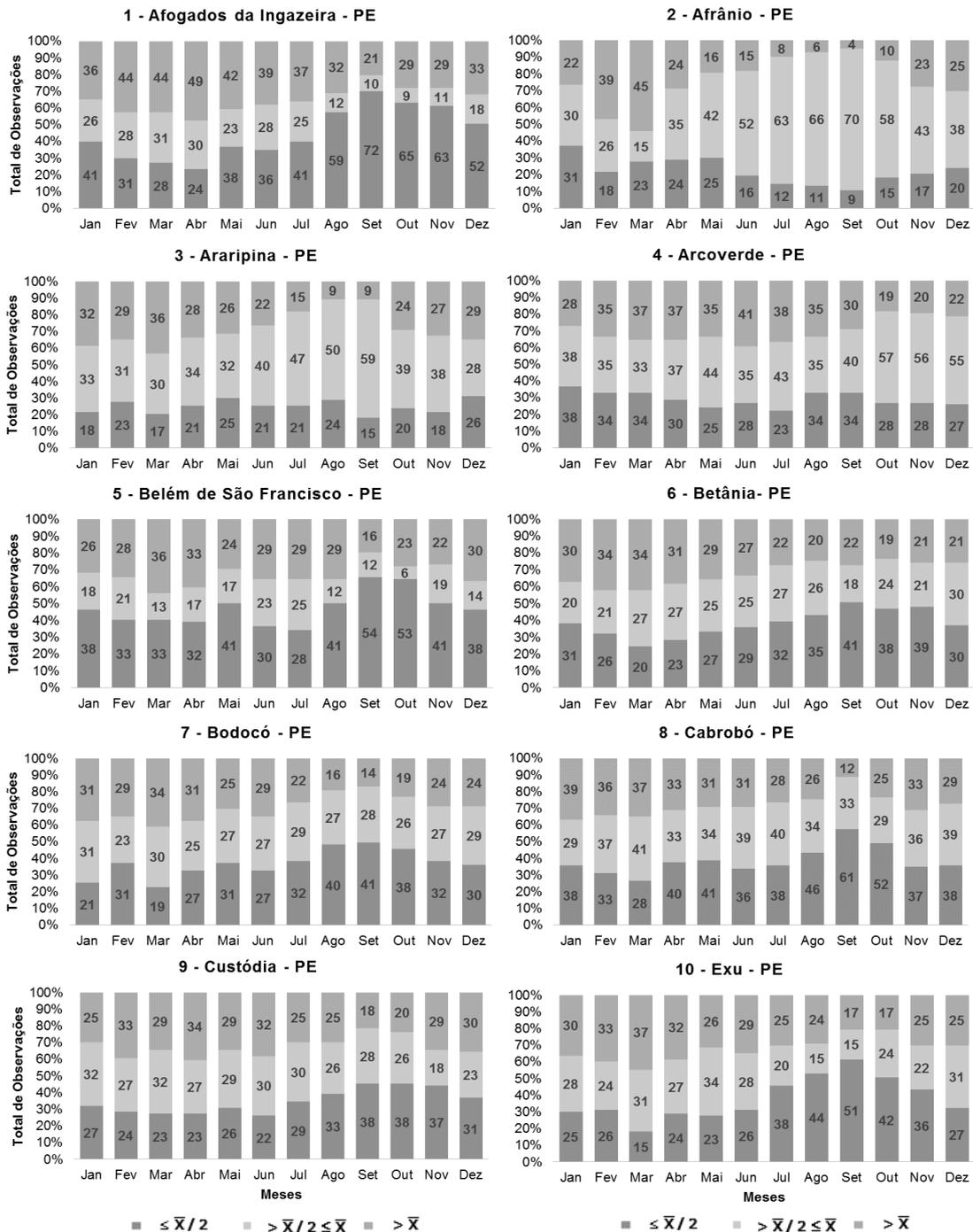
Essa característica do regime hídrico na região semiárida está intimamente relacionada com a presença e a intensidade dos sistemas climáticos atuantes na região, onde o mais importante sistema causador de chuvas na região é a ZCIT, diversos outros fatores também contribuem para modular a variabilidade da precipitação sobre a América do Sul e áreas adjacentes como, por exemplo, a variabilidade da TSM (Temperatura da Superfície do Mar) do Oceano Pacífico tropical através dos fenômenos *El ninõ* e *La niña* e da atuação do Dipolo do Atlântico no posicionamento da ZCIT (MARENGO et al., 2011). Normalmente, anomalias nas TSMs desses oceanos estão associadas a mudanças na circulação atmosférica e, conseqüentemente, a flutuações interanuais na precipitação do Nordeste do Brasil.

Os eventos extremos (secas e enchentes) nesta região além de afetar diretamente os recursos hídricos, podem ser desastrosos e provocar grandes prejuízos socioeconômicos e ambientais, estudos realizados por Lacerda et al., (2009) na microrregião do Pajeú, no Sertão de Pernambuco, mostram haver aumento dos dias secos, do comprimento médio dos veranicos e dos máximos veranicos, os autores definiram veranicos como sendo o número de dias consecutivos sem chuva considerando-se todos os valores da série menores ou iguais a 5 mm. Além disso, as análises de tendência das séries de precipitação evidenciaram que eventos de precipitações extremas estão aumentando.

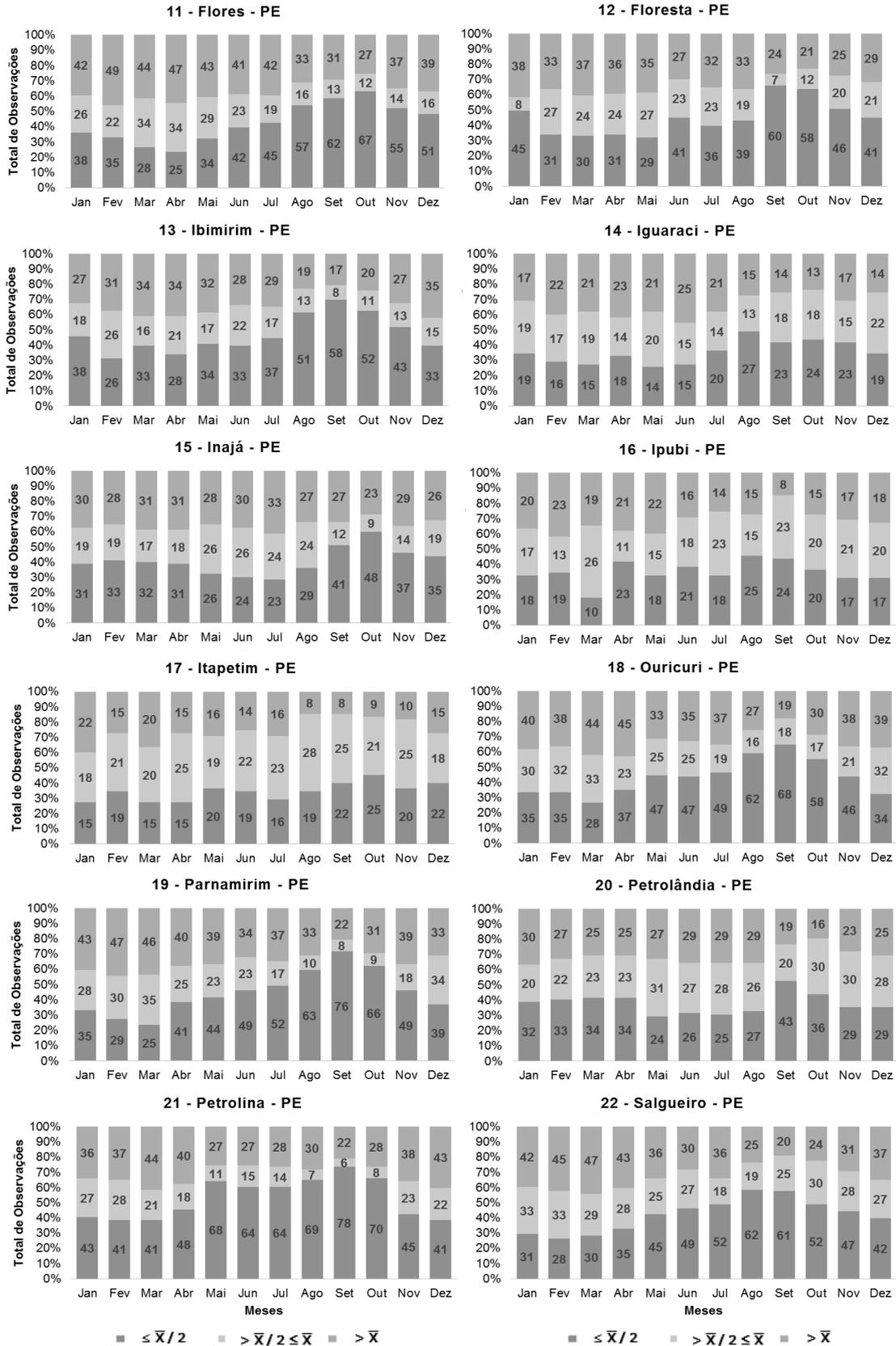
A análise de eventos extremos de precipitação consiste em uma ferramenta interessante no estudo da hidrologia, principalmente no suporte de planejamentos hídricos, tais como: abastecimento e condução de água para usos múltiplos, dimensionamento de obras hidráulicas para controle de cheias, drenagem urbana e do solo, modelagem e controle de erosão do solo (MELLO et al., 2008; RIBEIRO et al., 2011).

4.2 Análise de frequência da distribuição da precipitação

Levando em consideração a sazonalidade do regime pluviométrico da região semiárida efetuou-se um estudo de frequência da distribuição pluviométrica das séries históricas mensais (Figura 7), através da classificação dos valores médios de precipitação em três classes tendo como referência a média mensal, no intuito de demonstrar os padrões de distribuição da precipitação nesta região.



Cont.



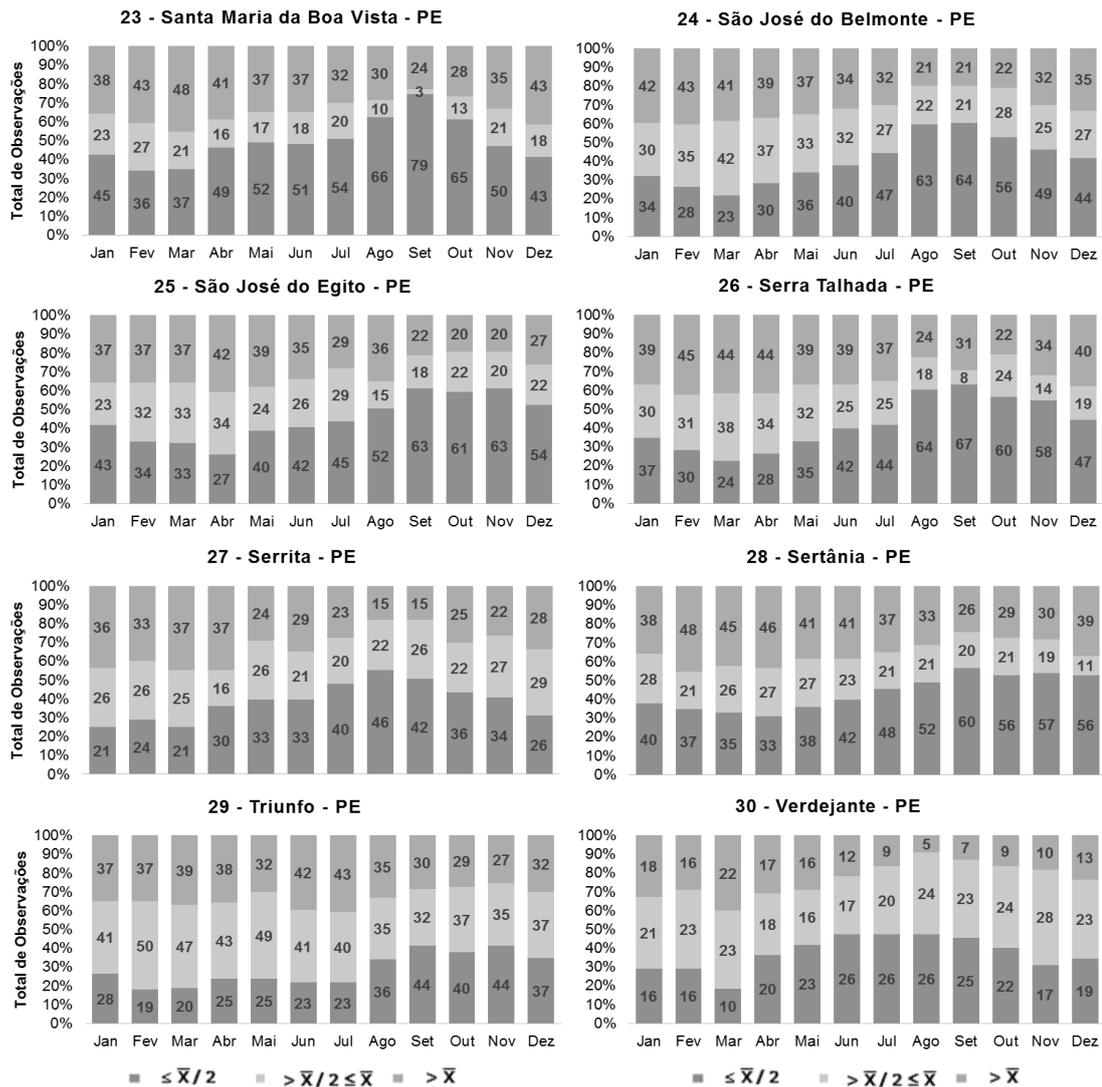


Figura 7 – Histogramas de distribuição e percentual de frequência em séries históricas de precipitação de cidades do sertão do Estado de Pernambuco

De acordo com a análise de frequência de distribuição do regime pluviométrico observou-se para todas as cidades uma maior ocorrência de precipitação abaixo da média dentro da série histórica analisada para o período chuvoso (Dezembro-Maio), equivalente a mais de 50% do total de observações de toda série histórica, ou seja, dentro dos intervalos que correspondem a valores menores ou iguais a 50% da média ($\leq \bar{X} / 2$) e entre valores acima de 50% da média e a média histórica ($> \bar{X} / 2 \leq \bar{X}$) do mês correspondente, apenas a cidade de Afrânio-PE que apresentou para o mês de Março aproximadamente 46% dos valores médios mensais dentro do intervalo citado anteriormente.

Registros de precipitação acima da média ($> \bar{X}$) no período chuvoso (Dezembro-Maio) para todas as cidades representaram 30-40% do total de observações das

séries históricas, apenas as cidades de Arcoverde-PE (21,15%), Iguaraci-PE (25,45%), Itapetim-PE (27,27%) e Verdejante-PE (23,63%) diferiram das demais em relação ao mês de Dezembro, que em alguns anos representa o início das chuvas na região. A cidade de Afrânio-PE apresentou aproximadamente 47 e 55% de registros acima do valor médio para os meses de Fevereiro e Março, respectivamente.

O período chuvoso (Dezembro – Maio) no Sertão de Pernambuco, bem como para outras cidades do semiárido nordestino contribui com mais de 80% do total anual de precipitação, diferente de regiões com melhor distribuição anual da precipitação, como o Agreste que possui também baixa precipitação anual, porém melhor distribuída, e a região da Zona da Mata e Litoral com alto índice de precipitação e boa distribuição durante o ano.

Segundo Marengo (2008) estatisticamente, acontecem em média de 18 a 20 anos de seca dentro de um período de 100 anos na região semiárida, sendo o século XX um dos mais áridos, registrando nada menos que 27 anos de estiagem. Levando-se em consideração para as cidades observadas da região do Sertão de Pernambuco, que, em anos com registros médios de precipitação mensal dentro do período chuvoso (Dezembro – Maio) com valores abaixo da média representam alta probabilidade de seca, o número médio de anos de seca pode ser ainda maior.

Neste sentido a ocorrência de chuvas abaixo da média representam dificuldades hídricas para a região, e a escassez de água em anos de seca impactam diretamente as atividades humanas, causando problemas no abastecimento dos reservatórios, inviabilizando a agricultura local, gerando assim problemas sociais e econômicos (Michaelides et al., 2009).

4.3 Função distribuição de probabilidade das séries históricas de precipitação mensal e anual

O melhor aproveitamento do recurso hídrico proveniente de precipitação exige o conhecimento adequado do comportamento do regime pluviométrico, principalmente no que diz respeito às probabilidades de ocorrência das chuvas, além da análise de frequência o uso das funções de distribuição de probabilidade (CATALUNHA et al., 2002; SILVA et al., 2013). Segundo os autores o uso de funções de distribuição de probabilidade está diretamente ligado à natureza dos dados a que a função se relaciona, ou seja, algumas têm boa capacidade de estimativa para um

número pequeno de dados, enquanto outras necessitam de uma série maior de observações.

Encontrar a melhor distribuição de ajuste para dados climáticos da região semiárida do Brasil permitiu-nos um mapeamento das funções de distribuição de probabilidade de precipitação mensal e anual para cada cidade analisada do Sertão do Estado de Pernambuco (Tabela 6), no entanto, a seleção da distribuição com melhor ajustamento não é uma tarefa fácil, pois há muitas distribuições possíveis que poderiam ser usadas. Além disso, existem muitos métodos de estimação de parâmetros disponíveis que poderiam ser aplicados com uma distribuição de probabilidade selecionada (HADDAD; RAHMAN 2011).

A variabilidade do regime pluviométrico nas cidades analisadas do Sertão do Estado de Pernambuco ficou evidenciada no ajuste das funções que melhor representaram mensalmente e anualmente os valores médios de precipitação para as séries históricas de cada cidade. Observando os resultados (Tabela 4) verificou-se uma predominância de um melhor ajuste para a função de distribuição Weibull (tipo 3) no período chuvoso (Dezembro – Maio), a mesma distribuição também foi encontrada eventualmente em algumas cidades durante o período de estiagem na região, porém na maioria dos casos durante este período os dados amostrais não se ajustaram a nenhuma das distribuições avaliadas.

Analisando a distribuição de probabilidade em séries de precipitação de 76 anos (1913 – 1989) para cidades da região Centro-Sul do Estado do Ceará, Silva et al. (2013) também encontrou uma grande diversificação mensal e anual de funções que se ajustaram aos dados de chuvas para aquela região, porém diferentemente do ajuste encontrado para as cidades do sertão do estado de Pernambuco, no estudo feito no Ceará houve uma predominância da distribuição Gumbel em 90% dos postos de observação no mês de Abril e 50% dos postos em janeiro, a distribuição Weibull foi verificada em 60% dos postos para Fevereiro e 50% dos postos no mês de Maio, na ocasião foram as únicas distribuições que apresentaram boa aderência em todos os meses do período chuvoso daquela região (Janeiro – Maio).

Tabela 6 - Funções de distribuição de probabilidade que melhor se ajustaram a precipitação mensal e anual das séries históricas das cidades em estudo, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) com nível de 5% de probabilidade

Estação	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	ANUAL
1 Afogados da Ingazeira-PE	We ₃ (0,976)	Fr (0,902)	We ₃ (0,993)	We ₃ (0,872)	We ₃ (0,946)	We ₃ (0,941)	Be ₄ (0,129)	*	*	*	*	*	Ga ₂ (0,996)
2 Afrânio-PE	LN (0,301)	Fr (0,557)	Lo (0,623)	Ga ₂ (0,320)	*	*	*	*	*	*	Ga ₂ (0,160)	LN (0,290)	Lo (0,954)
3 Araripina-PE	Ga ₂ (0,875)	Ga ₂ (0,868)	Lo (0,652)	Ga ₂ (0,404)	Fr (0,083)	*	*	*	*	*	Lo (0,144)	We ₂ (0,576)	LN (0,948)
4 Arcoverde-PE	Ga ₂ (0,325)	Ga ₂ (0,447)	We ₃ (0,303)	Fr (0,465)	Ga ₂ (0,576)	Lo (0,571)	Lo (0,366)	Ga ₂ (0,686)	*	*	*	*	LN (0,715)
5 Belém de São Francisco-PE	We ₃ (0,691)	We ₃ (0,996)	We ₃ (0,772)	We ₃ (0,881)	We ₃ (0,205)	We ₃ (0,693)	We ₃ (0,254)	*	*	*	*	We ₃ (0,730)	Lo (0,744)
6 Betânia-PE	We ₃ (0,866)	We ₃ (0,925)	Ga ₂ (0,992)	We ₃ (0,688)	Ga ₂ (0,433)	We ₃ (0,894)	We ₃ (0,175)	*	*	*	We ₃ (0,096)	Ga ₂ (0,207)	Ga ₂ (0,964)
7 Bodocó-PE	Lo (0,165)	We ₃ (0,978)	GEV (0,980)	We ₃ (0,499)	We ₃ (0,518)	We ₃ (0,155)	We ₃ (0,185)	*	*	We ₃ (0,063)	We ₃ (0,102)	Ga ₂ (0,491)	LN (0,565)
8 Cabrobó-PE	We ₃ (0,287)	We ₃ (0,339)	We ₂ (0,493)	We ₃ (0,349)	We ₃ (0,213)	We ₃ (0,138)	We ₃ (0,163)	*	*	*	*	Ex (0,282)	Lo (0,974)
9 Custódia -PE	Ga ₂ (0,331)	We ₃ (0,742)	Lo (0,484)	We ₂ (0,735)	Ga ₂ (0,847)	Lo (0,457)	Ga ₂ (0,649)	We ₃ (0,556)	*	*	We ₃ (0,173)	We ₃ (0,285)	Lo (0,833)
10 Exu-PE	Ga ₂ (0,907)	We ₃ (0,780)	Lo (0,982)	We ₃ (0,948)	We ₃ (0,302)	We ₃ (0,486)	Be ₄ (0,068)	*	*	*	Be ₄ (0,071)	We ₃ (0,205)	Lo (0,321)
11 Flores-PE	We ₃ (0,953)	Be ₄ (0,710)	We ₃ (0,943)	GEV (0,990)	We ₃ (0,999)	We ₃ (0,378)	Be ₄ (0,217)	*	*	*	*	Be ₄ (0,085)	Ga ₂ (0,747)
12 Floresta-PE	Ga ₂ (0,680)	We ₃ (0,929)	Ga ₂ (0,997)	We ₃ (0,975)	We ₃ (0,823)	We ₃ (0,568)	We ₃ (0,906)	*	*	*	We ₃ (0,038)	We ₃ (0,664)	GEV (0,999)
13 Ibirimir-PE	We ₃ (0,571)	We ₃ (0,820)	We ₃ (0,515)	We ₃ (0,868)	We ₃ (0,277)	We ₃ (0,796)	We ₃ (0,192)	*	*	*	Be ₄ (0,051)	We ₃ (0,386)	Fr (0,922)
14 Iguaraci-PE	Er (0,964)	Fr (0,800)	We ₂ (0,953)	Ga ₂ (0,855)	We ₃ (0,622)	No (0,844)	We ₃ (0,605)	*	*	*	Be ₄ (0,147)	Ex (0,306)	We ₃ (0,894)
15 Inajá-PE	We ₃ (0,294)	We ₃ (0,984)	Ex (0,859)	Be ₄ (0,596)	Ga ₂ (0,857)	We ₃ (0,965)	Lo (0,699)	We ₃ (0,947)	*	*	We ₃ (0,252)	We ₃ (0,714)	GEV (0,850)
16 Ipubi-PE	We ₂ (0,995)	We ₃ (0,991)	Lo (0,500)	We ₃ (0,966)	We ₃ (0,835)	We ₃ (0,613)	We ₃ (0,221)	*	*	We ₃ (0,074)	We ₃ (0,373)	We ₃ (0,792)	LN (0,944)
17 Itapetim-PE	Lo (0,504)	We ₃ (0,631)	Fr (0,980)	We ₃ (0,332)	Er (0,793)	Ex (0,447)	Ga ₂ (0,303)	*	*	*	*	Be ₄ (0,133)	Lo (0,639)
18 Ouricuri-PE	We ₃ (0,988)	Ga ₂ (0,748)	We ₃ (0,986)	We ₃ (0,561)	We ₃ (0,071)	*	*	*	*	*	We ₃ (0,062)	We ₃ (0,629)	Fr (0,883)
19 Parnamirim-PE	We ₃ (0,918)	We ₃ (0,999)	We ₃ (0,981)	We ₃ (0,828)	Be ₄ (0,169)	Be ₄ (0,076)	*	*	*	*	We ₃ (0,277)	Ex (0,867)	GEV (0,907)
20 Petrolândia-PE	Be ₄ (0,303)	We ₃ (0,880)	We ₃ (0,633)	We ₃ (0,591)	We ₃ (0,434)	We ₃ (0,635)	We ₃ (0,423)	We ₃ (0,675)	We ₃ (0,122)	*	We ₃ (0,243)	Ex (0,429)	GEV (0,882)
21 Petrolina-PE	We ₃ (0,739)	We ₃ (0,550)	We ₃ (0,815)	We ₃ (0,591)	*	*	*	*	*	*	Be ₄ (0,188)	We ₃ (0,857)	Ga ₂ (0,941)
22 Salgueiro-PE	Ga ₂ (0,953)	Ga ₂ (0,984)	Be ₄ (0,699)	We ₃ (0,895)	We ₃ (0,210)	We ₃ (0,414)	*	*	*	*	We ₃ (0,825)	Ga ₂ (0,974)	GEV (0,993)
23 Santa Maria da Boa Vista-PE	We ₃ (0,995)	Be ₄ (0,744)	We ₃ (0,756)	We ₃ (0,656)	We ₃ (0,111)	*	*	*	*	*	*	Ga ₂ (0,446)	Fr (0,984)
24 São José do Belmonte-PE	We ₃ (0,506)	Fr (0,710)	Lo (0,272)	We ₃ (0,743)	We ₃ (0,483)	We ₃ (0,135)	*	*	*	*	Be ₄ (0,051)	Ga ₂ (0,189)	Lo (0,448)
25 São José do Egito-PE	We ₃ (0,349)	We ₃ (0,484)	We ₃ (0,858)	Fr (0,655)	We ₃ (0,607)	We ₃ (0,454)	Be ₄ (0,059)	*	*	*	*	*	No (0,964)
26 Serra Talhada-PE	Ga ₂ (0,661)	We ₃ (0,792)	We ₃ (0,827)	Ga ₂ (0,843)	We ₃ (0,921)	We ₃ (0,935)	Be ₄ (0,235)	*	*	*	We ₃ (0,089)	We ₃ (0,823)	Lo (0,998)
27 Serrita-PE	We ₃ (0,901)	We ₃ (0,995)	We ₃ (0,970)	We ₃ (0,825)	We ₃ (0,429)	We ₃ (0,278)	*	*	*	*	We ₃ (0,460)	We ₃ (0,880)	Ga ₂ (0,708)
28 Sertânia-PE	We ₃ (0,667)	GEV (0,679)	Ga ₂ (0,919)	We ₃ (0,881)	We ₃ (0,896)	We ₃ (0,894)	We ₃ (0,734)	*	*	*	*	*	Ga ₂ (0,994)
29 Triunfo-PE	Ga ₂ (0,281)	Ga ₂ (0,190)	Fr (0,273)	GEV (0,683)	Ga ₂ (0,078)	We ₃ (0,275)	Lo (0,578)	We ₃ (0,158)	Ex (0,150)	We ₃ (0,063)	Ga ₂ (0,134)	We ₃ (0,214)	Lo (0,849)
30 Verdejante-PE	We ₃ (0,681)	Ex (0,364)	GEV (0,808)	Ga ₂ (0,775)	We ₃ (0,171)	We ₃ (0,074)	*	*	*	*	*	We ₃ (0,129)	Lo (0,616)

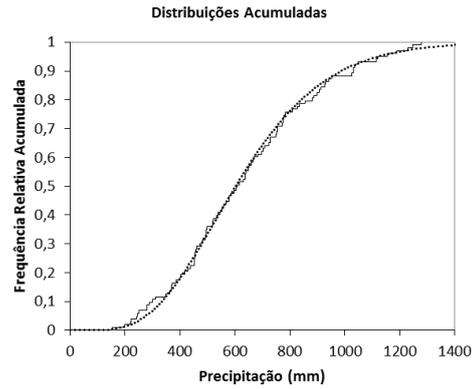
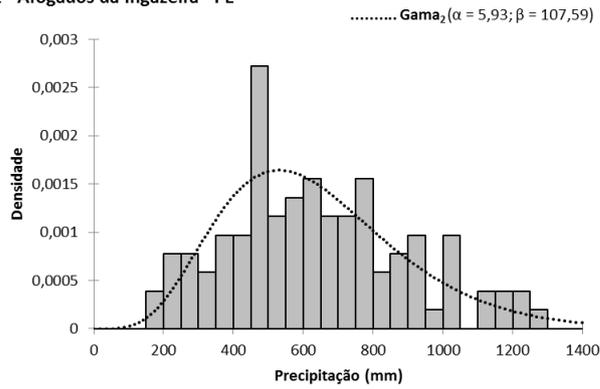
Funções de Distribuição de Probabilidade - **Be₄**: Beta (tipo 4); **Er**: Erlang; **Ex**: Exponencial; **Fr**: Fréchet (Fisher-Tippett tipo 2); **Ga₂**: Gama (tipo 2); **GEV**: Generalizada de Valores Extremos; **LN**: Log-Normal; **Lo**: Logística; **No**: Normal; **Wr₂**: Weibull (tipo 2); **Wr₃**: Weibull (tipo 3); (*) Os dados amostrais não se ajustaram a nenhuma das distribuições avaliadas; (p-valor)

Em estudo realizado no Qatar, Mamoon e Rahman (2017) selecionaram distribuições de probabilidade de melhor ajuste para dados de série histórica de precipitação que variaram entre 24 a 49 anos de duração em um total de 29 estações, com uma precipitação média anual de 77,9 mm, com um número médio de dias chuvosos de apenas 13 dias, o que se enquadra no intervalo típico para a região árida (entre 10 e 50 dias chuvosos), conforme relatado por Noy-Meir (1973), foram testadas 14 diferentes tipos de distribuições de probabilidade, sob 3 testes de aderência de ajuste, sendo eles: Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling e Qui-quadrado, os autores verificaram que não existe uma única distribuição que se ajuste aos dados de precipitação anual, porém a distribuição GEV (Generalizada de Valores Extremos) obteve o melhor desempenho dentre as demais distribuições no ajustamento para aquele país, com uma aderência de 72% dos postos de observações.

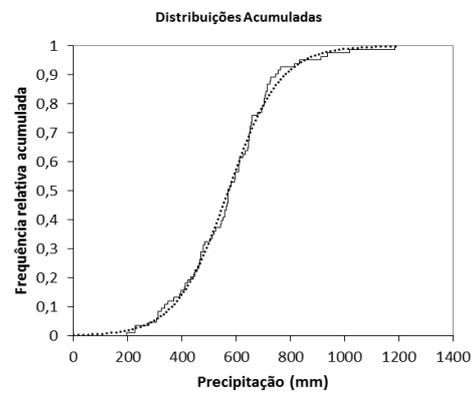
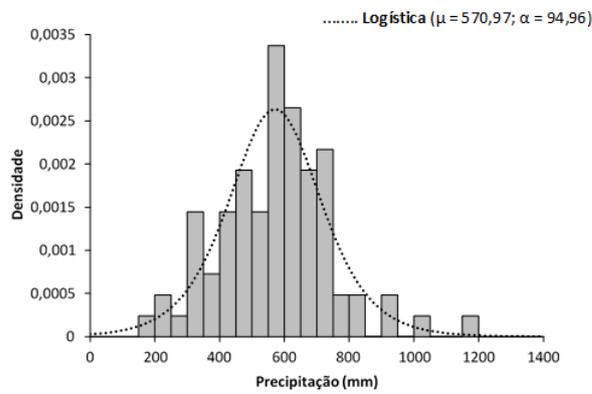
Na análise de melhor ajustamento de distribuição para precipitação anual de cidades do Sertão do Estado de Pernambuco (Figura 8) a distribuição GEV obteve boa aderência em 5 das 30 cidades analisadas, sendo elas: Floresta-PE, Inajá-PE, Parnamirim-PE, Petrolândia-PE e Salgueiro-PE. A distribuição Logística obteve um melhor ajustamento em 10 cidades, enquanto que a distribuição Gama (tipo 2) 6 cidades, outras distribuições encontradas foram: a distribuição Log-Normal (4 cidades), distribuição de Fréchet (Fisher-Tippett tipo 2) em 3 cidades, distribuição Weibull e Normal, em 1 cidade cada.

Em análise de ajuste de distribuição de probabilidade em dados de precipitação de 28 municípios do Estado de Pernambuco localizados na região semiárida no período de 1963 a 1991 (28 anos) Souza et al. (2010) utilizaram seis distribuições de probabilidades: Normal, Exponencial, Log-Normal, Beta, Gama e Weibull, através do teste Qui-quadrado, observaram que a distribuição Normal e Exponencial não conseguiram modelar nenhum dos meses em estudo, a distribuição Log-Normal mostrou-se adequada para os meses de Julho, Agosto, Setembro e Outubro, (período de estiagem), a distribuição Gama não se ajustou aos meses de Fevereiro e Março, verificou-se que a distribuição Weibull obteve boa aderência, porém não ajustou-se ao mês de Fevereiro, no entanto a distribuição Beta se ajustou bem a todos os meses do ano, estes resultados reforçam a ideia que não existe uma única distribuição que se ajuste aos dados de precipitação mensal ou anual, no entanto deve-se levar em consideração o p-valor obtido no teste de ajuste de aderência na identificação da distribuição que melhor representa os dados em questão.

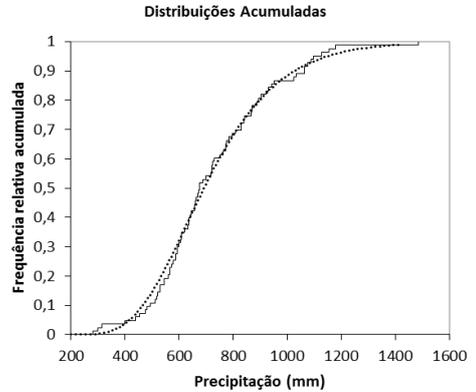
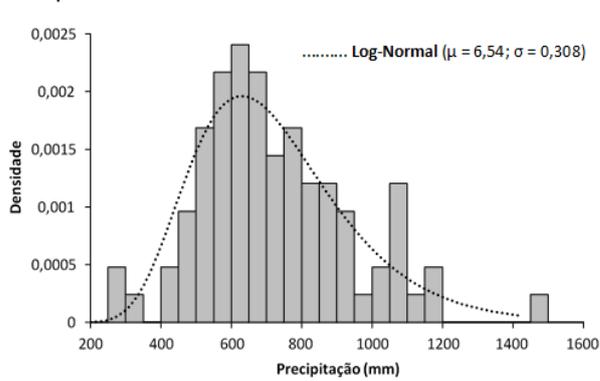
1 - Afogados da Ingazeira - PE



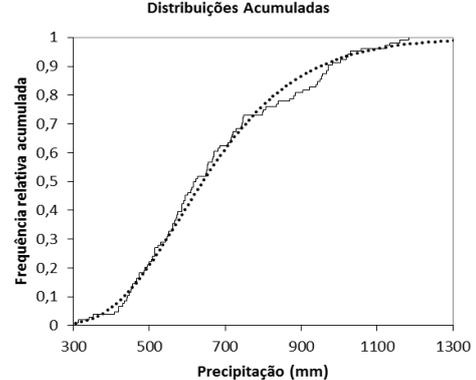
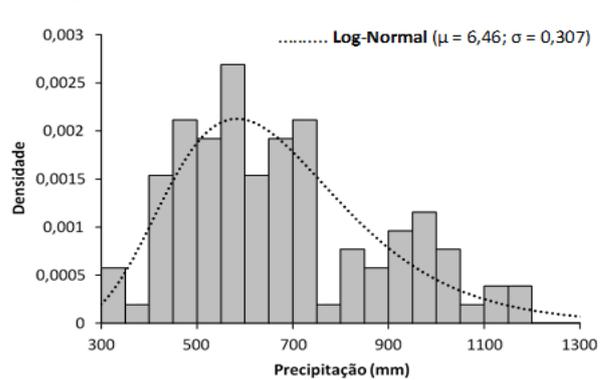
2 - Afrânio- PE



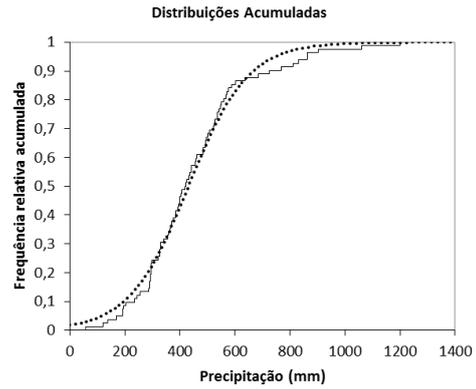
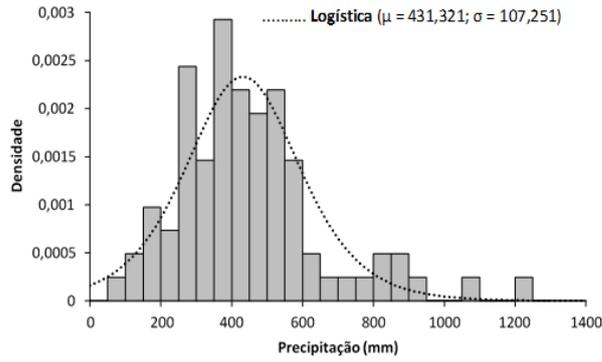
3 - Araripina - PE



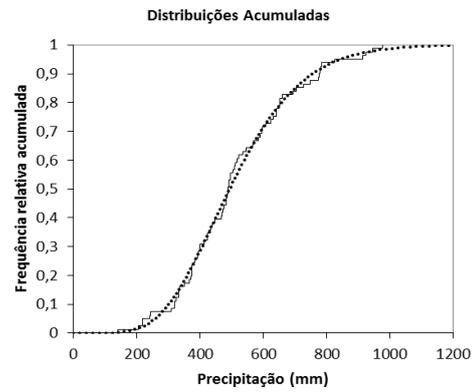
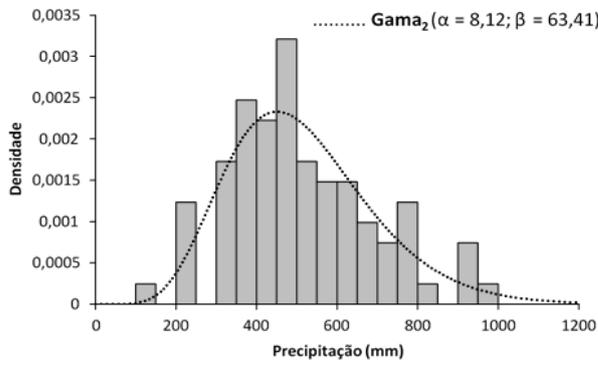
4 - Arcoverde



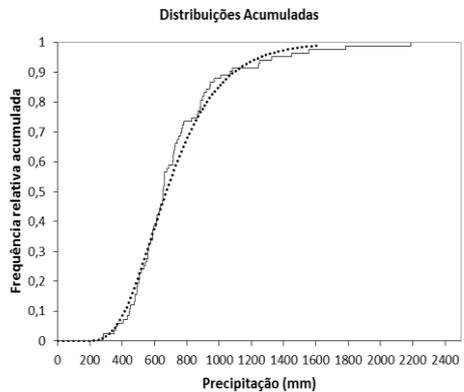
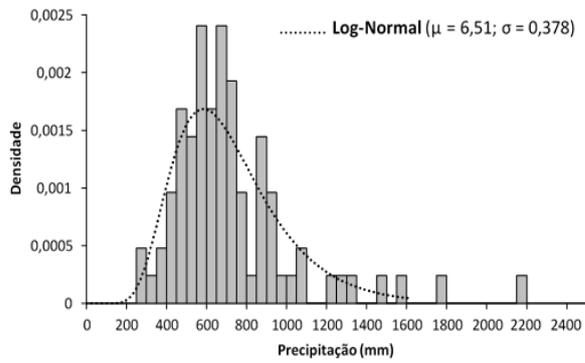
5 - Belém de São Francisco - PE



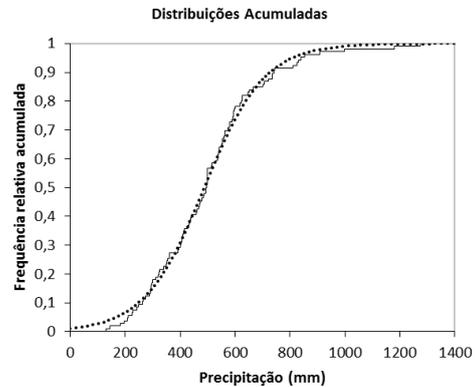
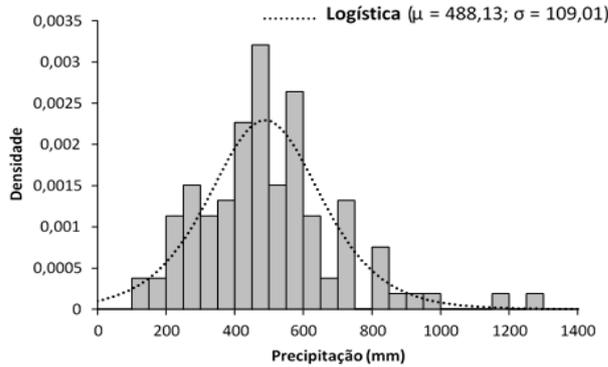
6 - Betânia - PE



7 - Bodocó - PE

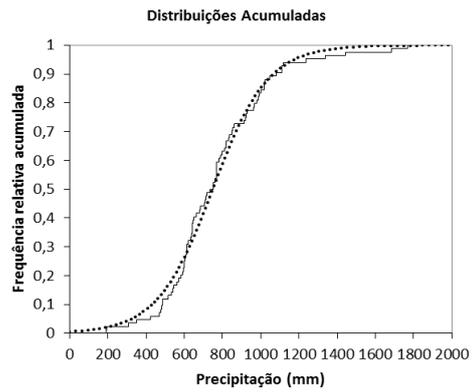
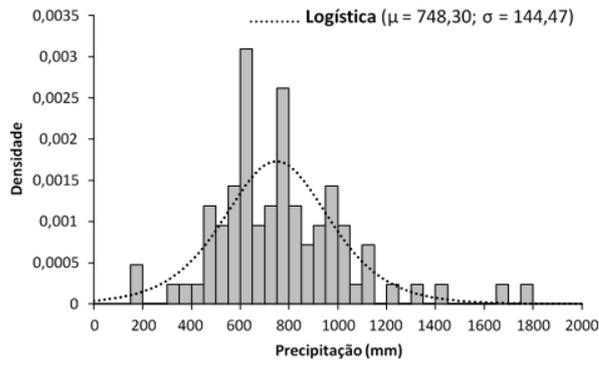


8 - Cabrobó - PE

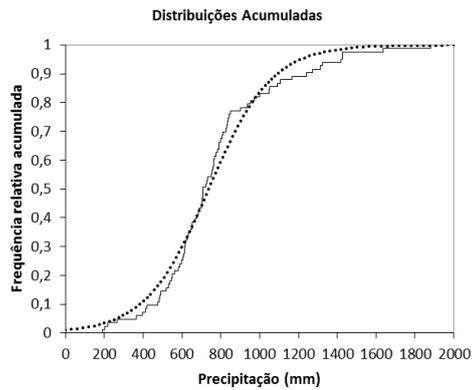
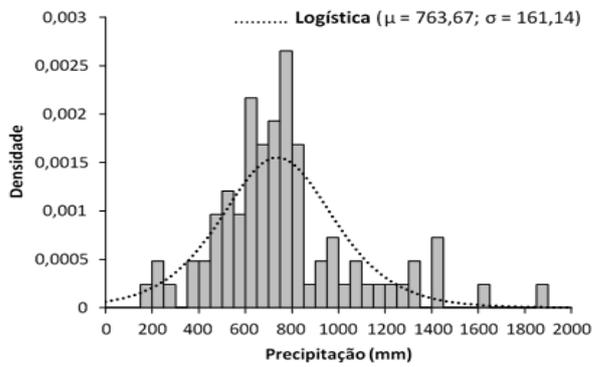


Cont.

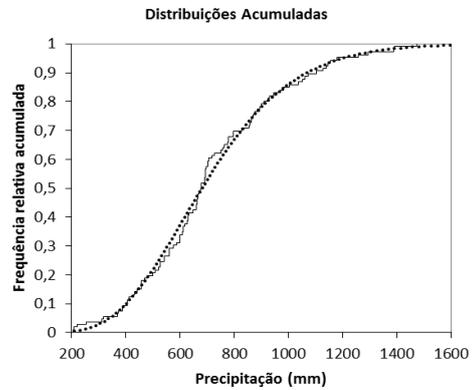
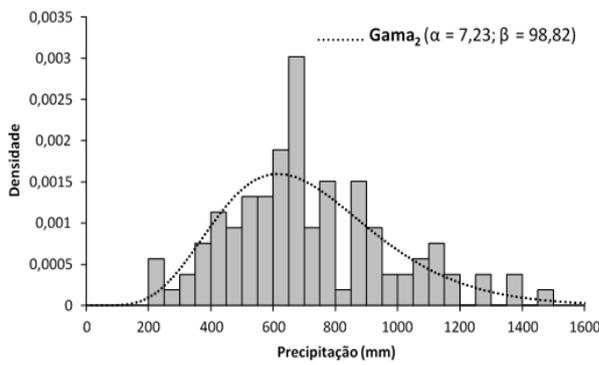
9 - Custódia - PE



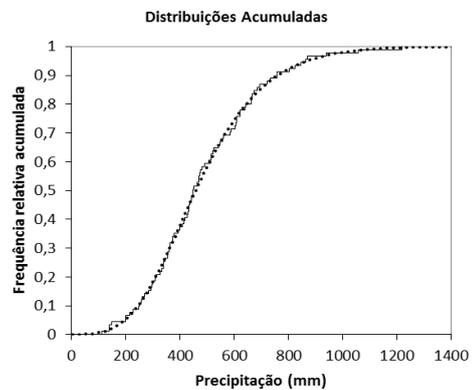
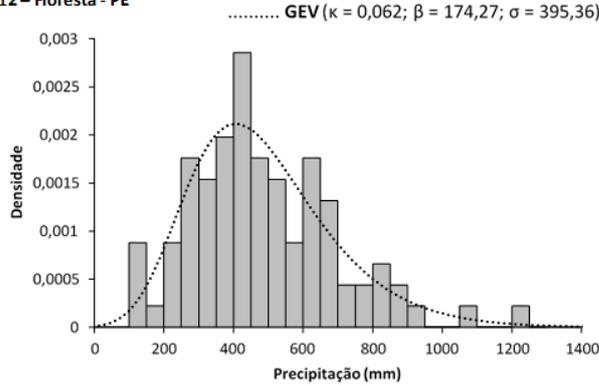
10 - Exu - PE



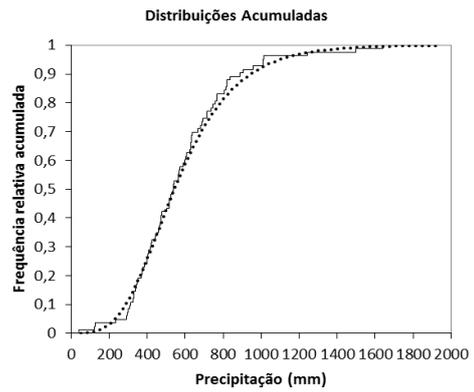
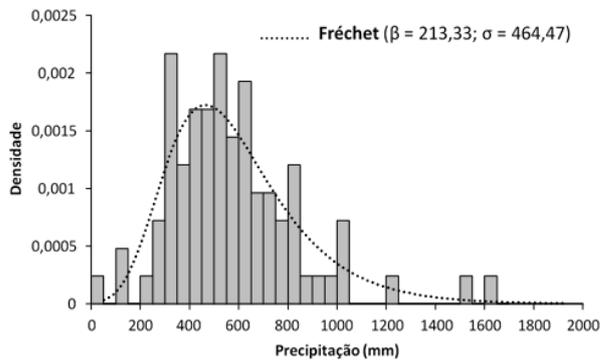
11 - Flores - PE



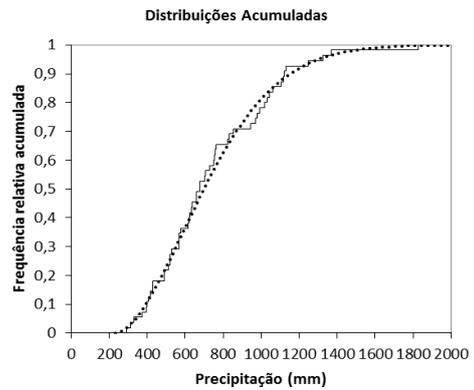
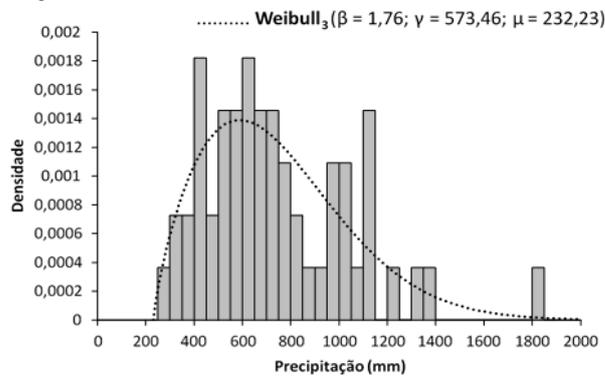
12 - Floresta - PE



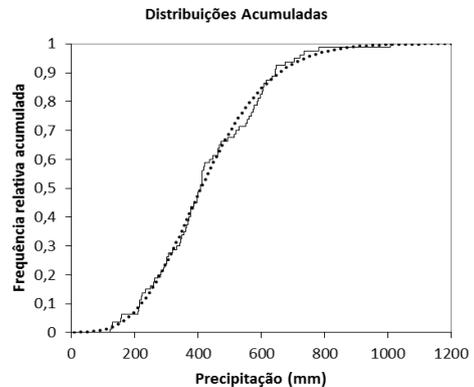
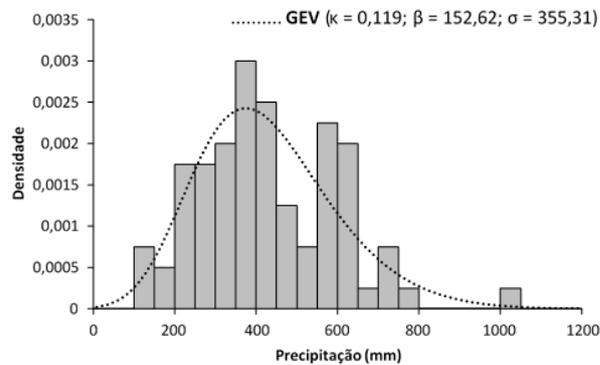
13 - Ibirimir - PE



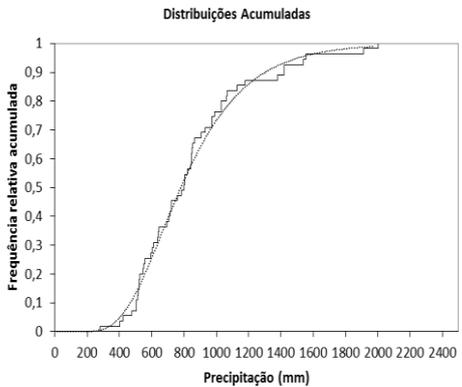
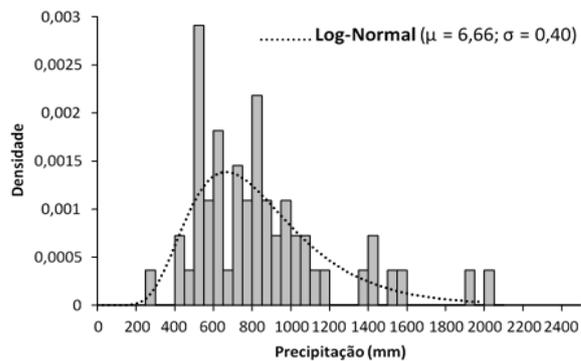
14 - Iguaraci - PE



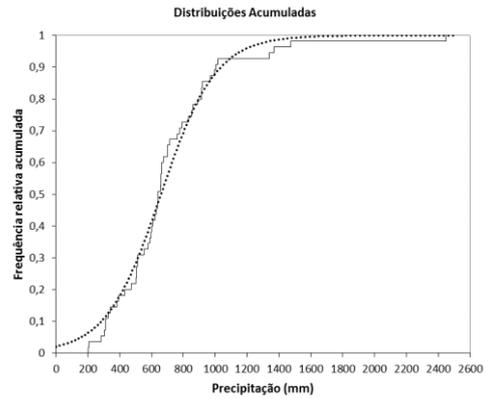
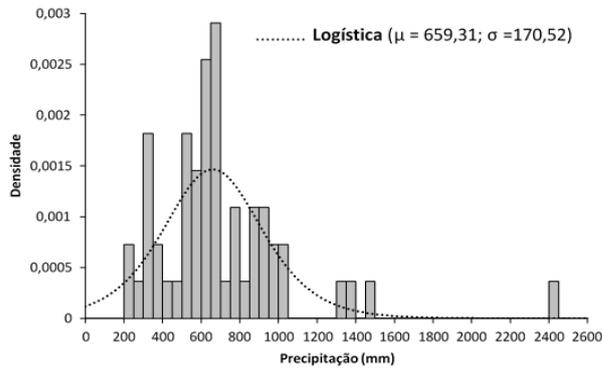
15 - Inajá - PE



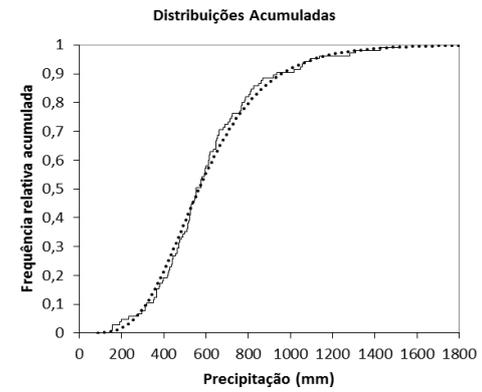
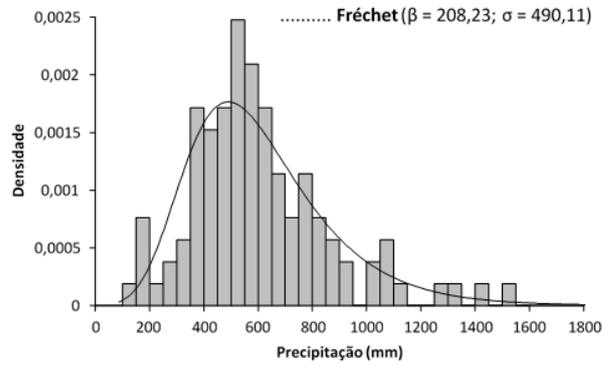
16 - Ipubi - PE



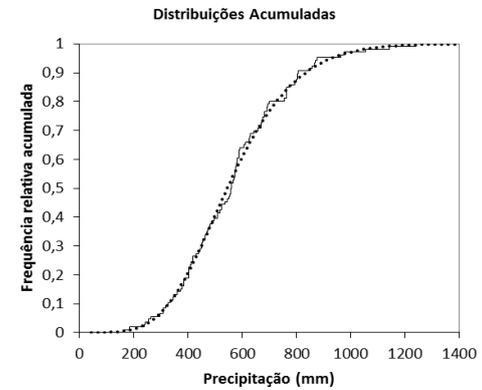
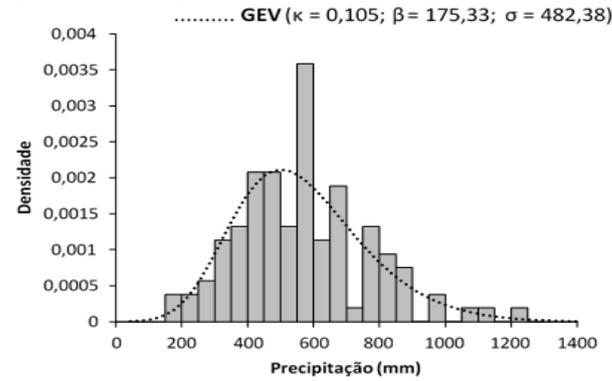
17 - Itapetim - PE



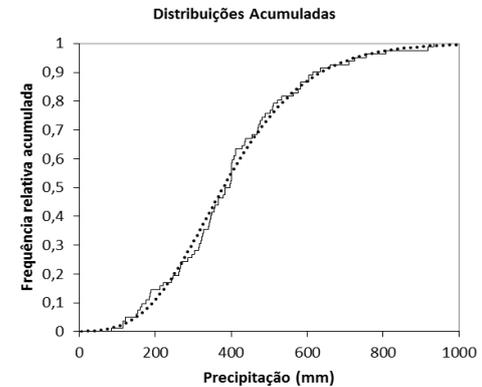
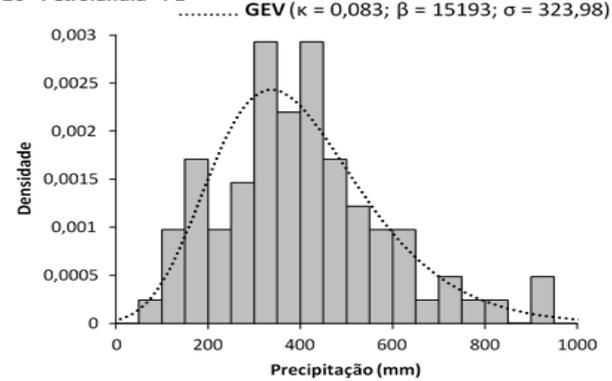
18 - Ouricuri - PE



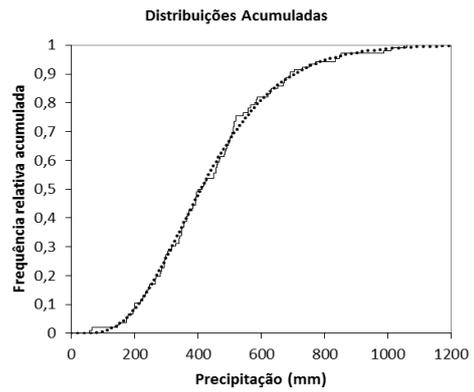
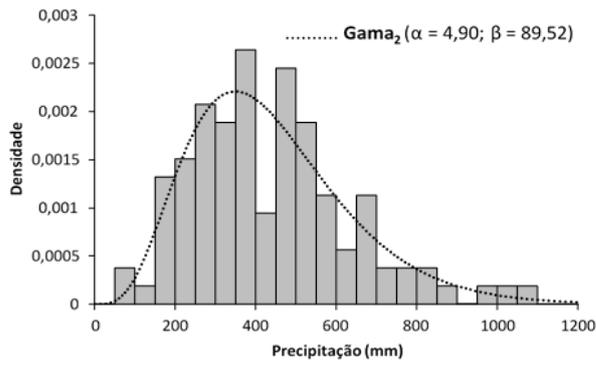
19 - Parnamirim - PE



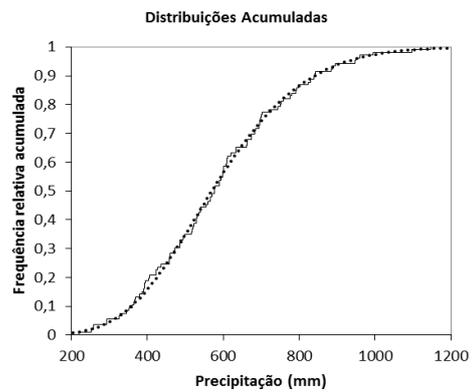
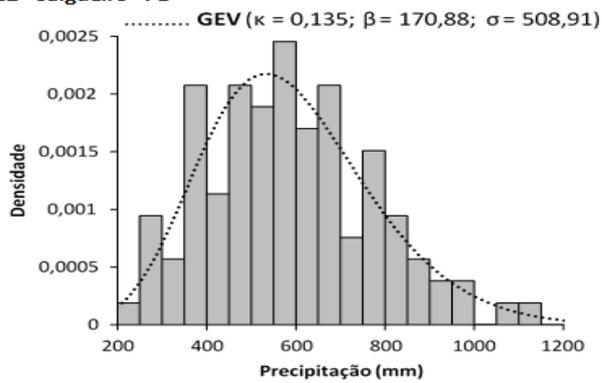
20 - Petrolândia - PE



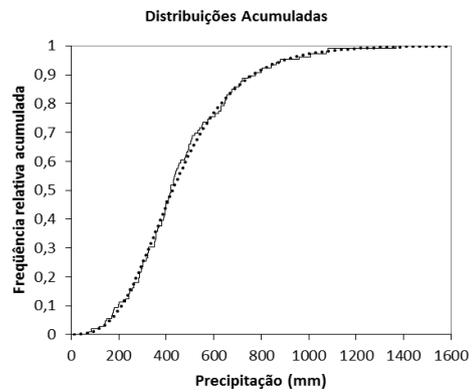
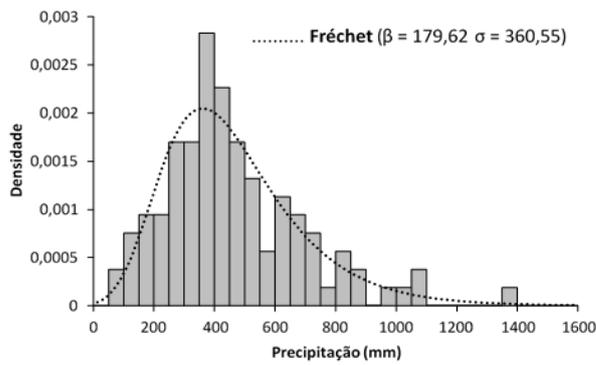
21 - Petrolina - PE



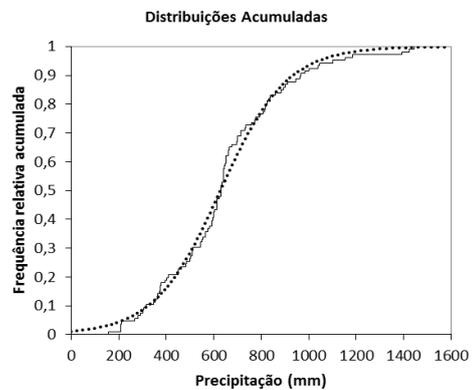
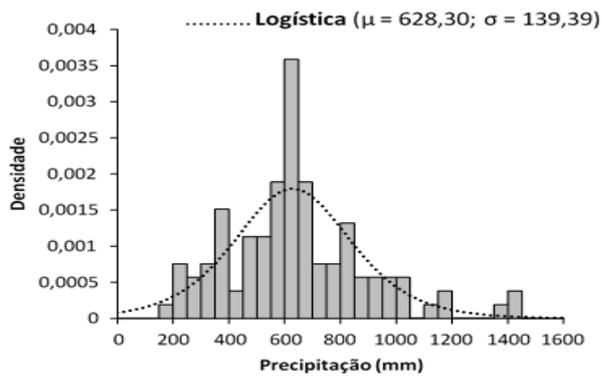
22 - Salgueiro - PE



23 - Santa Maria da Boa

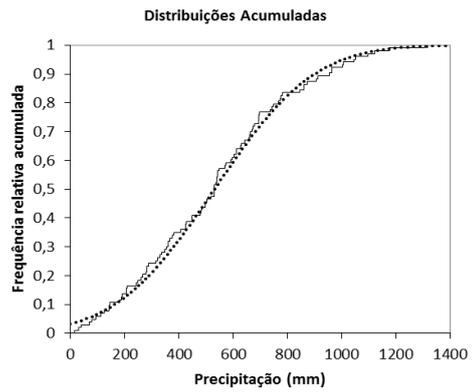
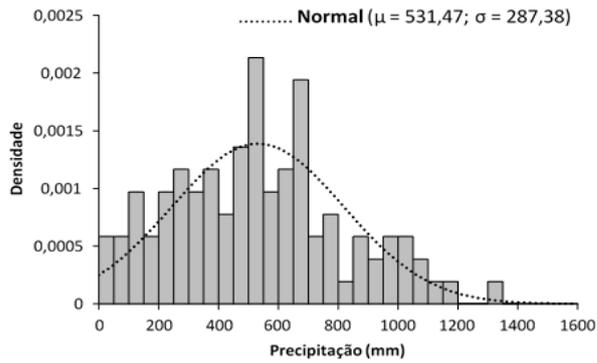


24 - São José do Belmonte - PE

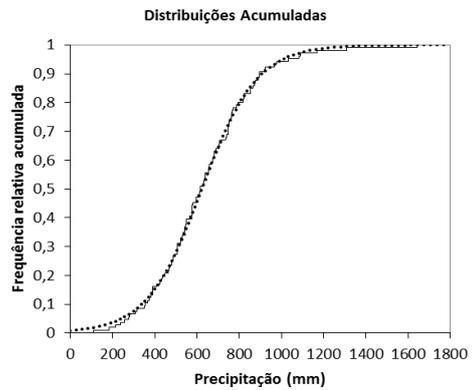
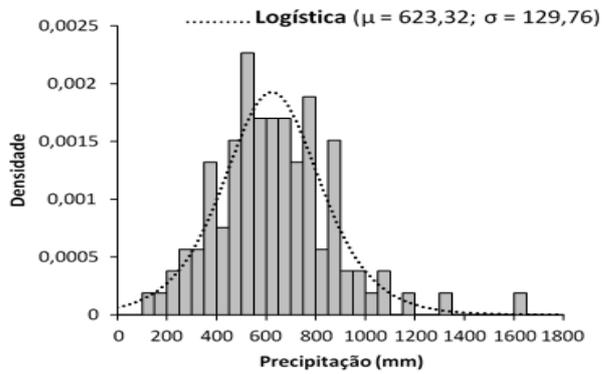


Cont.

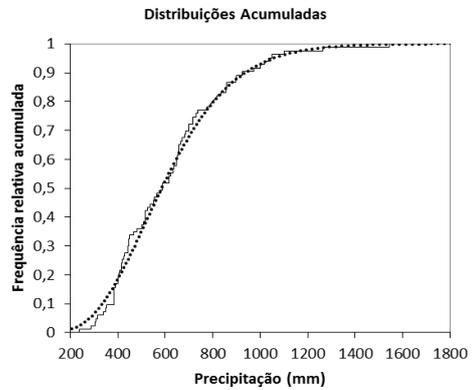
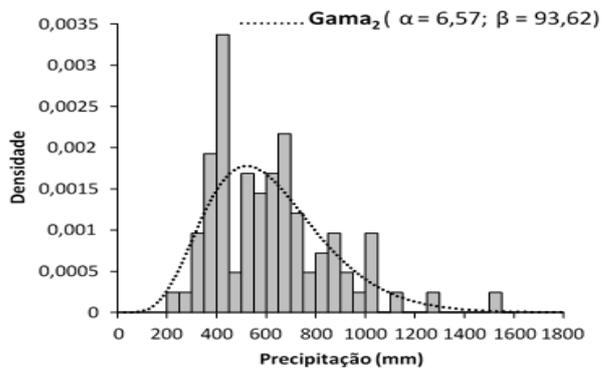
25 - São José do Egito - PE



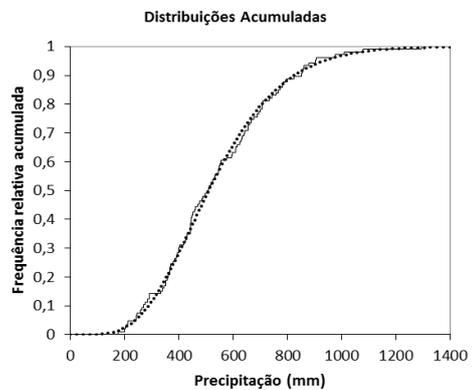
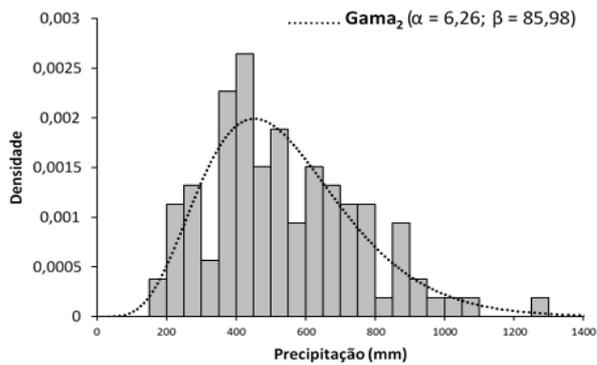
26 - Serra Talhada - PE



27 - Serrita - PE



28 - Sertânia - PE



Cont.

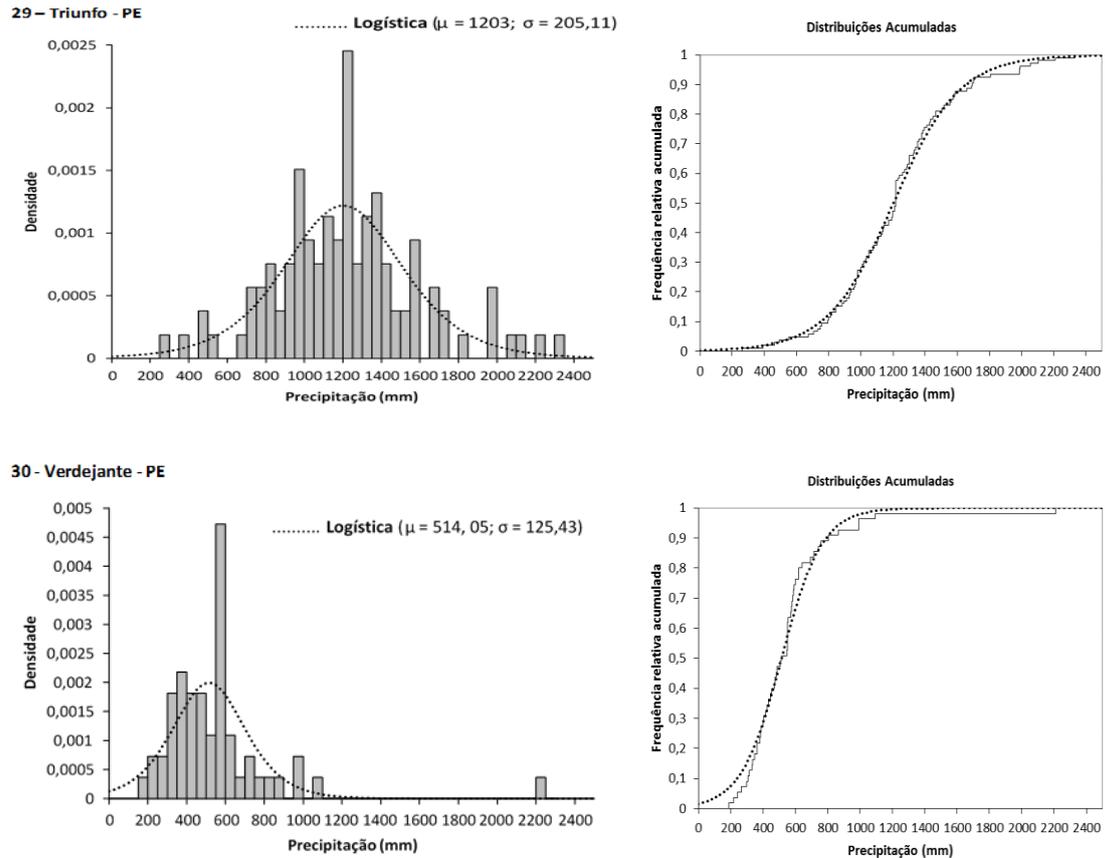


Figura 8 – Função Densidade de Probabilidade (FDP) (esquerda) e Função de Distribuição Acumulada (FDA) (direita) que melhor se ajustaram aos dados de precipitação anual das cidades em estudo

Em muitos cenários de mudanças climáticas futuras, principalmente devido ao aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, muitas vezes é assumido que apenas a média possa sofrer alterações, permanecendo o desvio padrão inalterado (BEN-GAI et al., 1998). Foi demonstrado, no entanto, por Mearns et al. (1984), Katz (1991) e Katz e Brown (1992), que a frequência relativa de eventos extremos depende das mudanças no desvio padrão e não apenas da média. Katz (1991) supõe que uma mudança em uma variável climática que possua uma distribuição de probabilidade também resultará em uma mudança na forma dessa distribuição.

A ideia de usar distribuições de probabilidade como um paradigma estatístico em estudos de mudanças climáticas foi anteriormente sugerida por Katz (1991), onde o autor alerta que, conseqüentemente, uma mudança climática pode envolver uma combinação de dois resultados estatísticos: uma mudança de localização de eventos extremos combinada com uma mudança na escala da função de distribuição.

Apesar da grande diferença entre as cidades em relação a um melhor ajuste de distribuição de probabilidade nos dados de precipitação mensal e anual todos os modelos encontrados englobam o conjunto de modelos probabilísticos para variáveis aleatórias contínuas, com funções densidade de probabilidade e distribuição de probabilidade, definidas por parâmetros, sendo estas comumente aplicadas às variáveis hidrológicas de acordo com Naghettini e Portela (2012).

4.4 Coeficientes de Assimetria e Curtose de *Pearson* para os dados de precipitação

Determinou-se também os valores dos coeficientes de assimetria (Tabela 7), que avalia o grau de deformação ou assimetria, e curtose (Tabela 8) que verifica o grau de “achatamento” de uma distribuição de frequências, medido em relação ao de uma distribuição normal, como padrão.

Os resultados da avaliação em função do coeficiente de Assimetria demonstraram que em geral as distribuições dos dados de precipitação das cidades do Sertão do Estado de Pernambuco analisadas possuem uma assimetria positiva, de moderada (período chuvoso, principalmente entre os meses de Fevereiro e Abril), apenas as cidades de Iguaraci-PE e Arcoverde-PE apresentaram assimetria moderada no mês de Junho, e Triunfo-PE no mês de Julho. Os maiores valores ($AS > 3$) concentraram-se em sua maioria no período de estiagem entre Julho e Novembro.

Em relação a distribuição anual da precipitação 12 cidades (40%) apresentaram assimetria forte, enquanto que 18 cidades (60%) assimetria moderada.

Na determinação do coeficiente de Curtose observou-se que, os maiores valores ($C_P > 10$) de coeficiente de Curtose apresentados, para todas as cidades analisadas, em sua maioria concentraram-se no período entre os meses de Julho e Dezembro, principalmente nos meses de Agosto e Setembro, período de baixo índice pluviométrico na região, enquanto que os valores mais baixos ($C_P < 0,2$) concentraram-se entre os meses de Fevereiro a Junho, período de maior índice pluviométrico. Sendo assim para as séries históricas mensais de precipitação 95,3% dos dados apresentaram uma curva *leptocúrtica* ($C_P > 0,263$), 1,4% apresentaram uma curva do tipo *platicúrtica* ($C_P < 0,263$), enquanto que 3,3% apresentaram uma curva do tipo *mesocúrtica* ($C_P \approx 0,263$).

Tabela 7 - Coeficiente de Assimetria de *Pearson* do conjunto de dados das séries históricas das cidades em estudo

	ESTAÇÃO	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	ANUAL
1	Afogados da Ingazeira-PE	2,51	0,78	0,92	1,09	1,43	1,68	1,27	3,83	4,02	3,61	2,05	2,17	0,44
2	Afrânio-PE	2,92	0,75	0,76	2,21	1,54	2,13	4,63	3,50	3,53	2,10	2,26	1,79	0,44
3	Araripina-PE	1,71	1,37	1,94	1,45	1,06	1,22	3,66	5,76	3,25	1,28	2,99	1,11	0,68
4	Arcoverde-PE	2,76	1,63	1,11	1,25	1,74	0,90	2,24	1,27	1,35	2,23	3,60	3,29	0,60
5	Belém de São Francisco-PE	3,25	1,30	0,95	1,56	2,38	1,99	1,16	6,52	2,81	2,58	2,37	1,59	1,13
6	Betânia-PE	2,03	1,06	1,20	0,90	1,81	2,96	1,78	2,33	3,01	3,15	2,01	1,89	0,50
7	Bodocό-PE	2,50	1,96	0,68	2,49	2,82	0,76	1,60	3,91	4,55	1,96	3,11	2,29	2,03
8	Cabrobό-PE	1,88	1,95	1,24	1,09	2,24	1,95	3,10	2,90	5,17	2,40	1,82	3,96	0,96
9	Custόdia -PE	2,56	0,88	2,64	1,19	1,33	1,81	2,17	1,91	2,29	3,84	2,21	1,54	1,04
10	Exu-PE	1,76	1,27	0,58	1,53	2,23	1,55	2,64	3,86	3,51	3,05	1,97	1,87	1,06
11	Flores-PE	2,05	0,55	0,77	0,80	1,07	1,73	1,77	1,98	3,06	2,26	1,85	1,44	0,57
12	Floresta-PE	2,04	1,18	1,36	1,39	1,31	2,49	1,86	1,68	3,51	2,38	1,91	1,64	0,79
13	Ibimirim-PE	1,85	0,90	1,15	3,42	1,14	2,35	2,22	2,88	2,57	2,60	1,49	2,24	1,31
14	Iguaraci-PE	2,35	0,67	0,75	1,24	1,04	0,49	1,34	2,63	2,04	2,93	1,35	3,39	0,99
15	Inaj-PE	1,95	1,53	1,06	1,40	1,87	1,50	1,07	1,60	2,77	2,24	1,38	3,83	0,51
16	Ipupi-PE	1,56	1,03	2,46	1,83	2,78	1,95	2,25	2,58	2,90	1,50	1,50	1,16	1,29
17	Itapetim-PE	1,8	3,8	0,7	2,5	1,9	1,2	1,4	3,2	3,4	3,4	2,9	2,0	2,3
18	Ouricuri-PE	2,72	1,48	2,16	1,42	5,15	4,21	1,46	5,41	5,34	2,36	2,53	1,20	1,06
19	Parnamirim-PE	2,00	0,60	0,80	0,90	1,70	1,79	2,33	2,45	2,99	3,30	3,30	1,79	0,65
20	Petrolândia-PE	1,75	1,36	1,47	1,94	1,77	2,33	4,12	1,66	6,27	3,04	1,54	2,30	0,71
21	Petrolina-PE	2,31	1,70	1,10	1,55	2,81	5,79	2,49	3,26	3,94	2,75	1,29	1,79	0,78
22	Salgueiro-PE	1,62	1,02	1,06	0,79	2,15	2,25	2,09	3,86	3,41	2,67	1,89	1,63	0,46
23	Santa Maria da Boa Vista-PE	2,39	0,92	3,08	1,32	1,71	1,78	4,23	5,50	3,58	2,48	2,21	1,31	1,08
24	So José do Belmonte-PE	2,22	1,14	1,70	1,13	2,68	1,52	1,85	2,72	3,84	2,54	2,88	1,66	0,73
25	So José do Egito-PE	1,44	1,35	0,95	1,15	1,55	1,79	1,64	5,61	5,38	6,11	2,97	2,46	0,34
26	Serra Talhada-PE	2,42	1,41	0,67	1,10	1,62	1,81	1,32	4,20	5,93	2,99	1,74	1,51	0,84
27	Serrita-PE	2,22	1,00	2,79	0,83	3,17	1,45	2,29	2,73	3,56	2,55	2,81	1,88	1,11
28	Sertânia-PE	2,71	0,96	1,10	1,30	1,27	1,30	2,10	1,65	3,17	1,83	2,66	2,85	0,68
29	Triunfo-PE	1,75	1,97	1,09	0,97	2,18	2,38	0,89	2,03	1,96	2,30	1,70	1,46	0,40
30	Verdejante-PE	2,27	2,67	0,49	1,72	2,29	4,28	3,19	6,72	5,75	2,53	3,23	2,07	3,34

Tabela 8 - Coeficiente de Curtose de *Pearson* do conjunto de dados das séries históricas das cidades em estudo

	ESTAÇÃO	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	ANUAL
1	Afogados da Ingazeira-PE	9,0	0,2	0,5	1,7	2,2	3,2	1,0	18,5	21,8	15,8	3,4	5,3	-0,4
2	Afrânio-PE	10,0	0,2	0,4	7,4	3,0	7,5	30,5	18,3	17,5	5,3	7,3	3,9	1,2
3	Araripina-PE	4,0	2,2	6,6	2,0	1,2	1,8	15,0	38,6	13,1	2,4	14,8	1,0	0,8
4	Arcoverde-PE	9,8	3,3	1,0	2,2	4,6	0,7	7,8	1,6	1,8	6,0	18,7	14,9	-0,5
5	Belém de São Francisco-PE	15,0	1,0	0,3	2,9	6,8	4,8	0,5	49,6	7,7	6,3	5,9	2,7	1,9
6	Betânia-PE	5,5	0,7	1,3	0,6	3,4	12,7	2,7	6,1	11,5	12,0	3,8	3,5	-0,1
7	Bodocó-PE	7,6	4,7	0,2	8,8	10,1	0,0	2,4	19,4	23,8	3,5	13,3	6,8	5,6
8	Cabrobó-PE	4,7	4,2	1,4	0,3	6,1	4,3	14,4	10,9	27,7	5,9	4,1	23,4	1,9
9	Custódia -PE	8,2	0,6	10,0	1,8	1,8	5,2	6,3	4,0	5,4	19,4	6,1	3,0	2,3
10	Exu-PE	4,8	2,0	0,2	3,0	7,0	3,0	8,9	20,8	14,0	9,8	4,5	4,8	1,7
11	Flores-PE	6,1	-0,7	0,7	0,2	0,9	3,2	4,3	3,5	12,5	4,6	3,4	1,7	0,2
12	Floresta-PE	5,1	1,0	2,0	2,0	1,4	7,6	4,2	2,9	16,0	4,8	3,8	2,2	0,9
13	Ibimirim-PE	4,1	0,0	1,0	19,0	0,7	6,2	5,6	8,9	6,8	7,2	1,7	8,1	3,1
14	Iguaraci-PE	7,7	-0,3	-0,5	1,6	0,7	-0,5	1,4	7,4	4,1	9,5	1,3	15,0	1,2
15	Inajá-PE	5,1	2,3	0,7	2,1	4,2	3,6	1,2	2,6	10,0	5,2	1,3	21,1	0,3
16	Ipubi-PE	3,0	0,5	8,0	3,1	11,8	3,4	4,8	7,4	8,2	1,9	2,6	0,8	1,6
17	Itapetim-PE	5,3	16,7	-0,1	7,6	3,8	0,4	2,1	10,2	12,2	12,3	8,9	4,9	8,3
18	Ouricuri-PE	13,2	2,3	8,3	2,9	36,8	25,4	1,9	38,2	31,6	6,3	8,2	1,5	1,6
19	Parnamirim-PE	6,5	0,1	0,4	-0,1	3,4	2,9	6,9	6,5	8,9	14,4	14,7	3,3	0,7
20	Petrolândia-PE	4,4	1,3	1,7	3,4	4,0	9,4	25,2	3,5	43,4	10,2	2,1	6,7	0,6
21	Petrolina-PE	6,9	3,0	0,7	2,8	9,2	41,8	6,6	12,5	19,5	8,1	1,2	4,6	0,7
22	Salgueiro-PE	4,2	0,9	1,7	-0,1	5,8	5,8	4,5	20,0	13,4	7,3	4,1	2,5	0,0
23	Santa Maria da Boa Vista-PE	6,6	0,4	16,9	1,2	2,8	3,7	22,3	36,3	13,8	5,9	7,5	1,4	1,7
24	São José do Belmonte-PE	9,1	2,2	4,9	1,5	10,9	2,6	3,3	7,8	18,7	6,3	11,3	3,5	1,0
25	São José do Egito-PE	1,9	1,8	0,7	1,5	3,0	3,4	2,3	35,6	33,0	46,0	10,5	7,0	-0,4
26	Serra Talhada-PE	8,0	4,1	-0,2	1,4	2,8	3,6	0,9	20,2	45,8	9,5	2,4	2,3	2,2
27	Serrita-PE	10,2	1,1	13,7	-0,3	14,7	2,2	6,7	7,9	14,6	7,6	9,2	3,6	1,7
28	Sertânia-PE	11,1	0,7	0,7	2,1	1,6	1,4	5,1	2,0	12,1	3,1	9,5	11,4	0,4
29	Triunfo-PE	3,6	5,8	1,8	1,1	6,6	11,3	1,2	6,0	3,8	7,6	3,3	2,6	0,7
30	Verdejante-PE	7,4	8,3	-0,5	2,6	6,7	21,4	10,1	45,3	35,4	7,0	12,7	4,5	15,8

Em estudo desenvolvido em clima semiárido na República de Botswana (África), analisando variabilidade e tendências em precipitação Batisani e Yarnal (2010) observaram valores semelhantes de Coeficiente de Assimetria e Coeficiente de Curtose, resultados semelhantes também foram encontrados em estudo desenvolvido em clima semiárido no Iran por Modarres e Silva (2007) analisando tendências em precipitação, inclusive altos valores de coeficiente de Curtose foram observados para algumas cidades, corroborando com os resultados encontrados na região semiárida do Sertão do Estado de Pernambuco.

4.5 Análise de tendência das séries históricas de precipitação

Além da análise exploratória dos dados, bem como o estudo do comportamento da distribuição e frequência nas séries históricas de precipitação, efetuou-se testes de tendência no intuito de detectar a presença ou não de alterações significativas no regime pluviométrico das cidades do Sertão do Estado de Pernambuco. Neste estudo, foram utilizados dois métodos não-paramétricos (Mann-Kendall e o Estimador de declive de Sen) para detectar as tendências das variáveis meteorológicas.

De acordo com os resultados da análise de tendência (Tabela 9) através dos testes de Mann-Kendall e Estimador de Declive de Sen, ao nível de 1 e 5% de probabilidade, observou-se que algumas cidades como: Afrânio-PE, Arcoverde-PE, Belém de São Francisco-PE, Betânia-PE, Bodocó-PE, Custódia-PE, Exu-PE, Floresta-PE, Ibimirim-PE, Inajá-PE, Parnamirim-PE, Salgueiro-PE, Santa Maria da Boa Vista-PE, Serra Talhada-PE e Triunfo-PE, não apresentaram qualquer tipo de tendência, seja positiva ou negativa, ou seja, acréscimo ou decréscimo na predição de volume pluviométrico, segundo os testes realizados mensalmente nas séries históricas de precipitação.

Como a região apresenta um regime pluviométrico, que apesar de sua variabilidade temporal e espacial, é bem definido em estação chuvosa (Dezembro – Maio) e estação seca (Junho – Novembro), os testes de tendência predizem com um grau de confiabilidade maior o período chuvoso, no período de baixo índice pluviométrico as médias de precipitação são muito baixas e qualquer precipitação, por mínima que seja, porém maiores que a média histórica, acabam fazendo com que o teste de tendência superestime um incremento na precipitação, quando na verdade este acréscimo torna-se ínfimo, uma vez que o teste estatístico leva em consideração

as observações médias, portanto para esta análise, nosso objeto de interesse tornou-se apenas o período chuvoso.

Os resultados da análise de tendência apontaram um incremento na precipitação mensal ao nível de 1% de probabilidade, segundo o teste de Mann-Kendall e Estimador de declive de Sen (Sen's Slope) nas seguintes cidades: Itapetim-PE (Dezembro), Petrolina-PE (Abril), São José do Belmonte-PE (Maio) e São José do Egito-PE (Dezembro, Janeiro e Maio). Enquanto, as cidades de Afogados da Ingazeira-PE (Dezembro), Cabrobó-PE (Abril), Itapetim-PE (Janeiro), Ouricuri-PE (Maio), Petrolândia-PE (Fevereiro), Petrolina-PE (Maio), São José do Belmonte-PE (Dezembro, Janeiro e Abril), Serrita-PE (Janeiro e Maio) e Sertânia-PE (Janeiro) ao nível de 5% de probabilidade.

As análises também mostraram tendência negativa, ou seja, decréscimo na precipitação mensal nas cidades analisadas, ao nível de 1% de probabilidade, a cidade de Iguaraci-PE (Março) e Itapetim-PE (Abril), ao nível de 5% de probabilidade, as cidades que apresentaram tendência negativa foram: Araripina-PE (Fevereiro), Flores-PE (Fevereiro e Março), Iguaraci-PE (Abril), Ipubi-PE (Março) e Verdejante-PE (Março).

Em estudo regional desenvolvido por Salviano et al. (2016) a região Nordeste apresentou tendência negativa apenas para o mês de Março, contrapondo-se aos resultados do presente trabalho, onde foram observadas tendências negativas, não só no mês de março, porém também em Fevereiro e Abril, sendo estes três meses de extrema importância na contribuição de volume de chuvas no período chuvoso no Sertão do Estado de Pernambuco, bem como demais Estados que localizam-se na região semiárida. O resultado preocupa, uma vez que chuvas abaixo da média no período em que são esperadas representam dificuldades hídricas severas para a região, prejudicando o abastecimento de mananciais e inviabilizando a agricultura e pecuária local.

Por outro lado, tendências positivas com aumento da precipitação também foram relatadas em estudos desenvolvidos no Nordeste brasileiro por Hastenrath (2000) e Santos et al. (2010). O deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCTI), bem como das células de Hardley-Walker podem ser a explicação das tendências positivas de chuva para a região semiárida do Nordeste.

Tabela 9 - Testes de tendência Mann-Kendall e Sen's Slope para precipitação das cidades em estudo

Estações	Testes	Período Chuvoso						Período Seco					
		Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
1 Afogados da Ingazeira-PE	Z _{MK}	-0,2	2,4 *	0,6	0,3	0,7	1,9	1,9	3,4 **	0,1	1,1	0,7	-0,8
	Q _{Méd}	0	0,389 *	0,13	0,094	0,179	0,3	0,171	0,239 **	0	0	0	0
2 Afrânio-PE	Z _{MK}	1,0	0,8	0,0	1,8	1,4	0,7	-1,5	-2,0 *	-1,0	-2,0 *	1,2	-0,4
	Q _{Méd}	0,148	0,152	0	0,5	0,222	0	0	0 *	0	0 *	0	-0,005
3 Araripina-PE	Z _{MK}	-1,3	-0,2	-2,1 *	-0,6	1,0	-0,7	-3,5 **	-3,5 **	-4,1 **	-2,0 *	-1,6	-2,8 **
	Q _{Méd}	-0,2	-0,046	-0,730 *	-0,227	0,203	0	-0,132 **	-0,054 **	0 **	0 *	0	-0,297 **
4 Arcoverde-PE	Z _{MK}	-1,1	-0,5	-0,1	0,1	0,0	0,2	1,1	1,7	2,4 *	0,6	-1,9	-1,7
	Q _{Méd}	0	-0,009	0	0	0	0,013	0,124	0,194	0,184 *	0	0	0
5 Belém de São Francisco-PE	Z _{MK}	-0,8	0,3	0,0	0,3	-0,8	0,7	0,5	1,7	2,0	0,0	0,4	-1,9
	Q _{Méd}	-0,085	0,038	0	0,094	-0,115	0,015	0,013	0,039	0,013	0	0	-0,144
6 Betânia-PE	Z _{MK}	0,1	0,1	0,5	-0,9	0,8	0,5	-1	0,8	1,1	2,0 *	1,8	1,6
	Q _{Méd}	0	0,01	0,11	-0,31	0,145	0,042	-0,067	0,017	0,0	0 *	0	0,075
7 Bodocó-PE	Z _{MK}	0,0	0,2	-1,0	-1,0	-1,2	1,2	1,5	2,1 *	2,8 **	4,2 **	2,5 *	1,7
	Q _{Méd}	0,0	0,015	-0,392	-0,428	-0,455	0,083	0,035	0,042 *	0 **	0 **	0,100 *	0,127
8 Cabrobó-PE	Z _{MK}	0,4	0,5	-0,1	0,4	2,1 *	1,9	0,7	0,9	1,5	4,3 **	2,0 *	1,3
	Q _{Méd}	0	0,034	0	0,044	0,314 *	0,094	0	0,003	0	0 **	0 *	0,037
9 Custódia -PE	Z _{MK}	1,3	1,2	1,1	-1,0	-1,5	-1,3	-2,4 *	-0,2	-0,3	2,2 *	1,8 *	0,8
	Q _{Méd}	0,128	0,211	0,293	-0,448	-0,458	-0,339	-0,412 *	-0,004	-0,00002	0,036 *	0,001 *	0,0004
10 Exu-PE	Z _{MK}	-0,2	1,6	-0,9	-1,3	-0,6	-0,3	-1,5	-0,1	0,2	1,2	0,0	-0,9
	Q _{Méd}	0	0,468	-0,307	-0,575	-0,193	-0,027	-0,145	0	0	0	0	0
11 Flores-PE	Z _{MK}	-0,3	0,7	-2,0 *	-2,1 *	-0,6	-0,1	1,0	1,9	2,0 *	0,3	0,6	-1,0
	Q _{Méd}	0	0,118	-0,556 *	-0,660 *	-0,136	-0,003	0,061	0,099	0 *	0	0	0
12 Floresta-PE	Z _{MK}	0,5	1,9	-0,1	0,9	0,7	0,2	1,7	2,7 **	0,8	0,6	-0,1	-0,8
	Q _{Méd}	0,043	0,311	-0,036	0,262	0,12	0,007	0,057	0,098 **	0	0	0	0
13 IbimirimPE	Z _{MK}	0,1	-0,2	0,9	-0,5	-0,8	0,3	0,0	1,5	1,4	1,1	1,1	0,5
	Q _{Méd}	0	0	0,2	-0,207	-0,238	0,035	0	0,1	0	0	0	0
14 Igaraci-PE	Z _{MK}	0,2	-0,2	-1,6	-3,4 **	-2,4 *	-0,7	-1,6	0,1	2,4 *	0,6	1,7	1,7
	Q _{Méd}	0	-0,088	-0,925	-2,9 **	-1,764 *	-0,289	-0,481	0	0,071 *	0	0,004	0,069
15 Inajá-PE	Z _{MK}	-0,8	0,0	0,9	0,8	0,5	-0,5	2,0	2,7 **	1,4	1,6	1,0	-0,6
	Q _{Méd}	-0,071	0	0,138	0,234	0,072	-0,039	0,197	0,288 **	0,077	0,025	0	-0,01

ZMK: Teste Mann-Kendall, Q_{Méd}: Sen's Slope; (*) Tendência Significativa Estatisticamente ao nível de 5% de Probabilidade; (**) Tendência Significativa Estatisticamente ao nível de 1% de Probabilidade

Cont.

Tabela 9 (Cont.) - Testes de tendência Mann-Kendall e Sen's Slope para precipitação das cidades em estudo

Estações	Testes	Período Chuvoso							Período Seco				
		Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
16 Ipubi-PE	Z _{MK}	0,2	0,3	-1,7	-2,1 *	-1,1	0,9	-0,7	1,1	4,0 **	4,1 **	2,5 *	0,0
	Q _{Méd}	0,063	0,195	-1,556	-1,664 *	-0,622	0,273	-0,093	0,067	0,138 **	0,075 **	0,15 *	0
17 Itapetim-PE	Z _{MK}	2,5 **	2,0 *	-1,4	-0,7	-2,7 **	-0,5	0,0	0,7	2,1 *	2,6 **	4,0 **	2,9 **
	Q _{Méd}	0,25 **	1,012 *	-0,773	-0,575	-1,702 **	-0,113	0	0,079	0,059 *	0,0001 **	0,253 **	0,021 **
18 Ouricuri-PE	Z _{MK}	0,2	0,6	-1,0	0,6	0,5	2,3 *	2,2 *	2,4 *	2,2 *	4,4 **	1,2	0,8
	Q _{Méd}	0,008	0,122	-0,199	0,176	0,064	0,119 *	0,022 *	0,01 *	0 *	0 **	0	0,004
19 Parnamirim-PE	Z _{MK}	0,6	-0,1	-1,2	-0,5	0,3	0,0	0,1	-1,1	0,6	-1,4	-0,4	-0,4
	Q _{Méd}	0,096	-0,009	-0,277	-0,15	0,028	0	0	0	0	0	0	0
20 Petrolândia-PE	Z _{MK}	0,6	1,3	2,0 *	0,5	1,8	-0,4	1,0	0,1	0,2	2,1 *	3,5 **	1,4
	Q _{Méd}	0,061	0,166	0,336 *	0,111	0,196	-0,029	0,07	0,002	0	0,029 *	0,072 **	0,1
21 Petrolina-PE	Z _{MK}	-0,5	1,1	0,4	0,2	2,6 **	2,4 *	4,0 **	3,9 **	**	2,0 *	0,9	0,5
	Q _{Méd}	-0,049	0,167	0,053	0,024	0,229 **	0 *	0,01 **	0 **	**	0 *	0	0
22 Salgueiro-PE	Z _{MK}	0,1	1,2	-0,1	-0,9	1,7	1,7	1,2	1,1	0,1	2,7 **	1,2	-0,2
	Q _{Méd}	0,008	0,236	-0,031	-0,252	0,357	0,088	0,022	0,009	0	0 **	0	0
23 Santa Maria da Boa Vista-PE	Z _{MK}	-0,3	0,1	-1,5	0,5	0,2	0,0	-0,8	2,8 **	1,6	0,2	-1,6	-0,4
	Q _{Méd}	-0,024	0	-0,236	0,108	0,006	0	0	0,027 **	0	0	0	0
24 São José do Belmonte-PE	Z _{MK}	2,4 *	2,6 *	0,8	1,3	2,1 *	2,9 **	1,5	3,1 **	3,7 **	4,1 **	3,2 **	2,4 *
	Q _{Méd}	0,207 *	0,519 *	0,157	0,389	0,438 *	0,215 **	0,04	0,07 **	0 **	0 **	0 **	0,118 *
25 São José do Egito-PE	Z _{MK}	3,4 **	4,1 **	1,8	1,2	1,5	2,8 **	3,6 **	2,9 **	3,4 **	4,2 **	3,9 **	3,7 **
	Q _{Méd}	0,09 **	0,613 **	0,333	0,313	0,344	0,418 **	0,27 **	0,104 **	0,019 **	0 **	0 **	0 **
26 Serra Talhada-PE	Z _{MK}	-0,5	1,5	-0,2	0,2	0,5	0,9	0,4	2,6 *	0,0	0,1	-1,0	-0,1
	Q _{Méd}	-0,05	0,226	-0,033	0,066	0,097	0,104	0,021	0,093 *	0	0	0	0
27 Serrita-PE	Z _{MK}	0,7	2,2 *	1,1	-0,3	0,4	2,2 *	1,6	3,0 **	3,6 **	3,6 **	1,9	0,6
	Q _{Méd}	0,148	0,6 *	0,358	-0,151	0,112	0,271 *	0,063	0,044 **	0 **	0 **	0	0,025
28 Sertânia-PE	Z _{MK}	1,3	2,5 *	-0,1	-0,4	0	0	0	1	1,9	1,8	3,0 **	1,3
	Q _{Méd}	0,021	0,281 *	-0,006	-0,1	0,01	0	0	0,039	0,02	0	0,078 **	0
29 Triunfo-PE	Z _{MK}	0,4	1,3	-0,3	-1,3	0,3	0,1	-0,1	0,4	1,7	1,7	2,7 **	2,1 *
	Q _{Méd}	0,0001	0,243	-0,006	-0,335	0,055	0,0001	-0,00001	0,048	0,133	0,050	0,142 **	0,096 *
30 Verdejante-PE	Z _{MK}	0,8	-0,2	0,0	-2,0 *	-1,0	1,5	1,4	2,7 *	2,8 *	3,4 **	2,8 *	2,8 *
	Q _{Méd}	0	0	0	-1,3 *	-0,412	0,152	0,0002	0 *	0 *	0,00004 **	0,0005 *	0,21 *

ZMK: Teste Mann-Kendall, Q_{Méd}: Sen's Slope; (*) Tendência Significativa Estatisticamente ao nível de 5% de Probabilidade; (**) Tendência Significativa Estatisticamente ao nível de 1% de Probabilidade

Outro fator relevante em estudos de análises de tendência é o período de estudo ou tamanho da série histórica, como por exemplo um estudo feito por Moncunill (2006), que observou uma redução da precipitação anual da ordem de 6% por década no intervalo entre 1961 e 2003 para o Estado do Ceará, excetuando-se em regiões onde a precipitação é dependente da topografia, também observando diminuição na precipitação Salati et al. (2007) estimaram um decréscimo de 11,6% na precipitação durante os anos de 1961 a 2004.

Decréscimos na precipitação também foram observados na China, Bacia do Rio Zhangweinan, através de estudos realizados por Yang et al. (2012) utilizando o teste Mann-Kendall em série histórica de 53 anos de dados de precipitação, onde o autor afirma que as séries de precipitação mostram forte continuidade na Bacia do Rio Zhangweinan, o que indica que a tendência futura será consistente com a do passado. Além disso o autor reitera que esses resultados de pesquisa não só ajudarão a fornecer evidências para a mudança climática na Bacia do Rio Zhangweinan, mas também podem lançar as bases para futuros estudos sobre a avaliação da segurança dos recursos hídricos em condições de mudança climática.

Ao utilizar-se dados hidrológicos de precipitação para análise de tendências, presume-se que as séries temporais sejam estacionárias, ou seja, não apresente variação ou mudança abrupta em suas características ao longo do tempo (TUCCI, 2005), uma vez que as medidas confiáveis dos dados climáticos são a base essencial para as análises quantitativas das variáveis do clima, porém diversos fatores inerentes aos equipamentos de medição que afetam a qualidade dos dados climáticos e esses fatores precisam ser compreendidos e levados em consideração para as análises climáticas, embora existam normas e recomendações universalmente aceitas para a instalação e observação de instrumentos, as práticas e os instrumentos de medição podem diferir de estação para estação em um determinado país e também podem haver mudanças em uma estação individual de tempos em tempos. Como resultado, esses fatores causam variações nas séries temporais da estação. (SAHIN; CIGIZOGLU, 2010).

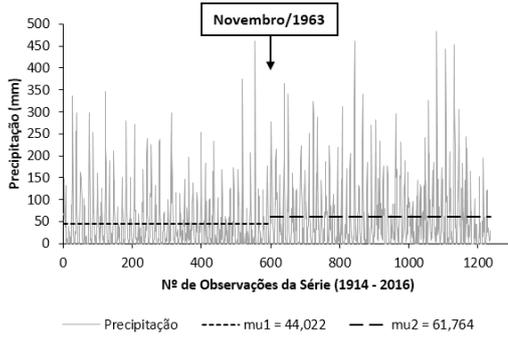
4.6 Teste de homogeneidade dos dados de precipitação das séries históricas das cidades que apresentaram tendência significativa

As tendências em séries temporais de precipitação indicaram uma variação observada, principalmente na média durante o período analisado no presente trabalho, essa variação pode ser discreta ou abrupta, e os reais motivos desta descontinuidade torna-se objeto de estudo, na intenção de se verificar se são variações naturais, impostas pelas circulações dos sistemas climáticos ou atribuídas a mudanças climáticas intensificadas pela ação antrópica, principalmente através da emissão de gases de efeito estufa, bem como na atuação do homem modificando ecossistemas naturais transformando-os em campos agrícolas ou em áreas degradadas.

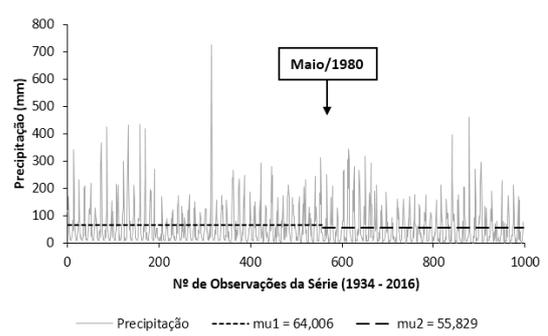
Deste modo, foi aplicado o teste de homogeneidade de Pettitt (PETTITT, 1979) nos dados de precipitação das cidades do Sertão do Estado de Pernambuco (Figura 9) que apresentaram tendência (positiva ou negativa) com um nível de significância de 5%, assumindo que as cidades que não apresentaram tendência significativa possuem uma série de dados homogênea. Desta forma, os dados são homogêneos se o p-valor calculado foi maior que o nível de significância $\alpha=0,05$. No entanto se o p-valor calculado foi menor que o nível de significância $\alpha=0,05$, rejeitou-se a hipótese nula em que os dados são homogêneos, em favor da hipótese alternativa, em que houve uma alteração nos dados.

O teste de homogeneidade aplicado às cidades analisadas que apresentaram tendências, mostrou que não necessariamente a variação da média de precipitação mensal é acompanhada de uma mudança abrupta, esta alteração pode ocorrer de maneira discreta ao longo do período analisado, como visto nas cidades de Flores-PE, Iguaraci-PE, Ipubi-PE, sendo os dados de precipitação da série histórica homogêneos de acordo com o teste de Pettitt ao nível de 5% de probabilidade, e apesar destas cidades apresentarem tendência de decréscimo na precipitação, esta variação não ocorreu de modo brusco, ou seja, há possibilidade da ocorrência desta tendência ter iniciado em período anterior ao da série histórica.

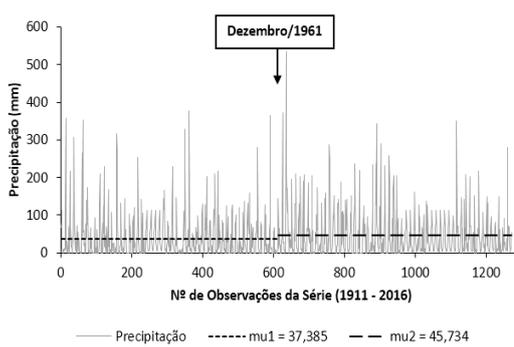
1 - Afogados da Ingazeira - PE



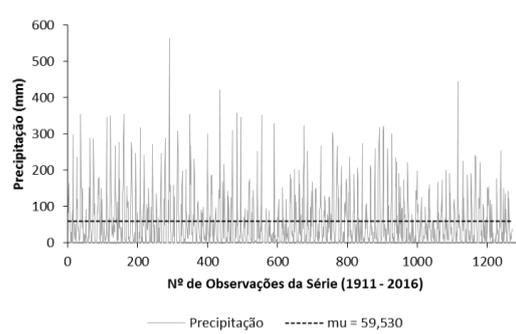
3 - Araripina - PE



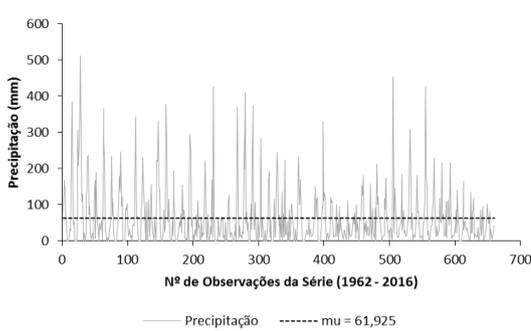
8 - Cabrobó - PE



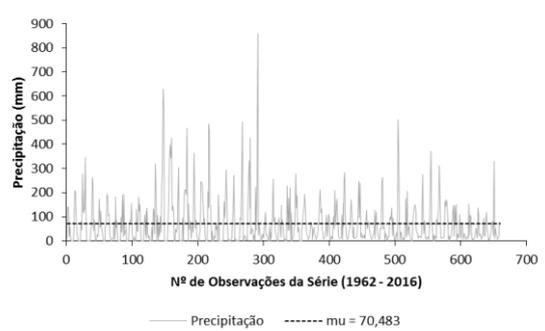
11 - Flores - PE



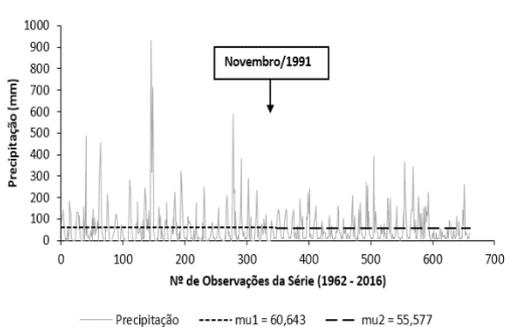
14 - Igaraci - PE



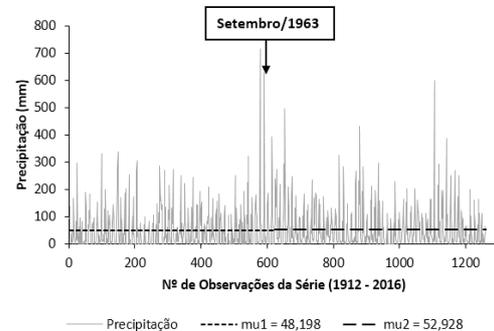
16 - Ipubi - PE



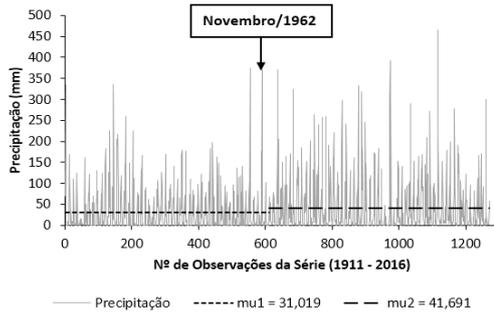
17 - Itapetim - PE



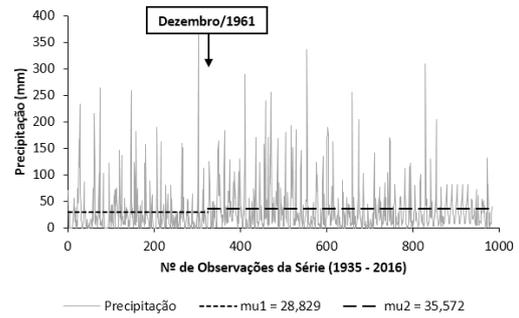
18 - Ouricuri - PE



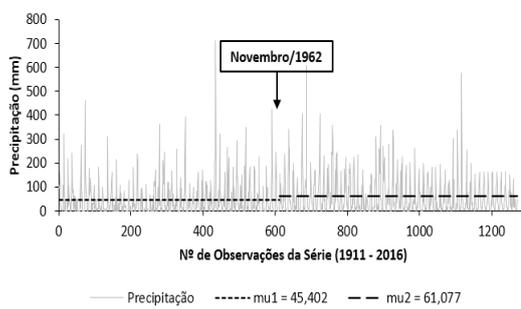
21 - Petrolina - PE



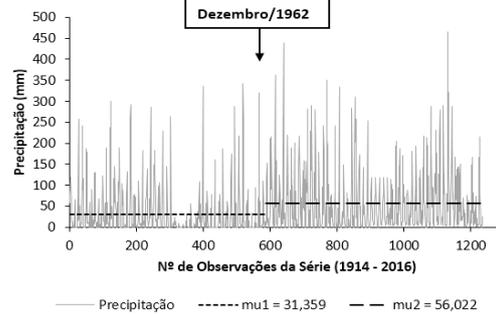
20 - Petrolândia - PE



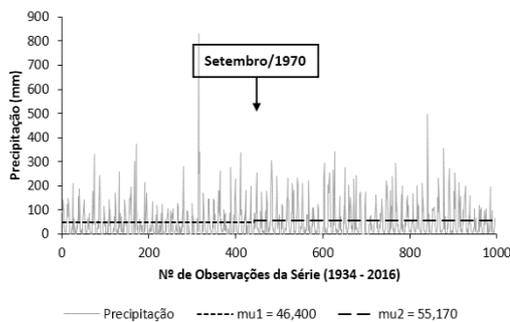
24 - São José do Belmonte - PE



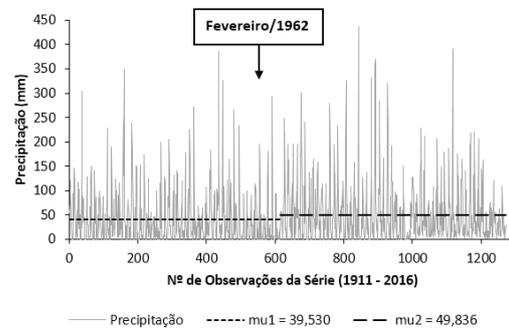
25 - São José do Egito - PE



27 - Serrita - PE



28 - Sertânia - PE



30 - Verdejante - PE

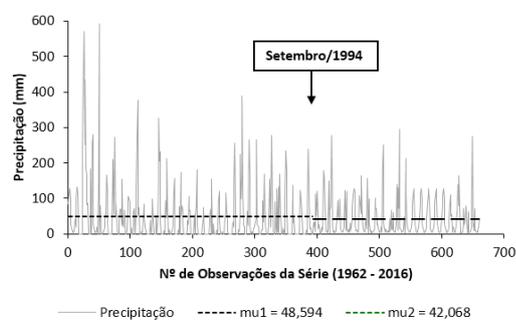


Figura 9 – Teste de homogeneidade de Pettitt em dados de precipitação das cidades que apresentaram tendência (positiva ou negativa)

As cidades de Araripina-PE, Itapetim-PE e Verdejante-PE que apresentaram uma tendência de decréscimo na precipitação, detectou-se uma mudança abrupta na média de precipitação (mm) na série histórica, de aproximadamente 8 mm, 5mm e 6,5 mm respectivamente, caracterizando a heterogeneidade do conjunto de dados de precipitação, tais variações tiveram seu início detectado na série histórica de acordo com o teste de homogeneidade de Pettitt ao nível de 5% de probabilidade nos seguintes momentos: Araripina-PE (Maio/1980), Itapetim-PE (Novembro/1991) e Verdejante-PE (Setembro/1994), um dos fatores que podemos destacar é a influência de eventos de precipitação relacionados aos ENOS (El-Niño - Oscilação Sul) (CPTEC/INPE 2016).

Por outro lado, as cidades de Afogados da Ingazeira-PE, Cabrobó-PE, Ouricuri-PE, Petrolina-PE, Petrolândia-PE, São José do Belmonte-PE, São José do Egito-PE, Serrita-PE e Sertânia-PE, que apresentaram uma tendência de incremento na precipitação de acordo com a análise de tendência de Mann-Kendall e Estimador de declive de Sen, e mostraram que os dados não são homogêneos, segundo o teste de Pettitt ao nível de 5% de probabilidade, tiveram o momento de detecção da mudança abrupta nos seguintes meses/anos: Afogados da Ingazeira-PE (Novembro/1963), Cabrobó-PE (Dezembro/1961), Ouricuri-PE (Setembro/1963), Petrolina-PE (Novembro/1962), Petrolândia-PE (Dezembro/1961), São José do Belmonte-PE (Novembro/1962), São José do Egito-PE (Dezembro/1962), Serrita-PE (Setembro/1970) e Sertânia-PE (Fevereiro/1962), período pós El Niño (forte) e anterior a um período de La niña (moderado) (CPTEC/INPE 2016).

De acordo com o teste de homogeneidade aplicado em dados de precipitação de 232 estações da Turquia no período de 1974-2002 por Sahin e Cigizoglu, 2010, onde 30 das 232 estações apresentaram dados não-homogêneos, no entanto, apenas em algumas estações detectaram-se mudanças abruptas na série, assim, a maioria das descontinuidades estatísticas, alegaram os autores, estariam muito provavelmente relacionadas com flutuações de longo prazo e tendências significativas, ambas aceitas dentro de outras características não aleatórias da série de observações climatológicas.

Algumas das cidades submetidas ao teste de Pettitt, evidenciaram um período semelhante da ocorrência da mudança detectada, podemos destacar os anos de 1961, 1962 e 1963, principalmente o ano de 1962, onde observou-se que as cidades

de Petrolina-PE (Novembro), São José do Egito-PE (Dezembro) e São José do Belmonte-PE (Novembro), apresentaram um aumento na precipitação.

Em estudo realizado em Madhya Pradesh na Índia, por Kundu et al. (2015), avaliando distribuição espacial e variação temporal da precipitação sazonal e anual em 45 estações durante o período de 1901-2011 (111 anos), observou - se variação na distribuição espacial das chuvas anuais e das chuvas de monções, que apresentaram tendência decrescente na maioria das 45 estações, onde o provável ponto de ruptura na série foi no ano de 1978 e o evento negativo extremo de chuva se tornou frequente nos anos após o ponto de ruptura de 1979 a 2011, os autores observaram uma diminuição anual de -6.75% da precipitação observada no período de 1901 a 2011.

Mudanças no padrão de chuvas tem um impacto considerável no setor agrícola e de abastecimento hídrico e quaisquer flutuações no ciclo hidrológico terão um efeito considerável sobre a disponibilidade de água doce segundo Cruz et al. (2007). Sendo assim, alterações na precipitação, na cobertura e no uso do solo também são observados como tendo um efeito importante sobre a produção de sedimentos e o escoamento superficial de bacias hidrográficas (WEI et al., 2015).

As cidades do Sertão do Estado de Pernambuco, bem como as demais localizadas na região semiárida do Nordeste brasileiro convivem com sérios problemas de abastecimento hídrico há anos, em função da evidente variabilidade do regime hídrico observada nos resultados, porém principalmente os períodos de seca, evidenciados em anos com diminuição da precipitação no período chuvoso agravam a situação, expondo problemas econômicos e sociais graves na região, estudos sobre o comportamento do ciclo hidrológico são extremamente importantes no planejamento de ações que minimizem os impactos causados pela falta e/ou excesso de chuvas na vida das pessoas, bem como na conservação do meio ambiente e sustentabilidade dos ecossistemas.

4.7 Padrões de temperatura em cidades do Sertão do Estado de Pernambuco

De acordo com os resultados (Tabela 10) as cidades de Cabrobó-PE, Ouricuri-PE e Petrolina-PE foram as que apresentaram os maiores valores médios de temperatura (Máxima, Média e Mínima), bem como temperaturas máxima e mínima absoluta em todos os meses observados, enquanto que as cidades de Arcoverde-PE

e Triunfo-PE os menores valores para as variáveis em questão, o que justifica-se em função da localização destas duas cidades, no caso de Arcoverde-PE a influência da zona de transição entre as regiões Agreste e Sertão também deve ser levado em consideração, onde esta última apresenta maiores registros de temperatura durante o ano, porém outro fator determinante que podemos destacar é a altitude, onde a cidade de Arcoverde-PE apresenta em torno de 681 m, e principalmente a cidade de Triunfo-PE que está localizada a 1105 m acima do nível do mar.

Os valores médios de temperatura observados nas séries históricas das cidades do Sertão do Estado de Pernambuco confirmaram as elevadas temperaturas ($\approx 23-30^{\circ}\text{C}$) característica marcante da região semiárida do nordeste brasileiro.

4.8 Anomalia de temperatura em cidades do Sertão do Estado de Pernambuco

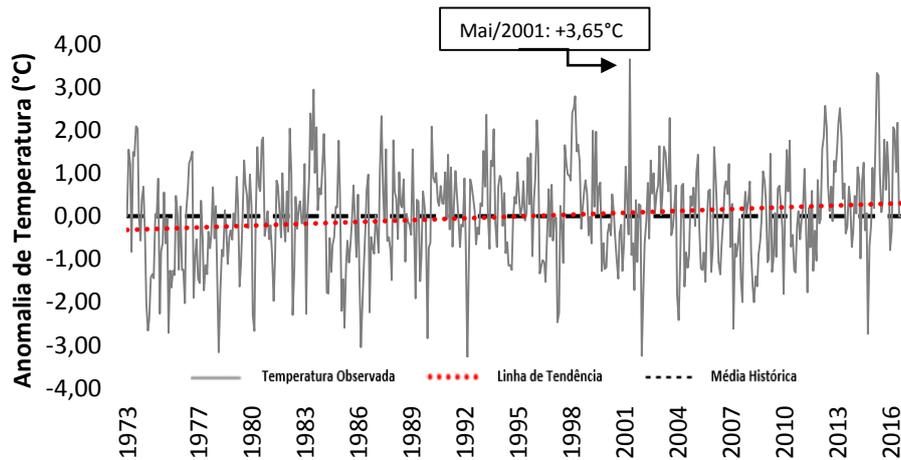
As séries históricas de temperatura das cidades em estudo nos permitiu um acompanhamento das alterações ocorridas nas variáveis de temperatura (Máxima, Média e Mínima) ao longo do tempo de registro do intervalo histórico analisado. Para todas as cidades em questão observou-se tendência positiva, ou seja, uma elevação nas variáveis de temperatura. Exceto a cidade de Arcoverde-PE (Figura 10), que comparando-se com as demais, apresentou os menores valores de variação nas temperaturas máxima, média e mínima, porém de acordo com a oscilação da temperatura média durante o período da série histórica incrementos da ordem de + 2,29 °C (Julho/1983) e + 2,08 °C (Maio/2015) foram observados. No mês de Maio do ano de 2001 foi registrado um acréscimo de + 3,65 °C na temperatura máxima observada em relação à média histórica.

O incremento na temperatura observada para a cidade de Arcoverde-PE apesar de representativo não foi superior as cidades de Cabrobó-PE (Figuras 10 e 11), que registrou incrementos em torno de $\approx + 3,5^{\circ}\text{C}$ nas temperaturas máxima e média, na Figura 12 podemos observar que Ouricuri-PE no mês de Abril de 1998 registrou um temperatura máxima 4,55 °C acima da média histórica para este mês, enquanto que no mês de Dezembro de 1985 houve um decréscimo de $- 4,12^{\circ}\text{C}$ em relação à média deste mês, de acordo com a série histórica analisada.

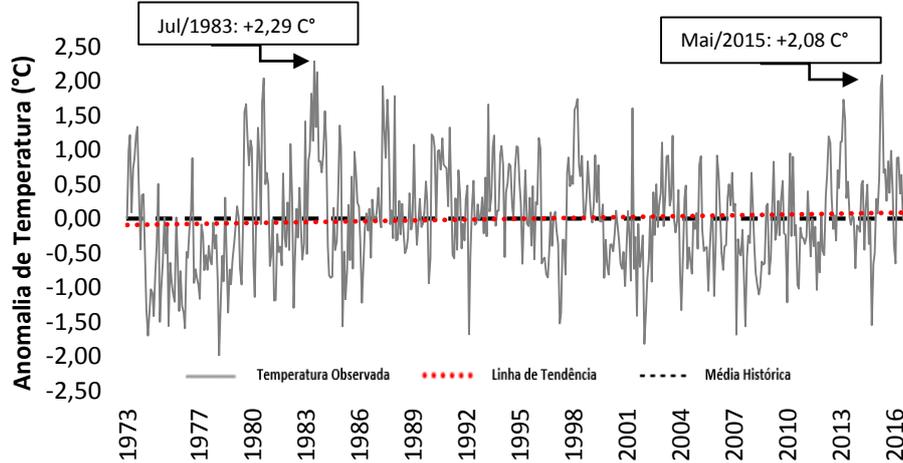
Tabela 10 – Médias de temperatura máxima, média, mínima (°C) e desvio padrão (σ) e máxima e mínima absoluta (°C) em séries históricas de cidades do sertão do Estado de Pernambuco

Estação	Temperatura (°C)	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1 Arcoverde-PE	Máx. Absoluta	33,26	33,60	33,24	32,97	31,51	28,35	28,49	29,14	31,22	32,74	33,90	33,88
	Máx. Média	31,50 ± 1,00	31,19 ± 1,32	30,72 ± 1,57	29,64 ± 1,53	27,86 ± 1,59	26,17 ± 1,07	25,55 ± 1,02	26,86 ± 1,05	29,15 ± 1,06	31,27 ± 0,78	32,17 ± 0,72	32,12 ± 0,91
	Média	25,00 ± 0,74	24,84 ± 0,84	24,57 ± 0,93	23,91 ± 0,88	22,65 ± 0,91	21,33 ± 0,68	20,48 ± 0,68	20,99 ± 0,79	22,44 ± 0,83	24,06 ± 0,59	25,03 ± 0,57	25,24 ± 0,63
	Mín. Média	19,58 ± 0,52	19,66 ± 0,62	19,65 ± 0,67	19,36 ± 0,65	18,68 ± 0,57	17,61 ± 0,68	16,80 ± 0,64	16,49 ± 0,55	17,22 ± 0,55	18,29 ± 0,48	19,02 ± 0,53	19,43 ± 0,49
	Mín. Absoluta	18,09	18,00	18,41	17,65	17,30	15,63	15,33	14,98	15,94	16,70	17,85	18,34
2 Cabrobó-PE	Máx. Absoluta	35,86	35,38	35,54	35,45	33,51	31,56	31,15	32,10	34,37	35,74	37,10	36,06
	Máx. Média	33,35 ± 1,27	32,74 ± 1,36	32,44 ± 1,33	31,82 ± 1,50	30,75 ± 1,27	29,47 ± 1,02	29,19 ± 0,87	30,42 ± 0,62	32,39 ± 0,78	34,06 ± 0,61	34,51 ± 0,89	33,95 ± 1,23
	Média	27,72 ± 0,99	27,37 ± 1,04	27,06 ± 1,13	26,57 ± 1,14	25,65 ± 0,99	24,40 ± 0,77	23,85 ± 0,66	24,74 ± 0,55	26,40 ± 0,66	28,12 ± 0,49	28,74 ± 0,74	28,42 ± 0,95
	Mín. Média	22,86 ± 0,76	22,49 ± 0,94	22,50 ± 0,94	22,22 ± 0,98	21,40 ± 0,85	20,26 ± 0,79	19,46 ± 0,71	19,58 ± 0,67	20,80 ± 0,62	22,24 ± 0,73	23,10 ± 0,82	23,26 ± 0,78
	Mín. Absoluta	20,55	19,34	20,16	19,56	18,99	18,46	17,48	17,75	19,02	19,11	19,47	20,68
3 Ouricuri-PE	Máx. Absoluta	35,69	34,20	34,37	35,18	33,17	31,57	31,30	32,04	34,89	35,86	36,63	35,59
	Máx. Média	32,05 ± 1,29	31,28 ± 1,21	31,13 ± 1,35	30,63 ± 1,46	30,30 ± 1,51	29,61 ± 1,01	29,51 ± 0,71	30,88 ± 0,46	32,75 ± 0,76	34,12 ± 0,79	34,39 ± 0,96	33,41 ± 1,24
	Média	26,36 ± 1,00	25,76 ± 1,11	25,78 ± 1,14	25,29 ± 1,13	24,88 ± 1,14	24,09 ± 0,87	23,59 ± 0,82	24,54 ± 0,49	26,32 ± 0,63	27,73 ± 0,59	28,28 ± 0,83	27,63 ± 0,97
	Mín. Média	22,07 ± 0,85	21,73 ± 0,76	21,69 ± 0,93	21,29 ± 0,95	20,57 ± 0,99	19,55 ± 0,96	18,92 ± 0,87	19,15 ± 0,71	20,55 ± 0,54	22,02 ± 0,51	22,87 ± 0,57	22,67 ± 0,88
	Mín. Absoluta	19,62	20,19	19,80	19,02	17,92	17,51	16,44	17,18	18,95	20,62	21,33	20,29
4 Petrolina-PE	Máx. Absoluta	38,09	36,57	37,93	37,93	35,92	34,85	34,65	35,56	36,78	38,18	38,95	36,17
	Máx. Média	33,31 ± 1,54	32,98 ± 1,50	33,07 ± 1,61	32,24 ± 1,56	31,31 ± 1,36	30,39 ± 1,04	29,98 ± 1,18	30,93 ± 1,02	32,90 ± 1,16	34,04 ± 0,89	34,36 ± 1,28	33,89 ± 1,11
	Média	27,62 ± 0,90	27,58 ± 1,07	27,36 ± 1,13	26,91 ± 1,01	26,10 ± 0,89	24,92 ± 0,61	24,29 ± 0,55	24,93 ± 0,50	26,56 ± 0,64	28,03 ± 0,60	28,59 ± 0,82	28,14 ± 0,85
	Mín. Média	22,85 ± 1,09	23,15 ± 0,85	23,28 ± 0,94	22,87 ± 0,90	21,84 ± 0,78	20,67 ± 0,73	19,69 ± 0,71	19,84 ± 0,59	20,98 ± 0,65	22,31 ± 0,75	23,02 ± 0,77	23,08 ± 0,79
	Mín. Absoluta	16,92	21,37	21,36	20,79	20,01	18,98	17,98	18,22	19,20	19,74	20,58	21,00
5 Triunfo-PE	Máx. Absoluta	30,26	31,05	30,32	30,53	28,67	26,22	25,85	27,78	29,55	30,75	31,55	30,67
	Máx. Média	28,15 ± 0,95	27,34 ± 1,18	26,91 ± 1,29	26,00 ± 1,17	24,80 ± 1,59	23,67 ± 1,23	23,47 ± 1,06	25,05 ± 0,85	27,31 ± 0,88	28,95 ± 0,76	29,33 ± 0,82	29,04 ± 0,92
	Média	22,76 ± 0,65	22,20 ± 0,77	21,97 ± 0,82	21,37 ± 0,67	20,38 ± 0,93	19,09 ± 0,68	18,56 ± 0,71	19,23 ± 0,67	20,88 ± 0,77	22,59 ± 0,58	23,29 ± 0,55	23,22 ± 0,59
	Mín. Média	17,94 ± 0,57	18,00 ± 0,48	18,05 ± 0,57	17,91 ± 0,49	17,14 ± 0,55	15,98 ± 0,53	15,14 ± 0,55	14,97 ± 0,51	15,61 ± 0,53	16,63 ± 0,53	17,33 ± 0,53	17,81 ± 0,45
	Mín. Absoluta	16,86	17,12	16,67	16,78	16,12	14,44	13,79	13,79	14,44	15,22	16,32	16,97

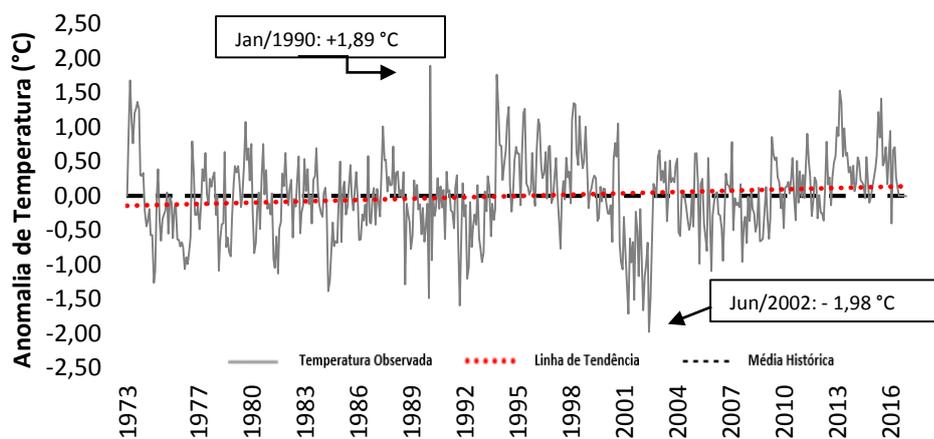
Temperatura Máxima



Temperatura Média



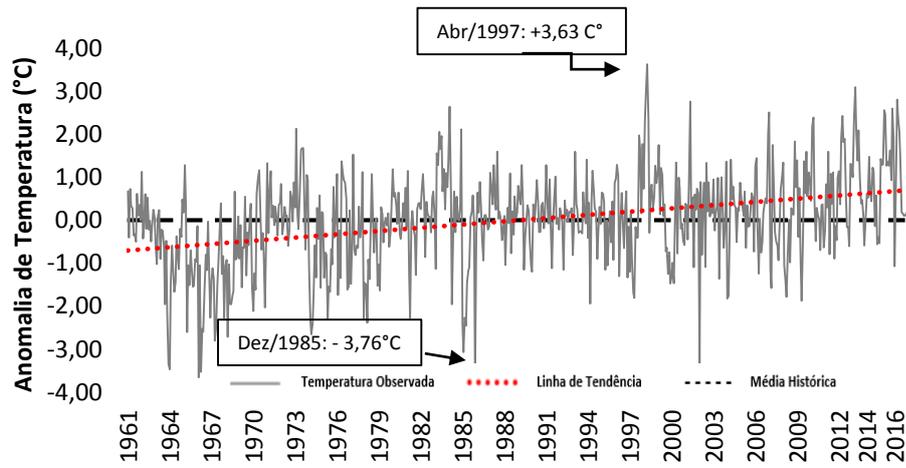
Temperatura Mínima



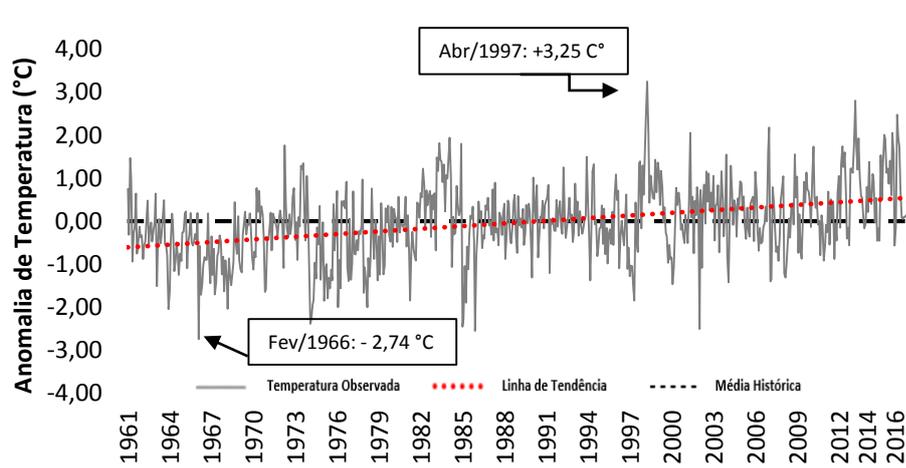
Série Histórica (1973-2016)

Figura 10 - Anomalia de temperatura observada em série histórica de temperatura máxima, média e mínima da cidade de Arcoverde-PE

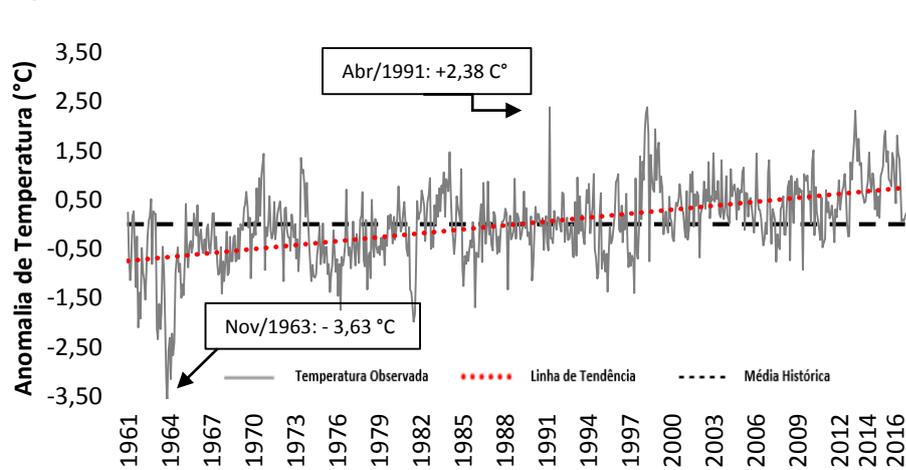
Temperatura Máxima



Temperatura Média



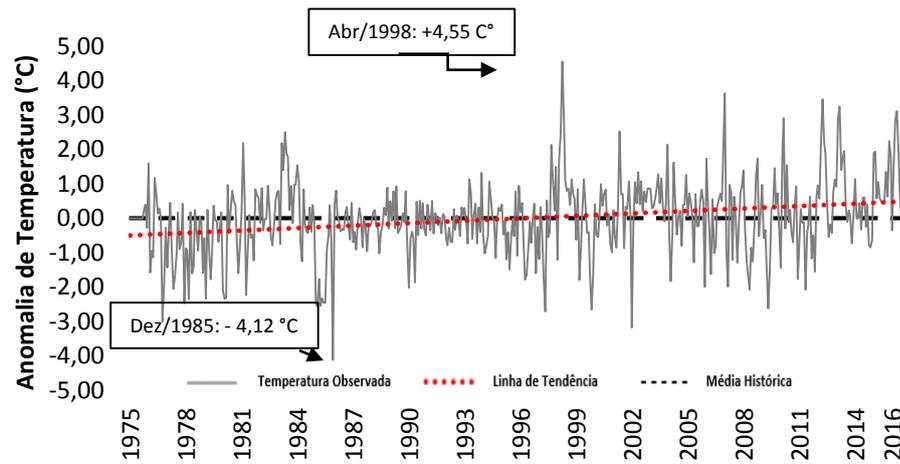
Temperatura Mínima



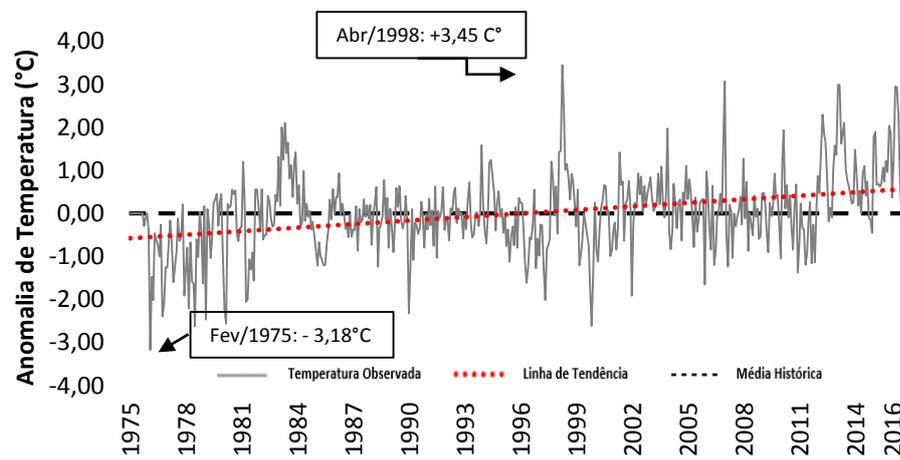
Série Histórica (1961-2016)

Figura 11 - Anomalia de temperatura observada em série histórica de temperatura máxima, média e mínima da cidade de Cabrobó-PE

Temperatura Máxima



Temperatura Média



Temperatura Mínima

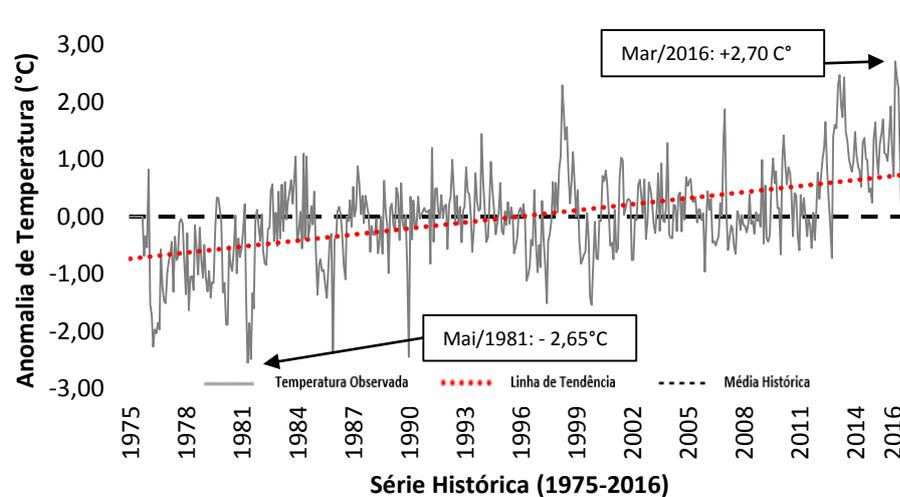


Figura 12 - Anomalia de temperatura observada em série histórica de temperatura máxima, média e mínima da cidade de Ouricuri-PE

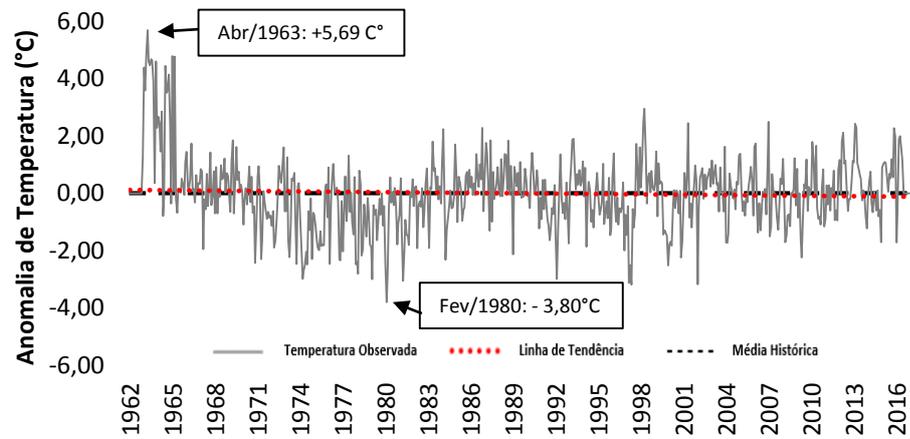
Na cidade de Petrolina-PE (Figura 13) observou-se um acréscimo de + 2,95 °C na temperatura média do mês de Março no ano de 2013, no mês de Abril de 1963 o incremento na temperatura máxima em relação à média histórica foi de 5,69 °C, porém não apresentou tendência positiva de incremento da temperatura máxima ao longo da série histórica analisada.

A cidade de Triunfo-PE (Figura 14) apesar de registrar as menores temperaturas em função da altitude, já mencionada anteriormente, também apresentou registros significativos de eventos dentro da série histórica analisada, onde a temperatura observada superou a média histórica, por exemplo, o acréscimo de 4,53 °C na média de temperatura máxima para o mês de Abril de 1998, neste mesmo ano e mês também verificou-se um aumento de 3,04 °C na temperatura média.

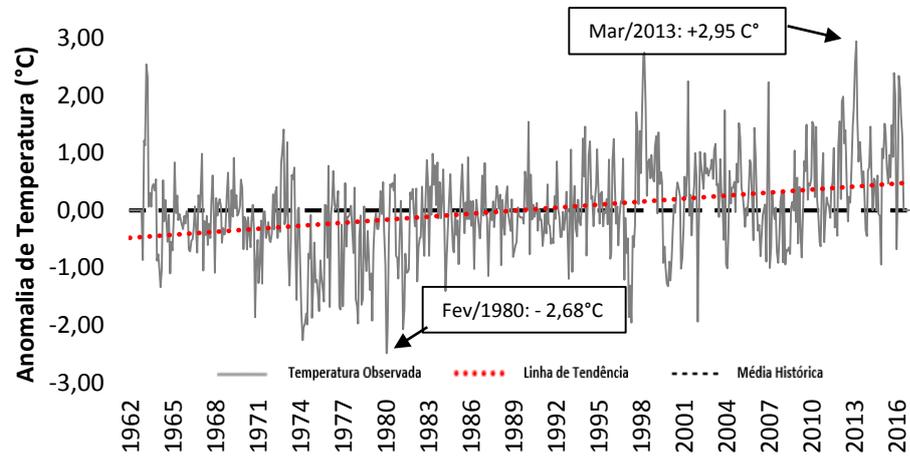
Em estudos sobre alterações climáticas, as anomalias de temperatura são mais importantes do que os registros médios ou absolutos, uma vez que representa a diferença de uma temperatura média para sua média histórica, mas principalmente por permitir que a variação observada através das anomalias de temperatura possam ser comparadas usando meses distintos, o que o uso de valores médios ou absolutos não permitem (HANSEN; LEBEDEFF, 1987). Por exemplo, dizer que março de 2013 em Petrolina-PE foi mais quente do que fevereiro deste mesmo ano não faria sentido, porém que os dois meses foram mais quentes do que "normal" ou em relação à média histórica do mês correspondente, nos diz algo mais significativo em análises de alterações na temperatura.

As projeções de clima futuro, liberadas pelo Quarto Relatório do IPCC AR4 (IPCC, 2007a; 2007b), e pelo Relatório de Clima do Inpe (MARENGO et al., 2007; 2009; AMBRIZZI et al., 2007) apontam que em um cenário climático pessimista, as temperaturas aumentariam de 2 °C a 4 °C no Nordeste, até o final do século 21, enquanto que em um cenário otimista, o aquecimento seria entre 1 °C e 3 °C. Os Relatórios divulgados pelo IPCC nos últimos anos apontaram que a última década do século XX foi globalmente a mais quente desde o início da medição de temperatura em todo o mundo durante o século XIX. Os resultados de anomalias em temperatura encontrados nas cidades do Sertão do Estado de Pernambuco analisadas mostram que os acréscimos de temperaturas observados confirmam as projeções do IPCC no que diz respeito a um aumento de temperatura ao longo dos anos.

Temperatura Máxima



Temperatura Média



Temperatura Mínima

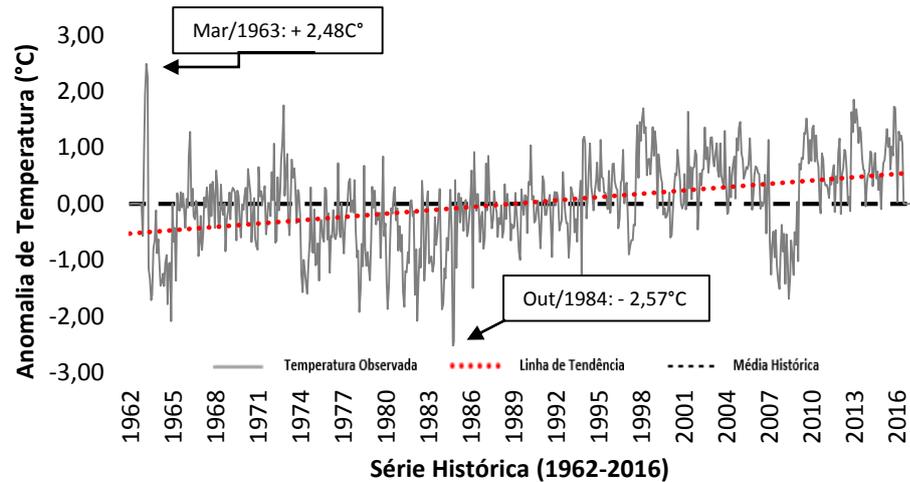
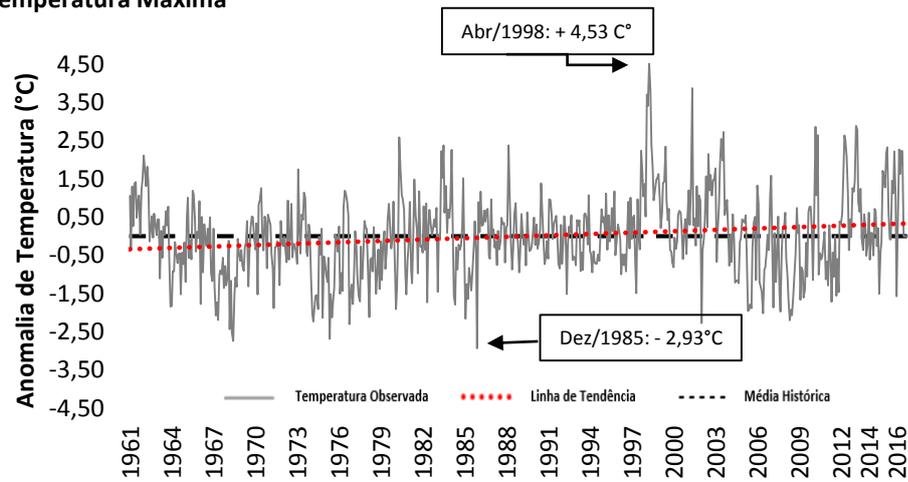
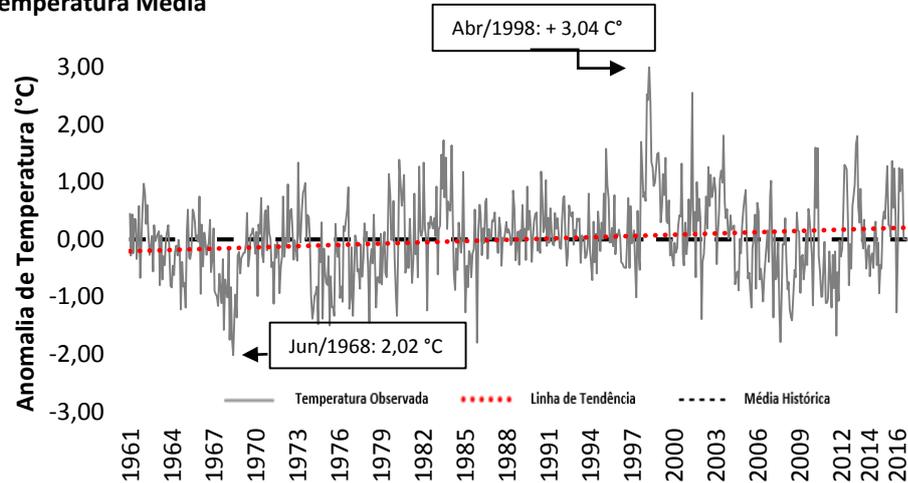


Figura 13 - Anomalia de temperatura observada em série histórica de temperatura máxima, média e mínima da cidade de Petrolina-PE

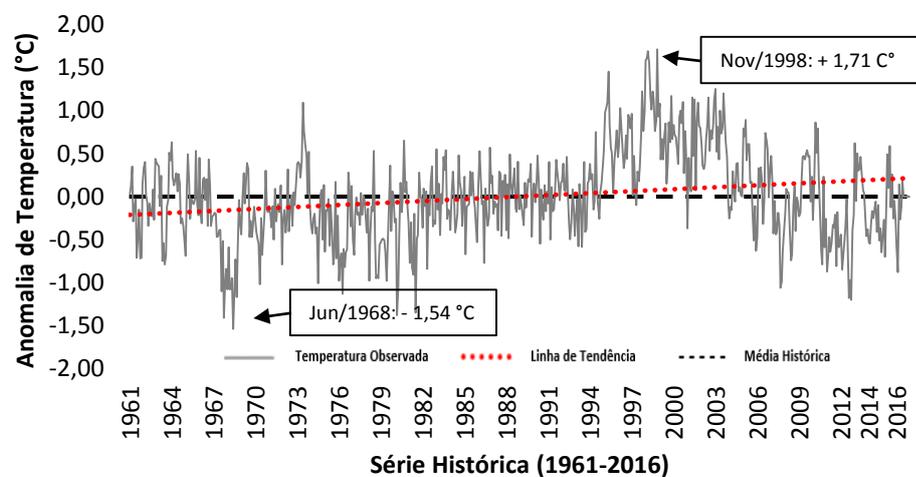
Temperatura Máxima



Temperatura Média



Temperatura Mínima



Série Histórica (1961-2016)

Figura 14 - Anomalia de temperatura observada em série histórica de temperatura máxima, média e mínima da cidade de Triunfo-PE

O cenário pessimista sugere uma tendência de extensão da deficiência hídrica em consequência de mais dias secos consecutivos em praticamente todo o ano para o Nordeste, ou seja, uma real tendência de “aridização” da região semiárida até final do século 21 (MARENGO et al., 2007a), realidade já observada em alguns pontos da região do semiárido nordestino.

Alexander et al. (2006) mostraram que as tendências anuais nas temperaturas mínimas e máximas diárias aumentaram em muitos locais ao redor do mundo na segunda metade do século XX.

Analisando o comportamento da temperatura em 12 estações meteorológicas na Sérvia Gocic e Trajkovic (2013) em estudo realizado na Sérvia obtiveram resultados que indicaram um aumento significativo na temperaturas mínimas e máximas, onde a temperatura máxima variou entre 0,529 e 0,696 °C / ano, enquanto que em temperatura mínima variou entre 0,279 °C e 0,388 °C / ano.

4.9 Função distribuição de probabilidade das séries históricas de temperatura máxima, média e mínima mensal

A seleção da Função de Distribuição de Probabilidade que melhor se ajustou aos dados de temperatura (máxima, média e mínima) (Tabela 11) foi efetuada através do teste Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de probabilidade, onde utilizou-se os registros médios de temperatura das séries históricas das cidades do sertão do Estado de Pernambuco.

A Função de Distribuição de Probabilidade Logística (Lo) foi a que melhor ajustou-se aos dados de temperatura, apresentando boa aderência em todos os meses observados nas 5 cidades analisadas do Sertão do estado de Pernambuco (Arcoverde-PE, Cabrobó-PE, Ouricuri-PE, Petrolina-PE e Triunfo-PE), porém observou-se que, principalmente para as cidades de Arcoverde-PE e Cabrobó-PE esta função predominou na variável temperatura mínima, enquanto que na cidade de Petrolina-PE a predominância da função Logística foi observada praticamente em todos os meses, exceto setembro, nos dados de temperatura máxima.

Tabela 11 – Funções de Distribuição de Probabilidade que melhor se ajustaram as temperaturas máxima, média e mínima mensal das séries históricas das cidades em estudo, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) com nível de 5% de probabilidade

Estação	Temperatura (°C)	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1 Arcoverde-PE	Máxima	Lo (0,968)	GEV (0,967)	GEV (0,976)	No (0,867)	Be ₄ (0,622)	Be ₄ (0,767)	Ga ₂ (0,996)	Be ₄ (0,982)	LN (0,980)	Lo (0,970)	Lo (0,977)	We ₃ (0,810)
	Média	Lo (0,826)	Ga ₂ (0,956)	GEV (0,995)	GEV (0,996)	Fr (0,997)	Be ₄ (0,985)	GEV (0,660)	GEV (0,880)	Lo (0,877)	No (0,899)	LN (0,968)	GEV (0,997)
	Mínima	Lo (0,758)	Lo (0,946)	Lo (0,735)	Lo (0,939)	Lo (0,979)	Lo (0,973)	Lo (0,952)	We ₃ (0,827)	Lo (0,991)	GEV (0,983)	Lo (0,943)	We ₃ (0,998)
2 Cabrobó-PE	Máxima	We ₃ (0,794)	GEV (0,870)	Lo (0,557)	We ₂ (0,632)	Lo (0,996)	We ₃ (0,994)	GEV (0,920)	Lo (0,969)	We ₃ (0,562)	Lo (0,730)	Lo (0,667)	Lo (0,773)
	Média	GEV (0,904)	GEV (0,993)	GEV (0,996)	LN (0,983)	LN (0,999)	We ₃ (0,998)	Lo (0,824)	GEV (0,996)	LN (0,919)	We ₃ (0,862)	GEV (0,871)	Lo (0,986)
	Mínima	Lo (0,980)	Lo (0,832)	Lo (0,899)	Lo (0,954)	Lo (0,982)	Be ₄ (0,910)	LN (0,842)	LN (0,994)	Lo (0,695)	Lo (0,566)	Lo (0,610)	Lo (0,975)
3 Ouricuri-PE	Máxima	Lo (0,998)	Lo (0,984)	Lo (0,715)	Lo (0,996)	We ₂ (0,941)	No (0,957)	Lo (0,962)	GEV (0,998)	Lo (0,902)	Lo (0,991)	We ₃ (0,717)	Lo (0,777)
	Média	Lo (0,935)	Lo (0,988)	Lo (0,538)	Lo (0,735)	Lo (0,935)	No (0,975)	No (0,998)	Lo (0,911)	Lo (0,934)	Lo (0,941)	Lo (0,586)	Lo (0,939)
	Mínima	Lo (0,952)	Lo (0,992)	Lo (0,892)	Lo (0,877)	Lo (0,985)	GEV (0,858)	No (0,944)	Lo (0,953)	Lo (0,917)	We ₂ (0,900)	Lo (0,266)	Lo (0,993)
4 Petrolina-PE	Máxima	Lo (0,980)	Lo (0,955)	Lo (0,994)	Lo (0,708)	Lo (0,987)	Lo (0,814)	Lo (0,934)	Lo (0,382)	Fr (0,973)	Lo (0,701)	Lo (0,578)	Lo (0,992)
	Média	GEV (0,968)	Lo (0,992)	Lo (0,876)	Lo (0,678)	Lo (0,893)	Lo (0,995)	Lo (0,539)	No (0,997)	Lo (0,956)	Lo (0,931)	We ₃ (0,682)	We ₃ (0,974)
	Mínima	Lo (0,800)	We ₂ (0,975)	Lo (0,981)	We ₃ (1,000)	GEV (0,985)	We ₂ (0,974)	GEV (0,976)	Lo (0,889)	Lo (0,599)	Lo (0,939)	Lo (0,792)	Lo (0,869)
5 Triunfo-PE	Máxima	We ₃ (0,948)	Lo (0,970)	Lo (0,971)	Lo (0,939)	We ₃ (0,970)	GEV (0,998)	No (0,980)	We ₃ (0,906)	No (0,950)	Lo (0,983)	Lo (0,900)	No (0,904)
	Média	We ₃ (0,966)	Lo (0,992)	Lo (0,769)	GEV (0,949)	GEV (0,967)	Lo (0,782)	GEV (0,996)	Ga ₂ (0,996)	Lo (0,994)	Lo (0,870)	Lo (0,715)	Lo (0,443)
	Mínima	Fr (0,728)	Lo (0,967)	Lo (0,985)	Lo (0,965)	GEV (0,991)	LN (0,750)	Lo (0,997)	GEV (0,998)	Lo (0,994)	Lo (0,952)	GEV (0,584)	GEV (0,984)

Funções de Distribuição de Probabilidade - **Be₄**: Beta (tipo 4); **Fr**: Fréchet (Fisher-Tippett tipo 2); **Ga₂**: Gama (tipo 2); **GEV**: Generalizada de Valores Extremos; **LN**: Log-Normal; **Lo**: Logística; **No**: Normal; **We₂**: Weibull (tipo 2); **We₃**: Weibull (tipo 3); (p-valor)

Em estudo de avaliação da melhor função de distribuição de probabilidade em séries diárias de temperatura máxima da cidade de Iguatu, no Ceará em região de clima semiárido em um período de 45 anos (1961-2005) Araújo et al. (2010) testaram seis tipos de funções distribuição de probabilidade, sendo elas: Gumbel I, Gama, Log-normal, Normal, Weibull e Beta, a distribuição que melhor se ajustou aos dados de temperatura estudados foi a Normal, enquanto que a distribuição Gumbel I obteve o pior desempenho.

Em avaliação de aderência de funções de distribuição de probabilidade Assis et al. (2004), observou que a distribuição Normal obteve um bom ajustamento para dados diários de temperatura máxima, em detrimento da distribuição Log-Normal, segundo o teste de *Lilliefors* (Teste de Aderência), onde a distribuição Normal obteve ajuste para todos os meses do ano.

Mearns et al., (1984) e Hansen et al., (1987) concluíram que mudanças relativamente pequenas na temperatura média poderiam produzir mudanças substanciais na frequência de temperaturas extremas, bem como alterar a função de distribuição de probabilidade.

Em análise para identificar a distribuição de probabilidade de melhor ajuste aos dados de temperatura máxima mensal Hossian et al. (2016) utilizaram um conjunto de dados do período de janeiro de 1972 a setembro de 2015 da cidade de Dhaka, na Índia, os autores identificaram que a distribuição Logística obteve o melhor ajuste para os dados mensais de temperatura máxima observados.

No presente trabalho foi observado para alguns meses, onde podemos destacar os meses de Maio a Agosto, outras funções de distribuição de probabilidade, tais como: Beta (tipo 4) (Be_4); Fréchet (Fisher-Tippett tipo 2) (Fr); Gama (tipo 2) (Ga_2); Generalizada de Valores Extremos (GEV); Log-Normal (LN); Normal (No); Weibull (tipo 2) (We_2) e Weibull (tipo 3) (We_3), apesar da diversidade de funções observadas, todos os modelos encontrados fazem parte segundo Naghettini e Portela (2012) do conjunto de modelos probabilísticos para variáveis aleatórias contínuas, que apresentam bom ajuste na descrição de dados provenientes de fenômenos hidroclimáticos.

4.10 Coeficientes de Assimetria e Curtose de *Pearson* para os dados de temperatura máxima, média e mínima

Os valores observados para os dados das séries históricas mensais de temperatura máxima, média e mínima de coeficientes de assimetria (Tabela 12) mostraram que não há um padrão sazonal vinculado aos dados de temperatura quanto a simetria ou assimetria da distribuição no conjunto de dados, apenas podemos destacar uma predominância de assimetria negativa (Coeficiente de assimetria < 0) observada em praticamente todos os meses, bem como também assimetria positiva moderada (coeficiente de assimetria $> 0,15$ e < 1), principalmente nos meses entre Março e Maio.

O mesmo comportamento foi observado na determinação do coeficiente de curtose (Tabela 13), onde não detectou-se um padrão definido em função da sazonalidade, bem como entre as variáveis para este coeficiente. Porém podemos identificar para as séries históricas mensais de temperatura uma predominância de curva *leptocúrtica* ($C_P > 0,263$), bem como, na mesma proporção também observou-se em boa parte dos meses, para todas as cidades em estudo a curva do tipo *platicúrtica* ($C_P < 0,263$), enquanto que poucas séries apresentaram uma curva do tipo *mesocúrtica* ($C_P \approx 0,263$).

A importância da determinação dos coeficientes de assimetria e curtose em estudos de mudanças climáticas, principalmente em relação as alterações causadas na distribuição dos dados, foi destacada por Sabiiti et al. (2016), onde os autores afirmam ser úteis na análise de variações em séries temporais climatológicas através de possíveis mudanças na simetria destas variáveis.

Em estudo de modelagem utilizando dados de precipitação e temperatura (máxima e mínima) em série histórica de 143 anos (1862-2004) desenvolvido em Roma, na Itália, Villarini et al. (2010) encontraram valores distintos para os coeficientes de assimetria e curtose, em função da função de distribuição de probabilidade ajustada e da estação climática, onde foi observado para temperatura mínima os seguintes resultados: No inverno, a distribuição de melhor ajuste foi Weibull, e coeficiente de assimetria de 0,08 e curtose 2,86; Na primavera, a distribuição de melhor aderência foi a Gama, onde o coeficiente de assimetria foi de -0,20, e curtose 3,18; No verão, a distribuição do tipo Log-Normal foi seguida de um

Tabela 12 - Coeficiente de Assimetria de *Pearson* do conjunto de dados de temperatura máxima, média e mínima das séries históricas das cidades em estudo

Estação	Período	Temperatura (C°)	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1 Arcoverde-PE	1973-2016 (44)	Máxima	-0,742	-0,112	-0,490	0,088	0,372	0,339	0,479	0,297	0,110	-1,133	-0,320	-0,684
		Média	0,224	0,102	-0,277	0,262	0,556	0,148	0,853	0,641	0,647	-0,146	-0,155	-0,065
		Mínima	-0,285	0,356	0,307	-0,197	0,013	-0,339	0,096	-0,380	0,182	-0,982	0,517	-0,105
2 Cabrobó-PE	1961-2016 (56)	Máxima	-0,805	-0,272	0,142	-0,151	0,026	-0,159	0,158	0,119	0,017	-0,485	0,054	-0,936
		Média	-0,336	0,002	0,361	0,355	0,180	0,373	0,157	0,203	0,162	-0,116	0,332	-0,371
		Mínima	-0,232	-0,481	0,164	0,099	-0,358	-0,139	-0,041	-0,117	-0,083	-1,690	-1,381	-0,923
3 Ouricuri-PE	1975-2016 (42)	Máxima	0,002	0,055	0,707	0,971	-0,076	-0,166	-0,716	0,280	0,481	-1,197	-0,640	-0,880
		Média	0,470	-0,346	0,596	1,053	0,281	0,215	-0,594	0,166	-0,111	-1,898	-0,881	0,229
		Mínima	-0,117	0,525	0,629	0,369	-0,188	0,160	-0,364	-0,482	-0,326	-0,693	-0,012	-0,081
4 Petrolina-PE	1962-2016 (55)	Máxima	0,693	-0,330	0,687	0,691	0,369	1,238	1,902	2,190	1,147	1,110	0,617	-0,231
		Média	0,203	-0,166	0,699	0,511	-0,091	-0,202	-0,779	-0,241	0,416	-0,233	-0,161	0,327
		Mínima	-2,852	-0,027	0,027	-0,097	-0,099	-0,519	-0,330	-0,255	-0,272	-0,761	-0,062	0,121
5 Triunfo-PE	1961-2016 (56)	Máxima	-0,041	0,611	0,469	1,192	0,507	0,208	-0,011	0,174	0,006	-0,228	0,083	-0,465
		Média	-0,480	0,816	0,388	1,709	0,649	-0,004	0,049	0,162	-0,152	-0,106	0,204	-0,120
		Mínima	0,565	0,467	0,305	0,170	0,429	-0,071	0,053	0,048	-0,123	-0,170	0,746	0,555

Tabela 13 - Coeficiente de Curtose de *Pearson* do conjunto de dados de temperatura máxima, média e mínima das séries históricas das cidades em estudo

Estação	Período	Temperatura (C°)	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1 Arcoverde-PE	1973-2016 (44)	Máxima	1,163	-0,765	-0,459	-0,791	-0,720	-0,976	0,151	-0,811	-0,521	2,473	1,146	0,553
		Média	-0,059	-0,786	-0,571	-0,452	-0,364	-1,108	1,553	-0,276	0,369	-0,295	-0,322	-0,498
		Mínima	0,278	1,279	0,291	0,280	-0,143	0,406	0,103	0,299	-0,105	1,140	1,532	0,012
2 Cabrobó-PE	1961-2016 (56)	Máxima	0,349	-0,108	-0,017	-0,275	-0,435	-0,390	-0,360	0,420	0,246	0,940	0,758	1,039
		Média	-0,177	-0,253	-0,193	-0,138	-0,468	-0,289	-0,237	-0,356	-0,400	0,273	0,239	-0,026
		Mínima	0,299	1,255	0,493	0,527	0,593	-0,600	-0,082	-0,153	0,132	5,518	5,514	1,278
3 Ouricuri-PE	1975-2016 (42)	Máxima	0,688	0,073	0,306	1,393	-0,884	-0,333	2,407	-0,083	0,284	3,769	0,503	1,545
		Média	1,082	1,484	1,089	1,659	-0,474	-0,498	0,935	-0,509	-0,029	5,823	2,047	-0,294
		Mínima	0,641	0,882	1,358	0,918	0,324	-0,067	0,526	0,278	0,700	0,682	1,802	0,137
4 Petrolina-PE	1962-2016 (55)	Máxima	1,293	0,115	1,264	2,017	1,285	4,506	6,266	8,335	2,016	8,437	1,961	-0,451
		Média	-0,336	-0,176	0,425	0,488	0,416	1,045	1,871	0,052	0,574	0,707	0,512	-0,488
		Mínima	14,180	-0,628	-0,094	-0,307	-0,464	-0,460	-0,161	-0,069	0,313	1,324	1,049	-0,180
5 Triunfo-PE	1961-2016 (56)	Máxima	-0,282	0,918	0,115	2,692	-0,390	-0,471	-0,321	0,691	-0,219	0,724	0,356	0,591
		Média	-0,495	1,112	0,616	5,849	0,201	0,439	-0,312	-0,086	-0,067	0,351	0,571	0,991
		Mínima	-0,097	0,881	0,557	1,201	-0,140	0,285	0,004	-0,182	-0,427	0,466	0,796	0,011

coeficiente de assimetria de 0,16 e de curtose de 2,68; enquanto que no Outono a distribuição Logística obteve o melhor ajuste, acompanhado de um coeficiente de assimetria de -0,11 e de curtose de 2,60. Para temperatura máxima as distribuições seguiram o padrão encontrado para temperatura mínima, com os seguintes coeficientes de assimetria (C_a) e Curtose (C_c): Inverno ($C_a = 0,31$ e $C_c = 2,60$); Primavera ($C_a = 0,06$ e $C_c = 2,99$); Verão ($C_a = 0,29$ e $C_c = 3,10$); Outono $C_a = -0,19$, e $C_c = 3,09$). Estes resultados demonstram a correlação entre as funções de distribuição de probabilidade com os coeficientes de assimetria e curtose, assegurando o uso destes parâmetros em avaliações de mudanças nos padrões hidroclimáticos.

4.11 Análise de tendência das séries históricas de temperatura máxima, média e mínima

Para os dados de temperatura máxima (Tabela 14), a cidade de Arcoverde-PE apresentou tendência positiva significativa ao nível de 1% de probabilidade no mês de Abril, enquanto que no mês de Março foi observada tendência positiva significativa ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 14 - Testes de tendência Mann-Kendall e Sen's Slope para temperatura máxima

Estações	Testes	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1 Arcoverde-PE	Z_{MK}	-0,4	1,6	2,6*	3,2**	1,3	0,9	-0,2	-1,9	0,2	0,3	1,8	1,7
	$Q_{Méd}$	-0,004	0,026	0,053*	0,061**	0,026	0,013	-0,003	-0,028	0,003	0,003	0,016	0,018
2 Cabrobó-PE	Z_{MK}	2,2*	3,0**	2,3*	3,4**	3,4**	2,3*	3,5**	2,7**	2*	2,3*	2,6**	2,8**
	$Q_{Méd}$	0,020*	0,033**	0,025*	0,039**	0,039**	0,021*	0,023**	0,014**	0,013*	0,001*	0,019**	0,023**
3 Ouricuri-PE	Z_{MK}	1,9	2,3*	1,9	1,9	1,6	1,6	1,6	0,4	1,5	1,9	0,8	1,7
	$Q_{Méd}$	0,029	0,036*	0,027	0,035	0,035	0,018	0,012	0,003	0,013	0,016	0,01	0,026
4 Petrolina-PE	Z_{MK}	0,3	0,4	0,6	1,6	1,6	-0,5	-0,8	-1,3	-0,5	0,6	-0,04	-0,2
	$Q_{Méd}$	0,005	0,006	0,008	0,017	0,02	-0,003	-0,005	-0,007	-0,005	0,003	-0,0004	-0,002
5 Triunfo-PE	Z_{MK}	1,3	1,4	2,8**	2,3*	1,0	0,7	0,3	-1,7	1,1	0,8	2,1*	2,1*
	$Q_{Méd}$	0,011	0,013	0,031**	0,022*	0,015	0,009	0,003	-0,013	0,008	0,006	0,013*	0,014*

Z_{MK} : Teste Mann-Kendall, $Q_{Méd}$: Sen's Slope.

*Tendência Significativa Estatisticamente ao nível de 5% de Probabilidade.

**Tendência Significativa Estatisticamente ao nível de 1% de Probabilidade.

A cidade de Cabrobó-PE apresentou tendência positiva, representando um incremento na temperatura máxima em todos os meses observados, ao nível de 5% de probabilidade nos meses de Janeiro, Março, Junho, Setembro e Outubro, os meses de Fevereiro, Abril, Maio, Julho, Agosto Novembro e Dezembro apresentaram tendência positiva ao nível de 1% de probabilidade, de acordo com os testes aplicados.

A cidade de Ouricuri-PE apresentou tendência positiva ao nível de 5% de probabilidade apenas para o mês de Fevereiro, enquanto que a cidade de Triunfo-PE apresentou tendência de aumento na temperatura máxima ao nível de 1% de probabilidade apenas para o mês de Março, e ao nível de 5% para os meses de Abril, Novembro e Dezembro. A cidade de Petrolina não apresentou tendência significativa de aumento ou decréscimo na temperatura máxima de acordo com os testes de tendência a que sua série histórica foi submetida.

Em relação a temperatura média (Tabela 15), a detecção de tendência positiva foi observada para todas as cidades analisadas, onde a cidade de Arcoverde-PE apresentou tendência positiva ao nível de 5% de probabilidade entre os meses de Março a Maio. A cidade de Cabrobó-PE apresentou tendência positiva significativa a 1% de probabilidade nos meses de Janeiro, Fevereiro, Abril, Maio, Junho, Julho, Outubro, Novembro e Dezembro, e a 5% de probabilidade nos meses de Março e Setembro, apenas o mês de Agosto não apresentou tendência significativa.

Tabela 15 - Testes de tendência Mann-Kendall e Sen's Slope para temperatura média

Estações	Testes	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1 Arcoverde-PE	Z _{MK}	-0,4	0,9	2,0*	2,4*	2,2*	0,8	1,2	-1,5	-0,8	-0,9	-0,3	0,6
	Q _{Méd}	-0,004	0,012	0,024*	0,028*	0,023*	0,008	0,007	-0,013	-0,008	-0,008	-0,003	0,005
2 Cabrobó-PE	Z _{MK}	2,8**	3,0**	2,4*	3,0**	3,9**	3,2**	3,0**	1,3	2,4*	2,8**	3,1**	3,1**
	Q _{Méd}	0,025**	0,025**	0,025*	0,029**	0,033**	0,021**	0,016**	0,007	0,013*	0,011**	0,018**	0,023**
3 Ouricuri-PE	Z _{MK}	3,2**	3,4**	2,4*	2,3*	2,3*	2,4*	2,1*	1,9	1,4	2,6**	1,2	1,3
	Q _{Méd}	0,038**	0,044**	0,032*	0,030*	0,034*	0,026*	0,023*	0,013	0,01	0,015**	0,01	0,016
4 Petrolina-PE	Z _{MK}	2,9**	2,2*	2,9**	3,3**	1,9	2,6**	2,4*	2,0*	2,5*	2,7**	1,1	2,9**
	Q _{Méd}	0,025**	0,021*	0,027**	0,026**	0,013	0,013**	0,011*	0,008*	0,013*	0,011**	0,007	0,024**
5 Triunfo-PE	Z _{MK}	0,9	1,0	2,3*	3,1**	1,4	1,1	0,7	-1,0	0,8	0,3	1,9	1,6
	Q _{Méd}	0,005	0,007	0,017*	0,014**	0,01	0,007	0,005	-0,006	0,005	0,001	0,009	0,007

Z_{MK}: Teste Mann-Kendall, Q_{Méd}: Sen's Slope.

*Tendência Significativa Estatisticamente ao nível de 5% de Probabilidade.

**Tendência Significativa Estatisticamente ao nível de 1% de Probabilidade.

Na cidade de Ouricuri-PE foi observada tendência significativa ao nível de 1% de probabilidade para os meses de Janeiro, Fevereiro e Outubro, enquanto que ao nível de 5% de probabilidade foi detectada em todos os meses no período Março-Julho.

Para temperatura média a cidade de Petrolina-PE apresentou tendência de aumento nos meses de Janeiro, Março, Abril, Junho, Outubro e Dezembro (ao nível de 1% de probabilidade), e nos meses de Fevereiro, Julho, Agosto e Setembro (ao nível de 5% de probabilidade).

A cidade de Triunfo-PE apresentou tendência positiva significativa para variável temperatura máxima apenas para os meses de Março e Abril, ao nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Salviano et al. (2016) analisando tendências temporais da precipitação e da temperatura média no Brasil, entre os anos 1961 e 2011, observaram que todas as variáveis estudadas apresentarem tendências significativas em todos os meses, de acordo com os resultados obtidos os autores indicaram que mudanças importantes estão ocorrendo, principalmente em relação à temperatura média e que estudos mais aprofundados são necessários para determinar as causas destas mudanças, porém a continuidade e a predição de tendências positivas poderá resultar em impactos drásticos na agricultura, no ciclo hidrológico, e conseqüentemente para a fauna e flora e bem como para a população.

Os testes de detecção de tendência em relação a temperatura mínima (Tabela 16) apresentaram tendência positiva na cidade Arcoverde-PE apenas para o mês de Maio, ao nível de 1% de probabilidade. As cidades de Cabrobó-PE e Ouricuri-PE obtiveram resultados bem semelhantes, no que diz respeito a presença de tendência positiva significativa, onde para o período entre Janeiro e Agosto, além dos meses de Outubro e Dezembro em ambas cidades, todos estes meses apresentaram tendência significativa de elevação da temperatura mínima ao nível de 1% de probabilidade, na cidade de Cabrobó ainda apresentaram tendência positiva os meses de Setembro (5% de probabilidade) e Novembro (1% de probabilidade) e em Ouricuri o mês de Novembro ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 16 - Testes de tendência Mann-Kendall e Sen's Slope para temperatura mínima

Estações	Testes	Temperatura Mínima											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1 Arcoverde-PE	Z _{MK}	1,6	1,2	1,2	1,4	2,8**	1,8	1,4	0,8	-0,7	1,0	0,4	1,0
	Q _{Méd}	0,008	0,008	0,009	0,01	0,02**	0,015	0,011	0,005	-0,005	0,005	0,002	0,005
2 Cabrobó-PE	Z _{MK}	3,9**	4,9**	4,7**	5,3**	5,5**	3,9**	2,9**	3,8**	2,3*	2,7**	4,3**	4,4**
	Q _{Méd}	0,025**	0,031**	0,035**	0,037**	0,034**	0,027**	0,017**	0,021**	0,012*	0,012**	0,024**	0,026**
3 Ouricuri-PE	Z _{MK}	2,9**	4,0**	4,0**	4,1**	3,7**	3,9**	3,4**	3,5**	1,4	2,6**	2,2*	3,4**
	Q _{Méd}	0,035**	0,036**	0,044**	0,043**	0,048**	0,047**	0,036**	0,029**	0,01	0,016**	0,014*	0,037**
4 Petrolina-PE	Z _{MK}	3,5**	2,3*	2,7**	3,4**	4,2**	3,6**	3,7**	3,4**	2,5*	3,3**	2,6*	4,4**
	Q _{Méd}	0,022**	0,017*	0,023**	0,028**	0,028**	0,021**	0,022**	0,019**	0,014*	0,019**	0,015*	0,029**
5 Triunfo-PE	Z _{MK}	0,8	0,7	1,5	2,1*	3,1**	2,1*	2,7**	2,7**	1,4	1,4	1,1	0,9
	Q _{Méd}	0,003	0,003	0,008	0,008*	0,015**	0,009*	0,012**	0,013**	0,006	0,006	0,004	0,004

Z_{MK}: Teste Mann-Kendall, Q_{Méd}: Sen's Slope.

* Tendência Significativa Estatisticamente ao nível de 5% de Probabilidade.

** Tendência Significativa Estatisticamente ao nível de 1% de Probabilidade.

A cidade de Petrolina-PE apresentou tendência positiva representando um possível aumento na temperatura mínima em todos os meses observados, sendo os meses de Janeiro, Março, Abril, Maio, Junho, Julho, Agosto, Outubro e Dezembro ao nível de 1% de probabilidade, enquanto que os meses de Fevereiro, Setembro e Novembro ao nível de 5% de probabilidade.

A cidade Triunfo-PE, que tem como característica baixas temperaturas principalmente em função da altitude, apresentou tendência positiva significativa aos níveis de 1% (Maio, Julho e Agosto) e 5% (Abril e Junho) de probabilidade de acordo com os testes de tendência aplicados.

Em estudo de análise de tendências em séries históricas de aproximadamente 40 anos de precipitação e temperatura na Etiópia, África, Addisu et al. (2015) obtiveram resultados os quais revelaram que as temperaturas média, máxima e mínima tiveram um aumento geral na tendência, enquanto que a precipitação registrou tendência geral de diminuição, analisando 40 anos de dados de 109 estações meteorológicas representativas na Etiópia, concluindo que os planejadores dos recursos hídricos devem elaborar estratégias e planos, levando em consideração a diminuição das chuvas e o aumento da temperatura.

Em Análise de tendências de dados de temperatura Tabari e Talae (2011) investigando as tendências das temperaturas máximas e mínimas em escala anual, sazonal e mensal de 19 estações nas regiões áridas e semiáridas do Irã no período de 1966-2005, observaram que a maioria das estações mostraram tendência crescente nas últimas décadas nas séries temporais anual, sazonal e mensal temperatura máxima e temperatura mínima, as tendências crescentes nas séries de temperatura mínima foram mais fortes do que as observadas nas séries de temperatura máxima, onde a tendência em temperatura máxima e temperatura mínima anual média, em todas as 19 estações foi de 0,090 e 0,444 °C por década, respectivamente. As tendências de aquecimento para ambas as variáveis de temperatura foram mais evidentes no verão e no inverno do que no outono e na primavera, na escala mensal, os maiores aumentos de temperatura máxima e temperatura mínima observados foram de 0,827 e 1,585 °C por década, respectivamente.

Os resultados da análise de tendência nos dados de temperatura aplicados nas séries históricas de temperatura das cidades do Sertão do estado de Pernambuco corroboram com diversos estudos, bem como os últimos relatórios do IPCC citados

anteriormente, onde em diversas regiões do mundo foram detectadas tendências de aumento na temperatura, bem como redução na precipitação, o que é extremamente preocupante, principalmente no que concerne a gestão e o abastecimento hídrico em regiões áridas e semiáridas que são as mais vulneráveis em um cenário de alterações climáticas.

De acordo com a análise de tendência aplicada aos dados de temperatura máxima, média e mínima em cidades do Sertão do Estado de Pernambuco observou-se tendência positiva, ou seja, as séries históricas analisadas apresentaram tendência de aumento na temperatura, segundo o teste de detecção de Mann-Kendall e o teste Estimador de declive de Sen (Sen's Slope) que avalia a magnitude da tendência observada, ambos aplicados ao nível de 1 e 5% de probabilidade.

4.12 Teste de homogeneidade dos dados de temperatura máxima, média e mínima nas séries históricas das cidades do sertão do Estado de Pernambuco

Para investigação se as séries temporais de temperatura máxima, média e mínima que foram analisadas apresentaram rupturas, ou seja, mudança abrupta em função da tendência positiva que foi apresentada segundo os testes de detecção utilizou-se o teste de Pettitt ao nível de 5% de probabilidade, que verifica a homogeneidade dos dados, constatando se os mesmos pertencem ao mesmo conjunto de dados.

A cidade de Arcoverde-PE embora tenha apresentado tendência positiva, representando um aumento na temperatura de acordo com a série histórica observada, não apresentou uma mudança abrupta na média dos dados de temperatura máxima, média e mínima (Figura 15).

No entanto nas Cidades de Cabrobó-PE, Ouricuri-PE, Petrolina-PE e Triunfo-PE observou-se ruptura da série de dados de temperatura máxima, média e mínima, a cidade de Cabrobó-PE (Figura 16) apresentou mudança abrupta para temperatura máxima no mês de Setembro de 1981, na série de temperatura média a variação ocorreu em Outubro de 1981 e para temperatura mínima em Outubro de 1997 de acordo com o teste de homogeneidade.

Nos dados de temperatura da Cidade de Ouricuri-PE (Figura 17) observou-se um mudança na série para temperatura máxima e média no mês de Setembro de 1997, enquanto que para temperatura mínima a ruptura foi observada no mês de

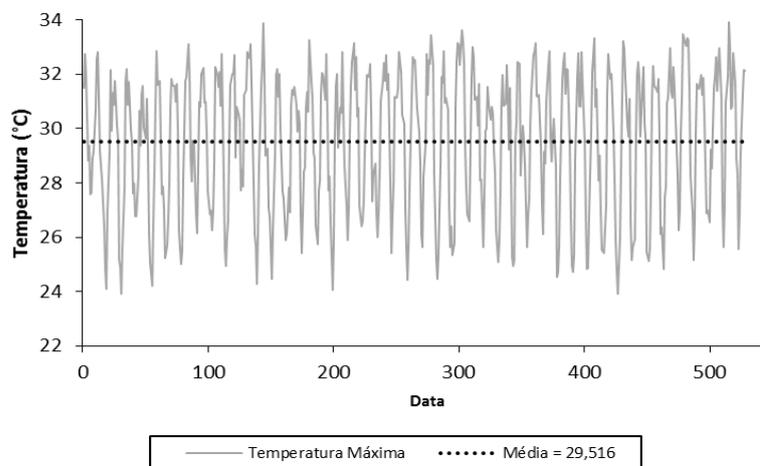
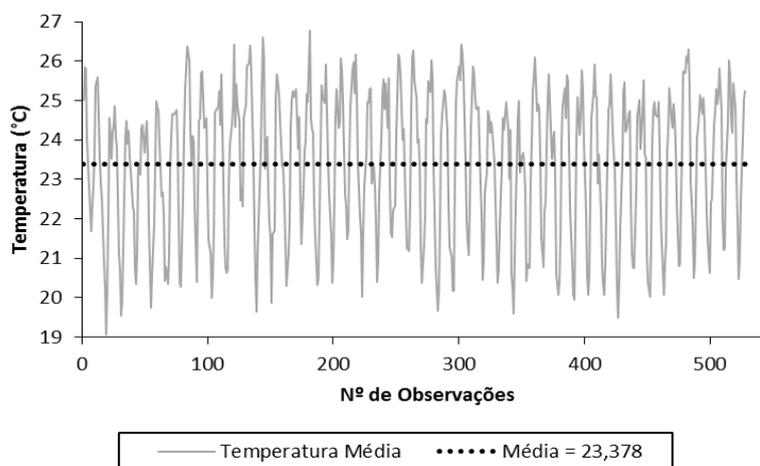
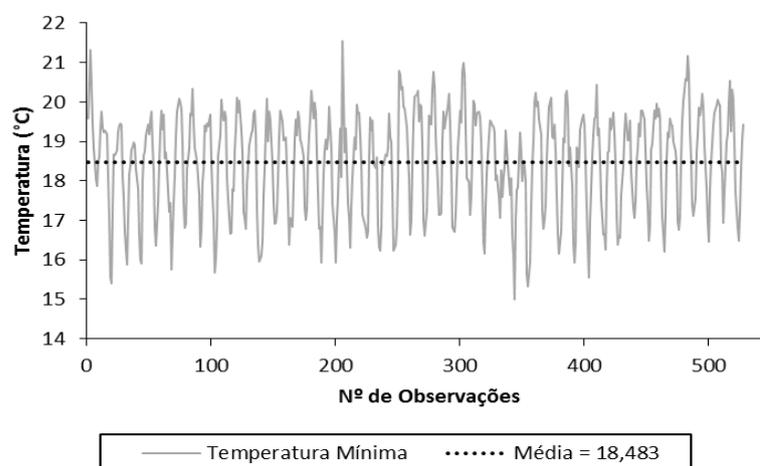
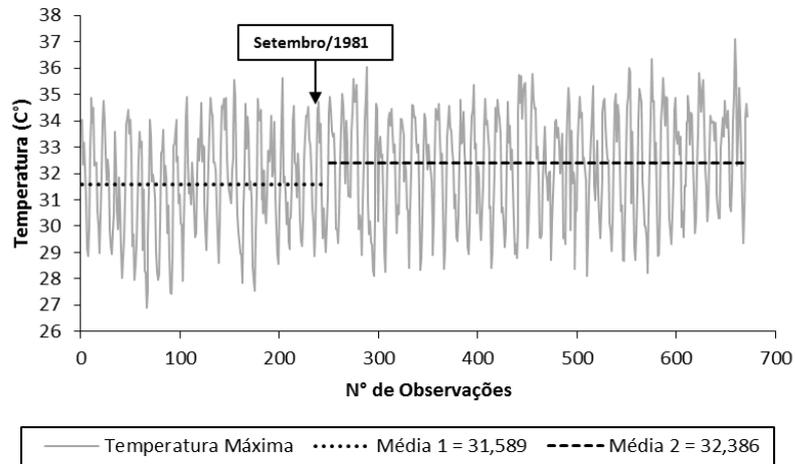
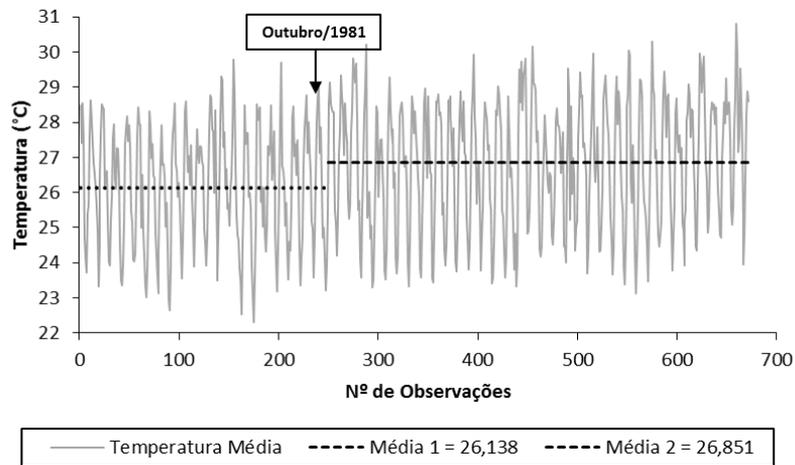
Temperatura Máxima**Temperatura Média****Temperatura Mínima**

Figura 15 – Teste de homogeneidade de Pettitt em dados de temperatura máxima, média e mínima na cidade de Arcoverde-PE

Temperatura Máxima



Temperatura Média



Temperatura Mínima

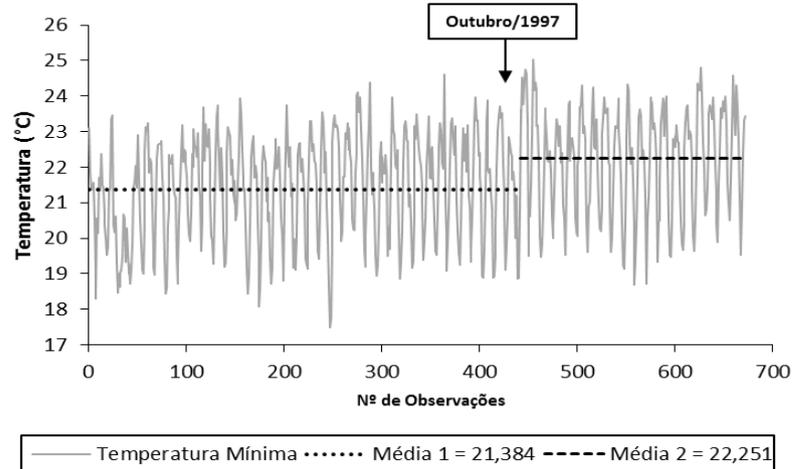
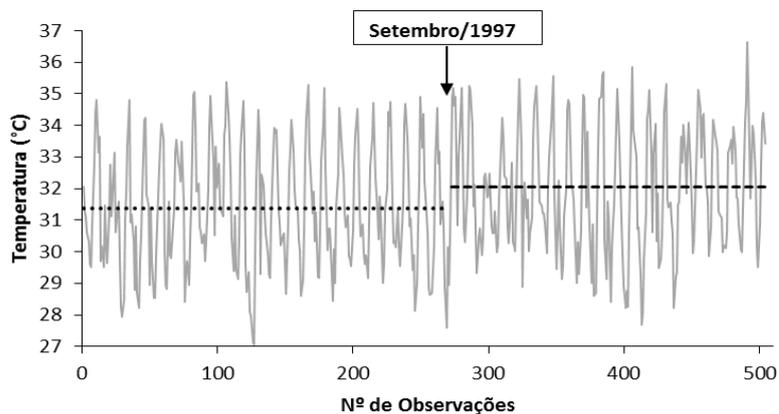


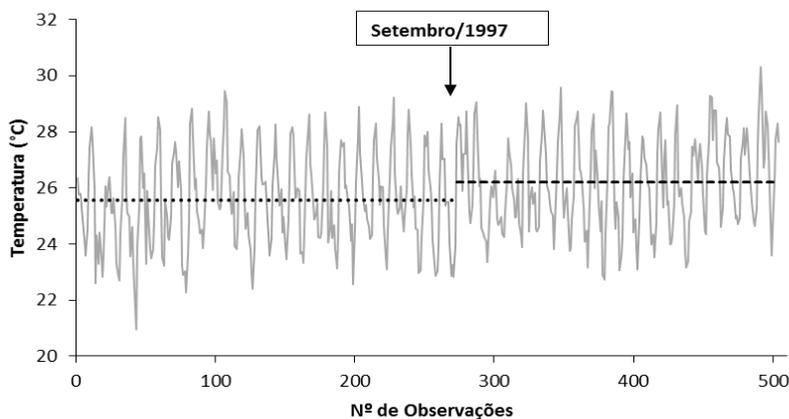
Figura 16 – Teste de homogeneidade de Pettitt em dados de temperatura máxima, média e mínima na cidade de Cabrobó-PE

Temperatura Máxima



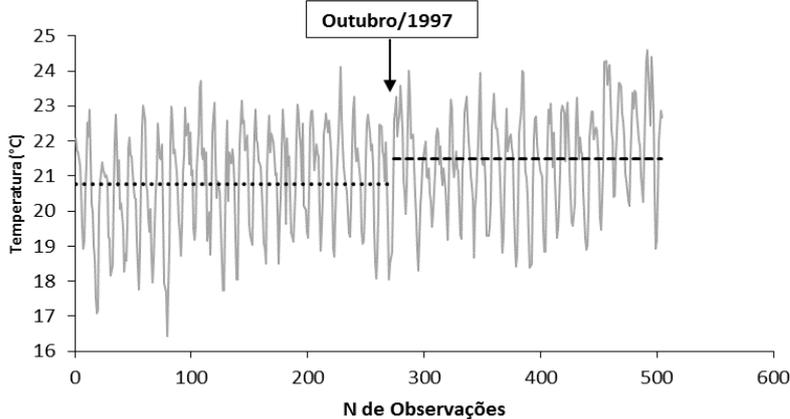
— Temperatura Máxima Média 1 = 31,361 ----- Média 2 = 32,035

Temperatura Média



— Temperatura Média Média 1 = 25,562 ----- Média 2 = 26,196

Temperatura Mínima



— Temperatura Mínima Média 1 = 20,764 ----- Média 2 = 21,477

Figura 17 – Teste de homogeneidade de Pettitt em dados de temperatura máxima, média e mínima na cidade de Ouricuri-PE

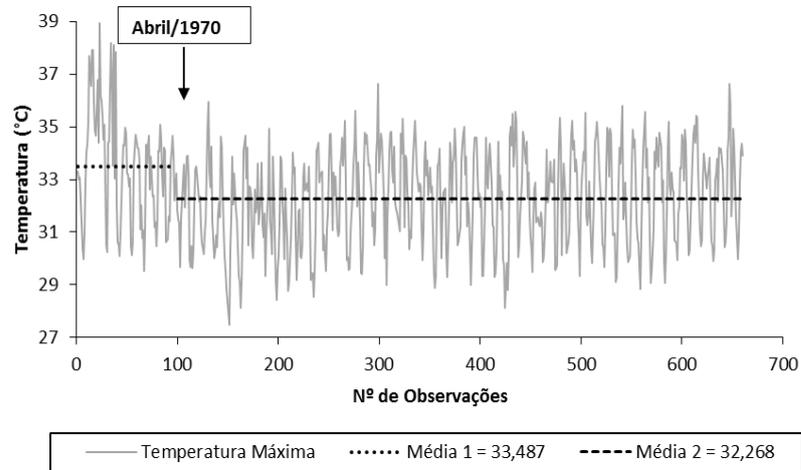
Outubro de 1997, os anos de 1997 e 1998 foram acometidos por forte influência do fenômeno *El Niño* (CPTEC/INPE 2016), o que pode ter influenciado nas mudanças abruptas observadas na temperatura em algumas cidades do semiárido nordestino.

A cidade de Petrolina-PE (Figura 18) apresentou ruptura na série de temperatura máxima no mês de Abril de 1970, na temperatura média e mínima houve mudança abrupta no mês de Outubro de 1993, ano também de forte influência do *El Niño*. Na cidade de Triunfo-PE (Figura 19) observou-se mudança abrupta na série de temperatura máxima no mês de Outubro de 1994, a variação identificada para temperatura média ocorreu em Outubro de 1981, enquanto que para a série de temperatura mínima a ruptura foi detectada em Novembro de 1986.

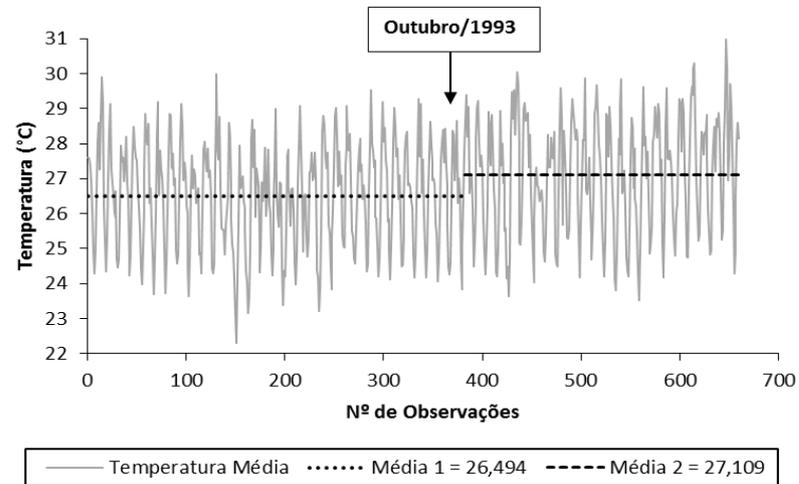
Analisando três séries temporais de temperaturas máximas e mínimas de longo período em Portugal, nas cidade de Lisboa (de 1856 a 2008), Coimbra (de 1865 a 2005) e Porto (de 1888 a 2001) Morozova; Valente (2012) utilizando o teste de Pettitt para detecção de rupturas nas séries temporais detectaram uma forte heterogeneidade das séries de dados de temperatura, que poderiam ter origens climáticas ou não-climáticas. Zhang et al. (2009) aplicando o teste de Pettitt para detectar discontinuidades nas séries de níveis máximos e mínimos anuais em 17 postos hidrométricos em grandes rios chineses, identificaram quebras nas séries de níveis mínimos em mais de 80% dos postos estudados, no entanto nas séries de máximos quase não identificou-se mudanças abruptas, os autores atribuem as rupturas a atividades antrópicas na bacia destes rios ocorridas nas décadas de 1980 e 1990.

Também usando o teste de Pettitt visando detectar-se a presença ou não de rupturas em séries de vazões anuais máximas nos Estados Unidos Villarini et al. (2011), concluíram que das 196 estações consideradas, 40% apresentaram quebra no valor médio, sendo 63% delas com crescimento nas médias após a mudança abrupta, enquanto que outras 36% apresentaram quebras na variância e 21% em ambos os momentos estatísticos, os autores também observaram que em 25% dos casos as quebras se deram em um período menor que 10 anos, podendo indicar atividades antrópicas na bacia.

Temperatura Máxima



Temperatura Média



Temperatura Mínima

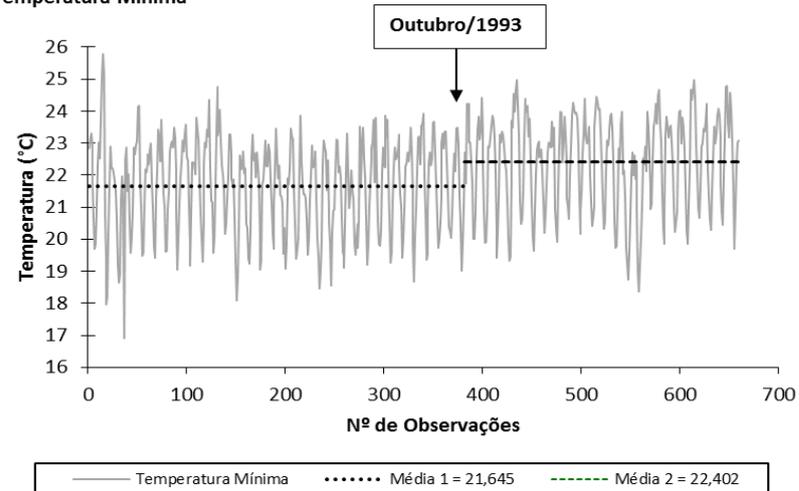


Figura 18 – Teste de homogeneidade de Pettitt em dados de temperatura máxima, média e mínima na cidade de Petrolina-PE

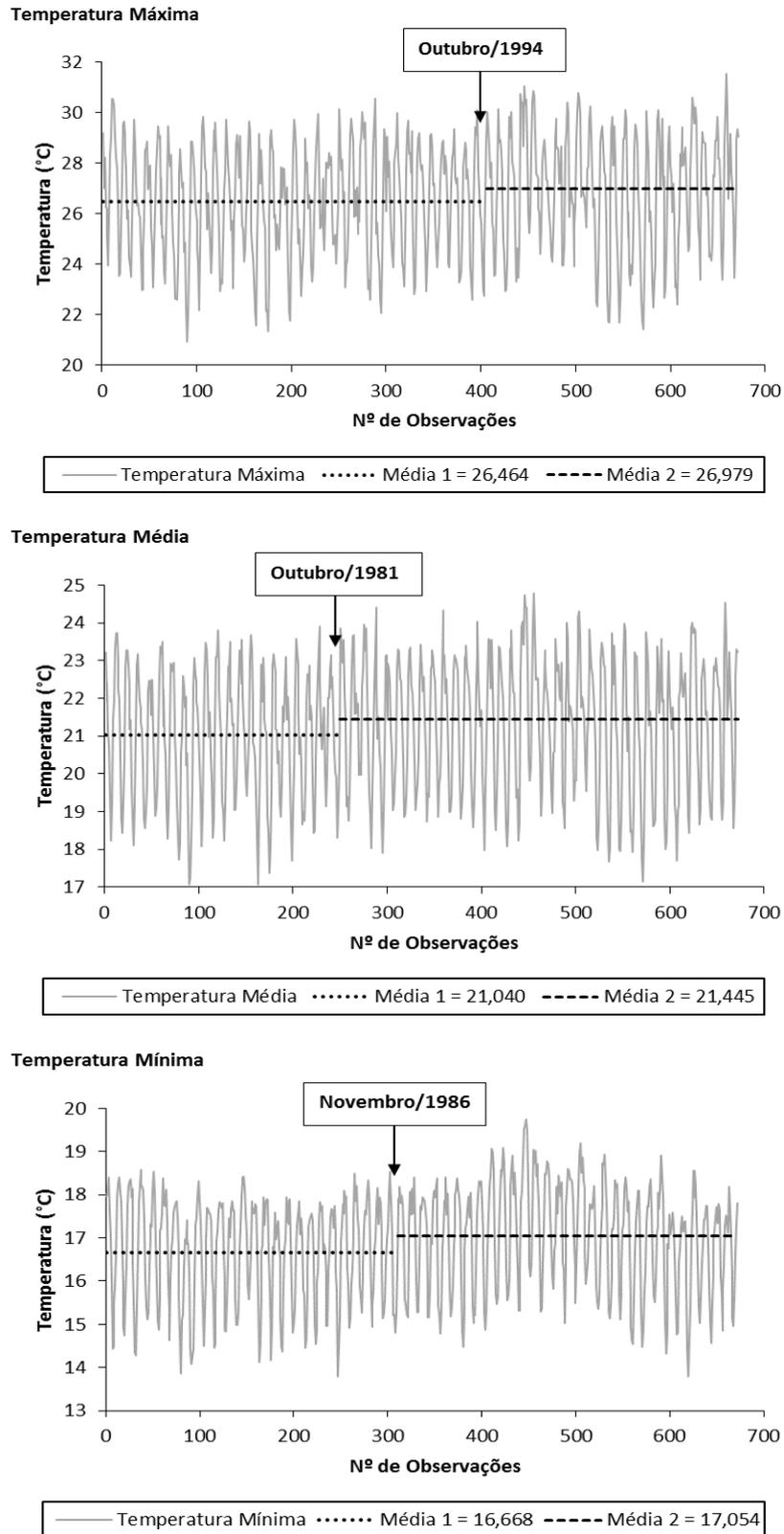


Figura 19 – Teste de homogeneidade de Pettitt em dados de temperatura máxima, média e mínima na cidade de Triunfo-PE

5 CONCLUSÕES

A seleção da distribuição estatística de melhor ajuste para os dados de precipitação confirmaram a alta variabilidade espaço-temporal destes eventos de acordo com a série histórica utilizada para cada cidade, verificando-se uma predominância de um melhor ajuste para a função de distribuição Weibull (tipo 3) no período chuvoso. Enquanto que a temperatura expressou uma relativa uniformidade, onde destacou-se a distribuição do tipo logística.

Os resultados encontrados na análise de tendência de precipitação, bem como de temperatura, mostraram que as mudanças climáticas têm o potencial de interferir nos padrões hidroclimáticos (precipitação e temperatura). Em escala regional observou-se que algumas cidades do Sertão do Estado de Pernambuco apresentaram tendência de redução no regime pluviométrico no período chuvoso, bem como tendência positiva, ou seja, aumento da temperatura, representando uma elevação da ordem de 2 a 4°C nas temperaturas máxima, média e mínima.

Sendo assim fica evidente a necessidade de um melhor planejamento dos recursos hídricos na região, visto que os cenários climáticos futuros, de acordo com os resultados de tendência pelos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope aplicados nas séries históricas de precipitação e temperatura, tendem a agravar a situação hídrica em função de mudanças no clima em escala regional, acompanhando as tendências de mudanças climáticas em escala global.

REFERÊNCIAS

- ADDISU, S.; SELASSIE, Y. G.; FISSHA, G.; GEDIF, B. Time series trend analysis of temperature and rainfall in lake Tana Sub-basin, Ethiopia. **Environmental Systems Research**, Redlands, Califórnia, EUA, v. 4, n 25, p. 1-12. 2015.
- Addinsoft. XLSTAT, Analyse de données et statistique avec MS Excel. Addinsoft, NY, USA. 2007.
- ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; OTHERS. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, Washington, EUA, v. 111, n. 5, p. 109. 2006.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, DE, v. 22, n. 6, 711–728, 2014.
- ALVES, J. M. B. Um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis sobre o Nordeste do Brasil e Atlântico Adjacente no verão de 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, SP, v. 16, n.1, p. 115-122. 2001.
- AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P.; MARENGO, J. A.; PISNITCHENKO, I.; ALVES, L. M.; ERNANDEZ, J. P. R. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI**: Projeções de clima usando três modelos regionais. Relatório 3. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Brasília, 2007. 12 p.
- ANG, A.H.S.; TANG, W. T. **Probability concepts in engineering**: emphasis on applications to civil and environmental engineering, 2a Edição, John Wiley & Sons Inc., Nova Iorque, EUA. 2007. 406 p.
- ARAGÃO, J. O. R. A influência dos Oceanos Atlântico e Pacífico sobre a circulação atmosférica e a chuva na Região Semi-Árida do Nordeste do Brasil: Simulação e Observação. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6-13., 1996, Campos do Jordão – SP. **Anais...** Campos do Jordão – SP: SBMet, 1996, p. 830-833.
- ARAÚJO, E. M.; SILVA, I. N.; OLIVEIRA, J. B.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; ALMEIDA, B. M. Aplicação de seis distribuições de probabilidade a séries de temperatura máxima em Iguatu – CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v. 41, n. 1, p. 36-45, 2010.
- ARAÚJO, S. M. S. A REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. **Revista Rios Eletrônica**, Paulo Afonso, BA, v. 5, p. 89-98. 2011.

ASSIS, J. P.; NETO, D. D.; MANFRON, P. A.; MARTIN, T. N.; SPAROVEK, G.; TIMM, L. C. Ajuste de series históricas de temperatura e radiação solar global diária as funções densidade de probabilidade normal e log-normal, em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 12, n. 01, p. 113-121, 2004.

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 5, p. 717-726. 2001.

BATISANI, N.; YARNAL, B. Rainfall variability and trends in semi-arid Botswana: Implications for climate change adaptation policy. **Applied Geography**, Oxford, UK, v. 30, p. 483–489. 2010.

BAWDEN, A. J.; LINTON, H. C.; BURN, D. H.; PROWSE, T. D. A spatiotemporal analysis of hydrological trends and variability in the Athabasca River region, Canada. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, NL, v. 509, p. 333–342. 2014.

BEN-GAI, T.; BITAN, A.; MANES, A.; ALPERT, P.; RUBIN, S. Spatial and Temporal Changes in Rainfall Frequency Distribution Patterns in Israel. **Theoretical. Applied Climatology**, Wien, AT, v. 61, p. 177–190. 1998.

BLUNDEN, J.; ARNDT, D.S. State of the climate in 2015. **Bulletin of the American Meteorological Society**. Boston, USA, v. 97, n 8, pp 1-275. 2016.

BOCCOLARI, M.; MALMUSI, S. Changes in temperature and precipitation extremes observed in Modena, Italy. **Atmospheric Research**, Amsterdam, NL, v. 122, p. 16–31. 2013.

BRAGANZA, K.; KAROLY, D. J.; HIRST, A. C.; MANN, M. E.; STOTT, P. A.; STOUFFER, R. J.; TETT, S. F. B. Simple indices of global climate variability and change: Part I, Variability and correlation structure. **Climate Dynamics**, Berlin, DE, v. 20, p. 491–502. 2003.

BROCKWELL, P.J.; DAVIS R.A. **Time series: theory and methods**. 2nd ed. Springer;Fort Collins, USA, 2013. 580 p.

CANTALICE, J. R. B., CUNHA FILHO, M., STOSIC, B. D., PISCOYA, V. C., GUERRA, S. M. S. AND SINGH, V. P. - Relationship between bedload and suspended sediment in the sand-bed Exu River, in the semi-arid region of Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, Oxford, UK, GB, v. 58, n. 8, p. 1–14. 2013.

CASIMIRO, W. S. L.; LABAT, D.; RONCHAIL, J.; ESPINOZA, J. C.; GUYOT, J. L. Trends in rainfall and temperature in the Peruvian Amazon–Andes basin over the last 40 years (1965–2007). **Hydrological Processes**, Chichester, UK, GB, v. 27, p. 2944–2957. 2013.

CATALUNHA, M. J., SEDIYAMAG, C., LEAL, B. G., SOARES, C. P. B. E RIBEIRO, A. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 10, n. 1, p. 153-162, 2002.

CHATTOPADHYAY, S.; EDWARDS, D. R. Long-Term Trend Analysis of Precipitation and Air Temperature for Kentucky, United States. **Climate**, Lexington, KY, v. 4, n. 1, p. 10. 2016.

CPTEC/INPE - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/>. Acessado em Dezembro de 2016.

CRUZ, R. V.; HARASAWA, H.; LAL, M.; WU, S.; ANOKHIN, Y.; PUNSALMAA, B.; HONDA, Y.; JAFARI, M.; LI, C.; HUU NINH, N. **Asia. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: PARRY, M, L.; CANZIANI, O. F.; PALUTIKOF, J. P.; VAN DER LINDEN, P. J.; HANSON, C. E. (eds). Cambridge University Press. Cambridge, UK. 2007. 469 – 506p.

CUNHA, T. J. F.; VANDERLISE, G. P.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SILVA, M. S. L.; ALVAREZ, I. A. **Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo**. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina, PE, Embrapa Semiárido. 50-87. 2010.

DAHLMAN, L. **Climate Change: Global Temperature**. Disponível em www.ncei.noaa.gov. Acessado em 20 Dezembro de 2015.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; BACELAR, L. C. S.; WINKLER, A. S.; SANTOS, J. P. Monotonic trend and change points in southern Brazil precipitation. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 33, n. 2, p. 258-268. 2013.

DEGEFU, M. A.; BEWKET, W. Variability and trends in rainfall amount and extreme event indices in the Omo-Ghibe River Basin, Ethiopia. **Regional Environmental Change**, New York, USA, v. 14, p. 799–810. 2014.

DESSU, S. B.; MELESSE, A. M. Impact and uncertainties of climate change on the hydrology of the Mara River basin, Kenya/Tanzania. **Hydrological Processes**, Chichester, UK, GB, v. 27, p. 2973–2986. 2013.

DÖLL, P.; FLÖRKE, M. **Global-Scale Estimation of Diffuse Groundwater Recharge**. Institute of Physical Geography, Frankfurt University, Frankfurt am Main, Germany, 2005. 21p.

EPA – US Environmental Protection Agency, 2016. <https://www.epa.gov/> - Acessado em novembro de 2016.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. DA S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Presidente Prudente, SP, v. 1, n. 1, p. 15-28. 2005.

GILKS, W.R.; RICHARDSON, S.; SPIEGELHALTER, D.J. **Markov chain Monte Carlo in practice**. London: Chapman and Hall, 1996. 482 p.

GIULIETTI, A. M.; CONCEIÇÃO, A.; QUEIROZ, L. P. de. **Diversidade e caracterização das fanerógamas do Semiárido brasileiro**. Recife: Associação Plantas do Nordeste, 2006. 488 p.

GIULIETTI, A. M.; HARLEY, R. M.; QUEIROZ, L. P. de; BARBOSA, M. R. de V.; NETA, A. L. B.; FIGUEIREDO, M. A. Espécies endêmicas da caatinga. In: SAMPAIO, E. V. S. B. GIULIETTI, A. M.; VIRGÍNIO, J.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L. **Vegetação e flora da caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste, 2002. cap. 2, 11-24 p.

GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, NL, v. 100, p. 172–182. 2013.

GRIMM, A.M.; TEDESCHI, R.G. Enso and extreme rainfall events in South America. **Journal of Climate**, Boston, Mass., USA, v. 22, p. 1589–1609. 2009.

HADDAD, K.; RAHMAN, A. Selection of the best fit flood frequency distribution and parameter estimation procedure: a case study for Tasmania in Australia. **Stochastic Environmental Research and Risk**, Berlin, DE, v. 25, p. 415–428. 2011.

HAMED, K. H. Trend detection in hydrologic data: The Mann–Kendall trend test under the scaling hypothesis. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, NL, v. 349, p. 350– 363. 2008.

HANSEN, J.E.; LEBEDEFF, S. Global trends of measured surface air temperature. **Journal of Geophysical Research**, Washington, USA, v. 92, p. 13345-13372, 1987.

HANSON, L. S.; R. VOGEL, **The probability distribution of daily rainfall in the United States**. Proc. in World Environment and Water Resources Congress Conference. 2008. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1061/40976\(316\)585](http://dx.doi.org/10.1061/40976(316)585) >

HASTENRATH, S. Interannual Variability and Annual Cycle: Mechanisms of Circulation and Climate in the Tropical Atlantic. **Monthly Weather Review**, Boston, Mass., USA, v. 112, p. 1097-1107.1984.

HASTENRATH, S., Interannual and Longer-Term Variability of Upper Air Circulation in the Northeast Brazil-Tropical Atlantic Sector, **Journal of Geophysical Research**, Washington, USA, v. 105, n. 6, p. 7327-7335, 2000.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climate hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Berks, UK, GB, v. 103, p. 77-92. 1977.

HELSEL, D. R.; FRANS, L. M. Regional Kendall test for trend. **Environmental Science and Technology**. Easton, Pa., USA, v. 40, n. 13, p. 4066-4070, 2006.

HENNESSY, K.; FITZHARRIS, B.; BATES, B.C.; HARVEY, N.; HOWDEN, S.M.; HUGHES, L. J.S.; WARRICK, R. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. In: PARRY, M.L.; CANZIANI, O.F.; PALUTIKOF, J.P.; VAN DER LINDEN, P.J.; HANSON, C.E. **Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007. 507–540 p.

HERRING, D. **Earth's Temperature Tracker**. NASA Earth Observatory. Published November 5, 2007. Disponível em http://earthobservatory.nasa.gov/Features/GISSTemperature/giss_temperature.php. Acessado em 09 de Setembro de 2016.

HOSSIAN, M.; ABDULLA, F.; RAHMAN, H. Selecting the Probability Distribution of Monthly Maximum Temperature of Dhaka (Capital City) in Bangladesh. **Journal of Statistical Studies**, Dhaka, Bangladesh, Índia, v. 33, p. 33-45. 2016.

HUANG, F.; XIA, Z.Q.; LI, F.; GUO, L.D.; YANG, F.C. Hydrological Changes of the Irtys River and the Possible Causes. **Water Resources Management**, Athens, Greece, v. 26, p. 3195–3208. 2012.

HUANG, F.; ZHANG, N.; MA, X.; ZHAO, D.; GUO, L.; REN, L.; WU, Y.; XIA, Z. Multiple Changes in the Hydrologic Regime of the Yangtze River and the Possible Impact of Reservoirs. **Water**, Basel, Switzerland, v. 8, n. 9, p. 408. 2016.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2001. Watson RT, IPCC Core Writing Team (eds), Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2001, the scientific basis. Cambridge University Press, Cambridge. (2001a)

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge. 2001b.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2013: The physical science basis. Working Group I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. 2013.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007: the physical science basis. In Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor, M.; Miller, H.L. (ed.). Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

JACOMINE, P. T. K. Solos sob caatinga: características e uso agrícola. In: Alvarez V., V. H.; Fontes, L. E. F.; Fontes, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Universidade Federal de Viçosa, 1996. 96-111p.

JAKOB, D.; WALLAND, D. Variability and long-term change in Australian temperature and precipitation extremes. **Weather and Climate Extremes**, Sydney, Australia, v. 14, p. 36-55. 2016.

JONES, J. R.; SCHWARTZB, J. S.; ELLIS, K. N.; HATHAWAYD, J. M.; JAWDYE, C. M. Temporal variability of precipitation in the Upper Tennessee Valley. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, NL, v. 3, p. 125–138. 2015.

KAM, J.; SHEFFIELD, J. Changes in the low flow regime over the eastern United States (1962–2011): variability, trends, and attributions. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 135, p. 639-653. 2016.

KATZ, R. W.; BROWN, B. G. Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages. **Climate Change**, Dordrecht, v. 21, n. 3, p. 289-302. 1992.

KATZ, R.W. Towards a statistical paradigm for climate change. Preprints, 7th Conference on Applied Climatology, **American Meteorological Society**, Boston, USA, p. 4-9, 1991.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. Variabilidade decenal e multidecenal, In: CAVANCANTI, I.; FERREIRA, N.; SILVA, M. G. J. DA; DIAS, M. A. F. S. (ed.). **Tempo e Clima no Brasil**, Oficina de Textos, São Paulo, 2009. 375-383b p.

KENDALL, M.G., 1975. **Rank Correlation Methods**. Griffin, London. 1975. 196 p.

KHUDRI, M.; SADIA, F. Determination of the Best Fit Probability Distribution for Annual Extreme Precipitation in Bangladesh. **European Journal of Scientific Research**, Mahé, Seychelles, v. 103, n 3, p. 391-404. 2013.

KJELDSSEN, T.R.; LUNDORF, A; ROSBJERG, D. - Use of a two-component exponential distribution in partial duration modeling of hydrological droughts in Zimbabwean rivers. **Hydrological sciences Journal**, Oxford, UK v. 45, p. 285-298. 2000.

KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. Upper Tropospheric Cyclone Vortices in the Tropical South Atlantic., **Tellus Journal**, Sweden, Stockholm, v. 33, p. 538-551. 1981.

KUNDU, S.; KHARE, D.; MONDAL, A. P. K. Mishra Analysis of spatial and temporal variation in rainfall trend of Madhya Pradesh, India (1901–2011). **Environmental Earth Science**, Springer, Germany, v. 73, p. 8197–8216. 2015.

LACERDA, F. L.; VIEIRA DE MELO, A. V. P.; SOARES, D. B. Análise preliminar na detecção de tendências no padrão pluviométrico na Bacia do Pajeú – PE: Mudanças climáticas ou variabilidade ?. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 18, 2009, Campo Grande-MT. **Anais...**, CD Room, 2009.

LI, X.X.; QIN, D.H.; LI, J.Y. 2007. National Assessment Report of Climate Change. **Science Press**, Amsterdam, Netherlands, v. 337, p. 258-268, 2007.

LINDOSO, D.; EIRÓ, F. E.; ROCHA, J. D. Desenvolvimento Sustentável, Adaptação e Vulnerabilidade à Mudança Climática no Semiárido Nordeste: Um Estudo de Caso no Sertão do São Francisco. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, CE, v. 44, n. especial, p. 301-332. 2013.

LONGOBARDI, A.; VILLANI, P. Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area. **International Journal of Climatology**, Chichester, UK, v. 30, p. 1538-1546. 2010.

MAMOON, A. A., RAHMAN, A. Selection of the best fit probability distribution in rainfall frequency analysis for Qatar. **Natural Hazard**, Dordrecht, v.86, n. 1, p. 281-296, 2017.

MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, Chicago, USA, v. 13, p. 245–259. 1945.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e regionais. Avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, SP, v. 16, n. 1, p. 1-18. 2001.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C.; ROCHA, R. P.; LABORBE, R. **Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o século XXI: projeções de clima futuro usando três modelos regionais: relatório nº 5.** MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS - SBF DIRETORIA DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – dcbio, São Paulo, SP, 2007. 77 p.

MARENGO J. A; JONES, R.; ALVES, L.M.; VALVERDE, M.C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **Journal of Climatology**, Chichester, UK, v.29, n. 1, p. 2241-2255, 2009.

MARENGO, J. A., **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semiárido do Brasil.** In: Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação. Parcerias Estratégicas, Nº27, Brasília, DF, 2008. 149-176 p.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro:** Recursos hídricos em regiões

áridas e semiáridas. Instituto Nacional do Semiárido; Campina Grande, PB. 2011. 383-422 p.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C.; OBREGON, G. O. Observed and projected changes in rainfall extremes in the metropolitan area of São Paulo. **Climate Research**, Oldendorf, Alemanha, v. 57, p. 61–72, 2013.

MCFARLANE, D.; STONE, R.; MARTENS, S.; THOMAS, J.; SILBERSTEIN, R.; ALI, R.; HODGSON, G. Climate change impacts on water yields and demands in south-western Australia. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, NL, v. 475, p. 488–498. 2012.

MCCMAHON, T.A.; R.M. VOGEL, M.C. PEEL, G.G.S. PEGRAM Global streamflows – Part 1: characteristics of annual streamflows. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, NL, v. 347, n. 3, p. 243-295, 2007.

MEARNS, L. O.; KATZ, R.W.; SCHNEIDER, S. H. Extreme high-temperature events: Changes in their probabilities with changes in mean temperature. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, Boston, USA, v. 23, p. 1601-1613. 1984.

MELILLO, J.M.; RICHMOND, T.C.; YOHE, G.W. Eds. **Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment**. U.S. Global Change Research Program. USGCRP. Washington, USA, 2014. 829 p.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; MELLO, J. M.; SILVA, A. M. Continuidade espacial de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 32, n. 2, p. 532-539. 2008.

MELO, E. C. S.; MELO, A. S.; MELO, E. G. S.; SILVA, T. L. V. Estudo da variabilidade da precipitação no estado de Pernambuco, Brasil **Revista de Geografia**, Recife, PE, v. 28, n. 1, p. 82-92. 2011.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I.; SANTOS, C. A. C.; SILVA, L. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, SP, v.23, n.2, p. 152-161, 2008.

MICHAELIDES, S.C.; TYMVIOS, F.S.; MICHAELIDOU, T. Spatial and temporal characteristics of the annual rainfall frequency distribution in Cyprus. **Atmospheric Research**, Amsterdam, NL, v. 94, p. 606–615. 2009.

MILLY P.C.D.; DUNNE K.A.; VECCHIA A.V. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. **Nature**, London, UK, v. 438, p. 347–350. 2005.

MILLY P.C.D.; BETANCOURT, J.; FALKENMARK, M.; HIRSCH, R.M.; KUNDZEWICZ, Z.W.; LETTENMAIER, D.P.; TTOUFFER, R.J. - Climate change - Stationarity is dead: Whither water management? **Science**, Washington, USA, v. 319, p. 573–574, 2008.

MIN - Ministério da Integração Nacional. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Brasília, DF, 35 p.

MISHRA, N.; KHARE, D.; SHUKLA, R.; KUMAR, K. TREND Analysis of Air Temperature Time Series by Mann Kendall Test - A Case Study of Upper Ganga Canal Command (1901-2002). **British Journal of Applied Science & Technology**, Delaware, USA, v.4, n. 28, p. 4066-4082, 2014.

MODARRES, R.; SILVA, V. P. R. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. **Journal of Arid Environments**, London, UK, v. 70, p. 344–355. 2007.

MONCUNILL, D.F. **The rainfall trend over Ceará and its implications**. Proceeding of 8 ICSHMO, Foz Iguaçu, Brazil - INPE.. 2006. 315-323 p.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. Associação Brasileira de Estatística. São Paulo: Edgard Blücher, 2.ed., 2006. 538 p.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. Modelos para Previsão de Séries Temporais. **Colóquio Brasileiro de Matemática**. Rio de Janeiro, RJ. 1981.356 p.

MORETTIN, P.A.; BUSSAB, W. O. **Estatística Básica**. 6. ed. rev. atual. São Paulo: Saraiva, São Paulo: Saraiva, 2014. 546 p.

MOROZOVA, A. L.; VALENTE, M. A. Homogenization of Portuguese long-term temperature data series: Lisbon, Coimbra and Porto. **Journal Earth System Science**. Cham, Switzerland, v. 4, p. 187-213, 2012.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in the Northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of Atmospheric Sciences**, Boston, USA, v. 38, n.12, pp. 2653 – 2675. 1981.

MOURA, M. S. B. DE; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. DE L.; SOUZA, L. S. B. DE; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. DA. Clima e água de chuva no Semiárido. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). **Potencialidades da água de chuva no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2007. 37-59 p.

NAE - Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Mudança de Clima, Vol. I: **Negociações internacionais sobre a mudança de clima**; vulnerabilidade, Impactos e adaptação à mudança de clima. Cadernos NAE, NAE-SECOM 2005. Brasília, 250 p.

NAGHETTINI, M.; PORTELA, M. M. **Estatística e Probabilidade Aplicadas à Hidrologia** In: NAGHETTINI, M. Introdução à Hidrologia Aplicada. Belo Horizonte, MG, 2012. 269 p.

NAVIDI, W. - **Statistics for Engineers and Scientists**, 2ª ed., McGraw-Hill, New York. 2008. 901 p.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. National Centers for Environmental Information. Disponível em www.ncei.noaa.gov. Acessado em 06 de Outubro de 2016.

NOY-MEIR I. Desert ecosystems: environment and producers. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, Palo Alto, California, USA, v. 4, p. 25–51, 1973.

PETRONE, K.C.; HUGHES, J.D.; VAN NIEL, T.G.; SILBERSTEIN, R.P. Streamflow decline in southwestern Australia, 1950–2008. **Geophysical Research Letters**, Washington, USA, v. 37, n. 11, p. 1-7, 2010.

PETTITT, A.N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Journal Applied Statistics**, Cleveland, Ohio, USA, v. 28, n 2, p. 126-135. 1979.

PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A. The relative importance of ENSO and Tropical Atlantic Sea Surface Temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: A numerical study. **Climate Dynamics**, Berlin, DE, v. 17, n. 2-3, p. 205-212, 2001.

PHILIP, A.; AUGUSTINE, Y.; ABINDAW, B. Impact of climate variability on smallholder households and indigenous coping strategies in Bonga district. **International Journal of Development Research**, London, UK, v.4, n. 3, p. 693–699, 2014.

PIAO, S.L.; CIAIS, P.; HUANG, Y.; SHEN, Z.H.; PENG, S.S.; LI, J.S.; ZHOU, L.P. LIU, H.Y.; MA, Y.C.; DING, Y.H.; FRIEDLINGSTEIN, P.; LIU, C.Z.; TAN, K.; YU, Y.Q.; ZHANG, T.Y.; FANG, J.Y. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. **Nature**, London, UK, v. 467, n. 7311, p. 43–51, 2010.

POFF, N.L.; ZIMMERMAN, J.K.H. Ecological responses to altered flow regimes: A literature review to inform the science and management of environmental flows. **Freshwater Biology**, Oxford, UK, v. 55, p. 194–205, 2010.

PREMA, V.; UMA RAO, K. Development of statistical time series models for solar power prediction. **Electrical & Electronics Engineering**, Barton, Australia, AU, v. 83, p. 100-10, 2015.

RAMOS, M. C.; MARTINEZ-CASASNOVAS, J. A. Trends in precipitation concentration and extremes in the Mediterranean Penedes-Anoia region, NE Spain. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 74, p. 457–474, 2006.

REID, I. **River landforms and sediments**: evidence of climate change. IN: Parsons, A. J.; Abrahams, A. D. Geomorfology of Desert Environments, Second Ed. Springer, London, UK. 2009, 831 p.

R Foundation for Statistical Computing. Acessado em junho 2014. Disponível em: <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-exts.html>.

RIBEIRO, B. G.; SOUZA, M. J. H.; CUPOLILLO, F. Padrões de distribuição e frequência de ocorrência das precipitações diárias em Diamantina – Minas Gerais (1977 – 2009). Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011. **Anais...** Guarapari - ES.

ROCHA, W. F. **Situação da cobertura vegetal do bioma Caatinga**. In: Angelotti, F.; Sá, I. B.; Menezes, E. A.; Pellegrino, G. Q. (Org.). Mudanças climáticas e desertificação no Semiárido brasileiro. Petrolina: Embrapa Semiárido; Campinas, SP: Embrapa Informática Agropecuária, 2009. cap. 5, 77-94 p.

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B. **A vegetação do bioma caatinga**. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; GIULIETI, A. M.; VIRGÍNIO, J.; GAMARRA ROJAS, C. F. L. (Ed.). Vegetação e flora da Caatinga. Recife: APNE, 2002. 11-24 p.

RODRIGUES, R.R.; HAARSMA, R.J.; CAMPOS, E.J.D.; AMBRIZZI, T. The Impacts of Inter–El Niño Variability on the Tropical Atlantic and Northeast Brazil Climate. **Journal Of Climate**, Boston, Mass., USA, v. 24, p. 3402-3422, 2010.

SABIITI, U. G.; ININDA, J. M.; OGALLO, L.; OPIJAH, F.; NIMUSIIMA, A.; OTIENO, G.; DDUMBA, S. D.; NANTEZA, J.; BASALIRWA, C. Empirical Relationships between Banana Yields and Climate Variability. **Journal of Environmental and Agricultural Sciences**, Madison, USA, v. 7, p. 03-13, 2016.

SAHIN, S.; CIGIZOGLU, H. K. Homogeneity analysis of Turkish meteorological data set. **Hydrological Processes**, Chichester, UK, GB, v. 24, p. 981–992, 2010.

SALATI, E.; SALATI, E; CAMPANHOL, T.; VILLA NOVA, N., 2007: **Tendências das Variações Climáticas para o Brasil no Século XX e Balanços Hídricos para Cenários Climáticos para o Século XXI**. Relatório 4, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS – SBF, DIRETORIA DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – DC Bio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, DF, 2007. 182 p.

SALVIANO, M. F.; GROPPPO, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, SP, v. 31, n. 1, pp. 64-73, 2016.

SANTOS, C. A. C. Identificação de eventos extremos de precipitação e temperatura em regiões áridas e semiáridas. In: GALVÍNIO, J. D. **Mudanças Climáticas e Modelos Ambientais: Caracterização e Aplicações**. Recife, 2012. 456p.

SANTOS, D. N.; SILVA V. P. R.; SOUSA, F. A. S.; SILVA, R. A. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.14, n.5, p.492-500. 2010.

SANTOS, M.; FRAGOSO, M. Precipitation variability in Northern Portugal: Data homogeneity assessment and trends in extreme precipitation indices. **Atmospheric Research**, Amsterdam, NL, v. 131, p. 34–45, 2013.

SCHMIDT, K.; HILLSLOPES A. S. **Evidence of climate change**. IN: PARSONS, A. J.; ABRAHAMS, A. D. *Geomorphology of Desert Environments*, Second Ed. Springer. London, UK, 2009. 831 p.

SCHNEIDER, C.; LAIZE, C.L.R.; ACREMAN, M.C.; FLORKE, M. How will climate change modify river flow regimes in Europe? **Hydrology and Earth System Sciences**, Munich, Germany, v. 17, p. 325–339, 2013.

SCHNORBUS, M.; WERNER, A.; BENNETT, K. Impacts of climate change in three hydrologic regimes in British Columbia, Canada. **Hydrological Processes**, Chichester, UK, v. 28, p. 1170-1189, 2014.

SEN, P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American Statistical Association**, New York, USA, v. 63, p. 1379–1389. 1968.

SHARMA, M.A.; SINGH, J.B. Use of probability distribution in rainfall analysis. **New York Science Journal**, New York, USA, v. 3, n. 9, p.40–49, 2010.

SILBERSTEIN, R.P.; ARYAL, S.K.; DURRANT, J.; PEARCEY, M.; BRACCIA, M.; CHARLES, S.P.; BONIECKA, L.; HODGSON, G.A.; BARI, M.A.; VINEY, N.R.; MCFARLANE, D.J. Climate change and runoff in south-western Australia. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, NL, v. 475, p. 441–455, 2012.

SILVA, I. N.; OLIVEIRA, J. B.; FONTES, L. O.; ARRAES, F. D. D. Distribuição de frequência da chuva para região Centro-Sul do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, CE, v. 44, n. 3, p. 481-487, 2013.

SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S. Análise espacial e climatológica da ocorrência de veranicos no sertão de Pernambuco. **Revista de Geografia**, Recife, PE, v. 27, n. 1, 2010.

SOME'E, B. S.; EZANI, A.; TABARI, H. Spatio temporal trends and change point of precipitation in Iran. **Atmospheric Research**, Amsterdam, NL, v. 113, p. 1–12, 2012.

SOUZA E.B. DE; AMBRIZZI, T. Enso impacts on the South American rainfall during 1980s: Hadley and Walker circulation. **Atmosfera**, México, MX, v. 15, p. 105–120, 2002.

SOUZA FILHO, F. A. **Variabilidade e Mudança Climática nos semiáridos brasileiros**. Capítulo 3 em *Clima e Recursos Hídricos no Brasil*, Carlos Tucci. Benedito Braga Editores. Porto Alegre, Coleção ABRH. 2003. 77-111 p.

SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B.; XAVIER, T. M. B. S. Distribuição mensal e sazonal da precipitação no semiárido nordestino durante os anos de predominância de aquecimento ou de resfriamento observados em toda a bacia do Atlântico Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, SP, v.14, n. 1, p. 01-09, 1999.

SOUZA, I. F.; LUNDGREN, W.J. C.; NETTO, A. O. A. Comparação entre distribuições de probabilidades da precipitação mensal no estado de Pernambuco. **Scientia Plena**. Aracajú, SE, v. 6, n. 6, 2010.

STAHEL, K.; HISDAL, H. **Hydroclimatology**, IN: Hydrological Drought. - Processes and estimation methods for streamflow and groundwater Eds: TALLAKSEN, L.; VAN LANEM, H. A. J. Elsevier, Netherlands, 2006. 579 p.

SU, X.; SINGH, V.P.; NIU, J.; HAO, L. Spatiotemporal trends of aridity index in Shiyang River basin of northwest China. **Stochastic Environmental Research and Risk**, Berlin, DE, v. 29, p.1571–1582, 2015.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Dados pluviométricos mensais do Nordeste. Recife: SUDENE, 1990. Série Pluviometria 10 p. 10.

SUN J.; LEI X.; TIAN Y.; LIAO W.; WANG Y. Hydrological impacts of climate change in the upper reaches of the Yangtze River Basin. **Quaternary International**, North Yorkshire, UK, v. 304, p. 62-74, 2013.

TABARI, H.; MAROFI, S.; AEINI, A.; TALAEI, P.H.; MOHAMMADI, K. Trend Analysis of Reference Evapotranspiration in the Western half of Iran. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, NL, v. 151, p. 128-136, 2011.

TABARI, H.; TALAEI, P. H. Temporal variability of precipitation over Iran: 1966–2005. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, NL, v. 396, p. 313–320, 2011.

TATE, E. L.; FREEMAN, S. N. - Three modelling approaches for seasonal streamflow droughts in southern Africa: the use of censored data. **Hydrological Sciences Journal**, Oxford, UK, v. 45, n. 1, p. 27- 42, 2000.

THOMSON, A.M.; BROWN, R.A.; ROSENBERG, N.J.; SRINIVASAN, R.; IZAURRALDE, R.C. In: ROSENBERG, N.J.; EDMONDS, J. **Climate Change Impacts for the Conterminous USA: An Integrated Assessment**. Part 4. Water Resources. Springer, Netherlands, 2005. 67–88 p.

TRAJKOVIC, S.; KOLAKOVIC, S. Wind-adjusted Turc equation for estimating reference evapotranspiration at humid European locations. **Hydrology Research**, London, UK, v. 40, n. 1, 45–52, 2009.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 1993. 943p.

TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 678 p.

UPADHYAYA, A.; SINGH, S. R.; Estimation of consecutive days maximum rainfall by various methods and their comparison. **Indian Journal of Soil Conservation**, New Delhi, India, v. 26, n. 2, p. 193-201, 1998.

VILLARINI, G.; SMITH, J. A.; BAECK, M. L.; VITOLO, R.; STEPHENSON, D. B.; KRAJEWSKI, W. F. On the frequency of heavy rainfall for the Midwest of the United States **Journal of Hydrology**, Amsterdam, NL, v. 400, p. 103–120, 2011.

VILLARINI, G.; SMITH, J. A.; NAPOLITANO, F. Non-stationary modeling of a long record of rainfall and temperature over Rome. **Advances in Water Resources**, Southampton, UK, v. 33, p. 1256–1267, 2010.

WALLING, D. E. - **The Impact of Global Change on Erosion and Sediment Transport by Rivers**: Current Progress and Future Challenges. The United Nations World Water Assessment Programme. The United Nations World Water Development Report 3 Water in a Changing World, UNESCO, Paris, 2009. 29 p.

WANG, Q.; FAN, X.; QIN, Z.; WANG, M. Change trends of temperature and precipitation in the Loess Plateau Region of China, 1961–2010. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, NL, v. 92, n. 93, p. 138–147, 2012.

WEI, W.; CHEN, L.D.; ZHANG, H.D.; CHEN, J. Effect of rainfall variation and landscape change on runoff and sediment yield from a loess hilly catchment in China. **Environmental Earth Sciences**, Heidelberg, DE, v. 73, n. 3, p. 1005–1016. 2015.

WHEATER H.; SOROOSHIAN S.; SHARMA K. D. **Hydrological Modelling in Arid and Semi-Arid Areas** 1^a ed., Cambridge, Cambridge University Press, 222 p., 2008.

XU C-Y. Climate change and hydrologic models: a review of existing gaps and recent research developments. **Water Resources Management**, Athens, Greece, v. 13, n. 5, p. 369–382. 1999.

XU, Z.; LIU, Z.; FU, G. CHEN, Y. Trends of major hydroclimatic variables in the Tarim River basin during the past 50 years. **Journal of Arid Environments**, Amsterdam, NL, v. 74, n. 2, p. 256–267, 2010.

YANG, X.L.; XU, L.R.; LIU, K.K.; LI, C.H.; HU, J. X.; XIA, H. Trends in Temperature and Precipitation in the Zhangweinan River Basin during the last 53 Years The 18th Biennial Conference of the International Society for Ecological Modelling Procedia. **Environmental Sciences**, Los Angeles, California, USA, v. 13, p. 1966–1974, 2012.

YILMAZ, G.; PERERA, B. J. C.; Spatiotemporal Trend Analysis of Extreme Rainfall Events in Victoria, Australia. **Water Resources Management**, Athens, Greece, v. 29, p. 4465–4480, 2015.

YOU, Q.; KANG, S.; AGUILAR, E.; PEPIN, N.; FLUGEL, W.; YAN, Y.; XU, Y.; ZHANG, Y.; HUANG, J. Changes in daily climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961–2003. **Climate Dynamics**, Berlin, DE, v. 36, p. 2399–2417, 2010.

ZHANG, Q.; XU, C.; CHEN, Y. D.; YANG, T. Spatial assessment of hydrologic alteration across the Pearl River Delta, China, and possible underlying causes. **Hydrological Processes**, Chichester, UK, GB, v. 23, p. 1565–1574, 2009.

ZHANG, S., FAN, W., LI, Y., YI, Y. The influence of changes in land use and landscape patterns on soil erosion in a watershed. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, NL, v. 574, p. 34–45. 2017.

ZHAO, G; MU, X.; TIAN, P; WANG, F.; GAO, P. Climate changes and their impacts on water resources in semiarid regions: a case study of the Wei River basin, China. **Hydrological Processes**, Chichester, UK, GB, v. 27, p. 3852-3863. 2013.