



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO  
AMBIENTE

LUCIANA MAYLA DE AQUINO FRANÇA

**ANÁLISE DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA EM ÁREA SEMIÁRIDA:  
relações entre seca, agricultura e os Objetivos para o Desenvolvimento  
Sustentável**

**RECIFE  
2021**

LUCIANA MAYLA DE AQUINO FRANÇA

**ANÁLISE DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA EM ÁREA SEMIÁRIDA: relações  
entre seca, agricultura e os Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Área de concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente

Orientadora: Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio  
Coorientadora: Dra. Valéria Sandra de Oliveira Costa

**RECIFE**

**2021**

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

F814a França, Luciana Mayla de Aquino.  
Análise de uma bacia hidrográfica em área semiárida : relações entre seca, agricultura e os objetivos para o desenvolvimento sustentável / Luciana Mayla de Aquino França. – 2021.  
224 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Josiclêda Domiciano Galvício.

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Valéria Sandra de Oliveira Costa.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 2021.

Inclui referências e apêndices.

1. Meio ambiente. 2. Regiões áridas. 3. Secas. 4. Agricultura – Aspectos ambientais.  
5. Agricultura familiar. I. Galvício, Josiclêda Domiciano (Orientadora). II. Costa, Valéria Sandra de Oliveira (Coorientadora). III. Título.

363.7 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2021-123)

LUCIANA MAYLA DE AQUINO FRANÇA

**ANÁLISE DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA EM ÁREA SEMIÁRIDA:  
relações entre seca, agricultura e os Objetivos para o Desenvolvimento  
Sustentável**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente

Aprovada em: 27 / 05 / 2021

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dra. Josicleda Dominiano Galvínio (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

---

Prof Dr. Inajá Francisco de Sousa  
Universidade Federal de Sergipe – UFS

---

Prof Dr. Lucivânio Jatobá de Oliveira  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

---

Prof. Dra. Werônica Meira de Souza  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

---

Dra. Zilurdes Fonseca Lopes  
Agência Pernambucana de Águas e Climas - APAC

Aos meus pais, Luciano e Socorro, e ao meu irmão Bruno  
meus maiores incentivadores.

*Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Luciano França e Maria do Socorro, e ao meu irmão Luciano Bruno, por todo o auxílio, amor e dedicação me dados ao longo da vida que foi fundamental para que eu chegasse até aqui.

Aos amigos desde a graduação, em especial a Taynã Lins, Caio Cesar, João Antonio e Bruno Silva, pela amizade, carinho e momentos de descontração, por todo o conhecimento e aprendizado compartilhado, ajuda nos momentos difíceis e compreensão nos momentos de apreensão durante a elaboração desta pesquisa.

À Laura Lima, Angélica Mayã e Camila Almeida pelo carinho, amizade, incentivo e por sempre acreditarem no meu potencial.

Aos amigos do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento – SERGEO, em especial a Rodrigo Miranda, Ygor Cristiano, Jadson Freire, Josimar Reis, Elisabeth Alves, Henrique Ferreira, Pedro Brito, Sidney Campelo e Tayran Oliveira por me auxiliarem nos momentos de dúvidas e pela disposição em compartilhar conhecimento.

À minha orientadora, Professora Josiclêda Galvíncio, todo o meu carinho, respeito e admiração. Agradeço aos momentos de dedicação, orientação e ensinamentos compartilhados ao longo de toda a minha vida acadêmica.

À minha coorientadora, Professora Valéria Costa, pela dedicação, compreensão e paciência a mim dedicadas durante todo o período de pós-graduação.

Ao Professor Lucivânio Jatobá pelos conselhos, ensinamentos e debates durante os estágios à docência que foram fundamentais para meu caminho como profissional.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) e ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO), pela estrutura fornecida para a elaboração desta pesquisa.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de pós-graduação através do Edital nº 17/2016 PBPG 2017.1 – FACEPE.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho, indireta ou diretamente.

...Lavoura lá dá só com o cheiro de chuva  
Tem resistência  
O milho e o feijão com uma chuva em cada mês  
A coisa aumenta  
Que a lavoura lá aguenta  
Trinta dias de verão... (Gonzaga e Marcolino, 2000).

## RESUMO

A região semiárida sofre com a falta de bons dados. Isso dificulta os estudos ambientais e as análises climáticas que identifiquem e indiquem os problemas referentes a convivência com a seca, principalmente com relação a agricultura. Com isso, o objetivo desta pesquisa é verificar e analisar os períodos de seca e como eles afetam a produção agrícola da bacia hidrográfica do rio Pajeú. Para isso foram utilizados dados pluviométricos provenientes de 37 postos pluviométricos para o período de 1963 a 2019 e aplicados cinco métodos de preenchimento de falhas utilizando dados mensais. Como forma de verificar qual o melhor método de preenchimento, foram aplicados quatro métodos de métrica de erros. Para o teste de tendência foram aplicados os testes estatísticos de Mann-Kendall, Cox-Stuart e Wald-Wolfowitz utilizando dados mensais e anuais. Na análise de secas foram utilizados o índice de anomalia de chuva (secas/chuvas extremas), o índice de precipitação padronizado (frequência de secas) e o índice de Walsh (sazonalidade da precipitação). Na análise da agricultura foram utilizados os dados municipais das principais culturas agrícolas entre 1974 e 2019. Os resultados demonstram que dentre os métodos de preenchimento de falhas aplicados, o que obteve o pior resultado foi a regressão linear simples e o melhor resultado ficou com a ponderação regional com base em regressões lineares. Para o teste estatístico de Mann-Kendall os resultados apontam tendência negativa de precipitação em quase toda a série, porém com significância estatística apenas naquelas que possuem menor média de precipitação anual. O modelo de Wald-Wolfowitz respondeu melhor para a série de dados anuais e o modelo de Cox-Stuart indicou estacionariedade em poucos postos pluviométricos. Os índices de seca apontam forte sazonalidade da precipitação bem como déficit hídrico ao longo da última década e aumento significativo na frequência e duração das secas. As culturas agrícolas permanentes não demonstraram correlação estatística entre rendimento da produção e precipitação enquanto as culturas temporárias obtiveram os melhores resultados. O milho demonstrou ser a cultura mais afetada por períodos prolongados de seca. A seca ocorrida entre 2012-2017 se mostrou a mais severa quando analisada em função do rendimento médio da produção agrícola.

Palavras-chave: Preenchimento de falhas; Monitoramento de secas; Agricultura familiar; Agricultura de sequeiro.

## ABSTRACT

The semiarid region suffers from a lack of good data. This makes it difficult to carry out environmental studies and climate analyzes that identify and indicate problems related to living with drought, especially in relation to agriculture. Thus, the objective of this research is to verify and analyze the periods of drought and how they affect agricultural production in the Pajeú river basin. For this, rainfall data from 37 rainfall stations were used for the period 1963 to 2019 and five methods of filling gaps were applied using monthly data. As a way to verify the best filling method, four error metric methods were applied. For the trend test, the statistical tests of Mann-Kendall, Cox-Stuart and Wald-Wolfowitz were applied using monthly and annual data. In the drought analysis, the rainfall anomaly index (droughts/extreme rainfall), the standardized precipitation index (drought frequency) and the Walsh index (rainfall seasonality) were used. In the analysis of agriculture, municipal data for the main agricultural crops between 1974 and 2019 were used. The results show that among the applied gap filling methods, the one that obtained the worst result was simple linear regression and the best result was weighted regional based on linear regressions. For the Mann-Kendall statistical test, the results point to a negative precipitation trend in almost the entire series, but with statistical significance only in those that have the lowest average annual precipitation. The Wald-Wolfowitz model responded better to the annual data series and the Cox-Stuart model indicated stationarity in few rainfall stations. Drought indices point to strong seasonality of precipitation as well as a water deficit over the last decade and a significant increase in the frequency and duration of droughts. Permanent agricultural crops showed no statistical correlation between production yield and rainfall, while temporary crops obtained the best results. Corn proved to be the crop most affected by prolonged periods of drought. The drought that occurred between 2012-2017 proved to be the most severe when analyzed in terms of the average yield of agricultural production.

Keywords: Fault filling; Monitoring of droughts; Family farming; Rainfed agriculture.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Modelo de um gráfico de análise de consistência pelo método da dupla massa.	30
Quadro 1 –	Anos de seca e principais consequências no período entre 1723 e 2012.	40
Figura 2 -	Localização da Bacia hidrográfica do rio Pajeú.	53
Figura 3 -	Precipitação média mensal para alguns municípios da área em estudo.	54
Figura 4 -	Altimetria da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE.	55
Figura 5 –	Vegetação (A) e mapa de solos (B) da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE.	57
Figura 6 –	Distribuição espacial dos postos pluviométricos utilizados.	58
Figura 7 –	Divisão dos grupos de processamento.	60
Figura 8 –	Média e desvio padrão para o método média aritmética simples.	81
Figura 9 –	Média e desvio padrão para o método ponderação regional.	81
Figura 10 –	Média e desvio padrão para o método ponderação regional com base em regressões lineares.	82
Figura 11 –	Média e desvio padrão para o método regressão linear simples.	82
Figura 12 -	Média e desvio padrão para o método regressão linear múltipla.	82
Figura 13 –	Erro padrão para cada posto com todos os métodos analisados.	83
Figura 14 –	Precipitação em função da média para todas os postos em estudo.	88
Figura 15 –	Postos que apresentaram tendência de aumento ou diminuição da precipitação através do teste de Mann-Kendall.	92
Figura 16 –	Localização dos postos pluviométricos que obtiveram respostas positivas para os testes aplicados.	94
Figura 17 –	IAC e IW para o posto 182.	96

Figura 18 – IAC e IW para o posto 738035.	96
Figura 19 – IAC e IW para o posto 11.	98
Figura 20 – IAC e IW para o posto 44.	98
Figura 21 – IAC e IW para o posto 54.	100
Figura 22 – IAC e IW para o posto 12.	102
Figura 23 – IAC e IW para o posto 13.	102
Figura 24- IAC e IW para o posto 189.	103
Figura 25 – IAC e IW para o posto 236.	105
Figura 26 – IAC e IW para o posto 297.	106
Figura 27 – IAC e IW para o posto 197.	106
Figura 28 – IAC e IW para o posto 91.	109
Figura 29 – IAC e IW para o posto 93.	110
Figura 30 – IAC e IW para o posto 266.	110
Figura 31 – IAC e IW para o posto 32.	113
Figura 32 – IAC e IW para o posto 255.	114
Figura 33 – IAC e IW para o posto 419.	114
Figura 34 – IAC e IW para o posto 288.	116
Figura 35 – IAC e IW para o posto 434.	116
Figura 36 – IAC e IW para o posto 63.	118
Figura 37 – IAC e IW para o posto 42.	119
Figura 38 – IAC e IW para o posto 194.	120
Figura 39 – IAC e IW para o posto 184.	121
Figura 40 – IAC e IW para o posto 238.	122
Figura 41 – IAC E IW para o posto 69.	124
Figura 42 – IAC e IW para o posto 414.	124
Figura 43 – IAC e IW para o posto 146.	126
Figura 44 – IAC e IW para o posto 74.	127
Figura 45 – IAC e IW para o posto 357.	128
Figura 46 – IAC e IW para o posto 528.	129
Figura 47 – IAC e IW para o posto 296.	129
Figura 48 – IAC e IW para o posto 92.	131
Figura 49 – IAC e IW para o posto 155.	133
Figura 50 – IAC e IW para o posto 471.	134

Figura 51 – IAC e IW para o posto 473.	134
Figura 52 – Rendimento da banana (kg/ha) em função da precipitação em Belém do São Francisco.	140
Figura 53 – Rendimento do Coco-de-baía em função da precipitação em São José do Belmonte.	141
Figura 54– Rendimento da Manga em função da precipitação em Brejinho.	142
Figura 55 – Rendimento do feijão em função da precipitação em Itacuruba.	144
Figura 56 – Rendimento do milho em função da precipitação em Ingazeira.	145
Figura 57 – Rendimento do milho em função da precipitação em Serra talhada.	146

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Classificação dos valores de correlação de Pearson.	31
Tabela 2 –	Anos de secas registrados no Brasil a partir do século 16.	40
Tabela 3 –	Lista dos postos pluviométricos utilizados neste estudo.	59
Tabela 4 -	Intensidade do Índice de Anomalia de Chuva - IAC.	69
Tabela 5 –	Intensidade do Índice Padronizado de Precipitação.	72
Tabela 6 –	Intensidade do índice de Walsh.	72
Tabela 7 –	Porcentagem de falhas por posto.	74
Tabela 8 –	Lista dos postos utilizados para o preenchimento das falhas.	75
Tabela 9 –	Lista dos postos utilizados no estudo.	76
Tabela 10 –	Estatísticas dos postos do grupo 1 (EP = Erro padrão, MS = Média simples, PR = Ponderação regional, PRRL = Ponderação regional com base em regressões lineares, RL = Regressão linear simples, RLM = Regressão linear múltipla).	78
Tabela 11 –	Estatísticas dos postos do grupo 2 (EP = Erro padrão, MS = Média simples, PR = Ponderação regional, PRRL = Ponderação regional com base em regressões lineares, RL = Regressão linear simples, RLM = Regressão linear múltipla).	78
Tabela 12 –	Estatísticas dos postos do grupo 3 (EP = Erro padrão, MS = Média simples, PR = Ponderação regional, PRRL = Ponderação regional com base em regressões lineares, RL = Regressão linear simples, RLM = Regressão linear múltipla).	79
Tabela 13 –	Intervalo de confiança para cada posto e método de preenchimento (MS = Média simples, PR = Ponderação regional, PRRL = Ponderação regional com base em regressões lineares, RL = Regressão linear simples, RLM = Regressão linear múltipla).	84
Tabela 14 –	Métrica de erros para os métodos de preenchimento (MS = Média simples, PR = Ponderação regional, PRRL = Ponderação regional com base em regressões lineares, RL = regressão linear simples, RLM = Regressão linear múltipla, ME = Erro médio, MAE = Erro médio absoluto, RMSE = Erro médio quadrático, MAPE = Erro médio absoluto percentual).	85

	Métrica de erros para os métodos de preenchimento excluindo os postos com mais de 80% de falhas (MS = Média simples, PR = Ponderação regional, PRRL = Ponderação regional com base em regressões lineares, RL = regressão linear simples, RLM = Regressão linear múltipla, ME = Erro médio, MAE = Erro médio absoluto, RMSE = Erro médio quadrático, MAPE = Erro médio absoluto percentual).	87
Tabela 15 –		
Tabela 16 –	Estatística e p-value para os testes de Mann-Kendall, Cox-Stuart e Wald-Wolfowitz.	90
Tabela 17 –	SPI para o posto 182.	97
Tabela 18 –	SPI para o posto 738035.	97
Tabela 19 –	SPI para o posto 11.	99
Tabela 20 –	SPI para o posto 44.	99
Tabela 21 –	SPI para o posto 54.	100
Tabela 22 –	SPI para o posto 12.	104
Tabela 23 –	SPI para o posto 13.	104
Tabela 24 –	SPI para o posto 189.	104
Tabela 25 –	SPI para o posto 236.	107
Tabela 26 –	SPI para o posto 297.	107
Tabela 27 –	SPI para o posto 197.	107
Tabela 28 –	SPI para o posto 91.	109
Tabela 29 –	SPI para o posto 93.	111
Tabela 30 –	SPI para o posto 266.	111
Tabela 31 –	SPI para o posto 32.	113
Tabela 32 –	SPI para o posto 255.	114
Tabela 33 –	SPI para o posto 419.	115
Tabela 34 –	SPI para o posto 288.	116
Tabela 35 –	SPI para o posto 434.	117
Tabela 36 –	SPI para o posto 63.	118
Tabela 37 –	SPI para o posto 42.	120
Tabela 38 –	SPI para o posto 194.	120
Tabela 39 –	SPI para o posto 184.	122
Tabela 40 –	SPI para o posto 238.	123

Tabela 41 – SPI para o posto 69.	125
Tabela 42 – SPI para o posto 414.	125
Tabela 43 – SPI para o posto 146.	126
Tabela 44 – SPI para o posto 74.	127
Tabela 45 – SPI para o posto 357.	128
Tabela 46 – SPI para o posto 528.	130
Tabela 47 – SPI para o posto 296.	130
Tabela 48 – SPI para o posto 92.	132
Tabela 49 – SPI para o posto 155.	133
Tabela 50 – SPI para o posto 471.	135
Tabela 51 – SPI para o posto 473.	135
Tabela 52 – Coeficiente de correlação (r) entre precipitação (mm) e rendimento médio da produção (kg/ha) entre 1974 e 2019.	146
Tabela 53 – Coeficiente de correlação (r) entre o IAC, IW e o rendimento médio da produção (kg/ha) entre 1974 e 2019.	150
Tabela 54 – Coeficiente de correlação (r) entre os períodos de seca mais frequentes e o rendimento da produção (kg/ha).	152
Tabela 55 – Censo agropecuário 2006 – Agricultura familiar.	158
Tabela 56 – Censo Agropecuário 2017 – Produção em toneladas de produtos provenientes da agricultura familiar por município.	161
Tabela 57 – Censo Agropecuário 2017 – Quantidade de estabelecimentos identificados como agricultura familiar e o que produzem por município.	162

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Climas
CA	Censo agropecuário
CBHSF	Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco
CCP	Coeficiente de Correlação de Pearson
DEM	Modelo Digital de Elevação
DM	Dupla Massa
IAC	Índice de Anomalia de Chuva
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IW	Índice de Walsh
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS	El Niño Oscilação Sul
MA	Média Aritmética Simples
MAE	Erro médio absoluto
MAPE	Erro médio absoluto percentual
ME	Erro médio
NEB	Nordeste brasileiro
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
PR	Ponderação Regional
PRL	Ponderação Regional com base em Regressões Lineares
RLM	Regressão Linear Múltipla
RLS	Regressão Linear Simples
RMSE	Erro Médio Quadrático
SAODI	Índice de Dípolos do Oceano Atlântico Sul
SPI	Índice padronizado de precipitação
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
TSA	Atlântico Tropical Sul
UP	Unidades de Planejamento
VCAS	Vórtice Ciclônico de Ar Superior
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
1.1	OBJETIVOS.....	20
1.1.1	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>20</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>21</b>
2.1	PREENCHIMENTO DE FALHAS E ESTATÍSTICA PARA ESTUDOS AMBIENTAIS.....	21
2.2	ANÁLISE DE TENDÊNCIA E TESTES ESTATÍSTICOS DE MANN-KENDALL, COX-STUART E WILD-WOLFOWITZ.....	31
2.3	A REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA: ÁGUA, PRECIPITAÇÃO, CLIMA, SECA E MONITORAMENTO.....	34
2.3.1	<b>Importância da água e a precipitação como objeto de estudo...</b>	<b>34</b>
2.3.2	<b>Clima e eventos atmosféricos.....</b>	<b>35</b>
2.3.3	<b>Monitoramento de secas.....</b>	<b>38</b>
2.4	AGRICULTURA FAMILIAR E AGRICULTURA DE SEQUEIRO EM ÁREAS SEMIÁRIDAS.....	45
2.5	OBJETIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: relações e aplicações com as ODS2 e ODS13.....	48
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>53</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	53
3.1.1	<b>Clima e relevo.....</b>	<b>54</b>
3.1.2	<b>Vegetação e solos.....</b>	<b>56</b>
3.2	MÉTODOS ESTATÍSTICOS.....	57
3.2.1	<b>Média aritmética simples.....</b>	<b>61</b>
3.2.2	<b>Regressão Linear simples e múltipla.....</b>	<b>61</b>
3.2.3	<b>Ponderação regional e Ponderação regional com base em regressões lineares.....</b>	<b>62</b>
3.2.4	<b>Método da Dupla Massa.....</b>	<b>63</b>
3.2.5	<b>Coeficiente de correlação de Pearson.....</b>	<b>64</b>
3.2.6	<b>Análise de tendência e testes de Mann-Kendall, Cox-Stuart e Wild-Wolfowitz.....</b>	<b>65</b>
3.2.6.1	Mann-Kendall.....	65

3.2.6.2	Cox-Stuart.....	66
3.2.6.3	Wald-Wolfowitz.....	66
<b>3.2.7</b>	<b>Métodos de análise de erros.....</b>	<b>67</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Índice de Anomalia de Chuva (IAC).....</b>	<b>68</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Índice de Precipitação Padronizado (SPI).....</b>	<b>69</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Índice de Walsh.....</b>	<b>72</b>
3.4	AGRICULTURA.....	73
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>74</b>
	APLICAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA O PREENCHIMENTO DE FALHAS EM DADOS DE PRECIPITAÇÃO.....	75
4.1	ANÁLISE DE TENDÊNCIA E TESTE ESTATÍSTICO NÃO- PARAMÉTRICO DE MANN-KENDALL, COX-STUART E WALD- WOLFOWITZ.....	87
4.2	ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA (IAC), ÍNDICE PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO (SPI) E ÍNDICE DE WALSH PARA A ANÁLISE DE SECAS NO SEMIÁRIDO.....	94
4.3	A SECA E A AGRICULTURA NO SEMIÁRIDO.....	139
4.4	<b>Reflexões sobre agricultura, políticas públicas e objetivos para o desenvolvimento sustentável.....</b>	<b>163</b>
4.4.1		
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>171</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>173</b>
	<b>APÊNDICE A – CONSISTÊNCIA DOS DADOS.....</b>	<b>200</b>
	<b>APÊNDICE B – PRECIPITAÇÃO EM FUNÇÃO DA MÉDIA.....</b>	<b>223</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Farias *et al.* (2017), a seca é uma condição natural que causa uma ampla gama de impactos sociais, econômicos e ambientais, desde a redução da produção agrícola até restrições na utilização de água nas residências. Secas de longa duração ou eventos de secas severas frequentes em regiões áridas e semiáridas podem levar a consequências ainda mais devastadoras, como a redução do abastecimento de alimentos e a desertificação (MISHRA; SINGH, 2010). Atualmente, estima-se que 2,6 bilhões de pessoas são afetadas diariamente pelas secas ao redor do mundo. De todos os desastres naturais ocorridos, a seca é responsável por 22% dos gastos, 33% do número de pessoas afetadas e 3% do número de mortos. A seca é o mais complexo de todos os fenômenos naturais, afetando um maior número de pessoas do que qualquer outro (WILHITE *et al.*, 2007).

De acordo com estudos de Martins *et al.* (2015), estima-se que anualmente, cerca de 38 milhões de brasileiros são afetados por períodos de secas e estiagens, sendo 78% do total de eventos e 80% do quantitativo de pessoas afetadas localizados na região nordeste do país, sendo os estados de Pernambuco, Bahia e Ceará os mais afetados.

A região semiárida do Brasil, que se estende do norte de Minas Gerais e engloba quase toda a região nordeste do país, se destaca por possuir um clima em que secas periódicas são comuns, tornando-a um grave problema social. De acordo com Ferreira *et al.* (2017), a região do Nordeste brasileiro (NEB) se caracteriza por problemas relacionados à irregularidade das chuvas, resultando em secas severas e prolongadas, assim como chuvas excessivas. Assim sendo, percebe-se a importância do monitoramento das secas (evolução ao longo do tempo, frequência e intensidade) (GUEDES; MACEDO; SOUSA, 2012).

Sistemas de monitoramento capazes de detectar e mapear secas em grandes escalas espaciais e com continuidade temporal são essenciais para avaliar a gravidade e extensão da seca e atenuar os seus impactos (LI; RODELL, 2015). As secas podem ser analisadas utilizando dados meteorológicos com séries históricas e aplicando neles alguns índices e equações estatísticas. A utilização de índices para quantificar a seca se faz necessário para determinar a intensidade, a duração e a frequência em que essa anomalia ocorre (FERNANDES, 2009). Quando se analisa as

falhas nos dados e entende a tendência climatológica do local, a aplicação de índices como o IAC (Índice de Anomalia de Chuva), SPI (Índice de Precipitação Padronizada), HSI (Índice de Severidade de Herbst), LRDI (Índice de Desvio de Chuva de Lamb), índice de Walsh, dentre outros podem ser utilizados com o intuito de monitorar a frequência e intensidade de períodos secos, dessa forma, as secas podem ser analisadas com diversas metodologias e melhor acurácia nos resultados.

Destaca-se no semiárido brasileiro a bacia hidrográfica do rio Pajeú. Localizada no sertão do estado de Pernambuco e correspondendo a 16% da área territorial estadual, é um importante afluente do maior rio da região, o São Francisco. Segundo dados recentes do IBGE, cerca de 18% do PIB do sertão pernambucano vem de atividades econômicas provenientes do sertão do Pajeú, sendo as principais atividades voltadas para a agricultura, agropecuária e comércio. Os impactos das estiagens prolongadas afetam não somente o abastecimento humano, mas também as atividades produtivas (MATA; FREITAS; RESENDE, 2019).

Segundo dados do Plano territorial de desenvolvimento rural sustentável (PTDRS, 2011), nessa região ocorre a predominância da agricultura de subsistência, com destaque para o milho (*Zea mays*), feijão (*Phaseolus vulgaris*), mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), mamona e banana. Nessas condições, é esperado que a produção agrícola seja afetada, exceto por uma condição extraordinária de distribuição e de efetivo uso de ativos produtivos na agricultura, aliado à gestão e a práticas de comercialização sem igual, além de políticas consistentes em seu conjunto (SANTANA; SANTOS, 2020).

No NEB, analisando os efeitos da seca ocorrida no período de 1979-1984, Khan e Campos (1992) estimaram que as perdas totais do período chegaram aos impressionantes números de 1,6 milhão de toneladas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.), 1 milhão de toneladas de mandioca, 3 milhões de toneladas de milho, 952 mil toneladas de feijão, além de perdas de diversos outros produtos (DUARTE *et al.*, 2018).

Com tudo isso, entra em pauta questões de como se alcançar as metas e Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável – ODS, propostos pela organização das nações unidas que fazem parte da Agenda 2030. Os ODS constituem um planejamento para o futuro e são pautados em 17 objetivos que abrangem desde erradicação da pobreza, clima e economia. Alcançar objetivos como o ODS2 (Fome zero e agricultura sustentável) e o ODS13 (Ação contra a mudança global do clima)

se mostra cada vez mais necessário devido as constantes alterações climáticas que podem vir a causar perda de produtividade agrícola aumentando a fome em locais em que a agricultura de sequeiro é praticada.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é analisar os períodos de secas que ocorreram na área de estudo e as suas relações com a produção agrícola familiar e de sequeiro e os desafios para os cumprimentos dos objetivos para o desenvolvimento sustentável.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Analisar como períodos prolongados de seca afetam no rendimento da produção agrícola familiar e de sequeiro bem como esses fatores se correlacionam com as dificuldades ao cumprimento dos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável na bacia hidrográfica do rio Pajeú.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Aplicar diferentes métodos estatísticos para o preenchimento de falhas em dados de precipitação para a bacia hidrográfica do rio Pajeú;
- Analisar a tendência da precipitação pluviométrica temporal;
- Observar e analisar a frequência e intensidade de secas;
- Verificar o impacto das secas na agricultura local;
- Analisar como as secas e a agricultura se correlacionam para obter avanços no cumprimento dos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 PREENCHIMENTO DE FALHAS E ESTATÍSTICA PARA ESTUDOS AMBIENTAIS

Teixeira-Granda (2014) diz que a análise de séries temporais aplicada a dados climatológicos tem atraído um especial interesse nos últimos anos, pois o clima interfere diretamente em muitas atividades econômicas, determinando o sucesso ou fracasso de vários empreendimentos, sobretudo os ligados a produção agrícola. As séries temporais possibilitam estudar a existência de mudanças ao longo do tempo, em uma determinada variável, sendo um importante instrumento para, por meio do comportamento passado, ajustar um modelo matemático para tendências e previsões futuras (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2010).

De acordo com Coutinho *et al.* (2018), o estudo de processos climáticos e fenômenos atmosféricos pode exigir muitos dados, obtidos através de um conjunto de dispositivos, como satélites, balões, radares, sensores e estações meteorológicas. Esses dispositivos operam em regime de coleta constante, obtendo dados em vários períodos, como minutos, horas, dias ou meses e, assim, geram um grande volume.

No entanto, a ocorrência de problemas nos dispositivos leva a vários erros de medição e gera dados inconsistentes ou mesmo a ocorrência de falhas (COUTINHO *et al.*, 2018). Erros aleatórios, sistemáticos ou induzidos pelo homem, como erros de leitura e erros de digitação, são comuns em dados climatológicos (TSUKAHARA; JENSEN; CARAMORI, 2010; WESTERBERG *et al.*, 2010).

Apesar das recentes iniciativas em relação à disponibilização de dados públicos, como a Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011, que regula o acesso à informação, ainda há uma grande dificuldade por parte dos pesquisadores na obtenção de dados meteorológicos oficiais. Séries temporais longas e confiáveis, que possam auxiliar na elaboração de estudos mais abrangentes, não são encontradas em diversas localidades do país (MELLO; KOHLS; OLIVEIRA, 2010).

De acordo com Filho e Lima (2016), os valores ausentes impõem viés gradual e são a principal fonte de problemas na análise e modelagem da variabilidade espacial e temporal. Em outras palavras, as falhas impõem um limite à qualidade das informações que podem ser extraídas dos valores observados (registros). Séries temporais

incompletas revelam apenas parte da realidade. O preenchimento de falhas, em série temporal como precipitação, permite um melhor teste de significância na análise espectral, pois todas as informações contidas na série temporal podem ser extraídas e a qualidade da informação maximizada além de garantir uma maior qualidade na obtenção das informações (VENTURA, 2016).

Machado e Assis (2018), dizem que as falhas ocorrem quando a coleta feita de forma convencional, realizada por meio da anotação dos dados por um indivíduo coletor, é deficitária em algum momento, ou por erros e sobreposição de dados na coleta em estações automáticas (DIAZ; PEREIRA; NÓBREGA, 2018). A presença de falhas ao longo de uma série histórica de dados pode levar a resultados equivocados ou tendenciosos, comprometendo a análise climática e, conseqüentemente, podendo prejudicar o planejamento territorial (VIEIRA *et al.*, 2018).

A falta de uma série temporal contínua de dados climatológicos pode limitar o entendimento da variabilidade espacial e temporal de vários processos meteorológicos e hidrológicos, além de prejudicar a caracterização do clima de uma região (WANDERLEY; AMORIM; CARVALHO, 2014).

Séries temporais são uma sequência de observações realizadas ao longo do tempo. Geralmente, um modelo bem realizado necessita de séries temporais sem falhas, fazendo que seja necessário o preenchimento das falhas para que os dados sejam utilizados em pesquisas científicas. Diversos autores vêm estudando o preenchimento de falhas voltados para estudos ambientais (ALY *et al.*, 2009; CAMPOZANO *et al.*, 2014; FRANÇA *et al.*, 2019; KRUSCHE *et al.*, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2010; PERIN *et al.*, 2015).

Valores ausentes nas séries temporais de chuvas é comum, mas longas lacunas de dados podem ser prejudiciais, pois essas lacunas nas séries temporais podem perturbar a heterogeneidade e homogeneidade das distribuições de chuvas e produzir resultados tendenciosos (GOYAL; GUPTA, 2014; KASHANI; DINPASHOH, 2012; SIMOLO *et al.*, 2010; WANG *et al.*, 2017; WOLDESENBET *et al.*, 2017). O tratamento de lacunas nos registros ou na realocação de pluviômetros, especialmente quando se lida com grandes bancos de dados, requer o estabelecimento de metodologias especificamente concebidas para contornar ou reconciliar as inconsistências (ACQUAOTTA *et al.*, 2009).

Dessa forma Oliveira (2010), Bertoni e Tucci (2007) e Lemos Filho *et al.* (2007), consideram que as primeiras análises a serem desenvolvidas em séries históricas

devem procurar preencher as falhas existentes e verificar a sua consistência, ou seja, a verificação do grau de homogeneidade dos dados disponíveis em um posto de coleta com relação às observações registradas em postos vizinhos.

De acordo com Krusche *et al.* (2002), os cálculos das médias diárias e mensais de cada variável atmosférica, devem respeitar as seguintes regras:

- A regra dos 3/5 estabelece que a média mensal não será calculada quando mais de 3 valores consecutivos ou 5 valores alternados, em um mesmo mês, estiverem faltando.
- Para a taxa de precipitação, a taxa de evaporação e a taxa de insolação serão calculados os totais mensais sem permitir dado faltante.

Para Moscati *et al.* (2000), o estudo realizado para preenchimento de falhas das séries temporais climatológicas de vários parâmetros meteorológicos selecionados (precipitação, umidade do ar, temperatura, vento e pressão) concentrou-se em dois tipos de falhas:

- Falhas consistindo dados mensais isolados ausentes;
- Falhas consistindo dados mensais ausentes para três meses até um ano inteiro.

Eischeid *et al.* (2000), utilizando outro critério para identificar falhas, diz que um posto pluviométrico não poderá ter mais do que 48 meses com falhas no período inteiro de dados registrados. Um mês é marcado como faltante se contiver mais do que 14 dias consecutivos de temperatura ou precipitação faltantes. Porém, essa afirmação não pode ser aplicada para a área de estudo desta pesquisa, pois, nenhum posto possui apenas 48 meses com falhas dentro de sua série histórica.

Segundo Tardivo e Berti (2012), falhas curtas (geralmente de um ou alguns dias) podem ser facilmente preenchidas por métodos simples, como interpolação entre os dados disponíveis ou médias móveis (KEMP *et al.*, 1983) ou usando dados de vários dias antes e vários dias após a data da falta de dados em uma regressão não linear para preencher a lacuna de dados (ACOCK; PACHEPSKY, 2000). Quando a duração do período ausente aumenta, as abordagens entre postos pluviométricos, considerando a variabilidade específica do clima no período a ser reconstruído, tendem a fornecer melhores resultados; além disso, Kemp *et al.* (1983), mostraram que abordagens baseadas em regressão fornecem estimativas mais precisas do que métodos dentro do posto e entre postos (TARDIVO; BERTI, 2012).

Kim e Ahn (2009) desenvolveram um novo modelo de chuva diária espacial para preencher lacunas em um conjunto de dados de chuva diária. Porém Fante e Sant'anna

Neto (2016), dizem que pelo viés estatístico as técnicas de preenchimento são mais indicadas para falhas e estimativas de valores mensais e anuais e não sendo recomendados à utilização para falhas de dados diários. Eischeid *et al.* (1995) examinaram o desempenho de seis métodos, incluindo métodos empíricos e estatísticos para temperatura média mensal e precipitação mensal.

Vários métodos foram desenvolvidos para preencher discontinuidades em séries temporais de temperatura e precipitação. Alguns deles são determinísticos (produzindo o mesmo resultado para determinadas condições iniciais) e outros são estocásticos, que fornecem realizações prováveis da variável de interesse (MORALES-MORAGA *et al.*, 2018).

Os métodos de preenchimento de lacunas geralmente dependem de séries temporais para estimativa temporal e vizinhos mais próximos como variáveis de regressão para extrapolar valores (TARDIVO; BERTI, 2014).

Segundo Morales-Moraga *et al.* (2018), um problema comum dos métodos simples de preenchimento de falhas é que eles nem sempre consideram a topografia local devido ao tamanho da grade relativamente grosseiro (SCHMIDLI *et al.*, 2006), apresentando problemas ao representar a variabilidade da precipitação observada como consequência de condições locais específicas (COLLE, 2004). Por esse motivo, os Modelos Digitais de Elevação (DEM) são frequentemente a variável mais útil para a estimativa espacial da precipitação (HONG *et al.*, 2005; LOOKINGBILL; URBAN, 2003; RUIZ-ARIAS *et al.*, 2009).

Trabalhos como os de Mello, Kohls e Oliveira (2017), Ventura *et al.*, (2016), Filho e Lima (2016), apresentam um conjunto de metodologias utilizadas para o preenchimento de falhas em séries temporais para análises climáticas. No entanto, acredita-se que quanto mais próximos fisicamente estiverem os dados analisados, mais verdadeiros serão os resultados.

Na literatura existem uma infinidade de estudos utilizando métodos que preenchimento de falhas que já obtiveram sucesso em suas análises (BIER; FERRAZ, 2017; FILHO; LIMA, 2016; MELLO; KOHLS; OLIVEIRA, 2010). De acordo com Ventura (2016), no estudo de Hassan e Croke (2013), é utilizado o método estatístico Poisson-Gamma Distribution para preencher falhas em séries de precipitação e Tardivo e Berti (2014) descrevem um método baseado em regressão para preencher falhas em séries temporais de temperatura diária (VENTURA, 2016).

No Rio Grande do Sul, Fernandez (2007), comparou diferentes técnicas estatísticas de preenchimento de falhas de dados climatológicos (temperaturas máximas, mínimas, médias, umidade relativa e precipitação). Foram simuladas falhas e comparados os métodos de Regressão Múltipla, Média Simples, Steurer, Média de três postos, Proporção normal e Análise harmônica. Segundo o autor, os melhores resultados de preenchimento pelo viés estatístico foram obtidos a partir das técnicas de regressão múltipla, Steurer e média de três postos. (FANTE; SANT'ANNA NETO, 2016).

Apesar desses estudos mostrando bons resultados, são raras as pesquisas que focam em avaliar o impacto de falhas de dados em séries estatísticas e mais raros ainda os que analisam como essas falhas e esse impacto podem se relacionar com a geografia e clima locais. O melhor resultado sobre esse assunto foi encontrado em um trabalho publicado pela WMO (2007) que aponta que a incerteza gerada pela falta de dados mensais num período médio é ainda menor do que a incerteza gerada pela falta de dados diários num valor mensal, refletindo baixos desvios padrões dos valores mensais. Em geral, séries de dados diários com um número específico de valores consecutivos com falhas mostram uma incerteza um pouco maior em suas médias do que as séries sem valores consecutivos. Isso reflete uma autocorrelação entre a maioria das séries de dados analisadas.

De forma geral, os métodos são baseados em fórmulas estatísticas ou em algoritmos elaborados com o intuito de gerar estimativas para os dados faltantes (BIER; FERRAZ, 2017). Os métodos abordados a seguir foram escolhidos devido a sua simplicidade de utilização e bons resultados obtidos através da literatura.

### *Média aritmética simples*

A média aritmética simples é o modelo de preenchimento de falhas mais simples e comum, devido a isso é amplamente utilizado em diversos tipos de estudos. Porém, ele recebe algumas críticas por desconsiderar as variações geográficas da precipitação.

Esse método consiste na soma do valor anterior e posterior a falha dividida por dois, ou em casos em que esses valores também não existam, consiste na média de outros valores disponíveis para o mesmo período em postos vizinhos ou ainda, no caso da média móvel, se refere a média aritmética de pelo menos 3 valores anteriores ao

dado com falha, porém, neste estudo, será utilizado apenas em casos aleatórios. Teegavarapu e Chandramouli (2005) dizem que ela é mais indicada em casos em que as falhas não ultrapassem 10% dos dados da série histórica, porém, em dados disponíveis para o sertão da região Nordeste do Brasil, sabemos que a maioria dos postos com falhas apresentam uma porcentagem maior de falta de dados.

Soares e Silva (2017) aplicaram as técnicas de média aritmética e ponderação regional com base em regressão linear para estimar falhas de pluviosidade mensal para o estado do Mato Grosso do Sul, optando pelo uso da média aritmética em virtude do melhor resultado alcançado. Lee e Kang (2015), Aly *et al.* (2009) e Xia *et al.* (1999) também utilizaram a média aritmética simples para preenchimento de falhas em dados de precipitação para locais na Europa e obtiveram bons resultados. Bier e Ferraz (2017) utilizaram esse método para preencher falhas em dados da região sul do Brasil com sucesso. Alguns estudos realizados no Brasil também obtiveram sucesso com o uso deste método. Yaguchi *et al.* (2016) obteve sucesso ao utilizar esse método para preenchimento de falhas em postos pluviométricos do estado de Santa Catarina.

#### *Ponderação regional e ponderação regional com regressões lineares*

O método de ponderação regional tem como base a premissa de que as falhas de um posto são preenchidas através de uma ponderação com base nos dados de pelo menos três postos vizinhos, que devem ser de regiões climatológicas semelhantes à do posto em estudo e o mais próximo possível do mesmo. Fernandez (2007, p.18) afirma que além de estarem localizados em regiões climatológicas semelhantes, os postos meteorológicos vizinhos devem ser escolhidos de acordo com o maior coeficiente de correlação e sempre procurando assegurar uma razoável distribuição espacial.

Bertoni e Tucci (2007) analisaram duas metodologias empregadas no preenchimento de falhas (regressão linear e ponderação regional), concluindo que nenhuma destas foi satisfatória ao preenchimento de falhas diárias e horárias, porém apresentaram bons resultados quando aplicadas no preenchimento de falhas mensais ou anuais, eles também dizem que o método da regressão linear é mais aprimorado do que o método da ponderação regional.

Campozano *et al.* (2014) testaram a eficiência de 17 métodos determinísticos de preenchimentos de falhas, entre eles a ponderação regional simples e baseada em

regressões lineares, sobre lacunas em dados de precipitação e dados diários de temperatura e constataram a eficácia deste último método para a precipitação. Também obtiveram os melhores resultados com o uso da ponderação regional Machado e Assis (2018), quando utilizaram o modelo para o preenchimento de falhas na bacia hidrográfica do rio das velhas em Minas Gerais.

Oliveira *et al.* (2010) testaram vários métodos para preenchimento de falhas no estado de Goiás e com relação a ponderação regional e ponderação regional com base em regressões lineares os resultados não foram satisfatórios.

### *Regressão linear simples e múltipla*

Os métodos de preenchimento de lacunas geralmente dependem de séries temporais para estimativa temporal e vizinhos espaciais como variáveis de regressão para extrapolar valores no espaço (TARDIVO; BERTI, 2014).

A análise de regressão é realizada de forma a determinar as correlações entre duas ou mais variáveis que mantenham relações de causa-efeito, realizando previsões utilizando a relação (UYANIK; GÜLER, 2013).

A regressão usando uma única variável independente é chamada de análise de regressão multivariada (BUYUKOZTURK, 2002; TABACHNICK; FIDELL, 1996). Através da análise de regressão univariada são analisadas as relações entre uma variável dependente e uma variável independente com equações que representam relações lineares (UYANIK; GÜLER, 2013).

Alexandre (2009, p. 24), explica que com o método de regressão linear as estimativas dos dois parâmetros da equação podem ser obtidas analítica ou graficamente, plotando, em um gráfico cartesiano ortogonal, os valores correspondentes aos dois postos envolvidos e, em seguida, traçando, o sentido ou em forma analítica, a reta que melhor se ajusta à nuvem de pontos. Plotando no mesmo gráfico a linha de tendência, a equação e o  $R^2$  para obter as informações básicas sobre o teste de correlação. Deste conjunto de informações a equação gerada é a que servirá para calcular e simular o dado pela técnica da regressão linear (FANTE; SANT'ANNA NETO, 2016).

Uma das formas mais simples de se estimar dados faltantes é através da combinação linear de observações de postos meteorológicos vizinhos. O peso associado a cada observação pode ser determinado utilizando correlações parciais ou

totais. Em geral, o método de correlações parciais entre postos (no qual se elimina o efeito dos postos vizinhos) é a base para os métodos de regressão linear múltipla. (BIER; FERRAZ, 2017).

Tabony (1983) de acordo com Bier e Ferraz (2017) propôs um método de preenchimento de falhas utilizando regressão linear múltipla, adotando como variáveis explicativas os dados de postos vizinhos próximos do posto com falhas. Este método, de acordo com ele, pressupõe os seguintes pontos:

- Para verificar se a correlação entre o posto vizinho e o posto teste é estatisticamente significativa é necessário que  $r$  tenha uma distribuição normal e deste modo, testes tradicionais como o teste  $t$  podem ser utilizados. Para garantir esta simetria,  $r$  é convertido usando a transformação  $z$  de Fisher (que apresenta uma distribuição normal). Este cálculo é realizado para cada mês em separado.;
- Os postos vizinhos escolhidos devem ser classificados e sua importância deve ser pesada em relação ao seu valor de  $z$  ( $r$  convertido usando a transformação descrita no primeiro item);
- O período de sobreposição dos dados entre os postos deve ser considerado, incluindo o erro padrão do coeficiente  $z$  nos critérios de seleção. Assim, postos são classificados não de acordo com o coeficiente  $z$  diretamente, mas de acordo com seu limite de confiança de 95%.

Oliveira *et al.* (2010), Mello *et al.* (2017), Junqueira, Amorim e Oliveira (2018) e Silva e Jardim (2017) utilizaram diversos métodos de preenchimento de falhas em seus estudos para Goiás, Santa Catarina e Minas Gerais e mostraram que a regressão linear múltipla foi o método que obteve melhores resultados. No trabalho de Oliveira *et al.* (2010) esse método obteve menor desvio relativo em comparação ao dado real.

Ventura *et al.* (2016) testaram o preenchimento de falhas geradas aleatoriamente em uma série de dados e encontraram melhores resultados de simulação para as variáveis temperatura, umidade relativa do ar e ponto de orvalho com a regressão linear múltipla, em comparação à regressão simples, média simples e média móvel. Mello *et al.* (2017), encontrou bons resultados de preenchimento de dados com o método de regressão linear múltipla para a variável precipitação em relação aos métodos de ponderação regional e ponderação regional com base em regressões lineares. Yaguchi *et al.* (2016) também encontrou bons resultados para a

regressão linear múltipla ao preencher dados diários de temperatura máxima e mínima do ar.

### *Método da dupla massa*

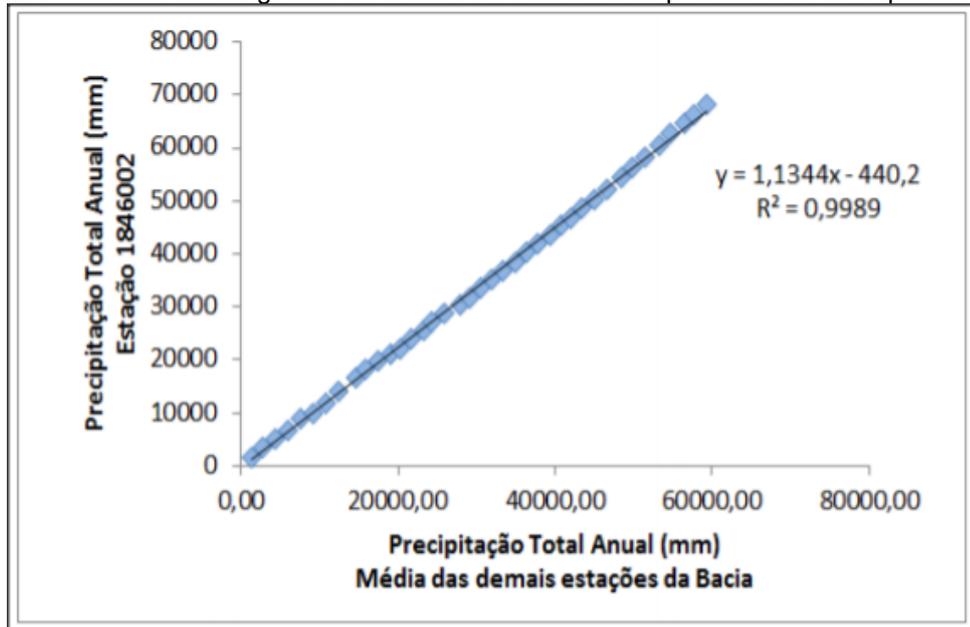
O método da dupla massa é utilizado como uma análise de consistência de dados. Esse método foi desenvolvido pelo Geological Survey (USA) e a partir de então tem sido bastante utilizado no Brasil (TUCCI, 2001). Segundo Mello e Silva (2013) esse método consiste na elaboração de um gráfico com coordenadas cartesianas ortogonais onde em um dos eixos são colocados os totais anuais acumulados precipitados do posto pluviométrico e no outro a média acumulada dos totais anuais precipitados nos demais postos da região homogênea. Tucci (2001) afirma que o método da Curva Acumulada ou Dupla Massa pode ser utilizado para dados anuais ou mensais.

Especificamente, devem ser selecionados os postos de uma região, acumular para cada um deles os valores mensais (se for o caso), e plotar num gráfico cartesiano os valores acumulados correspondentes ao posto a consistir (nas ordenadas) e de outro posto confiável adotado como base de comparação (nas abscissas). Pode-se também modificar o método, considerando valores médios das precipitações mensais acumuladas em vários postos da região, e plotar esses valores no eixo das abscissas, conforme Figura 1 (TEIXEIRA, 2010).

A consistência dos dados é observada se os dados plotados apresentarem um comportamento linear, sendo isso observado por meio do coeficiente de determinação da reta ajustada (JUNQUEIRA; AMORIM; OLIVEIRA, 2018).

Diversos autores vêm trabalhando com o método da dupla massa como forma de consistência de dados (ARAÚJO, 2013; CARVALHO; RUIZ, 2016; ENDO; SAMPAIO; SUSZEK, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2010; OLIVEIRA; SILVA; JARDIM, 2017; SANCHES *et al.*, 2015; WISSMANN *et al.*, 2006) onde todos obtiveram bons resultados com a aplicação do método.

Figura 1 – Modelo de um gráfico de análise de consistência pelo método da dupla massa.



Fonte: Carvalho e Ruiz (2016)

### *Coeficiente de correlação de Pearson*

O coeficiente de correlação de Pearson (CCP) é uma medida da dependência linear entre duas variáveis aleatórias (vetores com valor real). Historicamente, é a primeira medida formal de correlação e ainda é uma das medidas de relacionamento mais amplamente usadas (TYAGI, 2015; ZHOU et al., 2016). Segundo Rodgers e Nicewander (1988) o CCP é uma métrica estatística que mede a força e a direção de uma relação linear entre duas variáveis aleatórias.

O coeficiente de correlação de Pearson pode ser aplicado a uma amostra ou população. Os valores absolutos dos coeficientes de correlação de Pearson da amostra e da população são menores ou iguais a 1 (Tabela 1). As correlações são iguais a 1 ou -1 correspondente aos pontos de dados que estão exatamente em uma linha (no caso da correlação da amostra) ou a uma distribuição bivariada inteiramente suportada em uma linha (no caso da correlação da população) (MU; LIU; WANG, 2018). O CCP fornece uma indicação sobre a força da relação linear entre as duas variáveis aleatórias  $x$  e  $y$ . O sinal do coeficiente de correlação é positivo se as variáveis estão diretamente relacionadas e negativo se elas estão inversamente relacionadas. E se  $r_{xy}=0$ , então  $x$  e  $y$  são considerados não correlacionados. Quanto mais próximo de 1 for o valor de  $r_{xy}$  mais forte é a medida da proximidade de um relacionamento linear. Isso ocorre porque a medida de

associação reflete a tendência de alterações para cada par de níveis de expressão correspondentes nos dois perfis (ZHOU *et al.*, 2016).

Tabela 1 – Classificação dos valores de correlação de Pearson.

<b>Valor de correlação</b>	<b>Classificação</b>
>0.75	Muito forte
0.50 - 0.75	Forte
0.25 - 0.50	Fraca
<0.25	Muito Fraca

Fonte: A autora (2021)

De acordo com Zhou *et al.* (2016) dentre as aplicações do coeficiente na estatística se destacam estudos voltados para a classificação de dados (TYAGI, 2015) , análise de dados (PAVANELLO *et al.*, 2015), agrupamento, tomada de decisão (LIAU; XU; ZENG, 2015) , análise financeira (KIM; KIM; ERGUN, 2015) e pesquisa biológica (PUTH; NEUHAUSER; RUXTON, 2014).

## 2.2 ANÁLISE DE TENDÊNCIA E TESTES ESTATÍSTICOS DE MAN-KENDAL, COX-STUART E WALD-WOLFOWITZ

Morettin e Tolo (2006) conceituam tendência como a descrição de um movimento suave dos dados, em longo prazo, crescente, decrescente ou estável, pelo qual identifica-se a velocidade com que essas mudanças acontecem. As tendências podem estar relacionadas ao crescimento econômico de um país, ao aumento das temperaturas devido ao efeito do aquecimento global ou local.

A análise da tendência de séries históricas de precipitação é uma das maneiras de se determinar a ocorrência de mudança climática local, possibilitando a avaliação de suas consequências sobre as bacias hidrográficas e, conseqüentemente, sobre a sociedade. Em regiões como o Nordeste do Brasil, principalmente no semiárido, a precipitação é uma variável determinante das condições do clima local, bem como da sua variabilidade e mudança em longo prazo (SANTOS *et al.*, 2009). Menezes e Fernandes (2016) complementam que a análise de tendências dos dados de precipitação é necessária para o planejamento econômico e social, especialmente nos trópicos onde a precipitação é um fator limitante, isto é, corresponde a um fator de risco para a produção agrícola.

Testes não-paramétricos como os de Mann-kendall, Cox-Stuart e Wald-Wolfowitz vem sendo bastante empregados na literatura para a realização de testes de tendência (BARBOSA *et al.*, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2008; SOUZA *et al.*, 2009; TEIXEIRA-GRANDA *et al.*, 2014) pois utilizam poucos parâmetros para recomendação, mas também tratam a adaptabilidade e estabilidade de forma descritiva (NASCIMENTO *et al.*, 2008).

O modelo mais utilizado atualmente para testes de tendência com diversas finalidades é o de Mann-Kendall (COSTA *et al.*, 2020; GUO *et al.*, 2020; GUÇLU, 2020; KALISA *et al.*, 2020; XAVIER *et al.*, 2020).

Salviano, Groppo e Pellegrino (2016), dizem que o Teste de Mann-Kendall (KENDALLI, 1975; MANN, 1945) é um método robusto, sequencial e não paramétrico utilizado para determinar se determinada série de dados possui uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa. Por tratar-se de um método não paramétrico, ele não requer distribuição normal dos dados (YUE; PILON; CAVADIAS, 2002). Outra vantagem deste método é o fato de ser pouco influenciado por mudanças abruptas ou séries não homogêneas (ZHANG *et al.*, 2009). No entanto, este método exige que os dados sejam independentes e aleatórios (NEETI; EASTMAN, 2011).

De acordo com Morais *et al.* (2016) o teste de Mann-Kendall considera que os dados precisam ser variáveis aleatórias independentes e distribuídas de forma idêntica. Já Mo *et al.* (2019) diz que o teste de Mann-Kendall não necessita de suposições prévias sobre as distribuições estatísticas dos dados. A estatística normalizada  $z$  é usada principalmente para testar a tendência e a significância das séries temporais.

As características deste teste são importantes quando aplicadas às séries climatológicas, como as chuvas, pois não dependem do tipo de série temporal. Goossens e Berger (1986) afirmam que o teste Mann-Kendall é adequado para analisar as mudanças climáticas em séries temporais porque permite a detecção e localização aproximada de um determinado ponto de partida de tendência (FERRARI *et al.*, 2012).

Morettin e Tolo (2006), dizem que o teste de tendência de Cox e Stuart (1955) é um dos recomendados para a verificação de tendência monótonas em séries históricas. Uma tendência monótona, não necessariamente precisa ser linear, pode simplesmente expressar uma tendência crescente ou decrescente nas observações em relação a locais ou irregularidades aleatórias (NASCIMENTO *et al.*, 2008).

Teixeira-Gandra (2014) diz que o teste de Cox-Stuart também conhecido por teste dos sinais tem como característica a busca de diferenças entre os pares formados por duas subamostras de mesmo tamanho, extraídas da amostra original. Para uma amostra sem tendências, é de se esperar que o número total de sinais negativos e positivos seja considerado estatisticamente semelhante, sob um nível de significância  $\alpha$ . Nesse contexto, formulam-se as hipóteses do teste: H0 - O número de sinais negativos e positivos é igual (não há tendências); H1 - O número de sinais negativos e positivos é diferente (há tendências). Para subamostras com um número de elementos  $n \geq 35$ , a estatística do teste Cox-Stuart é aproximada a uma distribuição Normal. É utilizado principalmente para contrastar hipóteses acerca da posição central ou mediana de uma distribuição populacional, ou para a análise de dados de amostras pareadas (NEWBOLD; CARLSON; THORNE, 2008). O foco principal do teste não é essencialmente quantitativo; ao invés disso, a técnica busca diferenças entre os pares formados por duas subamostras derivadas da amostra original (BESSA *et al.*, 2012).

O modelo de Wald-Wolfowitz (WALD; WOLFOWITZ, 1943) vem sendo muito utilizado para analisar a tendência em séries históricas com diversas finalidades (AHMADI, *et al.*, 2017; AYUSO-MUNHÓZ *et al.*, 2015; LIMA; MARQUES; LIMA, 2005). Também é um teste não paramétrico, mas ao contrário dos outros já abordados, ele precisa de duas amostras aleatórias diferentes. A hipótese nula é assumida quando não há diferença estatisticamente significativa entre as duas amostras. Em outras palavras, a hipótese nula é que as duas populações das quais as duas amostras foram retiradas são idênticas em natureza. As observações das duas amostras independentes são classificadas em ordem crescente, e cada valor é codificado como 1 ou 2, e o número total de execuções é somado e usado como estatística de teste. Pequenos valores não suportam populações diferentes e grandes valores sugerem populações idênticas (a disposição dos valores deve ser aleatória) (ESTATISTICA.PT, 2020).

De acordo com o Primeiro relatório de avaliação nacional (2015), os estudos científicos que tratam das tendências no padrão de chuva sobre o Nordeste brasileiro apresentaram resultados incongruentes. Wagner (1996), autor de um artigo sobre a tendência dos mecanismos físicos que controlam a posição da Zona de Convergência Intertropical em escala decenal, apontou aumento na pluviometria sobre a região no período de 1951 a 1990.

## 2.3 A REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA: ÁGUA, PRECIPITAÇÃO, CLIMA, SECA E MONITORAMENTO

### 2.3.1 Importância da água e a precipitação como objeto de estudo

A água é o recurso natural mais importante para os seres vivos. Quando esse recurso é escasso, compromete todo o desenvolvimento da sociedade, causando prejuízos para as indústrias, irrigação e a população como um todo (FRANÇA *et al.*, 2019). A precipitação é a principal forma de abastecimento dos recursos hídricos terrestres, dessa forma, é um dos fatores mais investigados em estudos ambientais. De acordo com Menezes e Fernandes (2016), a precipitação corresponde a uma característica meteorológica considerada das mais representativas para a caracterização do regime pluviométrico de uma região, sendo importante para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. A mudança na quantidade e distribuição da precipitação afeta diretamente a disponibilidade de água. Portanto, é importante a análise do comportamento da precipitação para o gerenciamento dos recursos hídricos.

Segundo Tubelis (1983), as precipitações são formadas pelo resfriamento por expansão adiabática de massas de ar que se elevam na atmosfera. A precipitação pode ser de vários tipos: orográficas, convectivas ou frontais. As precipitações orográficas ocorrem nas regiões que apresentam grandes variações de altitude, podendo surgir todo o ano ou qualquer época dele. As precipitações convectivas se localizam na época de maior ganho de energia do ano. As precipitações frontais se concentram no período do ano em que ocorre a penetração de massas de ar de origem polar. A precipitação é medida em milímetros (mm) e de acordo com o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), o número de dias com chuva no mês é contado quando a chuva, chuvisco ou garoa ocorrida por dia for igual ou superior a 0,1mm.

Estudar a distribuição das chuvas no espaço e no tempo é de fundamental importância para gerenciamento dos recursos naturais (GAO; LIU, 2013; PENG *et al.*, 2014a, 2014b; POZZI *et al.*, 2013; TAPIADOR *et al.*, 2012). A precipitação pluvial tem sido estudada em diferentes regiões do mundo, em face de sua importância no ciclo hidrológico e na manutenção dos seres vivos no planeta. A previsão da distribuição espacial e temporal das chuvas baseada em séries históricas fornece dados

consistentes para pesquisas como a estimativa de perda de solo, análises agro meteorológicas e planejamento urbano (MEUSBURGER *et al.*, 2012).

Na região Nordeste do Brasil a precipitação apresenta grande variabilidade principalmente devido aos vários sistemas atmosféricos atuantes bem como extensão territorial e divisão entre litoral e demais áreas. Diversos estudos que têm a precipitação como objeto de estudo vêm se mostrando eficazes como forma de análise climática. Silva, Pereira e Almeida (2012) estudaram a variabilidade anual da precipitação no nordeste do Brasil e encontraram resultados diferentes para áreas classificadas como agreste nordestino, noroeste nordestino e semiárido, sendo o semiárido o local com maior variabilidade. Reboita e Santos (2015) e Nóbrega e Santiago (2016), estudaram como alguns sistemas atmosféricos influenciam na precipitação do norte e nordeste brasileiros, demonstrando a abrangência da região. Braga *et al.* (2003) estudaram a resposta da vegetação com a variabilidade da precipitação e Filho *et al.* (2018) estudaram como a resposta da vegetação pode ser utilizado como diagnóstico de secas. Dessa forma, em qualquer estudo climático para áreas semiáridas, é recomendado a análise da precipitação.

### **2.3.2 Clima e eventos atmosféricos**

Historicamente o Nordeste do Brasil, principalmente a região semiárida, apresenta sérios problemas de disponibilidade de recursos hídricos. A escassez, às vezes, mais severa em alguns municípios provoca impactos sociais, econômicos e ambientais. A identificação da severidade da seca ou falta de disponibilidade de água requer uma metodologia que também espacialize os pontos mais críticos, a fim de que as autoridades municipais, estaduais e federais possam tomar decisões quanto à proposta de solução para cada caso, objetivando minimizar os efeitos da estiagem prolongada. Na literatura especializada se destacam várias metodologias no sentido de desenvolver índices de chuva capazes de detectar longos períodos de estiagens, bem como classificá-los em termos de intensidade e duração, definindo diferentes tipos de seca (GUEDES; MACEDO; SOUSA, 2012).

Segundo Guedes, Macêdo e Sousa (2012), as secas dependem dos sistemas meteorológicos que atuam na região, do relevo e dos fenômenos climáticos de grande escala que influenciam as variáveis que definem o comportamento e a circulação da atmosfera. Muitas regiões do globo estão suscetíveis a ocorrência de secas,

principalmente as regiões equatoriais onde a incidência solar é maior. No Nordeste Brasileiro, além de fatores físicos e geográficos, a seca pode estar associada a fenômenos como o El Niño/Oscilação Sul e o Dipolo do Atlântico (aquecimento/esfriamento do Atlântico Norte/Sul) (MELO, 1999).

Na região Nordeste do Brasil existem seis sistemas atmosféricos que causam efeito sob o regime de chuvas da região. São eles: A Zona de convergência intertropical (ZCIT), as frentes frias, os vórtices ciclônicos de ar superior (VCAS), as linhas de instabilidade, as ondas de leste e os complexos convectivos de mesoescala.

Zona de convergência intertropical - é a mais importante para indicar se vai ocorrer deficiência ou excedente hídrico, principalmente na porção norte da região. A ZCIT pode ser definida como uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo terrestre, formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os ventos alísios do hemisfério sul, em baixos níveis (o choque entre eles faz com que o ar quente e úmido ascenda e provoque a formação das nuvens), baixas pressões, altas temperaturas da superfície do mar, intensa atividade convectiva e precipitação. Entre agosto e outubro ela encontra-se mais ao norte e entre fevereiro-abril mais ao sul, sendo esse o período em que ela ocasiona chuva.

Frentes Frias - São bandas de nuvens organizadas que se formam na região de confluência entre uma massa de ar frio (mais densa) com uma massa de ar quente (menos densa). A massa de ar frio penetra por baixo da massa de ar quente, como uma cunha, e faz com que o ar quente e úmido suba, forme as nuvens e, conseqüentemente, as chuvas. São bem características entres os meses de novembro a janeiro, atingindo principalmente a porção sudeste, podendo alcançar o centro.

Vórtices ciclônicos de ar superior (VCAN ou VCAS) – O VCANs são um conjunto de nuvens que, observado pelas imagens de satélite, têm a forma aproximada de um círculo girando no sentido horário. Na sua periferia há formação de nuvens causadoras de chuva e no centro há movimentos de ar de cima para baixo (subsidiência), aumentando a pressão e inibindo a formação de nuvens. Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) que penetram na região Nordeste do Brasil formam-se no oceano Atlântico, principalmente entre os meses de novembro e março, e sua trajetória normalmente é de leste a oeste, com maior frequência entre os meses de janeiro e fevereiro.

Linhas de instabilidade (LI) – As Linhas de Instabilidade são bandas de nuvens causadoras de chuva, normalmente do tipo cumulus, organizadas em forma de linha, daí o seu nome. Sua formação se dá basicamente pelo fato de que com a grande quantidade de radiação solar incidente sobre a região tropical ocorre o desenvolvimento das nuvens cumulus, que atingem um número maior à tarde e início da noite, quando a convecção é máxima, com consequentes chuvas. Outro fator que contribui para o incremento das LI, principalmente nos meses de fevereiro e março, é a proximidade da ZCIT.

Ondas de leste – As ondas de leste são ondas que se formam no campo de pressão atmosférica, na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos ventos alísios, e se deslocam de oeste para leste, ou seja, desde a costa da África até o litoral leste do Brasil. Ele provoca chuvas principalmente na Zona da Mata que se estende desde o Recôncavo Baiano até o litoral do Rio Grande do Norte, mas, quando as condições oceânicas e atmosféricas estão favoráveis, as Ondas de Leste também provocam chuvas no estado do Ceará nos meses de junho, julho e agosto, principalmente na parte centro-norte do estado.

Complexos convectivos de mesoescala (CCM) - Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs) são aglomerados de nuvens que se formam devido às condições locais favoráveis como temperatura, relevo, pressão etc., e provocam chuvas fortes e de curta duração, normalmente acompanhadas de fortes rajadas de vento. Os CCMs, na região subtropical, ocorrem preferencialmente durante os meses de primavera e de verão no hemisfério sul, formando-se no período noturno com um ciclo de vida entre 10 e 20 horas.

Segundo Marengo (2008), as chuvas do Semiárido nordestino apresentam enorme variabilidade espacial e temporal. Anos de secas e chuvas abundantes se alternam de formas erráticas, e grandes são as secas de 1710-11, 1723- 27, 1736-57, 1744-45, 1777-78, 1808-09, 1824-25, 1835-37, 1844-45, 1877- 79, 1982- 83, 1997-98, assim como secas menores em 2003 e 2005.

Também existem alguns fenômenos globais que podem influenciar no regime de chuvas do nordeste brasileiro e vem sendo estudados com mais frequência nos últimos anos, principalmente os relacionados com o aumento ou diminuição da temperatura da superfície do mar. Alguns desses são o El Niño/Oscilação Sul – ENSO (MEDEIROS *et al.*, 2020), Índice de Oscilação Sul -SOI (ARAUJO *et al.*, 2013), Oscilação Decadal do Pacífico – ODP (SILVA; SILVA, 2016), Índice do Atlântico Sul

Tropical - TSA (ENFIELD *et al.*, 1999; NÓBREGA; SANTIAGO, 2014), Índice Tropical do Atlântico Norte – TNA (ENFIELD *et al.*, 1999), Índice de Dípolos do Oceano Atlântico Sul – SAODI (NNAMCHI; LI; ANYADIKE, 2011), Índice Trans Polar – TPI (TURNNEY *et al.*, 2016), Oscilação do Atlântico Norte – NAO (KAYANO; ANDREOLI; SOUZA, 2019) e Oscilação Multidecadal do Atlântico – AMO (KURTHS *et al.*, 2019).

### **2.3.3 Monitoramento de secas**

Dentre as condições ou situações de riscos que se relacionam à combinação das mudanças ambientais, climáticas e sociais, nos níveis locais e regionais, encontra-se a seca. A seca é um tipo de fenômeno, simultaneamente ambiental e climático, relacionado à uma redução prolongada das reservas hídricas existentes numa região, somada à precipitação abaixo da média normal. Sua natureza é complexa, devido à difícil delimitação no espaço (podendo afetar desde grandes áreas, em função da distribuição global de umidade, até menores) e no tempo (podendo durar de meses a anos). Os impactos do processo da seca no desenvolvimento econômico, social e ambiental afetam os determinantes da saúde, principalmente no que se refere ao acesso à quantidade e qualidade de água potável e alimentos, comprometendo, portanto, as condições de vida, principalmente dos grupos sociais mais pobres e vulneráveis. Os impactos da seca na saúde, em médio e longo prazos, ainda são poucos reconhecidos e de difícil mensuração, principalmente em áreas onde a seca é comumente recorrente (SENA *et al.*, 2016).

É importante ressaltar que o conceito de seca às vezes não é devidamente diferenciado do de aridez. Como resultado, tanto a seca quanto a aridez às vezes são consideradas sinônimos e tratados da mesma forma. Por exemplo, áreas que sofrem com a seca podem não ser reconhecidas adequadamente em regiões com características climáticas simplesmente áridas ou hiper áridas. O fato de que a seca e a aridez podem ser definidas a partir de parâmetros semelhantes (precipitação, água disponível ou umidade) só aumenta essa confusão. No entanto, há uma diferença importante entre os dois. A seca é um perigo natural e é essencialmente uma anomalia temporal das condições normais. A aridez, por outro lado, é uma característica climática, e é um desequilíbrio constante na disponibilidade de água consistindo em baixa precipitação média anual, com alta variabilidade espacial e temporal, resultando

em baixa umidade geral e baixa capacidade de suporte dos ecossistemas (SANDERSON, 1992; ZARCH; SIVAKUMAR; SHARMA, 2015).

A definição de seca pode ser diferente de acordo com a forma em que ocorrem. Wilhite e Glantz (1985) revisaram mais de 150 definições publicadas e destacaram quatro tipos de seca. São elas: meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica.

Fernandes *et al.* (2010) diz que a seca meteorológica está relacionada somente ao déficit de precipitação pluvial e sua duração. A seca agrícola refere-se a situações com redução na quantidade de água disponível, nas diferentes camadas do solo ocupadas pelo sistema radicular, que afetariam o rendimento das culturas. O impacto desse tipo de seca depende da sua duração em relação à fase em que a cultura se encontra (PARK *et al.*, 2005). Na seca hidrológica ocorrem períodos mais longos de déficit de precipitação pluvial e é observada após a seca meteorológica e a agrícola. Já a seca socioeconômica ocorre quando a deficiência de água começa a afetar a vida humana, e está vinculada aos outros três tipos de seca. Embora as secas estejam classificadas nesses quatro tipos, todas são originadas da deficiência de precipitação, que resulta na falta de água para o desenvolvimento de atividades ou para a sobrevivência dos seres vivos (WILHITE, 2003).

As secas causam transtornos em diversas localidades onde a precipitação é uma variável determinante das condições do clima local, bem como sua variabilidade e escassez, em longo prazo. Nessas condições, ela obriga os governos Federal, Estaduais e Municipais a desenvolverem uma série de estratégias para mitigar os efeitos das secas, que muitas vezes ocorrem de formas devastadoras sobre as populações, os animais e a economia da região (FECHINI, 2015).

No Brasil, segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, no período entre 1991 e 2010, dos 31.909 registros de desastres naturais e 96 milhões de pessoas afetadas, mais de 50% destes foram por seca, comprometendo em maior parte a região do semiárido, que inclui oito Estados da região Nordeste e o Norte do Estado de Minas Gerais, da Região Sudeste. (SENA *et al.*, 2016).

Lima e Magalhães (2018) em seu estudo sobre a seca no Nordeste, apresentaram os impactos do fenômeno nos ambientes econômicos e sociais e trouxeram a identificação dos anos de seca a partir do século 16 (Tabela 2), eles dizem que foi a partir do Padre João de Azpilcueta da Companhia de Jesus que deixou o primeiro registro conhecido, no ano de 1553 e a partir do século 17, com a ocupação colonial chegando ao interior, tornou os registros mais frequentes e detalhados. Esse

processo trouxe à luz não somente os impactos econômicos, mas também as grandes tragédias humanas provocadas pelas estiagens no semiárido do Nordeste.

Tabela 2 – Anos de secas registrados no Brasil a partir do século 16.

Século 16	Século 17	Século 18	Século 19	Século 20	Século 21
1553	1603	1709-1711	1803-1804	1900	2001-2002
1559	1606	1720-1727	1808-1810	1903-1904	2005
1583	1614-1615	1730	1816-1817	1907	2007-2008
1587	1645	1732	1824-1825	1909-1910	2010
	1652	1734-1737	1827	1914-1915	2012-2017
	1692-1693	1744-1748	1830-1833	1917	
		1751	1835-1837	1919	
		1754	1842	1921-1922	
		1760	1844-1847	1930	
		1766	1877-1879	1932-1937	
		1771-1772	1888-1889	1941-1945	
		1776-1778	1891	1951-1954	
		1782-1784	1898	1958-1959	
		1790-1794		1962-1964	
				1966	
				1970	
				1976	
				1979-1983	
				1986-1987	
				1992-1993	
				1997-1999	

Fonte: Adaptado de Lima e Magalhães (2018).

Silva *et al.* (2013) fizeram um compilado das secas mais graves a partir de 1723 até 1988 com as principais consequências desses períodos (Quadro 1).

Quadro 1 – Anos de seca e principais consequências no período entre 1723 e 2012.

Anos	Consequências
1723/1727	A seca registrada neste período é intensificada por uma grande peste atingindo a capitania de Pernambuco. De acordo com o historiador Frei Vicente do Salvador, foram numerosos os grupos de indígenas que, foragidos pelas serras, avançaram sobre as fazendas.
1744/1745	Neste período, a seca atinge toda população, dizimando também o gado.
1776/1778	A seca foi intensificada pelo grande surto de varíola, iniciado no ano anterior e que se prolongaria até 1778, provocando um alto índice de mortalidade. Perdas enormes de gados. Os flagelados foram reunidos em povoações nas margens dos rios, em determinação da Corte Portuguesa.

1808/1809	A seca neste período é mais amena, atinge apenas Pernambuco, na região do São Francisco, onde 500 morreram por falta de comida.
1824/1825	Mais um período de intensa seca, intensificada pela varíola, foram vários os números de flagelos, gerando muitas mortes na região nordestina. Os campos ficaram esterilizados e a fome chegou até os engenhos de cana-de-açúcar.
1887/1879	Esse período foi marcante, uma das maiores e graves secas atingiu todo o Nordeste. O Ceará, por exemplo, tinha na época uma população de 800 mil habitantes. Destes, 120 mil (ou 15%) migraram para a Amazônia e 68 mil pessoas foram para outros estados.
1888/1889	Grandes secas atingiram toda a população. As lavouras da Paraíba e Pernambuco foram destruídas e as vilas abandonadas.
1903/1904	Grande êxodo rural, milhares de nordestinos, vítimas das secas, abandonam a região. Passou a constar na Lei de Orçamento da República uma parcela destinada às obras contra as secas. Criaram-se três comissões para analisar o problema das secas nordestinas.
1914/1915	Neste período, uma grande seca atingiu toda a região semiárida nordestina.
1919/1921	Houve intensificação do êxodo rural em decorrência de grandes secas (com grandes proporções no sertão pernambucano). A imprensa, a opinião pública e o Congresso Nacional exigiram a atuação do governo. Foi criada, em 1920, a Caixa Especial de Obras de Irrigação de Terras Cultiváveis do Nordeste Brasileiro, mantida com 2% da receita tributária anual da União, além de outros recursos. Mas efetivamente, nada foi feito para amenizar o drama das secas.
1970	Criação das frentes de emergências. Uma alternativa para 1,8 milhões de pessoas, em decorrência das grandes secas que atingiram todo o Nordeste.
1979/1984	A mais prolonga e abrangente seca da história do Nordeste. Atingiu toda a região, deixando um rastro de miséria e fome em todos os Estados. No período, não se colheu lavoura numa área de quase 1,5 milhões de km <sup>2</sup> . Só no Ceará foi registrada mais de uma centena de saques, quando legiões de trabalhadores famintos invadiram cidades e arrancaram alimentos à força em feiras-livres ou armazéns. Segundo dados da SUDENE, entre 1979/1984, morreram na região 3,5 milhões de pessoas, a maioria crianças, por fome e enfermidades derivadas da desnutrição. Pesquisa da UNESCO apontou que 62% das crianças nordestinas, de 0 a 5 anos, na zona rural, viviam em estado de desnutrição aguda.
1988	Neste período, uma seca muito intensa atingiu toda população, precisamente no final do mês de abril. População faminta, promovendo saques a depósitos de alimentos e feiras livres, animais morrendo e lavouras perdidas. Com exceção do Maranhão, todos os outros estados do Nordeste foram atingidos, numa totalidade de cerca de cinco milhões de pessoas afetadas. Esta seca estava prevista há mais de um ano, em decorrência do fenômeno El Niño, mas, como das vezes anteriores, nada foi feito para amenizar os efeitos da catástrofe.

1993	Uma grande seca atinge todos os Estados do Nordeste e mais parte da região norte de Minas Gerais. Só no Nordeste, de acordo com dados da então SUDENE, um total de 1.857.655 trabalhadores rurais que perderam suas lavouras foram alistados nas chamadas “frentes de emergência”. Pernambuco foi o Estado que teve o segundo maior número de agricultores alistados nessas frentes, com 334.765 pessoas, perdendo apenas para a Bahia (369 mil trabalhadores alistados). Na época, a imprensa recifense publicou reportagem segundo a qual dezenas de obras de combate às secas, iniciadas e abandonadas pelo Governo Federal antes da conclusão, já haviam provocado, entre 1978/1993, prejuízos de CR\$ 6,7 trilhões. O escândalo das obras inacabadas deu origem até mesmo a uma Comissão Parlamentar de Inquérito, no Congresso Nacional, para apurar responsabilidades.
1998	Uma nova seca no Nordeste: população faminta promovendo saques a depósitos de alimentos e feiras livres, animais morrendo e lavoura perdida. Exceto o Maranhão, todos os outros Estados do Nordeste são atingidos, num total de cerca de cinco milhões de pessoas afetadas. Esta seca estava prevista há mais de um ano, em decorrência do fenômeno El Niño, mas, como das vezes anteriores, nada foi feito para amenizar os efeitos da catástrofe. Foi através dessa calamidade que foi transmitida pela imprensa e televisão, que o Governo Federal anunciou um programa de emergência.
2001	Praticamente um prolongamento da seca iniciada em 1998 (que se estendeu por 1999 e apenas deu uma trégua em 2000), a seca de 2001 teve uma particularidade a mais, em relação às anteriores: ocorreu no momento em que não só o Nordeste, mas todo o Brasil vivia uma crise de energia elétrica sem precedentes em toda a história do País, provocada por falta de investimentos no setor e pela escassez de chuvas. Em Pernambuco, no início do inverno ocorreram algumas chuvas e, animados, os agricultores se puseram a plantar. Mas, logo as chuvas escassearam e, em abril, já se registrava uma “seca verde” em todo o sertão do Estado. A situação foi se agravando e, em junho, as populações do interior pernambucano já viviam o velho e conhecido drama de dependerem da ajuda do Governo.
2012	O Nordeste tem a pior seca dos últimos 30 anos (há quem diga que seja a dos últimos 60 anos). A terra sem o verde, os rios sem água e os animais, magros ou mortos pelos pastos do sertão. Em algumas regiões do Semiárido nordestino não caiu nenhuma gota d’água em 2012. Foi um grande prejuízo para os produtores.

Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2013) e Moreira (2017).

Outra seca de grandes proporções aconteceu nos anos de 1998-2000, sendo causada pelo El Niño, este foi considerado o mais forte do século. Essa seca provocou no NEB, grandes impactos sociais, econômicos e ambientais. Entre estes, estão inclusos a perda considerável dos rebanhos, a quebra generalizada da safra agrícola, além dos transtornos no abastecimento de água das zonas urbanas e rurais. Ainda estão vivas na mente da população, cenas que a imprensa nacional divulgava: agricultores assando palma forrageira (Variedade Gigante) (*Opuntia ficus indica*) para alimentar a família; bovinos (*Bos indicus*), caprinos (*Capra hircus*) e ovinos (*Ovis aries*)

morrendo diariamente pela falta de alimentos e água; crianças caçando aves e répteis para se alimentarem; mulheres e crianças caminhando quilômetros para transportar, na cabeça, latas de água de péssima qualidade. A estas cenas comoventes e humilhantes, somavam-se outras, reveladoras do desespero de grupos de pessoas famintas saqueando feiras livres e caminhões (FARIAS, 2016).

Recentemente, a ANA criou um site chamado “Monitor de secas” que serve para divulgar o acompanhamento regular e periódico da seca no Nordeste. O desenvolvimento de um Monitor de Secas no Nordeste do Brasil se alinha às mais recentes discussões e a outras iniciativas que vêm ocorrendo em nível nacional e internacional. O trabalho responde a uma necessidade histórica de melhoria no monitoramento e gerenciamento das secas no Brasil e representa o primeiro de muitos passos necessários para uma radical e urgente mudança de abordagem – da gestão emergencial e reativa à preparação e gerenciamento proativos - que permita lidar com a seca desde os seus primeiros sinais, definindo ‘gatilhos’ para lidar com estágios de severidade crescente da seca e reconhecendo tratar-se de um evento progressivo que se instala lentamente (MONITOR DE SECAS, 2019).

Com toda essa abordagem, nota-se a importância de estudos que avaliem as secas, principalmente na área semiárida. Para isso, um dos métodos utilizados é o processamento de índices matemáticos capazes de identificar os períodos de seca através de dados de registro histórico de precipitação. Neste trabalho foram utilizados três índices com finalidades distintas para a identificação desses períodos com base na literatura vigente.

Segundo Alves *et al.* (2016) uma das formas de se estudar a precipitação pluviométrica é por meio do Índice de Anomalias de Chuva (IAC), que ajuda a monitorar anos de seca e chuva excessiva. Esse índice permite realizar comparações do regime pluviométrico de determinado local a partir de uma série de dados históricos com as condições atuais de chuva e é utilizado para a caracterização da variabilidade espaço-temporal da precipitação na região de estudo (ARAÚJO *et al.*, 2007; MARCUZZO; MELO; ROCHA, 2011; SANCHES; VERDUM; FISCH, 2014). Santos *et al.* (2011) ainda diz que o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) constitui, através de cálculos simples, uma ferramenta de grande utilidade no auxílio do monitoramento e no gerenciamento de danos associados à ocorrência de cheias ou estiagens severas tornando-se eficientes não apenas na determinação da duração e na intensidade dos eventos, mas principalmente na definição da área atingida pelo fenômeno. Diversos autores vêm

utilizando o IAC com sucesso para analisar séries temporais de precipitação (AYANLADE; RADENY; MORTON, 2017; GANAPURAM *et al.*, 2014; GROSS; CASSOL, 2015a; NDLOVU; DEMLIE, 2020; PATEL; YADAV, 2015; SANTOS; ARAÚJO; MARCELINO, 2015).

Diversos autores vêm utilizando o IAC para a análise de secas no semiárido e com diversas finalidades. Silva *et al.* (2017) utilizaram o IAC como indicador do grau de severidade e duração dos períodos secos e chuvosos. Dos anos analisados, eles encontraram resultados que apontam tendência de redução da precipitação no município de Petrolina-PE. Alves *et al.* (2016) aplicaram o IAC para quatro municípios em diferentes climas do estado de Pernambuco e relacionaram o índice com potencial agrícola. Alves *et al.* (2015) estudaram o regime hídrico do município de Patos, na Paraíba através do IAC e Rodrigues *et al.* (2019) fizeram a classificação da precipitação do município de Parnamirim-PE através do índice. Todas as pesquisas obtiveram ótimos resultados com a aplicação do índice, demonstrando que ele é um bom indicador para a análise de precipitação e secas em áreas semiáridas

Outro bom índice para a análise de secas é o SPI. De acordo com Guedes, Macedo e Sousa (2012) o índice de seca conhecido por SPI (em inglês, Standardized Precipitation Index) foi desenvolvido por Mckee *et al.* (1993) com o objetivo de monitorar e analisar a seca em diferentes escalas de tempo. Esse índice é vantajoso em relação aos demais porque utiliza apenas dados mensais de precipitação, variável monitorada em todos os postos meteorológicos. Desde que foi proposto, o SPI vem sendo usado em vários estudos, devido sua capacidade de quantificar o déficit ou excesso de precipitação em diversas escalas temporais e permitir comparações entre regiões com diferentes características climáticas. (BLAIN; BRUNINI, 2007; BELAYNEH *et al.*, 2014; DUTTA *et al.*, 2015; MACEDO *et al.*, 2010; ZARCH; SIVAKUMAR; SHARMA, 2015). Zarch, Sivakumar e Sharma (2015), ainda dizem que o SPI, provavelmente é um dos índices de seca mais popular e se baseia exclusivamente na precipitação e mede quanto de precipitação de um determinado período desviou das normas historicamente estabelecida. No Nordeste do Brasil, ele já foi e vem sendo utilizado em áreas de diferentes climas.

Fechini (2015) usou o SPI para identificar a seca meteorológica na região metropolitana de Fortaleza-CE e Silva *et al.* (2013) para o estado da Bahia. Santos, Cunha e Ribeiro-Neto (2019) utilizaram o índice para avaliar o desempenho de dados de precipitação observados e estimados por satélite para criar um banco de dados com

a finalidade de caracterizar e monitorar as secas no nordeste brasileiro. Sousa *et al.* (2016) utilizaram o SPI para analisar os extremos de chuvas e secas em uma bacia hidrográfica no semiárido baiano. Macedo *et al.* (2010) aplicaram o SPI em diferentes escalas de tempo no estado da Paraíba com a finalidade de monitorar as secas severas e extremas. Já Soares, Nóbrega e Galvíncio (2018) utilizaram o SPI para embasar um estudo sobre a desertificação na bacia hidrográfica do Pajeú. Em todos os trabalhos mencionados os autores chegaram à conclusão de que o SPI é bastante satisfatório quando empregado para a análise e monitoramento de secas.

O índice de Walsh (WALSH, 1996; WALSH; LAWLER, 1981) embora menos utilizado que os demais, é um índice importante pois ele reflete o grau de variabilidade da precipitação, ele possibilita comparar de forma quantitativa a sazonalidade da precipitação em diferentes regiões. Quanto maior for o valor do índice, maior é a sazonalidade (FILPI, 2019).

Em seu artigo de apresentação do índice, Walsh (1981) diz que ele foi proposto para avaliar um aspecto da sazonalidade das chuvas, esse índice é apresentado e é mostrado que é possível subdividir e mapear grandes áreas em termos de seu grau de variação sazonal na precipitação. Os padrões temporais também são examinados com referência à variabilidade da incidência sazonal de precipitação de ano para ano e mudança de longo prazo na sazonalidade das chuvas. Apesar de pouco aplicado no Brasil, o autor utilizou 40 postos de dados no país dentro do conjunto de dados utilizados para ajuste da equação. É um índice que mostra as diferenças na sazonalidade relativa muito bem. Ele também tem a vantagem de ser fácil de calcular e pode ser aplicado em todos os climas e variáveis hidrológicas que são acumuladas em uma base mensal, como vazão do rio e evaporação (WALSH, 1981).

## 2.4 AGRICULTURA FAMILIAR E AGRICULTURA DE SEQUEIRO EM ÁREAS SEMIÁRIDAS

A agricultura familiar é toda aquela desenvolvida por pequenos produtores rurais, predominantemente realizada por grupos familiares e os produtos servem de alimento para a família e consumo da população através de feiras locais. Segundo o IBGE (2017) em seu último censo agropecuário, 85% dos estabelecimentos rurais do país podem ser considerados familiares e 70% dos alimentos consumidos no Brasil são frutos da agricultura familiar.

Grisa e Schneider (2015) destacam que nas últimas três décadas a agricultura familiar brasileira vem ganhando espaço e reconhecimento nas estruturas ministeriais de governo. Isso se dá, por meio da formulação e implementação de políticas públicas que priorizem, em certa medida, processos inclusivos e dinâmicos capazes de instituir uma nova trajetória de atenção aos pequenos produtores no âmbito nacional. O maior programa de fomento ao desenvolvimento da agricultura familiar no Brasil é o PRONAF.

Criado em 1995, o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) marca o reconhecimento do Estado brasileiro à agricultura familiar. De programas regionais que pouco reconheciam a importância econômica da categoria social, tratados historicamente como produtores de subsistência, pequenos agricultores ou produtores de baixa renda, os agricultores familiares passaram a dispor de uma política nacional destinada exclusivamente para eles.

Como afirmaram Schneider, Cazella e Mattei (2004, p. 23), o programa nasceu com a finalidade de prover crédito agrícola e apoio institucional aos pequenos produtores rurais que vinham sendo alijados das políticas públicas até então existentes e encontravam sérias dificuldades de se manter no campo. Em termos de contratos do Pronaf no país, a região Sul respondia por 60% dos valores totais em 1998, enquanto a região Nordeste participava com 25%. Em 2005 e 2006, após várias avaliações e reivindicações sociais, estes percentuais praticamente inverteram-se e o Nordeste passou a responder por 60% dos contratos totais. Contudo, em anos seguintes, a região Sul ampliou novamente a sua participação, ainda que em percentuais mais baixos que no início da década de 2000. Em 2012, o Sul e o Nordeste responderam, respectivamente, por 32,74% e 45,48% dos contratos totais (GRISA; WESZ-JUNIOR; BUCHWEITZ, 2014).

A agricultura familiar é uma daquelas mais impactadas pelos períodos de seca. Segundo Lemos e Santiago (2020) a expectativa é que os agricultores familiares inseridos nos municípios do semiárido sejam mais vulneráveis às secas do que os agricultores localizados em áreas que não estão submetidas ao regime de escassez ou de má distribuição das chuvas, que caracterizam esse ecossistema, ou mesmo aqueles com acesso às tecnologias de irrigação (ALTIERI; KOOHAFKAN, 2008; ROSENWEILG; HILLEL, 2005).

Diversos autores vêm mostrando como o clima pode impactar no rendimento da agricultura familiar (LEMOS; SANTIAGO, 2019; FILHO *et al.*, 2016). Segundo Lemos e Santiago (2019), as lavouras temporárias, geralmente praticadas pelos agricultores

familiares e em regime de sequeiro, tendem a ser as mais afetadas com previsão de queda na produção e de produtividade, o que pode provocar desdobramentos ambientais, sociais e econômicos, como redução na oferta de alimentos, elevação dos preços e aumento da pobreza, sobretudo aquela da população que permanecer nos espaços rurais das regiões mais vulneráveis (ANDERSEN; VERNER; WIEBELT, 2014; PEREIRA, 2018).

Lavouras como feijão, mandioca e milho que são cultivadas por agricultores familiares e seguem o regime de sequeiro, nos Estados que têm forte inserção de áreas no semiárido, são fortemente dependentes da distribuição espacial e temporal das chuvas (LEMOS; SANTIAGO, 2020; PEREIRA, 2018). A agricultura familiar mantém a promessa de desenvolver sistemas agrícolas produtivos, sustentáveis, inovadores, responsivos e dinâmicos bem como contribuir para a resolução das crises financeira, alimentar, de combustíveis e do clima, as quais prevalecem no mundo hoje (FAO, 2014). O estudo de Alves, Servain e Campos (2009) mostrou que as condições térmicas, associadas há anos de El Niño, La Niña e de gradientes meridionais de TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais, condicionam anos com mais ou menos produção e produtividade.

Nesse contexto, o que seria a agricultura de sequeiro? Agricultura de sequeiro se refere a técnica de plantar em áreas onde a precipitação é deficiente e sem grandes instalações de irrigação. Para o sucesso desse tipo de agricultura é necessário que dois fatores estejam em harmonia: a boa utilização da água precipitada e a seleção de culturas que mais se adaptem a esse tipo de clima.

Historicamente, três culturas apresentam bons resultados quando produzidas sob o sistema de sequeiro. São elas: o milho, o feijão e a mandioca. Araújo, Araújo-Filho e Maranhão (2017), fizeram um apanhado sobre as culturas de milho, feijão e mandioca como pode ser visto a seguir:

- O milho é um dos principais cereais produzidos no mundo e o mais cultivado no Brasil, mas tem enorme contraste de produtividade entre as diferentes regiões do país, em decorrência das diferentes condições climáticas e de cultivo às quais a cultura é submetida.
- O feijão-caupi tem uma grande importância, tanto como alimento quanto como gerador de emprego e renda. É rico em proteína, minerais e fibras e constitui um componente alimentar básico das populações rurais e urbanas das regiões Norte e Nordeste. Na região Nordeste, a produção tradicionalmente se concentra nas

áreas semiáridas, onde outras culturas leguminosas anuais, em razão da irregularidade das chuvas e das altas temperaturas, não se desenvolvem satisfatoriamente. A produção de feijão-caupi nas regiões Nordeste e Norte é feita por empresários e agricultores familiares que ainda utilizam práticas tradicionais.

- A mandioca é originária do Brasil e cultivada em todo território nacional. É uma espécie muito rústica, pouco exigente em fertilidade, porém, produz maior quantidade de raízes em solos mais profundos e arenosos. É adaptada ao clima tropical e subtropical, com precipitação pluvial variando de 600 a 1.200 mm com distribuição adequada e a uma temperatura média de em torno de 25°C. No Nordeste brasileiro, a parte aérea da mandioca é colhida, geralmente, ao final do ciclo produtivo, ou seja, aos 18 meses após o plantio, entretanto, quando irrigadas a época de colheita é reduzida para nove meses.

O milho e o feijão-caupi são culturas que têm alta produtividade em lugares com alta disponibilidade de água, nutrientes e radiação solar. Entretanto, são culturas adaptadas a períodos de deficiência hídrica, como no Nordeste brasileiro. Mas, expressam reduções na produtividade de biomassa e de grãos em condições inadequadas de cultivo (MOURA et al., 2006).

## 2.5 OBJETIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: relações e aplicações com as ODS2 e ODS13

Foi na década de 70 que se iniciaram efetivamente as discussões acerca dos problemas ambientais, envolvendo, conjuntamente, preocupações com problemáticas econômicas e sociais, os quais, pela primeira vez puderam ser observados em ligação à degradação do meio ambiente, como é o caso da pobreza, da falta de educação, da mortalidade infantil, da injustiça social, da dependência tecnológica, dos refugiados ambientais, dentre vários outros (GARCIA; GARCIA, 2016).

De acordo com Silva e Pereira (2019), no ano 2000, os líderes mundiais se reuniram na sede das Nações Unidas, em Nova Iorque, para estabelecer uma agenda de compromissos mínimos pela promoção da dignidade humana e definir uma visão abrangente para combater a pobreza nas suas várias dimensões, a fome, doenças transmissíveis e evitáveis, a desigualdade de gênero, a destruição do meio ambiente e as condições precárias de vida. Essa visão foi traduzida em oito Objetivos de

Desenvolvimento do Milênio (ODM) e foi, nos últimos 15 anos, o quadro de desenvolvimento dominante para o mundo (IPEA; SPI, 2014; ONU, 2015).

A ideia dos ODS (Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável) se originou na Conferência Rio+20 em 2012, a partir de uma proposta da Colômbia e da Guatemala. Em setembro de 2014, na reunião da Assembleia Geral das Nações Unidas, foi apresentado um informe com uma proposta de 17 objetivos e 169 metas, sendo todas “integradas e indivisíveis, e mesclam de forma equilibrada, as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental” (ONU, 2016). São eles: ODS 1: Erradicação da pobreza; ODS 2: Fome zero e agricultura sustentável; ODS 3: Saúde e bem-estar; ODS 4: Educação de qualidade; ODS 5: Igualdade de gênero; ODS 6: Água potável e saneamento; ODS 7: Energia limpa e acessível; ODS 8: Trabalho decente e crescimento econômico; ODS 9: Indústria, inovação e infraestrutura; ODS 10: Redução das desigualdades; ODS 11: Cidades e comunidades sustentáveis; ODS 12: Consumo e produção responsáveis; ODS 13: Ação contra a mudança global do clima; ODS 14: Vida na água; ODS 15: Vida terrestre; ODS 16: Paz, justiça e instituições eficazes; e ODS 17: Parcerias e meios de implementação

Esses objetivos são a base principal para uma nova agenda de desenvolvimento pós-2015. O Brasil tem uma contribuição importante nessas discussões (SENA *et al.*, 2016).

Dentro do contexto desta pesquisa serão abordados o ODS2 (Fome zero e agricultura sustentável) e o ODS13 (Ação contra a mudança global do clima).

A ODS 2 é pautada no seguinte termo “Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável” com os objetivos:

- Até 2030, acabar com a fome e garantir o acesso de todas as pessoas, em particular os pobres e pessoas em situações vulneráveis, incluindo crianças, a alimentos seguros, nutritivos e suficientes durante todo o ano;
- Até 2030, acabar com todas as formas de desnutrição, incluindo atingir, até 2025, as metas acordadas internacionalmente sobre nanismo e caquexia em crianças menores de cinco anos de idade, e atender às necessidades nutricionais dos adolescentes, mulheres grávidas e lactantes e pessoas idosas;
- Até 2030, dobrar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos, particularmente das mulheres, povos indígenas, agricultores familiares,

pastores e pescadores, inclusive por meio de acesso seguro e igual à terra, outros recursos produtivos e insumos, conhecimento, serviços financeiros, mercados e oportunidades de agregação de valor e de emprego não agrícola;

- Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo;
- Até 2020, manter a diversidade genética de sementes, plantas cultivadas, animais de criação e domesticados e suas respectivas espécies selvagens, inclusive por meio de bancos de sementes e plantas diversificados e bem geridos em nível nacional, regional e internacional, e garantir o acesso e a repartição justa e equitativa dos benefícios decorrentes da utilização dos recursos genéticos e conhecimentos tradicionais associados, como acordado internacionalmente;
- Aumentar o investimento, inclusive via o reforço da cooperação internacional, em infraestrutura rural, pesquisa e extensão de serviços agrícolas, desenvolvimento de tecnologia, e os bancos de genes de plantas e animais, para aumentar a capacidade de produção agrícola nos países em desenvolvimento, em particular nos países menos desenvolvidos;
- Corrigir e prevenir as restrições ao comércio e distorções nos mercados agrícolas mundiais, incluindo a eliminação paralela de todas as formas de subsídios à exportação e todas as medidas de exportação com efeito equivalente, de acordo com o mandato da Rodada de Desenvolvimento de Doha;
- Adotar medidas para garantir o funcionamento adequado dos mercados de commodities de alimentos e seus derivados, e facilitar o acesso oportuno à informação de mercado, inclusive sobre as reservas de alimentos, a fim de ajudar a limitar a volatilidade extrema dos preços dos alimentos.

A ODS 13 é pautada no seguinte termo “Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos” com os seguintes objetivos:

- Reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países;

- Integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais;
- Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima;
- Implementar o compromisso assumido pelos países desenvolvidos partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima [UNFCCC] para a meta de mobilizar conjuntamente US\$ 100 bilhões por ano a partir de 2020, de todas as fontes, para atender às necessidades dos países em desenvolvimento, no contexto das ações de mitigação significativas e transparência na implementação; e operacionalizar plenamente o Fundo Verde para o Clima por meio de sua capitalização o mais cedo possível;
- Promover mecanismos para a criação de capacidades para o planejamento relacionado à mudança do clima e à gestão eficaz, nos países menos desenvolvidos, inclusive com foco em mulheres, jovens, comunidades locais e marginalizadas.

No que tange a ODS 2, será abordada aqui a agricultura familiar ou de subsistência e a de sequeiro. O Primeiro Relatório de Avaliação Nacional (PRAN), em seu segundo volume (2014) faz algumas considerações sobre a agricultura familiar. São elas:

O conceito de agricultura familiar aqui considerado é aquele definido pela Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006, que estabelece como agricultor familiar ou empreendedor familiar rural, aquele que pratica atividades no campo, atendendo, simultaneamente, aos seguintes requisitos:

- I - Não detenha, a qualquer título, área maior do que 4 (quatro) módulos fiscais;
- II- Utilize predominantemente mão de obra da própria e familiar nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento;
- III - Tenha renda familiar predominantemente originada de atividades econômicas vinculadas ao próprio estabelecimento ou empreendimento;
- IV - Dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família.

O PRAN (2014), ainda diz que a produção agrícola familiar é setor altamente sensível a mudanças climáticas, o que traz a ODS 13 para este estudo. Os elementos que compõem os sistemas produtivos são regulados por parâmetros atmosféricos, como os de precipitação, temperatura e concentração de CO<sub>2</sub>, cujas variações se refletem diretamente na produtividade agropecuária e, conseqüentemente, no cotidiano

do produtor e de sua família. Contudo, generalizações dos impactos de mudanças climáticas sobre a produção familiar devem ser realizadas com ressalvas, uma vez que a vulnerabilidade é determinada pela interação entre especificidades socioeconômicas, culturais e institucionais de âmbito local, e por fatores associados a variações climáticas em diferentes escalas (EAKIN; LEMOS, 2010; DIETZ; OSTROM; STERN, 2003; MORTON, 2007).

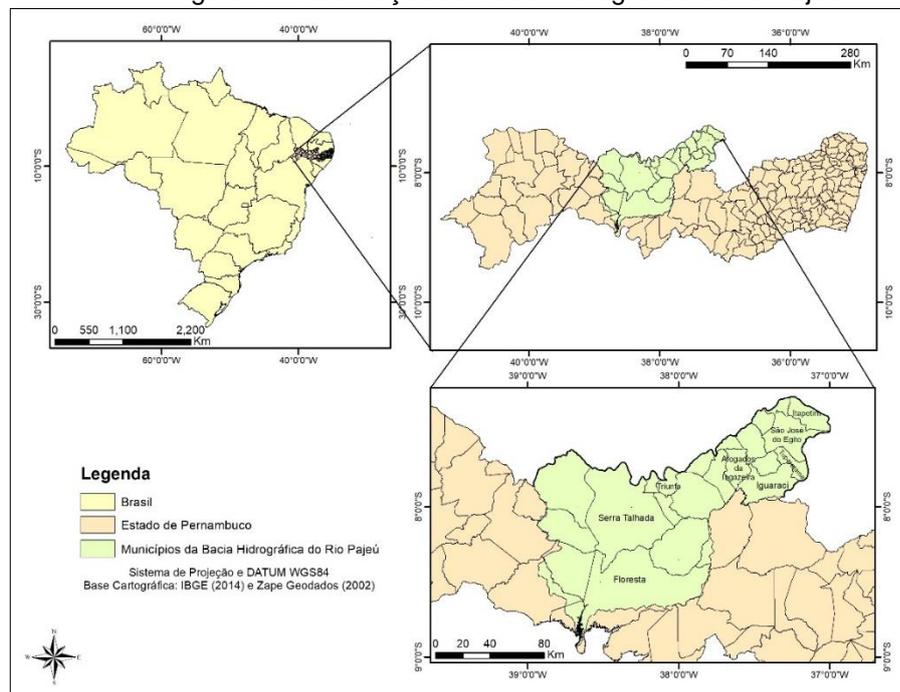
Dados do CENSO Agropecuário de 2006 (IBGE, 2006) reforçam ainda que a agricultura familiar é responsável por parte significativa da produção da cesta básica nacional. Segundo a mesma fonte, a Região Nordeste concentra cerca de 50% dos estabelecimentos familiares do Brasil, ocupando cerca de 35% do total de áreas por eles cultivadas no País. Já a bacia hidrográfica do rio Pajeú, possui quase em sua totalidade estabelecimentos familiares e que utilizam da agricultura de sequeiro. Dessa forma, impactos de mudanças climáticas sobre atividades desenvolvidas nessas unidades produtivas possuem aspectos econômicos e sociais significativos regionalmente.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A bacia hidrográfica do rio Pajeú (Figura 2) está localizada entre 07° 16' 20" e 08° 56' 01" de latitude sul e 36° 59' 00" e 38° 57' 45" de longitude oeste, formando a Unidade de Planejamento Hídrico UP9, sendo considerada a maior bacia do Estado de Pernambuco, com uma área de 16.726 km<sup>2</sup>, correspondendo a 16,97% da área do Estado. Limita-se ao norte com os estados do Ceará e Paraíba, ao sul com o grupo de bacias de pequenos rios interiores 3 - GI3 (UP22), a Leste com a bacia do rio Moxotó (UP8) e o estado da Paraíba, e a oeste com a bacia do rio Terra Nova (UP10) e o grupo de bacias de pequenos rios interiores 4 - GI4 (UP23), tendo municípios que fazem parte da mesorregião do sertão pernambucano e da mesorregião do sertão do São Francisco (CBHSF, 2014).

Figura 2 - Localização da Bacia hidrográfica do rio Pajeú.



Fonte: A autora (2021).

O rio Pajeú nasce no município de Brejinho e percorre uma extensão de aproximadamente 353 km. Inicialmente apresenta sentido nordeste-sudoeste, até desaguar no lago de Itaparica, no rio São Francisco. Seu regime fluvial é intermitente e, ao longo do seu curso, margeia as cidades de Itapetim, Tuparetama, Ingazeira,

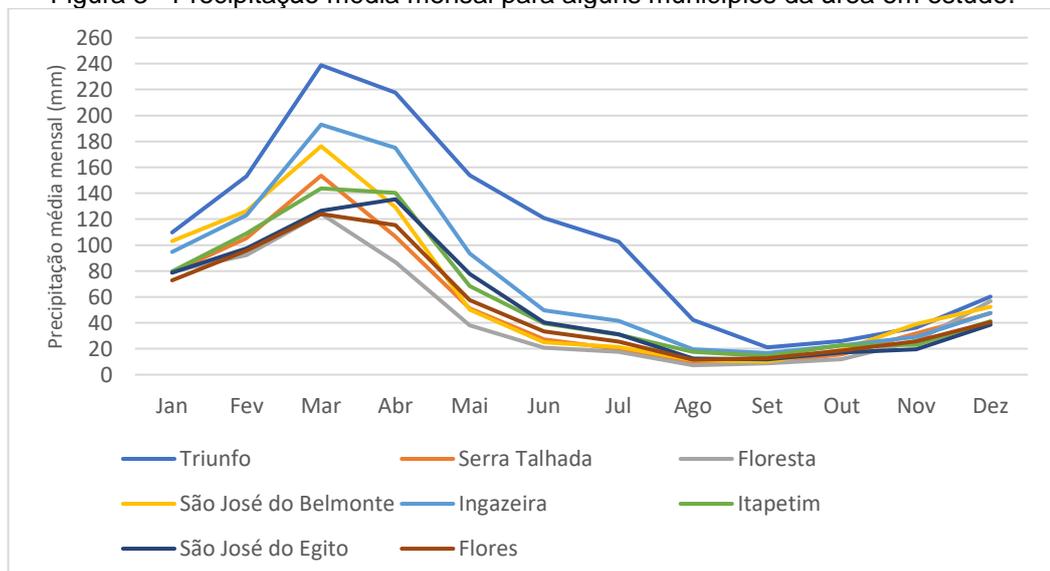
Afogados da Ingazeira, Carnaíba, Flores, Calumbi, Serra Talhada e Floresta. Seus afluentes principais são: pela margem direita, os riachos Tigre, Barreira, Brejo, São Cristóvão e Belém; e, pela margem esquerda, os riachos do Cedro, Quixabá, São Domingos, Poço Negro e do Navio (CBHSF, 2014).

### 3.1.1 Clima e relevo

A bacia hidrográfica do Rio Pajeú, em sua maior parte apresenta características de clima Semiárido (BSh, segundo a classificação climática de Köppen), com baixa precipitação (entre 600 e 800 mm anuais), mal distribuída ao longo do ano. As chuvas ocorrem geralmente no verão, combinadas com as altas temperaturas e radiação solar, ocasionando evaporação rápida e elevada evapotranspiração, ocasionando mesmo no período chuvoso, secas severas.

Na Figura 3 está descrito a média da precipitação mensal durante o período de 1963 a 2019 utilizando a série histórica de precipitação com base em postos de dados disponíveis. Foram escolhidas apenas alguns postos da área que são importantes para o entendimento do regime pluviométrico da bacia hidrográfica, onde, pode ser notado nitidamente que a área estudada, mesmo tendo regimes pluviométricos diferentes, apresenta um regime concentrado de precipitação, pois a maior parte das chuvas ocorrem entre os meses de fevereiro a abril e durante o resto do ano a precipitação não ultrapassa os 50 mm mensais.

Figura 3 - Precipitação média mensal para alguns municípios da área em estudo.



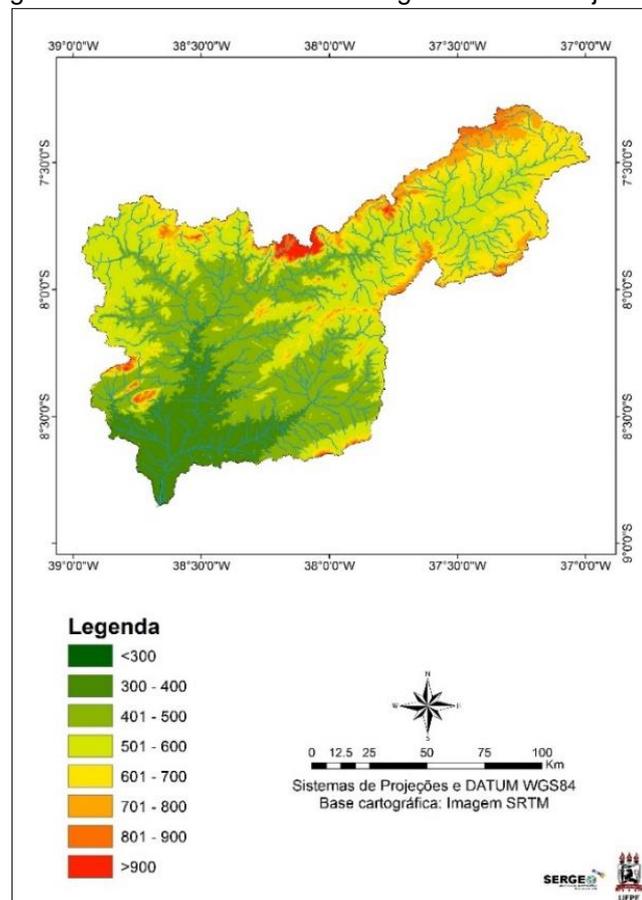
Fonte: elaborada pela autora a partir de dados da APAC, ANA e INMET.

Nessa região se destaca positivamente com relação à precipitação o município de Triunfo que apresenta a curva mais destacada das demais e mantém o período de chuvas por mais tempo, estendendo-se de janeiro a julho com mais de 80 mm. Negativamente, se destaca o município mais ao sul da bacia, Floresta, que mesmo no período chuvoso é aquele em que apresenta a menor precipitação entre os sete municípios analisados.

Segundo Ferreira e Mello (2005), o principal sistema de produção das chuvas do Sertão é a Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, que atua durante os meses de dezembro a maio, atingindo o máximo de precipitação durante março e abril. A variabilidade espacial e temporal da precipitação submete a produção agropecuária a níveis de incertezas bastantes altos, uma vez que o uso e ocupação do solo da bacia consistem na predominância dessa atividade.

O relevo desempenha um papel fundamental na definição das condições climáticas, particularmente no regime de chuvas da bacia (Figura 4).

Figura 4 - Altimetria da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE.



Fonte: A autora (2021).

A bacia hidrográfica do rio Pajeú, na área investigada, desenvolve-se numa área falhada com direção geral NE-SO. É delimitada por unidades de relevo mais elevadas que assumem também essa direção. A parte leste-sudeste encontra-se disposta de maneira quase perpendicular aos fluxos dos alísios de SE. Esses fluxos depois de transporem esses obstáculos geomorfológicos mergulham para o pediplano sertanejo, mais especificamente na área da calha do rio principal. Gera estabilidade atmosférica e um déficit hídrico nessa área deprimida.

No Maciço residual sienítico de Triunfo (um brejo de altitude) o efeito geomorfológico é oposto. Os fluxos de alísios de SE-E são forçados a galgar a elevação (Serra da Baixa Verde, p. ex), há um resfriamento adiabático que permite que o ar atinja mais facilmente o Ponto de Orvalho e conseqüentemente define uma área de exceção de umidade na Depressão Sertaneja com déficit hídrico.

### **3.1.2 Vegetação e solos**

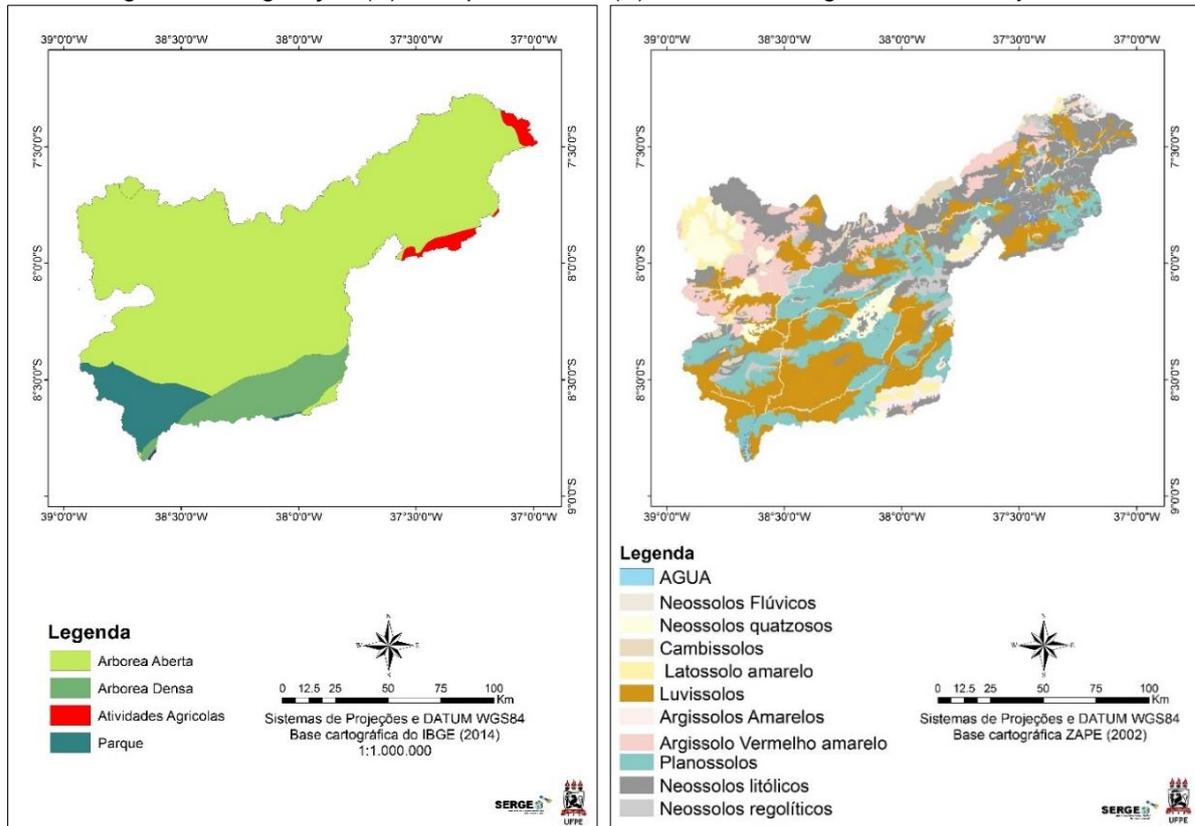
A vegetação da área de estudo é a de Caatinga, típica do Semiárido brasileiro. É caracterizada por ser resistente a escassez hídrica. Dentre das subdivisões, a vegetação em questão pode ser considerada caatinga hiperxerófila com trechos de floresta caducifólia, ou seja, é uma vegetação de baixo e médio porte que perde as folhas durante o período de estiagem (Figura 5A). É uma vegetação bastante característica de solos rasos que estão sob rochas cristalinas, como os granitos e gnaisses. São espécies nativas desse tipo de vegetação: a catingueira, favela, angico, juazeiro, marmeleiro, jurema preta e branca, mandacaru, umbuzeiro e aroeira.

Já nas áreas de maiores altitudes (Triunfo, Santa Cruz da Baixa Verde, Flores), a caatinga é chamada de subcaducifólia, caracterizada pela região apresentar climas amenos durante todo o ano.

A região possui uma grande diversidade de solos, decorrente principalmente dos fatores que influenciam sua formação, como o clima e a geologia. Os solos nessa região, são formados principalmente através de intemperismo físico, que basicamente consiste na ação direta do sol sob as rochas fazendo com que ocorra a dilatação durante o dia e a noite, com temperaturas amenas, ocorresse a fragmentação, dando origem aos vários tipos de solo da região. Esse fato em conjunto com o clima Semiárido, influenciou no desenvolvimento dos solos e na lixiviação de base.

Os principais solos encontrados na bacia hidrográfica do rio Pajeú são os Planossolos, Luvisolos, Neossolos Litólicos, e Argissolos (Figura 5B). Também são encontrados os cambissolos, neossolos fúvicos e os latossolos, porém em menor quantidade.

Figura 5 – Vegetação (A) e mapa de solos (B) da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE.



Fonte: A autora (2021).

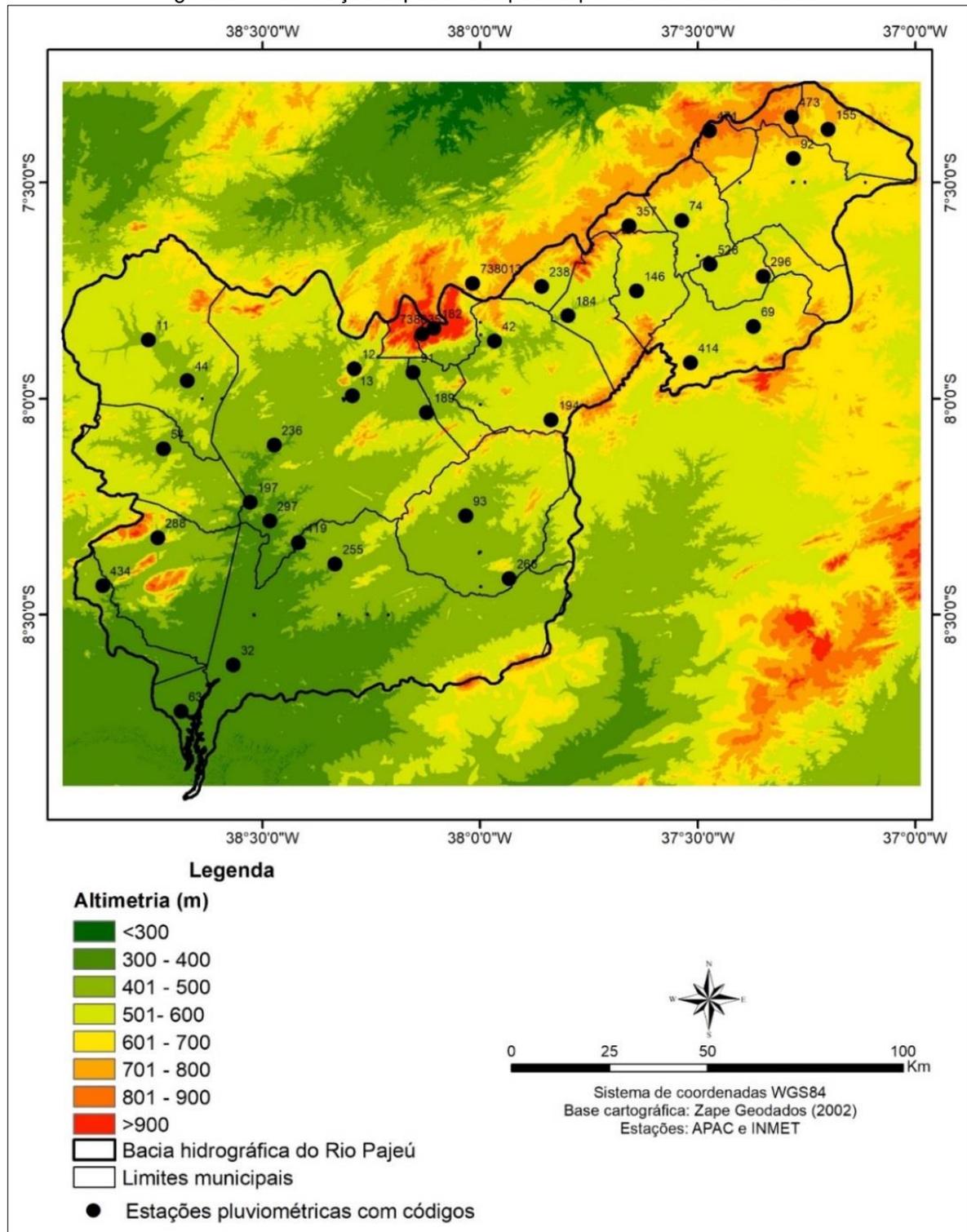
### 3.2 MÉTODOS ESTATÍSTICOS

Foram utilizados 37 postos pluviométricos presentes na bacia hidrográfica do Rio Pajeú provenientes da APAC e do INMET (Figura 6). Os dados foram formatados em ambiente excel e agrupados de acordo com cada município que faz parte da área territorial da bacia. Para o preenchimento das falhas nas séries históricas, Leivas, Berlato e Fontana (2006) recomendam a seleção dos postos meteorológicos da mesma região ecoclimática e altitude semelhante (Tabela 3), caracterizando-a como pluviometricamente homogênea (OLIVEIRA *et al.*, 2010). Devido a isso, esses postos foram selecionados seguindo o seguinte método:

1 – Foram selecionados primeiramente todas os postos que fazem parte da bacia hidrográfica;

- 2 – Eles foram separados por município;
- 3 – Observação e escolha apenas daqueles que possuíam 5 ou mais anos de dados contínuos.

Figura 6 – Distribuição espacial dos postos pluviométricos utilizados.



Fonte: A autora (2021).

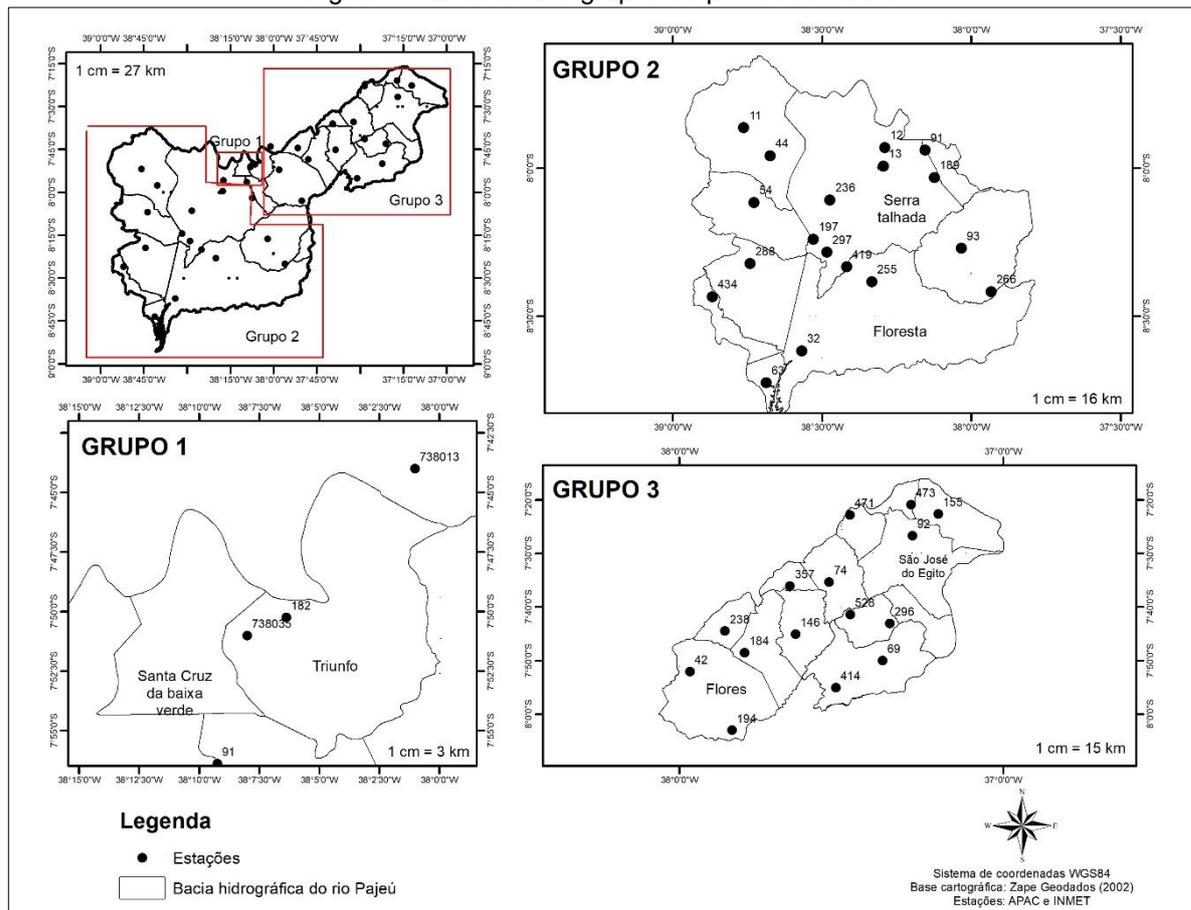
Tabela 3 – Lista dos postos pluviométricos utilizados neste estudo.

<b>Município</b>	<b>Código do posto pluviométrico</b>	<b>Elevação (m)</b>
Afogados da Ingazeira	146	536
Belém de São Francisco	434	399
Betânia	93	441
	266	420
Brejinho	473	740
Calumbi	91	456
Carnaíba	184	564
Carnaubeira da penha	288	450
	42	521
Flores	194	562
	32	318
	255	404
Floresta	419	383
	69	591
	414	597
Iguaraci	528	553
	63	316
Ingazeira	155	638
Itacuruba	54	440
Itapetim	193	452
	238	525
Quixabá	471	804
Santa Terezinha	11	491
São José do Belmonte	44	452
	92	625
São José do Egito	12	519
	13	435
Serra Talhada	189	483
	236	401
	297	387
	197	385
Solidão	357	577
	74	583
Tabira	738013	750
	738035	970
	182	1001
Tuparetama	296	580

Fonte: A autora (2021).

Após a listagem dos postos, eles foram separados e agrupados seguindo os critérios de proximidade geográfica (Figura 6) e altitude (tabela 3) para que fossem realizados os preenchimentos das falhas foram criados três grupos de análise (Figura 7).

Figura 7 – Divisão dos grupos de processamento.



Fonte: A autora (2021).

Grupo 1 – Municípios caracterizados como área de brejo de altitude (Triunfo e Santa Cruz da Baixa Verde);

Grupo 2 – Médio e baixo Pajeú (Calumbi, Betânia, Custódia, Floresta, Serra Talhada, São José do Belmonte, Mirandiba, Carnaubeira da Penha, Belém de São Francisco e Itacuruba);

Grupo 3 – Municípios que compõe o alto Pajeú (Flores, Itapetim, Brejinho, São José do Egito, Santa Terezinha, Tuparetama, Ingazeira, Tabira, Solidão, Afogados da Ingazeira, Igaraci, Carnaíba, Quixabá).

Além do já explanado, a principal função da divisão dos grupos de processamento do preenchimento das falhas advém do fato de que cada área da bacia

possui características climáticas distintas, bem como distintos sistemas atmosféricos atuantes, fazendo com que ocorra grande variabilidade da precipitação. Eles também foram divididos em períodos de acordo com a disponibilidade dos dados. Todos os dados analisados nesta pesquisa se estendem de 1963 a 2019, exceto os dados do grupo 1, que por se diferenciar dos demais possuem dois períodos de dados, de 1933 a 1990 e de 1990 a 2019.

Os resultados foram processados e compilados no Microsoft Excel, onde também foram gerados médias, desvio padrão, erro padrão, índices de correlação e regressão dos dados preenchidos que é adotado como forma de avaliação do melhor método (MELLO; KOHLS; OLIVEIRA, 2017), também foram calculados ME, MAE, RMSE e MAPE como forma de complementar a avaliação de cada método de preenchimento.

### 3.2.1 Média aritmética simples

A média aritmética simples é o modelo mais utilizado para qualquer tipo de estudo. Ele consiste apenas na soma de todos os valores a serem utilizados divididos pela quantidade (Equação 1).

$$x = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

Onde X se refere aos dados de outros postos e n ao número de postos utilizadas.

### 3.2.2 Regressão Linear simples e múltipla

A Regressão Linear Simples e Regressão Múltipla, consistem no ajuste da regressão simples ou múltipla, respectivamente, entre um posto de apoio e aqueles que possui a falha, sendo a última variável dependente da primeira. Quando a função f que relaciona duas variáveis é do tipo  $f(X) = a + bx$  temos o modelo de regressão simples. A variável X é a variável independente da equação enquanto  $Y = f(X)$  é a variável dependente das variações de X. Primeiramente, deve-se calcular o beta (coeficiente angular da reta de ajuste) (Equação 2) e o alfa (ponto em que a reta toca o eixo y) (Equação 3) da equação. Para esse procedimento foram utilizados dados diários e posteriormente calculadas as médias mensais.

$$\beta = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{\sum y_i - \beta \sum x_i}{n} \quad (3)$$

Onde n é a quantidade de dados na amostra.

Após isso é necessário calcular a reta (Equação 4) e a Soma dos Quadrados dos Desvios (SQD) da reta (Equação 5).

$$Reta = \alpha + \beta * x \quad (4)$$

$$SQD = (reta - \sum reta)^2 \quad (5)$$

Após esses procedimentos é calculado o r (Equação 6), que é basicamente o quanto o modelo foi capaz de explicar os dados.

$$r = \frac{\sum(\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum y^2 - n(\bar{y})^2} \quad (6)$$

Onde  $\hat{y}$  é o valor estimado pelo modelo da reta de ajuste,  $\bar{y}$  é a média dos valores estimados pelo modelo e n é a quantidade de dados na amostra.

Na regressão múltipla as informações pluviométricas são correlacionadas com as correspondentes observações de vários postos vizinhos (Equação 7).

$$P_y = a_0 + a_1 * p_1 + a_2 * p_2 + a_3 * p_3 \dots \quad (7)$$

Onde:

$P_y$  = precipitação do posto com falha para preenchimento

$a_0$  = coeficiente interseção

$a_1$  = coeficiente da variável X1

$a_2$  = coeficiente da variável X2

$a_3$  = coeficiente da variável X3

$p_1, p_2, p_3$  = Precipitação dos demais posto.

### 3.2.3 Ponderação regional e Ponderação regional com base em regressões lineares

Na ponderação regional, são selecionados pelo menos 3 postos que possuam no mínimo 5 anos de dados e que se localizem em uma região climática semelhante ao posto a ser preenchido (Equação 8).

$$y = \frac{1}{N} \left( \frac{x_1}{x_{m1}} + \frac{x_2}{x_{m2}} + \frac{x_3}{x_{m3}} \right) y_m \quad (8)$$

Onde:

Y = precipitação a ser estimada

N = Número de postos utilizados para preenchimento

X1, x2, x3... = precipitações correspondentes ao mês que se pretende preencher

Xm1, xm2, xm3... = precipitações médias dos postos utilizados utilizadas

Ym = Precipitação média do posto com falha.

Para a ponderação regional com regressões lineares, para o preenchimento de falhas nos dados de precipitação, foi utilizado o método de ponderação regional, que possui base em regressões lineares, consistindo em estabelecer regressões lineares entre os postos com dados a serem preenchidos e cada um dos postos vizinhos, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, ..., X<sub>n</sub> (PRUSKI et al., 2004). De cada uma das regressões lineares efetuadas, obtém-se o coeficiente de correlação r, sendo o preenchimento realizado com base na equação 9.

$$W_{xy} = \frac{r_{yxj}}{(r_{yx1} + r_{yx2} + r_{yx3} + \dots + r_{yxn})} \quad (9)$$

$W_{xy}$  = O fator de peso entre os postos X e Y

$r_{yx}$ ? = O coeficiente de correlação entre os postos

N = número total de postos utilizados

A soma de todos os fatores de peso deve ser a unidade. O valor a preencher no posto Y é obtido por (Equação 10).

$$y_c = (x_1 w_{x1} + x_2 w_{x2} + \dots + x_n w_{xn}) \quad (10)$$

Onde:

x1 = valor do posto sem falhas

Wxn = Peso obtido para cada posto

### 3.2.4 Método da Dupla Massa

O método de Dupla Massa foi empregado com o objetivo de avaliar a consistência dos dados através da metodologia sugerida por Bertoni e Tucci (2007) e aplicada por Wissmann *et al.* (2006), Endo, Sampaio e Suszek (2007) e Carvalho e Ruiz (2016). (SILVA; JARDIM, 2017), através da construção de gráficos de dispersão que apresentam os valores correspondentes aos totais acumulados de precipitação. Nesses gráficos são plotados os valores acumulados do posto a corrigir (eixo das ordenadas) e da média dos valores acumulados nos postos de apoio (eixo das

abscissas), as quais devem ter a mesma escala em cada eixo, conforme na Figura 7 (SILVA; JARDIM, 2017).

Segundo Santos (2001), caso se observe um desvio na declividade da reta duplo acumulativa originada de dois postos, as observações mais antigas podem ser corrigidas pela Equação 11.

$$P_{est} = \frac{m_1}{m_2} P_{obs} \quad (11)$$

Onde:

$P_{obs}$  = precipitação observada no período a ser corrigido;

$P_{est}$  = precipitação estimada no período a ser corrigido;

$m_1$  e  $m_2$  = coeficientes angulares da reta nos períodos recente e antigos.

### 3.2.5 Coeficiente de correlação de Pearson

Para avaliar o desempenho dos métodos de preenchimento de falhas, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson. Ele é um dos métodos usados para uma ampla classe de relacionamentos entre variáveis. É baseado na matriz de covariância dos dados para avaliar a força do relacionamento entre dois vetores (MU; LIU; WANG, 2018).

O coeficiente de correlação de Pearson de duas variáveis  $x$  e  $y$  é formalmente definido como a covariância das duas variáveis divididas pelo produto de seus desvios padrão (que atua como um fator de normalização) (Equação 12).

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \sum y_i - \bar{y}}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (12)$$

Onde:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i;$$

$$x_i = \text{Média de } x;$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i;$$

$$y_i = \text{média de } y.$$

O coeficiente  $r_{xy}$  varia de -1 a 1 e é invariável a transformação linear de ambas as variáveis.

### 3.2.6 Análise de tendência e testes de Mann-Kendall, Cox-Stuart e Wald-Wolfowitz

#### 3.2.6.1 Mann-Kendall

O método se baseia em rejeitar ou não uma análise nula ( $H_0$ ) de que não exista tendência na série de dados, adotando-se um nível de significância. O nível de significância pode ser interpretado como a probabilidade de cometer-se o erro de rejeitar a  $H_0$  quando esta for verdadeira (SALVIANO; GROppo; PELLEGRINO, 2016).

No sentido de se avaliar o grau de significância estatística nesta tendência positiva, foi aplicado o Teste de Mann-Kendall, que é recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) em estudos de tendências em séries temporais (BLAIN, 2010; FOLHES; FISCH, 2006; PAIVA; CLARKE, 1995). Para um conjunto de dados  $x_1, x_2, x_3 \dots, x_n$ , com  $n > 4$ , O teste de Mann-Kendall (MANN, 1945) utiliza as seguintes equações:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (13)$$

Onde a função “sing” é a variância de S, denotada por  $[\text{Var}(S)]$ , definida por:

$$\text{Sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{se } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{se } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (14)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (15)$$

Com a iteração, a variação é:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g tp(tp-1)(2tp+5)] \quad (16)$$

Onde:

G = quantidade de grupos de dados repetidos;

p t = quantidade de dados no p-ésimo grupo.

Assim, S e Var (S) calculam a estatística Z, com distribuição normal padrão:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{[\text{Var}(S)]^{\frac{1}{2}}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{(\text{Var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (17)$$

Para a análise de tendência, ele usa o valor de  $Z$ . Um valor positivo de  $Z > 0$  significa uma tendência crescente e um valor negativo  $Z < 0$ , uma tendência decrescente. O nível de significância  $\alpha$  é adotado  $\alpha = 0,05 = 5\%$  para o teste de Mann-Kendall. Se a probabilidade de  $p$  do teste de Mann-Kendall for menor que o nível  $\alpha$ ,  $p < \alpha$ , existe uma tendência estatisticamente significativa, enquanto um valor  $p > \alpha$  confirma uma tendência insignificante. Para amostras em que não há tendências, o valor de  $Z$  é próximo de zero (FERRARI, 2012).

### 3.2.6.2 Cox-Stuart

O teste de Cox-Stuart pode ser obtido através das seguintes equações:

Considerando um conjunto de observações  $\{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$ , agrupa-se as observações em pares  $(Z_1, Z_{1+c}), (Z_2, Z_{2+c}), \dots, (Z_N, Z_{N-c}, Z_N)$ , onde  $c = \frac{N}{2}$  se  $N$  for par e  $c = \frac{N+1}{2}$  se  $N$  for ímpar. A cada par de observações é associado o sinal positivo “+” se  $Z_i < Z_{i+c}$  e o sinal “-” se  $Z_i > Z_{i+c}$ . Caso  $Z_i = Z_{i+c}$ , elimina-se essa observação. Seja  $n$  o número de pares onde  $Z_i \neq Z_{i+c}$ , procura-se testar:

$$H_0: P(Z_i < Z_{i+c}) = P(Z_i > Z_{i+c}), \forall i: \text{Não existe tendência}$$

$$H_1: P(Z_i < Z_{i+c}) \neq P(Z_i > Z_{i+c}), \forall i: \text{Existe tendência}$$

Este é um teste bilateral onde a estatística do teste é dada por:

$T =$  Número de pares com sinal “+”.

### 3.2.6.3 Wald-Wolfowitz

O teste de Wald-Wolfowitz é utilizado para testar a hipótese de independência de séries históricas de dados. Ele pode ser obtido através das equações abaixo:

Dada uma amostra  $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  de tamanho  $N$  e as diferenças  $\{X'_1, X'_2, \dots, X'_n\}$  entre as observações  $X_i$  e a média amostral  $\bar{X}$ , a estatística do teste de Wald-Wolfowitz é dada pela Equação 18.

$$R = \sum_{i=1}^{N-1} X'_i X'_{i+1} + X'_1 X'_N \quad (18)$$

Sob a hipótese de que as observações são independentes, pode-se demonstrar que a estatística  $R$  segue uma distribuição normal de média igual  $E[R]$  (Equação 19) e variância  $\text{Var}[R]$  (Equação 20), sendo:

$$E[R] = \frac{S_2}{N-1} \quad (19)$$

$$VAR[R] = \frac{S_2^2 S_4}{N-1} + \frac{S_2^2 2S_4}{(N-1)(N-2)} - \frac{S_2^2}{(N-1)^2} \quad (20)$$

Onde  $r$  se refere a ordem das amostras com relação aos dados observados, com  $S_r = Nm'_r$  e  $m'_r = \sum_{i=1}^N (X'_i)^r / N$ . Portanto, se a hipótese é nula (as amostras são independentes), o teste de Wald-Wolfowitz pode ser obtido através da Equação 21.

$$T = \frac{R - E[R]}{\sqrt{VAR[R]}} \quad (21)$$

Que segue uma distribuição normal padrão. Por se referir à um teste bilateral, deve-se rejeitar a hipótese nula se  $|T| = Z_{1-\alpha/2}$ .

Para o processamento dos índices mencionados, foi utilizado o aplicativo ActionStat, disponibilizado gratuitamente através do portal <<http://www.portalaaction.com.br/content/download-action>> adotando o índice de significância de 95%.

### 3.2.7 Métodos de análise de erros

Neste estudo foram utilizados cinco métodos de métrica de erros para avaliar a precisão dos métodos de preenchimento conforme a descrição abaixo:

ME (Mean Error) – Erro médio

$$ME = \sum_{i=1}^N \frac{p_i - t_i}{N} \quad (22)$$

RMSE (Root Mean Squared Error) – Erro médio quadrático

Pode ser interpretado como uma medida do desvio médio entre observado e estimado. É considerado um dos indicadores para avaliar o desempenho de um modelo (Equação 23).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (p_i - t_i)^2}{N}} \quad (23)$$

MAE (Mean Absolut Error) – Erro médio absoluto

Como o RMSE, o MAE representa o desvio médio entre observado e predito. Comparando o RMSE e o MAE, o primeiro dá um peso maior para desvios grandes (pois são elevados ao quadrado), enquanto o MAE dá um peso igual a todos os desvios (Equação 24). Recomendado por Fox (1981), o MAE deve ser calculado enquanto se

estima o desempenho do modelo, pois é menos sensível a valores extremos (KANDA *et al.*, 2017).

$$MAE = \sum_{i=1}^N \frac{|p_i - t_i|}{N} \quad (24)$$

MAPE (Mean Absolut Percentage Error) - Erro absoluto médio percentual

O MAPE mede o erro em porcentagem (Equação 25).

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{|p_i - t_i|}{|t_i|}}{N} * 100 \quad (25)$$

Onde:

$p_i$  = Precipitação observada

$t_i$  = Precipitação estimada pelo método de preenchimento

N = Total de dados da amostra

### 3.3 Índices de análise da precipitação

#### 3.3.1 Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

O IAC é um índice que permite analisar os extremos climáticos, dessa forma, é bastante eficaz para caracterização de períodos secos e úmidos.

O índice de anomalia de precipitação para a área de estudo foi calculado em escala mensal. Para isso, foram utilizadas as Equações 26 e 27.

- Para anomalias positivas

$$IAC = 3 \left[ \frac{(N - \bar{N})}{(M - \bar{N})} \right] \quad (26)$$

- Para anomalias negativas

$$IAC = -3 \left[ \frac{(N - \bar{N})}{(X - \bar{N})} \right] \quad (27)$$

Onde, N se refere a precipitação total (em mm) do mês que será gerado o IAC;  $\bar{N}$  corresponde a média geral (mensal) da série histórica (mm); M representa a média das dez maiores precipitações mensais da série história e X a média das dez menores. As anomalias positivas são representadas por valores acima da média e as negativas, abaixo da média e seus graus de intensidade podem ser avaliados conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Intensidade do Índice de Anomalia de Chuva - IAC.

Classes	IAC
Extremamente Úmido	$\geq 4,00$
Umidade alta	3,00 a 3,99
Umidade moderada	2,00 a 2,99
Umidade suave	0,5 a 1,99
Normal	-0,49 a 0,49
Seca suave	-1,99 a -0,5
Seca moderada	-2,00 a -2,99
Seca alta	-3,00 a -3,99
Extremamente seco	$\leq -4,00$

Fonte: Adaptado de Fernandes et al. (2009).

### 3.3.2 Índice de Precipitação Padronizado (SPI)

Para calcular o SPI precisa de uma série com no mínimo 30 anos de dados. Neste estudo ele foi processado através do software SPI Generator, obtido gratuitamente através do portal <<https://drought.unl.edu/droughtmonitoring/SPI/SPIProgram.aspx>> e escolhida a escala temporal de 12 meses, isso significa que o SPI foi calculado com base na comparação de precipitação de 12 meses consecutivos com base em 12 meses anteriores (dessa forma, para o primeiro ano de cada série não foi gerado o SPI). Em cada mês de dezembro é gerado o SPI anual. O SPI é determinado a partir de funções de densidade de probabilidade que descrevem as séries históricas de precipitação (MACEDO *et al.*, 2010). Sendo ajustado por meio da distribuição, que posteriormente é transformada em uma distribuição normal, que por definição, apresenta sua média com valor zero e variância unitária. Toda a metodologia a seguir foi abordada por Fernandes *et al.* (2009). A distribuição gama é definida pela função de densidade de probabilidade dada pela Equação 28.

$$g(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} X^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (28)$$

Onde:

$\alpha > 0$  = Parâmetro de forma (adimensional);

$\beta > 0$  = parâmetro de escala (mm);

$X > 0$  = Total de precipitação (mm);

$\Gamma(X)$  = Função gama.

A função gama é obtida por meio da Equação 29.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (29)$$

Para estimar os parâmetros de forma  $\alpha$  e  $\beta$ , utiliza-se o método da máxima verossimilhança (THOM, 1966) (Equações 30, 31 e 32):

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (30)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad (31)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x) \quad (32)$$

Onde:

$\bar{X}$  = Média aritmética da precipitação (mm);

$\ln$  = Logaritmo neperiano;

$N$  = Número de observações da amostra.

Os resultados dos parâmetros de forma e escala são então usados para encontrar a probabilidade cumulativa de um evento de precipitação observado para uma escala de tempo mensal. A probabilidade cumulativa é dada pela Equação 33.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (33)$$

Substituindo  $t = \frac{x}{\beta}$ , a equação anterior transforma-se na função gama incompleta (Equação 34)

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{\frac{x}{\beta}} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (34)$$

Desde que a função gama é indeterminada para  $x = 0$  e uma distribuição de precipitação pode conter zeros, a probabilidade cumulativa toma o seguinte aspecto (Equação 35)

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (35)$$

Onde:

$H(x)$  = distribuição de probabilidade cumulativa;

$q$  = probabilidade de ocorrência de valores nulos;

$G(x)$  = distribuição cumulativa teórica.

A distribuição de probabilidade cumulativa  $H(x)$  é então transformada em uma variável aleatória normalizada ( $Z$ ) com média zero e desvio padrão 1, onde a variável ( $Z$ ) corresponderá ao valor de SPI. Essa é uma transformação equiprobabilística que Panofsky e Brier (1958) definiram como uma característica essencial para transformar uma variável de distribuição gama para uma variável com uma distribuição normal, onde a probabilidade de ser menor que um valor dado será igual à probabilidade de ser menor que o valor correspondente da variável transformada.

As probabilidades cumulativas empíricas foram bem desenvolvidas por Panofsky e Brier (1958), onde os dados de precipitação são ordenados em ordem crescente de magnitude, de forma que os valores são baixos e onde o tamanho da amostra é dado pela Equação 36.

$$q = \frac{m}{n+1} \quad (36)$$

Onde:

$m$  = número de ordem dos valores de 0 em uma série climatológica;

$n$  = tamanho da amostra.

Visto que seria desnecessário reproduzir vários gráficos para cada localidade e em todas as escalas temporais possíveis e para cada mês do ano, o valor de ( $Z$ ) ou SPI é obtido mais facilmente pela aproximação matemática desenvolvida por Abramowitz e Stegun (1965), que converte a probabilidade cumulativa em uma distribuição normal a variável ( $Z$ ). Em que  $Z$  é definido pelas seguintes equações (Equações 37, 38, 39 e 40):

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{Para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (37)$$

$$Z = SPI = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{Para } 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (38)$$

Sendo  $t$  definido pelas equações:

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad \text{Para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (39)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{1 - (H(x))^2} \right]} \quad \text{Para } 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (40)$$

Os coeficientes utilizados são:

$$C0 = 2,515517$$

$$C1 = 0,802853$$

$$C2 = 0,010328$$

$$d1 = 1,432788$$

$$d2 = 0,189269$$

$$d3 = 0,001308$$

O SPI é classificado de acordo com a escala da Tabela 5:

Tabela 5 – Intensidade do Índice Padronizado de Precipitação.

<b>Classes</b>	<b>SPI</b>
Extremamente úmido	$\geq 2,00$
Muito úmido	1,50 a 1,99
Moderadamente úmido	0,1 a 1,49
Próximo ao normal	0,99 a -0,99
Moderadamente seco	-1,00 a -1,49
Muito seco	-1,50 a -1,99
Extremamente seco	$\leq 2,00$

Fonte: McKee, Doesken e Kleist (1993).

### 3.3.3 Índice de Walsh

O índice de Walsh (IW) (Equação 41), possibilita comparar de forma quantitativa a sazonalidade da precipitação em diferentes regiões (Walsh e Lawler, 1981; Walsh, 1996).

$$IW = \frac{1}{R_i} \sum_{n=1}^{n=12} \left| x_{i,n} - \frac{R_i}{12} \right| \quad (41)$$

Onde:

$R_i$  = Precipitação total anual

$x_{i,n}$  = Precipitação mensal no mês n.

O índice de Walsh é classificado segundo a Tabela 6:

Tabela 6 – Intensidade do índice de Walsh.

<b>REGIME DE CHUVAS</b>	<b>IW</b>
Bem distribuídas	$\leq 0.19$
Bem distribuídas, com estação chuvosa definida	0.20 - 0.39
Sazonal, com curta estação seca	0.40 - 0.59
Sazonal	0.60 - 0.79

Sazonal, com longa estação seca	0.80 - 0.99
Chuvas concentradas em 3 meses ou menos	1.00 - 1.20
Chuvas concentradas em 1 ou 2 meses	≥1.20

Fonte: Walsh e Lawler (1981).

### 3.4 AGRICULTURA

Foram obtidos dados dos censos agropecuários de 2006 e 2017 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Os dados do censo 2006 podem ser obtidos através do portal (<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2006/segunda-apuracao>) e os do censo 2017 através do portal (<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>), onde foram filtrados os dados referentes a Agricultura familiar para o ano de 2006 e agroindústria rural para o ano de 2017 devido as duas bases de dados estarem dispostas em formatos diferentes. Ainda assim, quase todos os dados do censo 2017 referentes a quantidade da produção estão restritos para manter o sigilo do informante, devido a isso, foram utilizados dados referentes ao número de estabelecimentos quando não tinha o anterior. Os dados foram agrupados por tipo de indústria e tipo de produção.

Também foram utilizados os dados de produção agrícola municipal anual (referente ao rendimento em kg/ha) por tipo de cultura obtidos no portal do BDE (Base de dados do Estado de Pernambuco) através do site (<http://www.bde.pe.gov.br/>), porém, ocorre a disponibilidade de dados de 1990 até 2019, devido a isso, foi utilizada a plataforma SIDRA – Sistema de Recuperação Automática do IBGE, através do portal (<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/>) para a obtenção de dados anteriores a 1990. Primeiramente foram escolhidas sete culturas de análise, três permanentes e quatro temporárias seguindo como critério aquelas que possuíssem dados sem falhas e que estivessem presentes na maioria ou em todos os municípios. Com esses filtros, foram escolhidas as culturas permanentes de Banana, Coco de baia e Manga e as temporárias de arroz, feijão, mandioca e milho.

Todos os dados foram trabalhados e processados utilizando o software Excel.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foram calculadas as porcentagens de falhas nos dados de precipitação para cada posto a ser utilizado (Tabela 7). Como se trata de uma área em que historicamente a cobertura espacial bem como a coleta de dados não é feita corretamente, em alguns casos a quantidade de falhas ultrapassam os 80% (Postos 528 (Ingazeira), 288 (Carnaubeira da Penha), 63 (Itacuruba) e 11 (São José do Belmonte). Coincidentemente, todos esses postos estão localizados em áreas com difícil acesso.

Totalmente sem falhas na área de estudo só foi possível a aquisição de dois postos de coletas de dados, sendo eles o 42 (Flores) e o 297 (Serra Talhada). Fora da área em que foi utilizado para o preenchimento inicial, foi encontrado o posto 738013 (Princesa Isabel), localizado no estado da Paraíba que faz divisa territorial com o município de Triunfo. Para a complementação, principalmente do grupo 1, se fez necessária a utilização de dados de satélite (TRMM) que fornecem uma boa estimativa da precipitação local (AIRES; NETO; MELO, 2016; NÓBREGA; SOUZA; GALVÍNCIO, 2008; PESSI et al., 2019; SOARES; PAZ; PICCILLI, 2016). Em média, há cerca de 46% de falhas nos dados utilizados.

Geralmente, para este tipo de estudo, se faz necessário a utilização de mais postos sem falhas, porém, como não é possível e para que cada município tenha uma representação, foram toleradas falhas maiores. Salientando que independente das falhas, cada posto utilizado possui ao menos cinco anos de dados contínuos.

Tabela 7 – Porcentagem de falhas por posto.

Posto	Falhas (%)	Posto	Falhas (%)	Posto	Falhas (%)	Posto	Falhas (%)	Posto	Falhas (%)
<b>182</b>	12	<b>738035</b>	67	<b>146</b>	28	<b>528</b>	80	<b>288</b>	80
<b>184</b>	40	<b>42</b>	20	<b>69</b>	41	<b>414</b>	26	<b>11</b>	82
<b>357</b>	76	<b>296</b>	42	<b>434</b>	65	<b>93</b>	23	<b>266</b>	40
<b>54</b>	33	<b>32</b>	57	<b>255</b>	46	<b>419</b>	60	<b>197</b>	53
<b>12</b>	43	<b>13</b>	20	<b>189</b>	60	<b>297</b>	0	<b>44</b>	39
<b>473</b>	74	<b>471</b>	77	<b>155</b>	34	<b>91</b>	77	<b>194</b>	0
<b>92</b>	31	<b>74</b>	53	<b>238</b>	34	<b>63</b>	81	<b>236</b>	38

Fonte: A autora (2021)

#### 4.1 APLICAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA O PREENCHIMENTO DE FALHAS EM DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Com a montagem do banco de dados, os postos foram separados por municípios e/ou proximidade geográfica também levando em consideração a altitude de sua localização (Tabela 3), de forma a seguir a metodologia pretendida. Após esse procedimento, eles foram preenchidos de acordo com as informações abaixo (Tabela 8):

Tabela 8 – Lista de postos utilizados para o preenchimento das falhas.

<b>Posto a ser preenchido</b>	<b>Posto base</b>	<b>Posto a ser preenchido</b>	<b>Posto base</b>	<b>Posto a ser preenchido</b>	<b>Posto base</b>
<b>738035</b>	182, 738013 e TRMM	54	44 e 11	471	473 e 155
<b>182</b>	738013 e 738035	11	91 e 189	184	194 e 42
<b>434</b>	63 e 288	44	11 e 91	42	194 e 12
<b>266</b>	189 e 91	12	13 e 189	414	146 e 528
<b>93</b>	266 e 189	189	12 e 13	69	414 e 528
<b>91</b>	13 e 189	297	12 e 189	92	296 e 69
<b>288</b>	54 e 197	13	12 e 236	357	74 e 238
<b>197</b>	297 e 419	236	13 e 297	238	184 e 42
<b>32</b>	297 e 255	146	74 e 357	74	238 e 184
<b>255</b>	419 e 297	528	146 e 357	296	69 e 528
<b>419</b>	255 e 32	155	92 e 74		
<b>63</b>	297 e 32	473	92 e 155		

Fonte: A autora (2021).

Após esse processo, foi visto que nem todos os postos pretendidos poderiam ser utilizados no estudo, principalmente devido ao curto período de dados disponíveis para o preenchimento das falhas. Eles também foram escolhidos levando em consideração sua localização geográfica, principalmente com o objetivo de que todos os municípios da bacia tivessem ao menos um posto pluviométrico para representar

suas condições climáticas. Devido a isso, foram escolhidos os seguintes postos para prosseguir com o estudo (Tabela 9):

Tabela 9 – Lista dos postos utilizados no estudo.

<b>Postos analisados</b>						
182	738035	146	528	473	471	155
184	42	69	414	92	74	238
357	296	434	93	91	288	197
54	32	255	419	63	11	44
12	13	189	297	236	266	194

Fonte: A autora (2021).

Foram aplicados cinco métodos estatísticos para o preenchimento das falhas. São eles: Média aritmética simples, Ponderação regional, Ponderação regional com base em regressões lineares, Regressão linear simples e Regressão linear múltipla.

A divisão dos grupos de análise se deve principalmente ao fato da maior irregularidade de precipitação na área de estudo, onde seria inviável, por exemplo, utilizar dados do posto 182 (Triunfo) com média de precipitação anual superior a 1000mm com o posto 13 (Serra Talhada), que mesmo sendo um município vizinho possui precipitação média anual de 651mm, os períodos são diferentes devido a disponibilidade dos dados mas todos os índices foram calculados apenas dentro dos postos com o mesmo período.

Com a aplicação dos métodos, foram gerados gráficos de consistência para cada posto e cada método de preenchimento utilizando o método da dupla massa conforme exposto no apêndice A, onde podemos ver que todos os postos possuem valores de  $R^2$  superiores a 0.99 em sua consistência. Mello, Kohls e Oliveira (2017) e Oliveira *et al.* (2010), também obtiveram valores de  $R^2$  superiores a 0.99 na consistência através do método da dupla massa quando aplicaram o ajuste para o município de Joinville e a região central do estado de Goiás, respectivamente.

Como forma de mostrar o quão bem os valores foram ajustados entre os postos preenchidos e suas bases, foram calculados o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o erro padrão entre elas (Tabelas 10, 11 e 12). O coeficiente de correlação ( $r$ ) mede o grau de associação linear entre séries temporais completas e reconstruídas. Com isso, podemos ver que para toda a série e

modelos não foram encontrados valores de  $r$  menores que 0.71, demonstrando que os postos preenchidos se correlacionam bem com os escolhidos para aplicar o preenchimento. Porém, os melhores valores no geral, foram encontrados através da aplicação do método de ponderação regional.

Com relação ao coeficiente de determinação, todos os postos apresentaram coeficiente de determinação superior a 0.5, valor sugerido por Pruski (2004). Segundo Filho e Lima (2016), esse coeficiente indica a porcentagem desses registros na série temporal completa que pode ser explicado pelos registros observados. Quanto maior o valor de  $R^2$  mais explicativo é o modelo linear. Para esse índice, o menor valor encontrado foi de 0.51 para a regressão entre os postos 155 e 74 (localizados nos municípios de Itapetim e Tabira, respectivamente), demonstrando que 75% da chuva da série preenchida não é compartilhada com o posto base, fato que pode ser explicado através da distância entre os postos e a diferença de altitude, mas no geral, foram os que mais se ajustaram um ao outro para que o preenchimento fosse possível. Na maioria das análises, esse valor é superior a 0.70, indicando que a série é boa e correspondente a área de estudo. No geral, para este índice, o método de Ponderação regional também foi aquele que obteve os melhores resultados. O método regressão linear múltipla foi aquele que obteve os piores resultados quando feita a análise visual.

Já o erro padrão se refere a variação da média amostral em relação à média geral. Segundo Nick e Kellner (1971), o erro-padrão é teoricamente o desvio-padrão da distribuição amostral das médias, mas praticamente é uma estimativa de erro que cometemos ao substituir o parâmetro desconhecido pela estimativa obtida através de uma amostra (FEIJOO, 2010).

Os maiores valores de erro padrão foram encontrados para o preenchimento dos postos localizados no grupo 1, que se referem ao município de Triunfo e como abordado anteriormente, é a região dentro da área de estudo que se destaca por possuir um clima diferente do padrão regional e possui precipitação elevada. Diaz, Pereira e Nóbrega (2018), também chegaram a essa conclusão aplicando apenas o método de Ponderação regional para a mesma área de estudo. Os menores valores de erro padrão foram encontrados na aplicação do preenchimento através do método média aritmética simples no grupo 2. O menor valor foi de 22.04 através dos postos 91 (Betânia) e 13 (Serra Talhada).

Tabela 10 – Estatísticas dos postos do grupo 1 (EP = Erro padrão, MS = Média simples, PR = Ponderação regional, PRRL = Ponderação regional com base em regressões lineares, RL = Regressão linear simples, RLM = Regressão linear múltipla).

Período	Postos	Métodos														
		MS			PR			PRRL			RL			RLM		
		r	R <sup>2</sup>	EP	r	R <sup>2</sup>	EP	r	R <sup>2</sup>	EP	r	R <sup>2</sup>	EP	r	R <sup>2</sup>	EP
1933 - 1990	182 e 738035	0.90	0.80	48.90	0.93	0.86	42.62	0.95	0.90	35.34	0.90	0.73	50.30	0.89	0.89	49.70
	182 e 738013	0.74	0.54	74.60	0.76	0.56	75.96	0.75	0.56	74.93	0.75	0.52	78.93	0.73	0.52	75.40
	738035 e 738013	0.86	0.74	45.45	0.88	0.76	54.54	0.86	0.73	50.66	0.86	0.76	59.20	0.87	0.72	56.30
1998 - 2019	182 e 738035	0.86	0.74	44.18	0.81	0.66	51.59	0.86	0.75	44.12	0.86	0.65	45.3	0.85	0.69	49.4
	738035 e TRMM	0.91	0.83	31.50	0.99	0.65	51.85	0.91	0.84	30.31	0.9	0.83	32.5	0.9	0.83	37.4

Fonte: A autora (2021).

Tabela 11 – Estatísticas dos postos do grupo 2 (EP = Erro padrão, MS = Média simples, PR = Ponderação regional, PRRL = Ponderação regional com base em regressões lineares, RL = Regressão linear simples, RLM = Regressão linear múltipla).

Período	Postos	Métodos														
		MS			PR			PRRL			RL			RLM		
		r	R <sup>2</sup>	EP	r	R <sup>2</sup>	EP	r	R <sup>2</sup>	EP	r	R <sup>2</sup>	EP	r	R <sup>2</sup>	EP
1963 - 2019	12 e 13	0.90	0.80	33.67	0.91	0.82	33.79	0.89	0.8	33.74	0.86	0.79	33.384	0.89	0.77	33.784
	12 e 297	0.90	0.81	32.92	0.89	0.79	36.73	0.89	0.8	33.14	0.85	0.80	31.476	0.89	0.76	32.976
	189 e 12	0.88	0.77	36.41	0.89	0.79	30.97	0.87	0.76	32.45	0.89	0.80	30.184	0.89	0.79	31.184
	189 e 13	0.90	0.81	29.95	0.90	0.80	30.13	0.89	0.8	29.18	0.88	0.83	30.676	0.90	0.79	31.676
	297 e 13	0.88	0.81	28.52	0.86	0.74	28.02	0.9	0.81	28.41	0.74	0.84	33.18	0.91	0.74	34.18
	11 e 91	0.93	0.87	24.30	0.94	0.88	26.23	0.93	0.87	24.2	0.84	0.79	31.88	0.88	0.74	32.88
	11 e 189	0.91	0.84	26.60	0.92	0.86	29.22	0.91	0.84	26.68	0.92	0.71	31.86	0.84	0.75	32.86
	44 e 11	0.81	0.66	43.77	0.86	0.74	41.67	0.85	0.73	34.91	0.90	0.72	32.02	0.85	0.74	33.02
	44 e 91	0.79	0.62	45.88	0.84	0.72	43.4	0.84	0.71	41.7	0.84	0.79	30.67	0.89	0.78	31.67
	91 e 13	0.94	0.88	22.04	0.94	0.88	24.65	0.94	0.88	21.9	0.81	0.84	29.68	0.92	0.81	30.68
	91 e 189	0.93	0.86	23.94	0.93	0.86	26.53	0.92	0.86	24.1	0.82	0.81	33.12	0.90	0.79	34.12
	189 e 266	0.89	0.79	29.99	0.89	0.79	30.08	0.89	0.79	27.48	0.88	0.73	33.17	0.84	0.78	34.17
	91 e 266	0.88	0.78	30.38	0.88	0.78	30.56	0.88	0.78	28.17	0.90	0.68	32.43	0.81	0.77	33.43
	93 e 266	0.74	0.63	34.56	0.79	0.62	34.81	0.75	0.63	36.76	0.89	0.71	33.45	0.77	0.73	34.45
93 e 189	0.80	0.64	33.69	0.8	0.64	36.78	0.8	0.64	39.11	0.88	0.78	31.32	0.88	0.74	32.32	

236 e 297	0.92	0.85	24.32	0.91	0.83	31.6	0.92	0.85	24.32	0.88	0.81	28.94	0.90	0.73	29.94
236 e 13	0.93	0.86	23.81	0.91	0.83	31.24	0.93	0.86	23.81	0.88	0.80	31.32	0.89	0.73	32.32
32 e 297	0.85	0.72	32.31	0.82	0.67	28.93	0.84	0.71	33.24	0.86	0.78	31.65	0.88	0.77	32.65
32 e 255	0.90	0.81	26.76	0.88	0.78	23.75	0.9	0.82	26.14	0.84	0.79	32.79	0.89	0.82	33.79
419 e 255	0.90	0.81	25.83	0.89	0.79	30.54	0.89	0.79	27.21	0.84	0.79	36.00	0.89	0.82	37.00
297 e 255	0.86	0.74	34.95	0.85	0.72	38.88	0.84	0.72	36.2	0.85	0.75	36.01	0.86	0.83	37.01
32 e 419	0.91	0.83	24.85	0.91	0.83	20.8	0.91	0.83	25.46	0.88	0.71	35.76	0.84	0.82	36.76
54 e 11	0.82	0.67	38.96	0.82	0.67	39.28	0.82	0.68	38.93	0.89	0.70	36.01	0.84	0.81	37.01
54 e 44	0.79	0.62	42.19	0.78	0.61	42.9	0.79	0.62	42.22	0.92	0.72	32.02	0.84	0.79	33.02
197 e 297	0.90	0.82	27.29	0.9	0.82	30.64	0.91	0.83	27.24	0.93	0.78	28.88	0.88	0.77	29.88
197 e 419	0.84	0.72	34.71	0.85	0.72	38.12	0.84	0.71	34.95	0.90	0.81	28.78	0.89	0.80	29.78
63 e 297	0.90	0.81	26.19	0.9	0.81	20.23	0.89	0.8	26.72	0.89	0.85	28.29	0.92	0.71	29.29
63 e 32	0.94	0.89	20.06	0.95	0.9	14.84	0.95	0.9	18.97	0.88	0.86	28.43	0.93	0.74	29.43
288 e 54	0.92	0.85	26.46	0.93	0.86	31.19	0.92	0.85	26.52	0.90	0.81	30.30	0.90	0.81	31.30
288 e 197	0.92	0.85	26.79	0.93	0.87	30.28	0.92	0.85	26.74	0.87	0.79	30.89	0.89	0.82	31.89
434 e 63	0.85	0.73	32.37	0.82	0.67	41.18	0.85	0.8	32.52	0.89	0.77	31.96	0.87	0.85	32.96
434 e 288	0.89	0.80	27.49	0.89	0.8	32.43	0.9	0.72	27.4	0.91	0.80	29.40	0.89	0.85	30.40

Fonte: A autora (2021).

Tabela 12 – Estatísticas dos postos do grupo 3 (EP = Erro padrão, MS = Média simples, PR = Ponderação regional, PRRL = Ponderação regional com base em regressões lineares, RL = Regressão linear simples, RLM = Regressão linear múltipla).

Período	Postos	Métodos														
		MS			PR			PRRL			RL			RLM		
		r	R <sup>2</sup>	Erro padrão	r	R <sup>2</sup>	Erro padrão	r	R <sup>2</sup>	Erro padrão	r	R <sup>2</sup>	Erro padrão	r	R <sup>2</sup>	Erro padrão
1963 - 2019	42 e 194	0.88	0.77	31.07	0.88	0.77	31.08	0.88	0.77	31.06	0.85	0.72	44.22	0.85	0.68	39.74
	42 e 12	0.81	0.67	37.77	0.81	0.67	37.87	0.82	0.67	37.77	0.80	0.65	37.95	0.81	0.74	47.53
	184 e 42	0.79	0.62	50.13	0.79	0.63	53.19	0.79	0.63	50.38	0.77	0.59	32.72	0.77	0.80	43.97
	184 e 194	0.74	0.55	54.82	0.76	0.59	56.11	0.75	0.57	54.43	0.84	0.71	37.08	0.84	0.74	37.79
	357 e 74	0.93	0.86	27.7	0.94	0.87	28.43	0.93	0.87	27.09	0.92	0.84	39.67	0.92	0.71	32.69
	357 e 238	0.91	0.82	31.32	0.92	0.84	32.43	0.91	0.82	31.85	0.88	0.77	41.77	0.88	0.69	37.24
	238 e 184	0.84	0.71	39.15	0.84	0.71	41.24	0.85	0.71	39.12	0.84	0.70	43.15	0.84	0.68	39.62
	238 e 42	0.83	0.69	40.76	0.84	0.7	41.82	0.83	0.69	40.76	0.84	0.71	43.14	0.84	0.69	41.75
	74 e 238	0.85	0.73	39.1	0.86	0.73	40.1	0.85	0.73	38.97	0.83	0.69	36.66	0.83	0.76	43.12
	74 e 184	0.8	0.64	45.46	0.8	0.64	46.4	0.8	0.64	45.51	0.81	0.66	31.12	0.81	0.82	43.16
	146 e 74	0.82	0.67	44.89	0.82	0.67	45.24	0.82	0.67	44.89	0.85	0.71	32.71	0.84	0.80	36.56
146 e 357	0.87	0.75	39.07	0.86	0.75	39.54	0.86	0.75	39.07	0.91	0.81	39.14	0.90	0.72	31.11	
528 e 146	0.94	0.87	26.02	0.92	0.85	33.9	0.93	0.88	25.72	0.94	0.86	42.43	0.93	0.67	32.71	

528 e 74	0.93	0.85	28.26	0.92	0.86	32.97	0.93	0.85	28.55	0.88	0.76	40.05	0.88	0.68	39.24
414 e 146	0.82	0.67	43.85	0.82	0.67	44.02	0.82	0.67	43.85	0.81	0.66	39.76	0.82	0.67	42.44
414 e 528	0.8	0.65	45.3	0.8	0.65	45.59	0.81	0.65	45.31	0.81	0.67	39.79	0.82	0.68	40.05
69 e 414	0.82	0.68	38.15	0.82	0.67	39.04	0.83	0.68	38.16	0.83	0.69	41.09	0.84	0.67	39.79
69 e 528	0.84	0.7	36.69	0.84	0.7	32.27	0.84	0.7	36.68	0.82	0.67	40.74	0.82	0.67	39.79
296 e 69	0.79	0.63	44.43	0.79	0.62	47.2	0.8	0.63	44.53	0.82	0.68	44.24	0.83	0.64	41.10
296 e 528	0.85	0.72	38.25	0.85	0.72	40.09	0.85	0.72	38.17	0.83	0.70	49.46	0.84	0.59	40.71
92 e 296	0.81	0.67	40.6	0.81	0.67	40.81	0.82	0.67	40.59	0.80	0.65	45.17	0.81	0.66	44.22
92 e 69	0.79	0.62	43.37	0.78	0.61	44.1	0.79	0.62	43.38	0.79	0.63	39.54	0.80	0.72	49.46
155 e 92	0.79	0.63	48.75	0.79	0.62	49.62	0.8	0.63	48.7	0.75	0.57	29.68	0.76	0.84	44.98
155 e 74	0.71	0.51	56.25	0.71	0.51	56.54	0.72	0.51	56.29	0.81	0.67	29.63	0.82	0.85	39.49
473 e 92	0.91	0.83	30.51	0.9	0.81	40.62	0.92	0.83	29.95	0.91	0.82	28.52	0.91	0.87	29.57
473 e 155	0.9	0.81	31.87	0.91	0.83	38.03	0.9	0.81	32.23	0.92	0.85	30.38	0.92	0.85	29.80
471 e 473	0.94	0.88	26.65	0.95	0.91	29.45	0.94	0.88	26.53	0.93	0.87	32.50	0.93	0.80	28.58
471 e 155	0.92	0.85	30.38	0.93	0.86	37.4	0.92	0.84	30.63	0.92	0.85	53.10	0.92	0.81	30.63

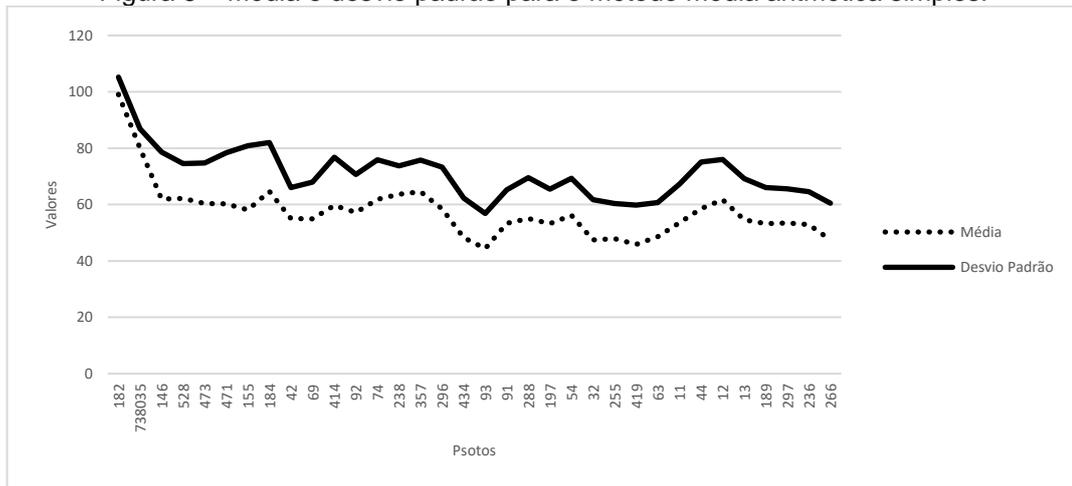
Fonte: A autora (2021).

Após a análise pelos grupos e interpostos, eles foram analisados individualmente (todos com os dados preenchidos). Para isso foram calculados as médias e o desvio padrão em função da média para cada posto de acordo com o método de preenchimento aplicado. Conforme pode ser observado nas Figuras 8, 9, 10, 11, 12, em todas os postos e métodos de preenchimentos, o desvio padrão é maior que a média, indicando que os dados variam muito, o que é normal para séries de precipitação, principalmente em uma área de clima semiárido. O desvio padrão mostra como os dados estão distribuídos ao longo e em função da média. Os maiores desvios também foram encontrados para os postos do município de Triunfo (182) e os menores para os postos 32 (Floresta) e 63 (Itacuruba), que se localizam próximos a foz do rio Pajeú, logo, na área da bacia de menor altitude e menor precipitação.

Com relação aos desvios com os dados preenchidos, nota-se que o método da ponderação regional apresenta valores mais alternados e com picos e quedas maiores, assim como o método da regressão linear simples, quando feita a comparação entre os métodos. Também se nota que as médias de precipitação dos postos alteram muito de acordo com o método aplicado. No método da média aritmética simples, as médias demonstraram um padrão mais linear, assim como no método de ponderação regional com base em regressões lineares. Quase metade dos postos possuem médias mensais em torno dos 60 mm, os demais entre 40 e 60mm. Nenhum posto (excluindo as do grupo 1), apresentam médias de precipitação superiores a 80 mm pelo método da média simples assim como no método de

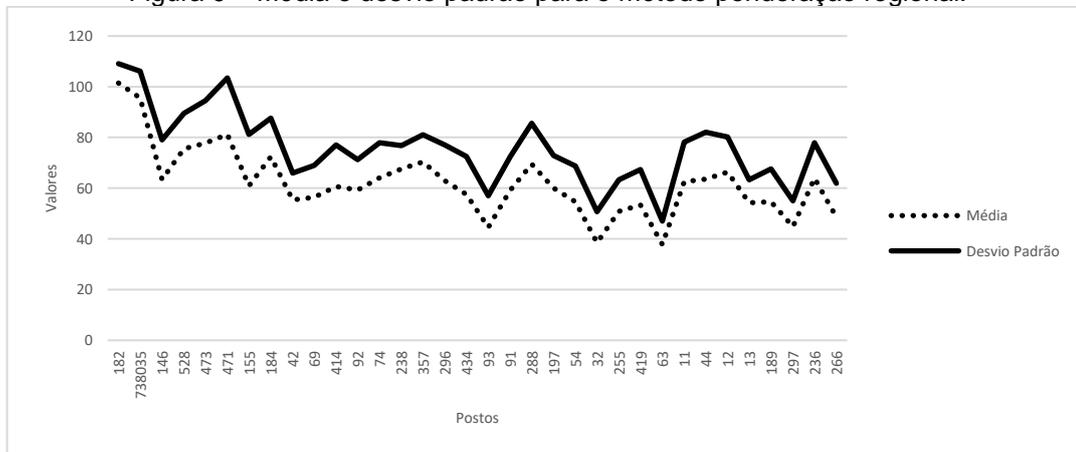
ponderação regional com base em regressões lineares. No método da ponderação regional os valores oscilam de próximo aos 40 a 80 mm. Foi notado durante o processamento que esse modelo superestima os valores de precipitação durante o preenchimento.

Figura 8 – Média e desvio padrão para o método média aritmética simples.



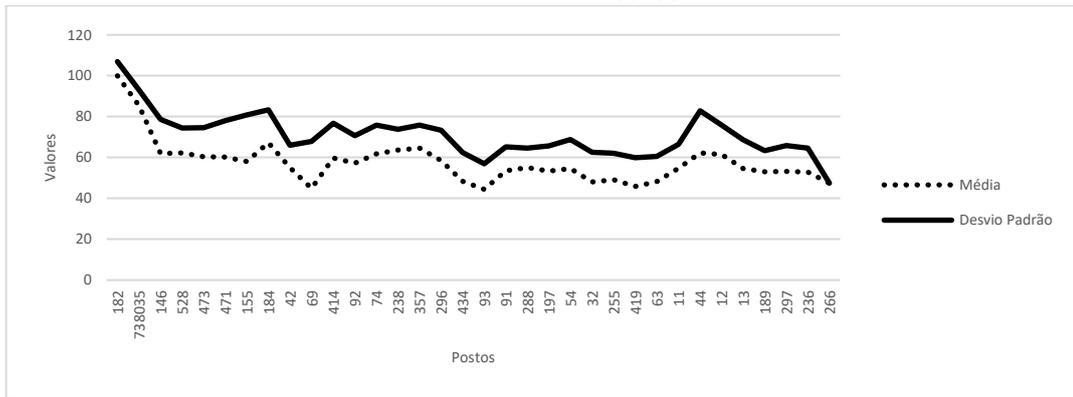
Fonte: A autora (2021).

Figura 9 – Média e desvio padrão para o método ponderação regional.



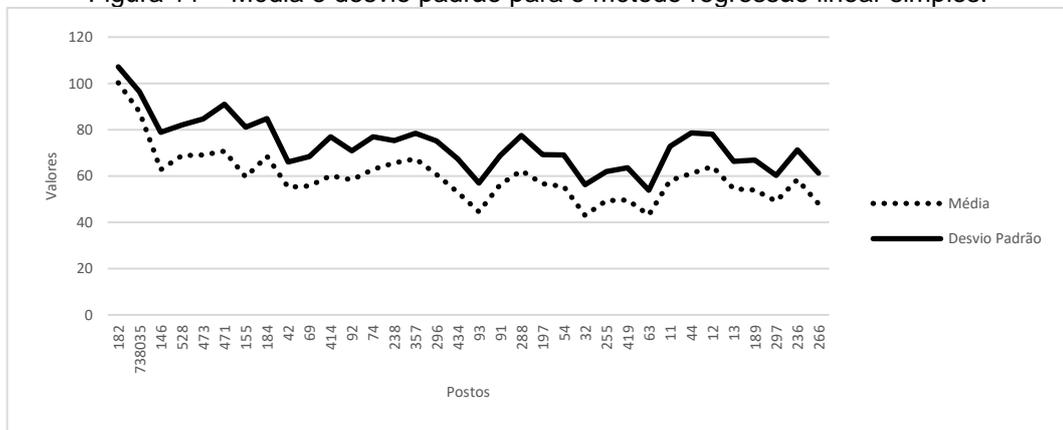
Fonte: A autora (2021).

Figura 10 – Média e desvio padrão para o método ponderação regional com base em regressões lineares.



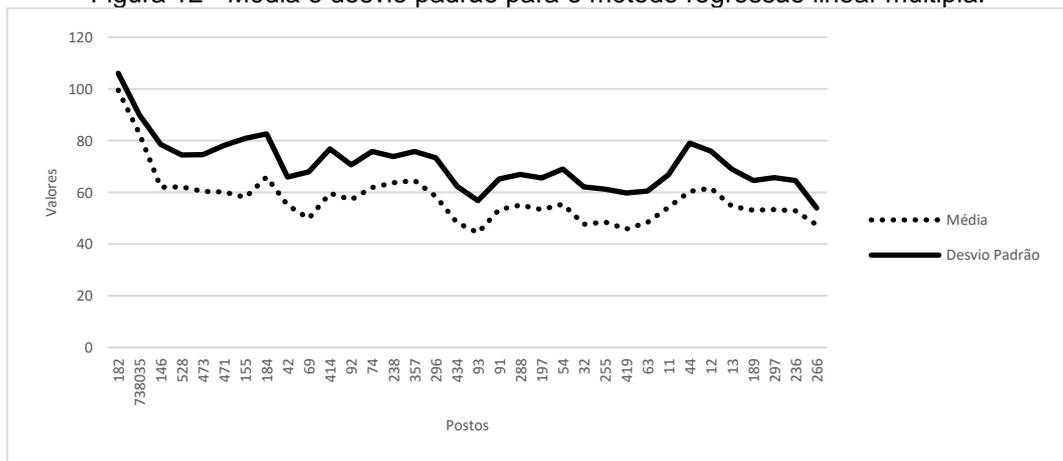
Fonte: A autora (2021).

Figura 11 – Média e desvio padrão para o método regressão linear simples.



Fonte: A autora (2021).

Figura 12 - Média e desvio padrão para o método regressão linear múltipla.

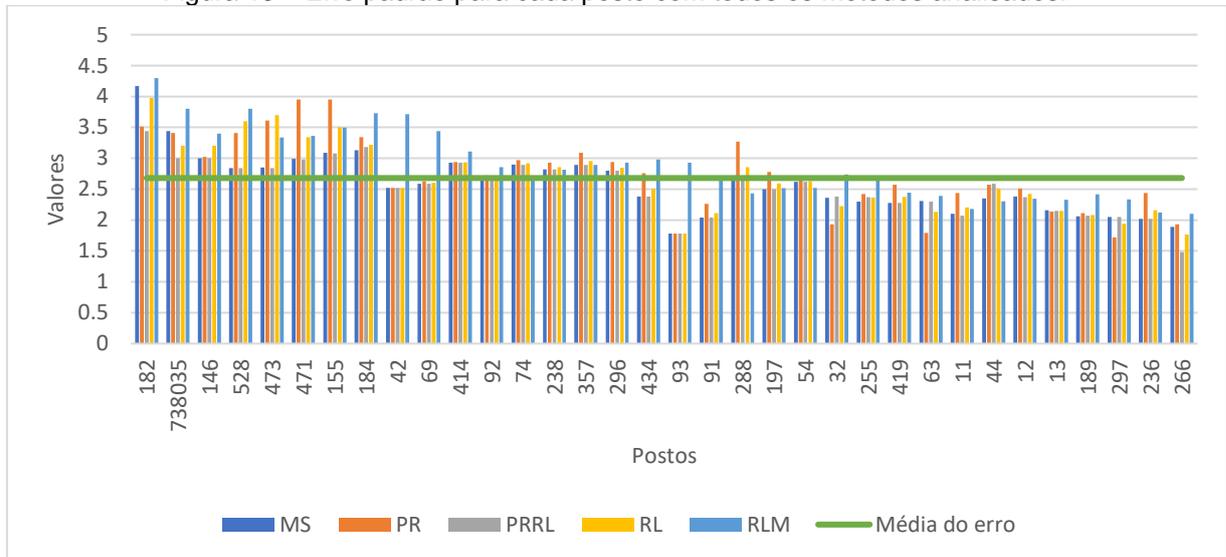


Fonte: A autora (2021).

Voltando a análise do erro padrão, dessa vez por postos pluviométricos, nota-se que os valores encontrados são mais baixos do que aqueles analisados em grupo (Figura 13). De acordo com Feijoo (2010), ao empregarmos o erro padrão, devemos

estar atentos ao tamanho da amostra e à variabilidade da distribuição, quanto maior N, menor é o erro-padrão da média, quanto maior o erro-padrão da média, maior o desvio-padrão (como observados nos gráficos anteriores). A distribuição amostral é sempre menor que a variabilidade da distribuição total. Através desse cálculo pode-se estabelecer o intervalo de confiança, isto é, o intervalo de valores dentro do qual a verdadeira média populacional pode cair. Os menores valores de erro padrão foram encontrados para os postos que possuem as menores médias de precipitação.

Figura 13 – Erro padrão para cada posto com todos os métodos analisados.



O intervalo de confiança (IC) com base em 95% foi calculado através da equação: Média  $\pm$  1.96 \* Erro padrão (Tabela 13). Ao realizar um intervalo de confiança de 95% significa que há 95 possibilidades em cada 100 da média estar correta. Um intervalo de confiança é um intervalo de valores de coeficientes de regressão para um dado valor estimado do coeficiente e um dado nível de probabilidade. Assim como notado nas análises das médias, o método da ponderação regional sobrestimou o intervalo de confiança, fazendo com que para os postos com esse método, ele fosse maior. O método da média aritmética simples foi aquele que apresentou a menor diferença de IC, seguidos pelos métodos das regressões.

Tabela 13 – Intervalo de confianças para cada posto e método de preenchimento (MS = Média simples, PR = Ponderação regional, PRRL = Ponderação regional com base em regressões lineares, RL = Regressão linear simples, RLM = Regressão linear múltipla).

	Postos	MS	PR	PRRL	RL	RLM
Grupo 1	182	90.89-107.24	94.56-108.34	93.19-106.706	92.40-103.5	94.23-104.65
	738035	73.20-86.70	88.82-102.22	79.54-91.31	83.10-92.44	84.83-102.46
	434	43.64-52.98	52.13-62.99	43.70-52.05	45.87-60.34	50.31-64.09
	93	40.92-47.90	41.07-48.07	40.90-47.90	42.54-48.90	40.81-49.99
	91	49.41-57.41	54.70-63.58	49.43-57.43	53.65-64.89	50.77-61.39
	288	49.89-60.30	63.05-75.85	49.88-60.29	54.98-73.76	55.92-74.93
	197	48.35-58.17	54.58-65.49	48.49-58.32	50.34-61.23	51.44-62.88
	54	51.04-61.42	49.50-59.80	49.49-59.79	50.72-60.45	52.94-67.34
	32	42.90-52.15	34.67-42.28	43.30-52.65	39.62-56.34	38.00-52.96
	255	43.38-52.42	46.16-55.65	44.45-53.76	45.91-60.33	46.92-60.03
Grupo 2	419	41.43-50.40	48.37-58.45	41.33-50.29	43.60-55.29	45.09-53.94
	63	44.03-53.12	34.27-41.31	43.69-52.74	43.92-56.95	44.93-61.21
	11	49.43-57.70	37.78-67.38	50.72-58.87	50.23-64.20	49.94-58.93
	44	53.91-63.13	58.54-68.62	57.16-67.33	56.83-68.34	55.99-65.91
	12	57.11-66.44	61.42-71.27	56.73-66.04	56.34-62.93	57.12-65.02
	13	50.40-58.89	50.05-58.44	50.33-58.76	50.82-60.39	50.45-61.07
	189	49.14-57.24	50.53-58.82	49.012-55.15	53.42-59.37	52.44-59.02
	236	48.94-56.87	59.12-68.69	48.94-56.20	58.71-60.42	54.01-60.02
	266	43.73-51.61	44.72-52.42	44.53-50.36	43.91-55.95	45.40-52.94
	146	56.08-67.85	57.46-69.31	56.08-67.85	50.23-70.39	54.97-62.35
	528	56.61-67.70	68.80-82.20	56.61-67.77	62.62-69.29	65.45-70.29
	473	54.83-66.03	70.68-84.85	54.77-65.94	59.38-70.54	60.53-74.20
	471	54.36-66.11	73.44-88.94	54.30-65.99	56.46-65.31	54.10-60.23
	155	52.09-64.20	54.82-66.98	52.02-64.13	55.85-68.19	55.23-68.74
	184	58.54-70.87	65.88-79.00	60.92-73.39	66.37-78.42	64.95-78.61
Grupo 3	42	50.12-60.00	50.44-60.33	50.12-60.00	50.12-60.00	50.34-61.03
	69	49.86-60.03	51.17-61.49	49.86-60.03	50.35-64.63	49.31-67.93
	414	53.94-65.44	54.84-66.37	53.94-65.44	53.94-65.44	59.24-64.00
	92	51.93-62.51	53.99-64.66	51.94-62.53	52.55-63.42	58.37-65.84
	74	56.16-67.53	58.16-69.84	56.15-67.51	57.34-69.23	59.83-70.02
	238	58.17-69.24	61.82-73.39	58.18-69.24	60.43-70.45	60.46-72.84
	357	58.88-70.23	64.25-76.39	58.86-70.23	65.34-79.62	64.97-80.67
	296	52.94-63.92	57.13-68.67	53.00-63.99	56.45-69.34	52.42-65.34

Fonte: A autora (2021).

A adequação de qualquer método para estimar os valores ausentes depende de seu desempenho relativo nos indicadores de desempenho (KANDA *et al.*, 2018). O desempenho de qualquer método depende das propriedades estatísticas dos dados. No entanto, as intercorrelações entre postos e variações sazonais nas relações entre eles são os dois fatores mais importantes na climatologia (Tabony, 1983). Assim como nos trabalhos de Kanda *et al.* (2018) e Sadat-Noori, Glamore e

Khojasteh (2020), constatou-se que os resultados das métricas de desempenho seguiram caminhos divergentes e houve diferença significativa na escolha do melhor método. Os valores obtidos por todos os métodos com os diferentes modelos de desempenho foram calculados em média para todos os 35 postos e são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Métrica de erros para os métodos de preenchimento (MS = Média simples, PR = Ponderação regional, PRRL = Ponderação regional com base em regressões lineares, RL = regressão linear simples, RLM = Regressão linear múltipla, ME = Erro médio, MAE = Erro médio absoluto, RMSE = Erro médio quadrático, MAPE = Erro médio absoluto percentual).

	ME	MAE	RMSE	MAPE
MS	-0.852	19.981	36.189	13.10%
PR	-4.493	22.936	39.692	12.50%
PRRL	-0.956	19.750	35.770	13.09%
RL	-4.520	20.509	38.943	13.32%
RLM	-1.368	20.037	37.316	13.16%

Fonte: A autora (2021).

Para a escolha do melhor método de preenchimento, neste trabalho foi dada prioridade ao MAPE, já que mede o erro em porcentagem e o MAE que se adequa melhor a séries aleatórias do que o RMSE e porque os resultados produzidos estão nas mesmas unidades da variável considerada, que é mais informativa do que o desempenho relativo (KANDA *et al.*, 2018).

A área de estudo apresenta características diferentes quanto ao clima, variando de 400 mm anuais nas áreas menos chuvosas a mais de 1000 mm nas áreas mais úmidas e de maior altitude. As áreas de maiores altitudes tenderam a aumentar o tamanho do erro devido as suas séries serem mais uniformes e com volume muito maior que as outras. Isso eleva os valores dos erros quando comparado suas médias.

O método da Regressão linear foi aquele que demonstrou o pior desempenho, isso pode ser atribuído ao fato de que em todos os postos analisados a porcentagem de falhas era muito elevada e pelas observações realizadas durante o processamento, esse modelo seria mais bem aplicado em séries mais curtas ou com menos falhas. Junqueira, Amorim e Oliveira (2018), também obtiveram este resultado quando aplicaram o método em um estudo de simulação de falhas para a bacia hidrográfica

do rio das Mortes em Minas gerais. Neste mesmo estudo, eles encontraram valores de RMSE similares aos abordados aqui.

Já com relação ao método que obteve melhor desempenho, avaliando o MAE seria o método da Média simples, porém avaliando o MAPE e o erro por porcentagem, o melhor modelo seria o de Ponderação regional, já que é o único método de preenchimento com erro abaixo dos 13%. Segundo Bier e Ferraz (2017), outros autores também chegaram a resultados que indicam o método da Ponderação Regional como o mais exato para a estimativa de precipitação (17,1% de erro absoluto médio), no entanto os demais métodos testados tiveram desempenho próximo (OLIVEIRA, 2010; PAULHUS; KOHLER, 1952).

Levando em consideração os valores de cada indicador de desempenho por posto pluviométrico, os menores valores de MAPE foram encontrados para os postos localizados no baixo Pajéu, logo aqueles com clima mais seco, fato corroborado por Silva e Jardim (2017), que chegaram ao mesmo resultado através dos desvios médios para postos localizados no noroeste de Minas Gerais. Já os maiores valores de erro para todos os postos foram encontrados nos localizados nas áreas de brejo de altitude (Triunfo e Santa Cruz da Baixa verde, postos 182 e 738035).

Diversos estudos que utilizaram o método de Regressão linear múltipla comparados com diversos outros como é a proposta desde trabalho afirmam que ele foi o melhor método de preenchimento utilizado (JUNQUEIRA; AMORIM; OLIVEIRA, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2020); porém, de uma maneira geral, esse resultado não foi obtido aqui, visto que este método apresenta resultado bem próximo aos demais.

De acordo com Mello, Kohls e Oliveira (2010) não se recomenda a utilização do preenchimento de falhas quando for trabalhar com distribuição de dados extremos, dados diários, ou quando for preciso realizar a análise de um evento específico, pois o preenchimento da falha gera um dado que não condiz com o registrado na ocorrência desejada, gerando inconsistência na análise.

Também foram processados os índices de métrica de erros excluindo os postos que possuíam mais de 80% de falhas em sua composição original, porém, não foram encontrados resultados discrepantes, como pode ser visto na tabela 15.

Tabela 15 – Métrica de erros para os métodos de preenchimento excluindo os postos com mais de 80% de falhas (MS = Média simples, PR = Ponderação regional, PRRL = Ponderação regional com base em regressões lineares, RL = regressão linear simples, RLM = Regressão linear múltipla, ME = Erro médio, MAE = Erro médio absoluto, RMSE = Erro médio quadrático, MAPE = Erro médio absoluto percentual).

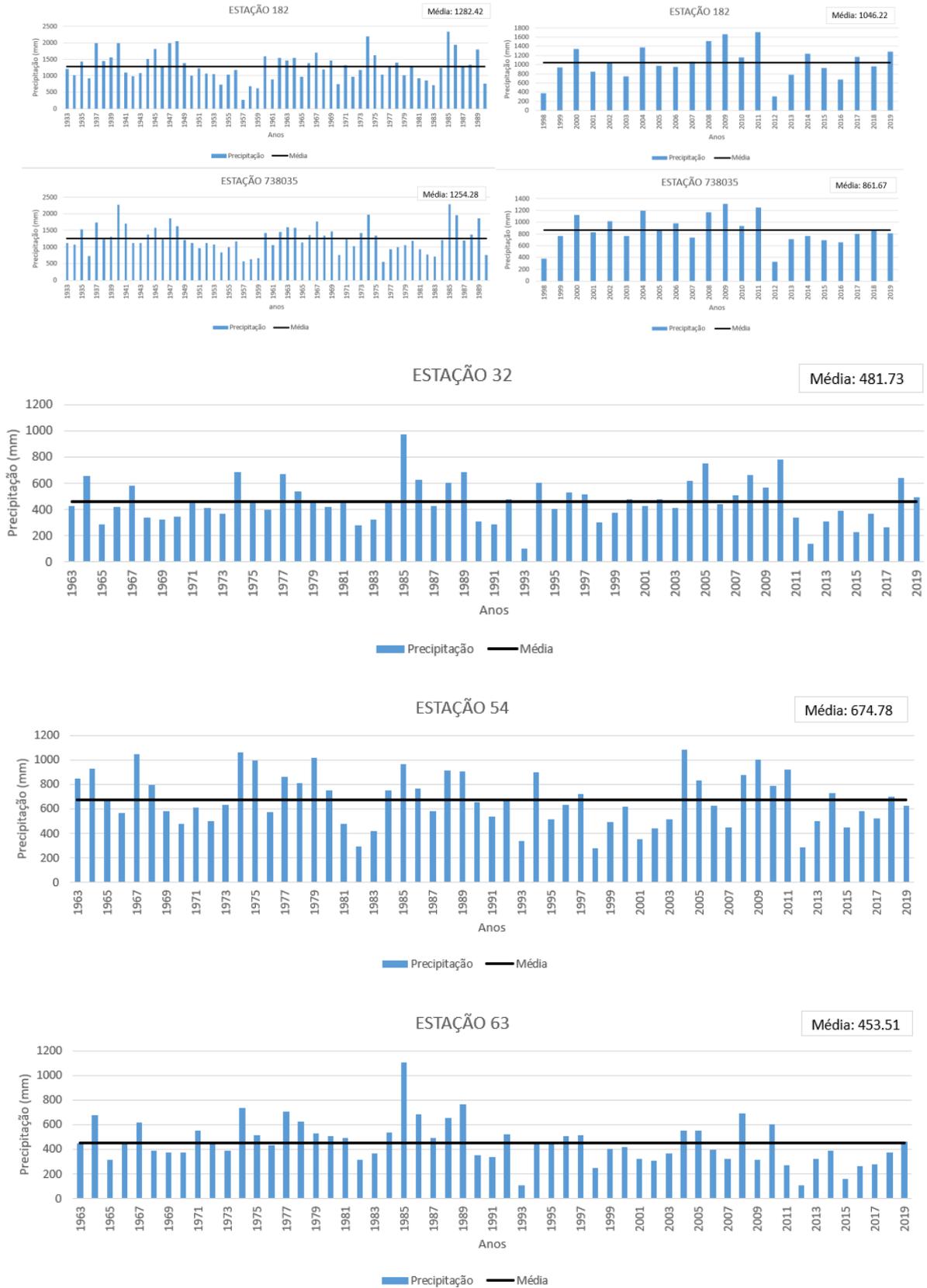
	ME	MAE	RMSE	MAPE
MS	-0.903	20.902	37.707	13.07%
PR	-4.160	23.547	40.774	12.52%
PRRL	-1.028	20.639	37.206	13.05%
RL	-3.952	20.885	38.706	13.40%
RLM	-1.450	20.238	37.578	13.24%

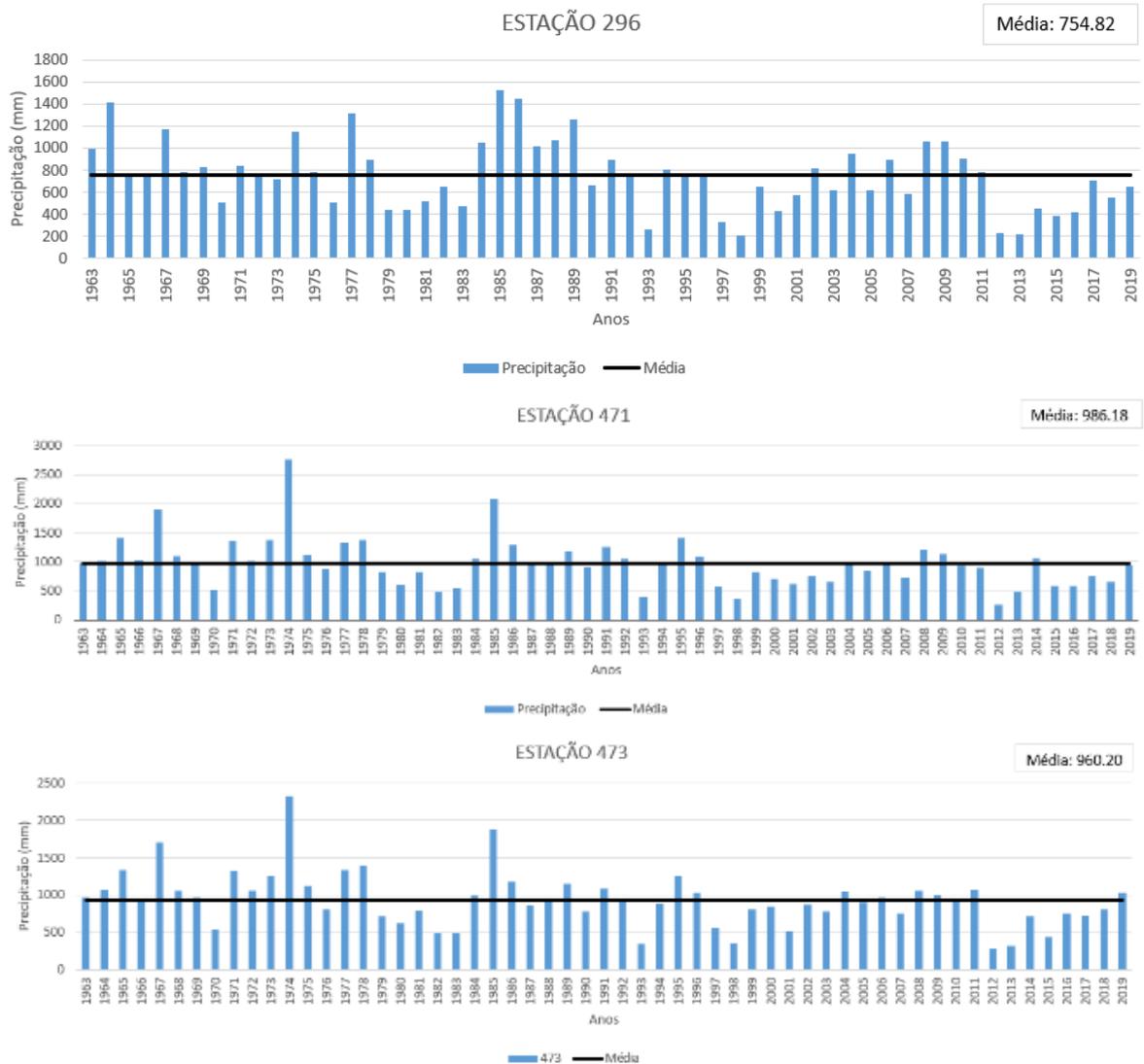
Fonte: A autora (2021)

#### 4.2 ANÁLISE DE TENDÊNCIA E TESTE ESTATÍSTICO NÃO-PARAMÉTRICO DE MANN-KENDALL, COX-STUART E WALD-WOLFOWITZ

A realização dos gráficos de precipitação em função da média (Figura 14 e APÊNDICE B) ajudam a verificar a situação geral de uma localidade quanto a precipitação. Em geral, é um fator importante na visualização. Nas séries de dados utilizadas para esta pesquisa, nota-se, que ao longo do tempo analisado foi observado que existem cada vez menos precipitações anuais maiores que a média geral da série, principalmente a partir da década de 1990 e naquelas localizadas na microrregião do alto Pajeú, como as 471 (Santa Terezinha), 473 (Brejinho). O contrário vem acontecendo na área de brejo de altitude, onde o posto 182 (Triunfo), apresentou três picos de precipitação acima da média nos últimos anos. O posto que mostrou mais picos de precipitação acima da média foi o 54 (Mirandiba) e o 296 (Serra Talhada) em meados da década de 1980. Os postos localizados próximos a foz do rio Pajeú, 32 (Floresta) e 63 (Itacuruba), também apresentaram queda na precipitação total anual nos últimos anos

Figura 14 – Precipitação em função da média para todas os postos em estudo.





Fonte: A autora (2021)

Os testes de tendência apresentaram resultados congruentes com as observações realizadas sobre a precipitação em função da média. Como pode ser observado na Tabela 16, para a série de dados anuais, oito postos apresentaram tendência significativa para o teste de Mann-kendall. O posto 44 (São José do Belmonte) foi o único para essa série a apresentar tendência de aumento de precipitação. Silva *et al.* (2018) quando aplicaram o teste de Mann-Kendall para o município de Araripina, também localizado no semiárido do estado de Pernambuco, encontraram resultados que indicam um aumento da precipitação nos meses menos chuvosos e diminuição da precipitação nos meses mais chuvosos.

Os demais postos (528 - Ingazeira, 473 - Brejinho, 471 – Santa terezinha, 414 - Igaraci, 296 - Tuparetama, 288 – Carnaubeira da Penha e 63 – Itacuruba (Figura 15) apresentaram forte tendência de diminuição da precipitação. Já para os dados

mensais, além dos já mencionados, os postos 155 – Itapetim, 92 – São José do Egito, 357 – Solidão e 32 – Floresta (Figura 16), também apresentaram tendência de diminuição da precipitação. Outro estudo que aponta tendência de redução no volume total de chuvas é aquele apresentado em Lacerda *et al.* (2009). Entretanto, sua análise temporal da pluviometria foi realizada em uma bacia hidrográfica de aproximadamente 17.000 km<sup>2</sup>, localizada na região semiárida do Estado de Pernambuco. Todos os oito postos pluviométricos analisados apresentaram, no período de 1965 a 2004, propensão à diminuição anual da precipitação estatisticamente significativa. Os demais postos, de acordo com os gráficos de tendência, apresentaram tendência de diminuição da precipitação, mas não puderam ser comprovadas estatisticamente.

Tabela 16 – Estatística e p-value para os testes de Mann-Kendall, Cox-Stuart e Wald-Wolfowitz.

Postos	SÉRIE ANUAL						SÉRIE MENSAL					
	Mann-Kendall		Cox-Stuart		Wald-Wolfowitz		Mann-Kendall		Cox-Stuart		Wald-Wolfowitz	
	Estatística	p-valor	Estatística	p-valor	Estatística	p-valor	Estatística	p-valor	Estatística	p-valor	Estatística	p-valor*
182	-0.041	0.658	17	0.458	-1.325	0.093	-0.021	0.417	175	0.915	-10.545	0
738035	-0.062	0.494	17	0.458	-2.385	0.009	-0.027	0.285	182	0.390	-11.000	0
146	-0.124	0.175	12	0.571	-1.349	0.088	-0.043	0.091	160	0.250	-8.277	0
528	-0.249	0.006	7	0.012	-0.270	0.390	-0.067	0.009	155	0.093	-8.954	0
473	-0.266	0.004	8	0.035	-2.158	0.015	-0.096	0.001	148	0.015	-8.035	0
471	-0.284	0.002	8	0.035	-3.506	0.000	-0.105	0.000	145	0.006	-8.648	0
155	-0.088	0.338	11	0.344	-1.618	0.050	-0.052	0.042	158	0.193	-8.035	0
184	-0.078	0.397	8	0.035	-2.158	0.016	-0.038	0.134	160	0.279	-9.413	0
42	-0.105	0.250	10	0.184	-1.349	0.089	-0.033	0.201	165	0.552	-8.737	0
69	-0.145	0.112	9	0.087	-2.158	0.015	-0.017	0.517	161	0.304	-7.729	0
414	-0.267	0.003	8	0.036	0.000	0.500	-0.090	0.000	150	0.026	-8.112	0
92	-0.115	0.223	10	0.185	-2.428	0.007	-0.072	0.005	155	0.093	-7.729	0
74	-0.065	0.478	13	0.851	-2.428	0.008	-0.020	162.000	162	0.358	-8.673	0
238	-0.139	0.128	11	0.345	-2.428	0.008	-0.039	0.138	158	0.176	-9.872	0
357	-0.140	0.125	11	0.345	-1.079	0.140	-0.515	0.044	159	0.213	-9.872	0
296	-0.232	0.011	9	0.087	-0.809	0.209	-0.099	0.000	138	0.000	-8.673	0
434	0.093	0.312	18	0.185	-0.809	0.209	0.011	0.665	171	1.040	-9.490	0
93	-0.012	0.870	20	0.878	-0.439	0.330	-0.019	0.366	258	0.825	-9.461	0
91	-0.039	0.603	19	0.644	-0.439	0.330	-0.019	0.359	240	0.199	-11.090	0
288	-0.327	0.000	8	0.036	-1.888	0.030	-0.085	0.001	148	0.015	-10.637	0
197	0.044	0.635	17	0.345	-1.349	0.089	-0.006	0.805	169	0.871	-8.648	0
54	-0.142	0.121	8	0.036	-0.809	0.209	-0.024	0.353	161	0.330	-8.954	0
32	0.000	1.000	14	1.149	0.270	0.606	-0.076	0.003	150	0.026	-8.648	0
255	0.009	0.920	14	1.140	-1.079	0.140	-0.021	0.419	162	0.358	-8.112	0
419	0.143	0.118	17	0.345	-0.809	0.209	0.019	0.447	180	0.358	-8.877	0
63	-0.253	0.006	9	0.087	-1.618	0.050	-0.099	0.000	148	0.015	-9.566	0
11	-0.032	0.668	20	0.878	-1.537	0.062	-0.034	0.106	233	0.050	-11.090	0
44	0.168	0.023	23	0.644	-1.317	0.094	0.035	0.097	254	0.965	-12.343	0
12	-0.093	0.209	22	0.878	-3.513	0.000	-0.028	0.185	242	0.268	-11.591	0
13	0.057	0.446	22	0.878	-2.415	0.008	-0.004	0.840	242	0.723	-10.839	0
189	0.003	0.967	21	1.120	-1.756	0.040	-0.011	0.594	250	0.144	-12.167	0
297	-0.122	0.100	16	0.164	-0.878	0.190	-0.023	0.280	236	0.101	-10.986	0
236	0.092	0.212	24	0.441	-1.317	0.094	0.006	0.759	248	0.565	-11.215	0

266	0.056	0.450	24	0.441	-0.878	0.190	0.002	0.914	249	0.626	-11.466	0
194	-0.038	0.680	10	0.180	-1.079	0.100	-0.024	0.350	166	0.620	-8.648	0

\* Para o modelo de Wald-Wolfowitz, o pvalor para a série mensal foi 0 para todas os postos.  
Fonte: A autora (2021).

Ainda analisando a Tabela 16, o teste de Cox-Stuart que foi utilizado com a finalidade de apontar se a série é ou não estacionária, mostra que para a série anual, sete postos apresentam uma série estacionária (528, 184, 473, 471, 414, 288, 54). Destes postos, apenas o 184 - Carnaíba e o 54 – Mirandiba, não apresentaram tendência de precipitação para o índice anterior. Para a série de dados mensais, foi encontrada estacionariedade para oito postos, acrescentando os postos 11 – São José do Belmonte e 296 – Tuparetama. De acordo com Teixeira-Gandra *et al.* (2014) o valor tabelado da estatística para o teste de Cox-Stuart para  $n > 35$  é 13,80 (Quando se trabalha com séries anuais). Através da Tabela 16, fica evidente que também se aplica a esta pesquisa, visto que dos postos com estacionariedade, o maior coeficiente angular é igual a 8.

Miranda (2016) aplicou o teste de Cox-Stuart para o município de Ouro Branco/MG e não encontrou tendência para a série analisada. Souza *et al.* (2009) com o objetivo de propor um modelo de previsão estatística para séries temporais de temperatura e precipitação na região central do RS, utilizaram os testes de Cox-Stuart e de Mann-Kendall. Os autores constataram que foi detectada tendência significativa ( $\alpha = 5\%$ ), para as temperaturas médias mensais, pelos referidos testes, já Fatiche *et al.* (2009) encontraram tendência positiva para o Cox-Stuart em 12 postos de medição de temperatura e 14 para o teste de Mann-Kendall enquanto trabalhavam com 26 postos na região da toscana.

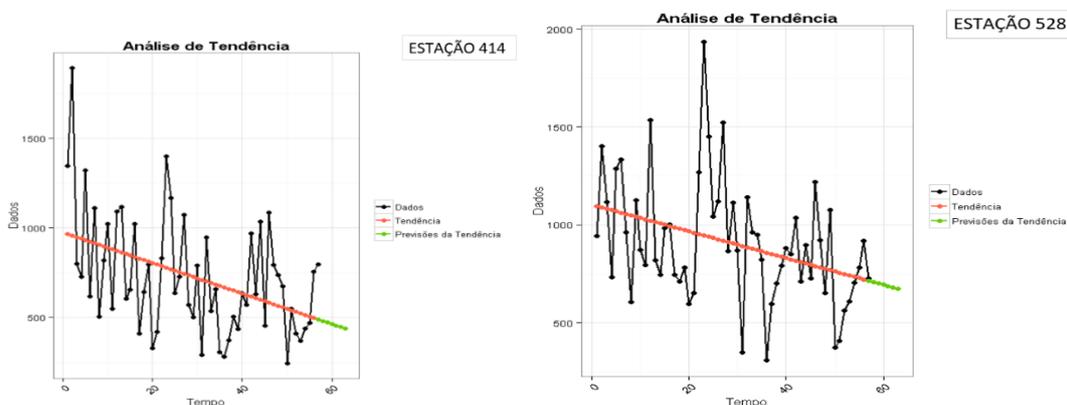
Com relação ao teste de Wald-Wolfowitz para demonstração se as séries possuem homogeneidade, foram obtidos bons resultados com a série de dados anuais, onde 13 postos apresentaram p-value menor que 0.05. Já para a série de dados mensais, não foram obtidos valores para comprovar ou não a homogeneidade, acha-se que seja devido a quantidade de dados da série e que o modelo não consegue se ajustar a uma série longa visto que ele leva em consideração observações acima e abaixo da mediana.

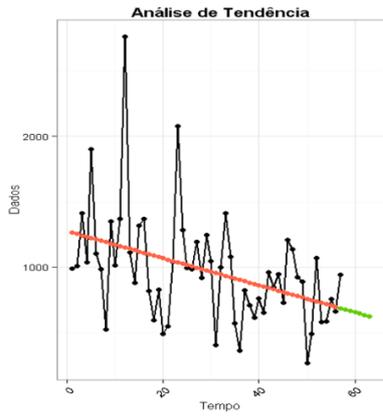
Haktanir, Bajabaa e Masoud (2013) aplicaram o teste de Wald-Wolfowitz e não encontraram tendência para a homogeneidade da série de precipitação para o mar mediterrâneo. Eles lançam a teoria de que para séries longas, talvez obtenha algum

resultado se aplicado o nível de significância de 1%. Teixeira-Gandra *et al.* (2014) também não conseguiram bons resultados com a aplicação do teste de Wald-Wolfowitz para estimativa de tendência em dados de temperatura. O modelo de Cox-Stuart, nesse caso, se mostrou mais satisfatório. Estudos recentes demonstraram que o comportamento estocástico de uma série temporal pode alterar a significância estatística de uma tendência, especialmente se a série temporal exibir dependência de longo alcance (FATICHE *et al.*, 2009).

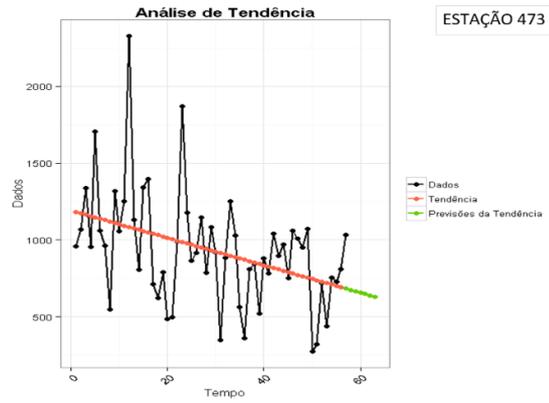
Haktanir e Citacoglu (2014) quando usaram o teste de Mann-Kendall e Wald-Wolfowitz com a função de testar a tendência e a estacionariedade em 155 séries de dados na Turquia, também não observaram tendência nas séries. Muller, Kruger e Kavisky (1998) aplicaram os três métodos aqui abordados e atestaram tendência positiva em séries de vazões na bacia incremental de Itaipu. Steinke *et al.* (2020) também aplicaram os três testes para analisar a tendência da qualidade do ar em Brasília e obtiveram sucesso. O mapa com os postos pluviométricos que obtiveram respostas positivas para os testes não paramétricos pode ser encontrado na Figura 16.

Figura 15 – Postos que apresentaram tendência de aumento ou diminuição da precipitação através do teste de Mann-Kendall.

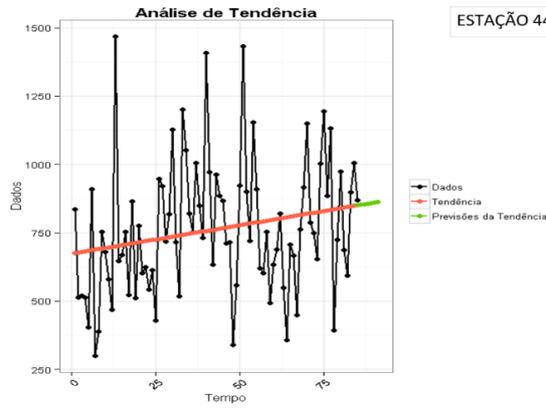




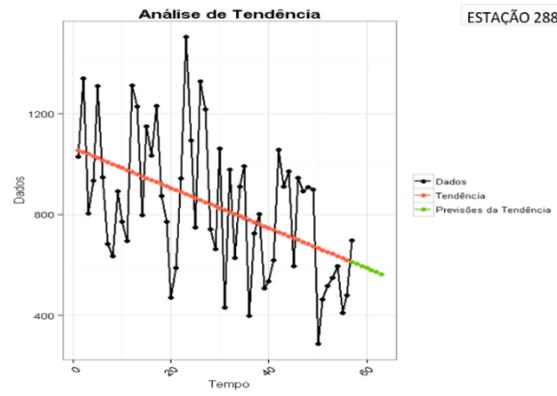
ESTAÇÃO 471



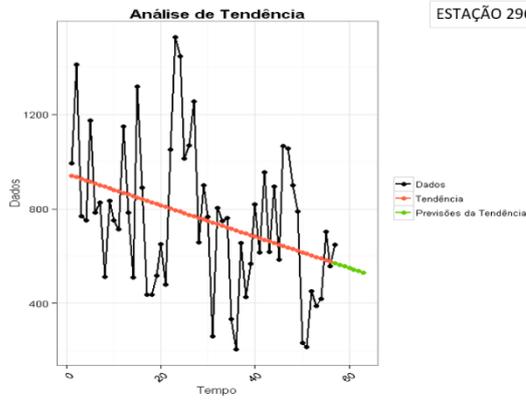
ESTAÇÃO 473



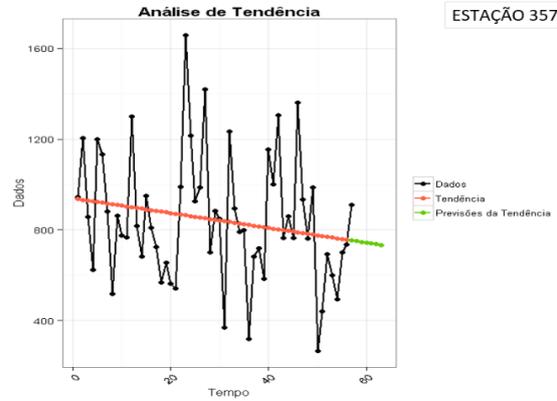
ESTAÇÃO 44



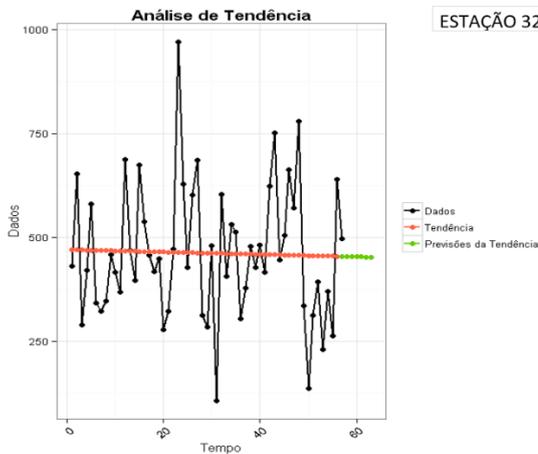
ESTAÇÃO 288



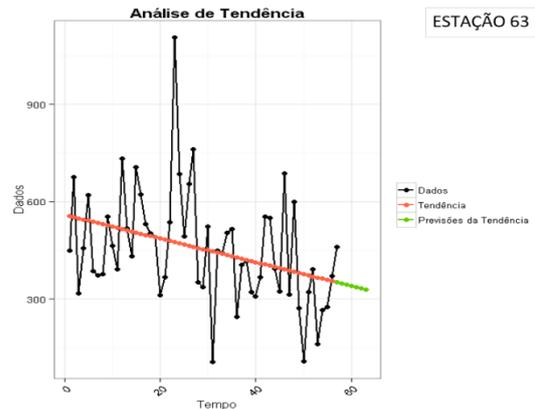
ESTAÇÃO 296



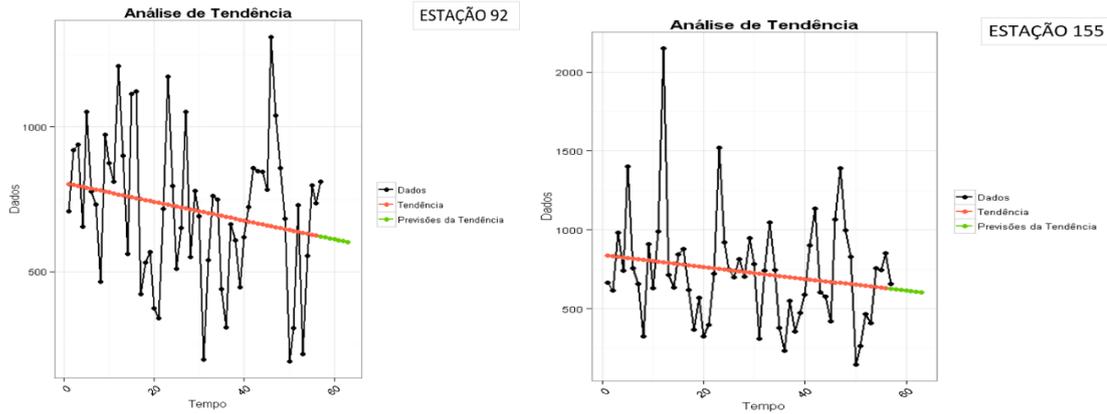
ESTAÇÃO 357



ESTAÇÃO 32

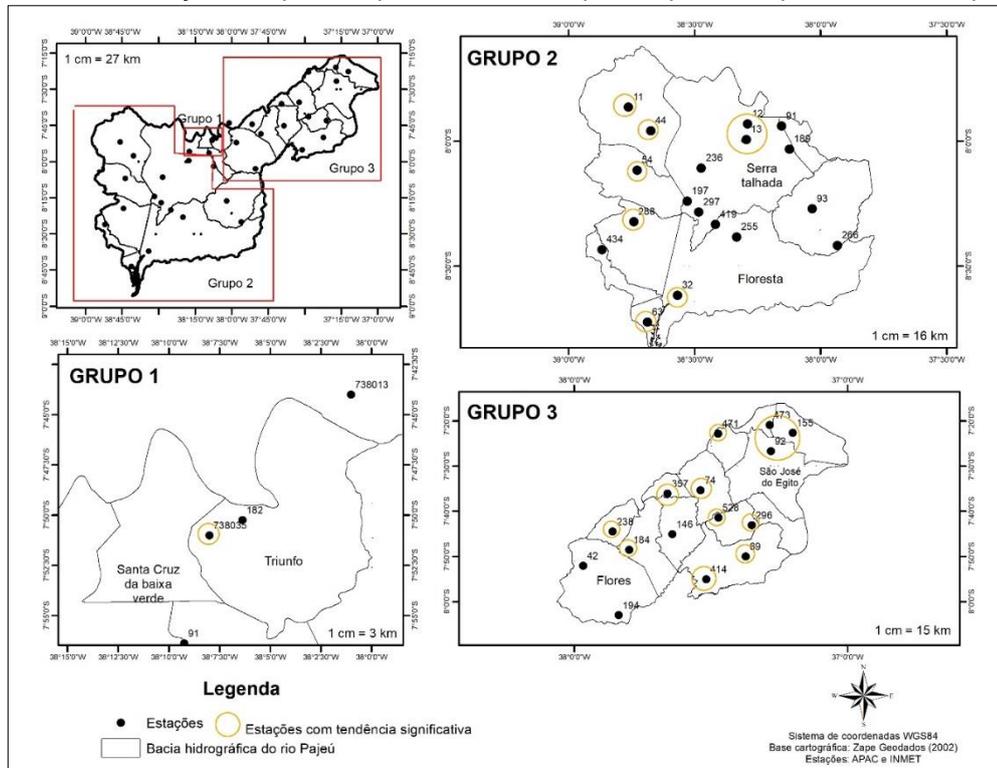


ESTAÇÃO 63



Fonte: A autora (2021).

Figura 16 – Localização dos postos que obtiveram respostas positivas para os testes aplicados.



Fonte: A autora (2021).

### 4.3 ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA (IAC), ÍNDICE PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO (SPI) E ÍNDICE DE WALSH PARA A ANÁLISE DE SECAS NO SEMIÁRIDO

Nesse subtópico os resultados serão apresentados divididos por grupos, assim como no primeiro. Com a divisão fica mais clara a discussão, visto que a área em

estudo possui grande extensão territorial e fatores diferentes impactam na dinâmica da precipitação em cada grupo.

### **GRUPO 1 – Brejo de altitude (Triunfo)**

Conforme já mencionado anteriormente, essa é uma área que se destaca por possuir um clima úmido que não é típico da região semiárida, porém, mesmo assim, através do IAC se nota períodos de seca severa, como nos anos de 1957, 1991 e 2012 (Figuras 17 e 18) onde os valores ultrapassam -4. Como período mais chuvoso, se destaca os anos de 2008, 2009 e 2011, onde os valores de IAC alcançam os picos mais altos da série. Essa variabilidade também foi encontrada por Chagas-Neto e Araújo (2017) quando aplicaram o IAC para uma área de brejo do estado da Paraíba. Diniz *et al.* (2020) também aplicando o IAC para a Paraíba, desta vez o Cariri paraibano, encontrou distribuição igual de anos secos e úmidos. Já Gross e Cassol (2015b) aplicaram para o estado do Rio Grande do Sul que possui precipitação média semelhante a Triunfo e também obtiveram resultados do IAC indicando redução do volume da precipitação.

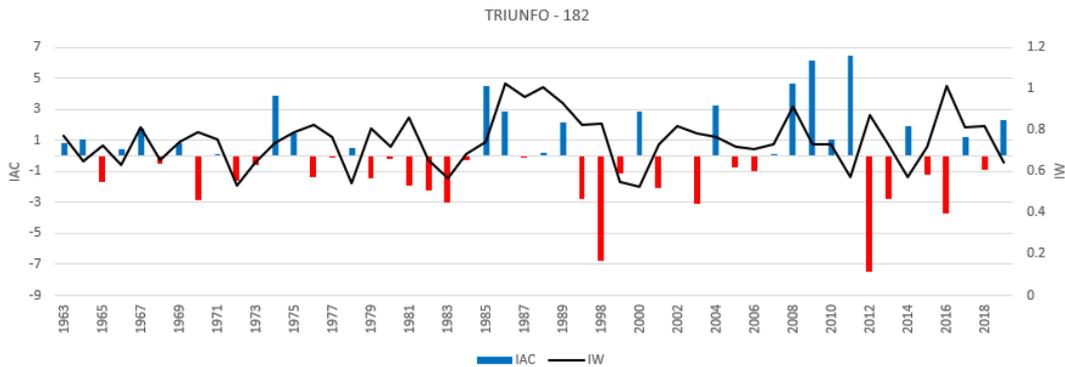
Com relação ao IW, vemos ao longo do tempo uma notável variação, porém, em boa parte da série os valores ultrapassam a marca de 1.0, indicando que naqueles anos as maiores precipitações ocorreram concentradas em 1 ou 2 meses do ano. O diferencial dessa região é que ela também possui valores de IW menores que 0.19, indicando que as chuvas são bem distribuídas como nos anos de 1940-1946, 1952-1956 que se destacam no posto 182 como os maiores períodos de ocorrência de precipitação bem distribuída.

Ainda para esse posto, são encontradas todas as classes pré-definidas de IW, como 1945 com estação chuvosa definida, 2006 como sazonal com curta estação seca, 2010 sazonal, 1933 como sazonal com longa estação seca e 1967 como chuvas concentradas em 3 meses ou menos. Já para o posto 738035, ocorreram mais picos de valores que indicam que a precipitação é bastante concentrada e diferente da anterior, que nos últimos anos indica apenas a concentração de chuvas, a 738035, apresentou em 2016 valores condicentes com chuvas bem distribuídas.

Para o SPI, o posto 182 (Tabela 17) apresentou menos períodos de seca do que o posto 738035 (tabela 18), bem como menor duração em meses de períodos de seca. Para o 182, o maior período de seca observado foi de 49 meses entre os anos

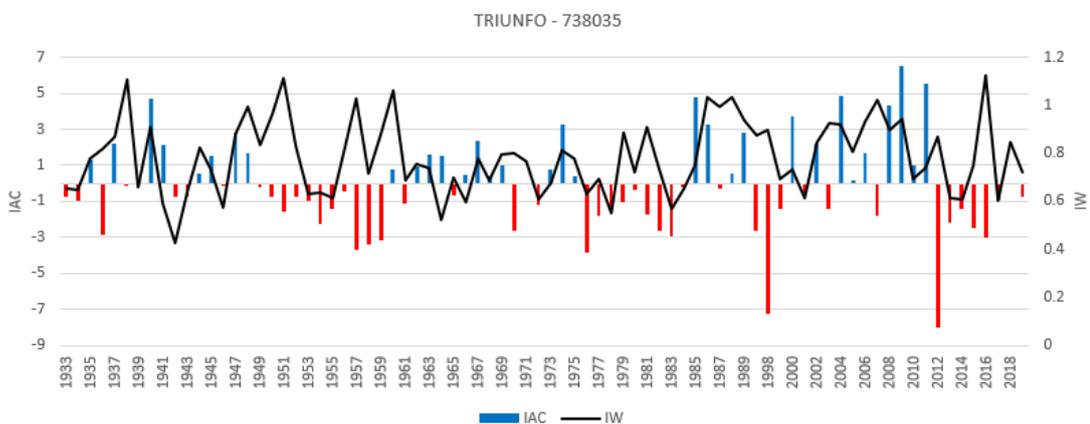
de 1952 e 1956, já para o 738035, esse período teve duração de 35 meses e se estendeu de 1957 a 1960. Porém esses resultados não indicam que nesses anos a média do SPI será maior, nesse período de seca de 49 meses, a média do SPI foi de -0.77 (próximo ao normal) contrastando com a média de -1.48 (moderadamente seco) que foi obtida para uma seca de apenas 3 meses em 1951 para o mesmo posto. Essa fato não ocorre no posto 182, visto que o maior período de seca também é aquele que obteve a maior média de SPI, porém a menor média também foi obtida para o período de menor meses de seca. Esses fatos podem indicar que períodos mais curtos de seca em locais onde a precipitação é abundante alcançam valores menores dentro da escala do SPI e quando esse período é mais longo, a falta de chuvas é mais sentida do que em áreas já constantemente secas. Caracterizado como período extremamente seco temos apenas a seca de 1957-1960 de 36 meses para o posto 182 que obteve valor médio de SPI de -2.11.

Figura 17 – IAC e IW para o posto 182.



Fonte: A autora (2021).

Figura 18 – IAC e IW para o posto 738035.



Fonte: A autora (2021).

Tabela 17 – SPI para o posto 182.

<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
05/01/1936	02/01/1937	9	-1.11	-6.63	-0.74	-0.8
03/01/1942	03/01/1943	12	-1.01	-7.97	-0.66	-0.62
03/01/1951	06/01/1951	3	-1.54	-4.44	-1.48	-1.48
07/01/1952	08/01/1956	49	-1.37	-37.92	-0.77	-0.82
04/01/1957	04/01/1960	36	-4.43	-76.07	-2.11	-1.78
06/01/1961	05/01/1962	11	-1.15	-8.38	-0.76	-0.91
07/01/1970	06/01/1971	11	-1.52	-12.65	-1.15	-1.32
07/01/1972	01/01/1974	18	-1.31	-8.8	-0.49	-0.44
07/01/1976	07/01/1977	12	-1.09	-7.74	-0.65	-0.65
03/01/1982	10/01/1984	31	-1.57	-29.54	-0.95	-0.91
12/01/1998	02/01/2000	14	-2.2	-18.04	-1.29	-1.34
06/01/2003	01/01/2004	7	-1.48	-8.12	-1.16	-1.2
05/01/2012	03/01/2014	22	-2.96	-38.82	-1.76	-1.92
07/01/2016	07/01/2017	12	-2.1	-14.96	-1.25	-1.11

Fonte: A autora (2021).

Tabela 18 – SPI para o posto 738035.

<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
03/01/1936	02/01/1937	11	-1.47	-13.38	-1.22	-1.34
03/01/1951	02/01/1952	11	-1.78	-9.37	-0.85	-0.53
12/01/1954	08/01/1956	20	-1.27	-13.48	-0.67	-0.69
05/01/1957	04/01/1960	35	-3.25	-63.85	-1.82	-1.95
07/01/1970	06/01/1971	11	-1.59	-12.83	-1.17	-1.33
07/01/1972	04/01/1973	9	-1.15	-6.89	-0.77	-0.84
05/01/1976	03/01/1979	34	-2.61	-42.5	-1.25	-1
03/01/1982	10/01/1984	31	-2.03	-35.81	-1.16	-1.23
12/01/1998	02/01/2000	14	-2.34	-20.11	-1.44	-1.52
05/01/2012	11/01/2014	30	-2.76	-41.4	-1.38	-1.35
01/01/2017	02/01/2018	13	-2.1	-11.02	-0.85	-0.52

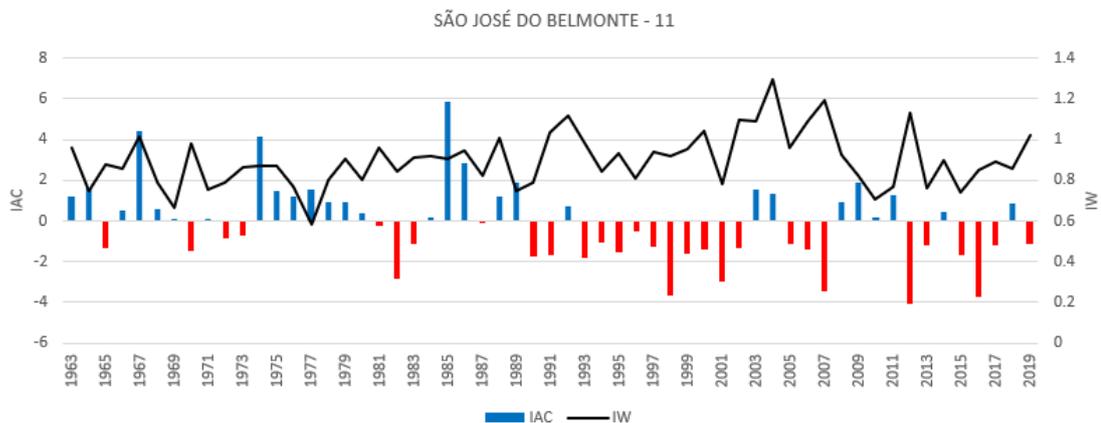
Fonte: A autora (2021).

**GRUPO 2 – Médio e baixo Pajeú**

Os postos 11 e 44 estão localizados no município de São José do Belmonte. Devido à proximidade, os dois possuem características semelhantes, porém, o posto 44 se mostrou mais sensível aos índices de seca. Quanto ao IAC e ao IW (Figuras 19 e 20), nota-se que o posto 44 apresenta boa parte da série com valor de IW acima de 1, indicando a forte concentração de chuvas em poucos meses, o posto 11 também segue esse caminho, porém com picos mais altos e menos constantes. O IAC não demonstra muita diferença entre os dois postos, os valores ficam em média entre 0 e -2 para quase toda a série, indicando que é uma área muito seca e que a precipitação, embora superior aos 700mm anuais não supre a necessidade da região.

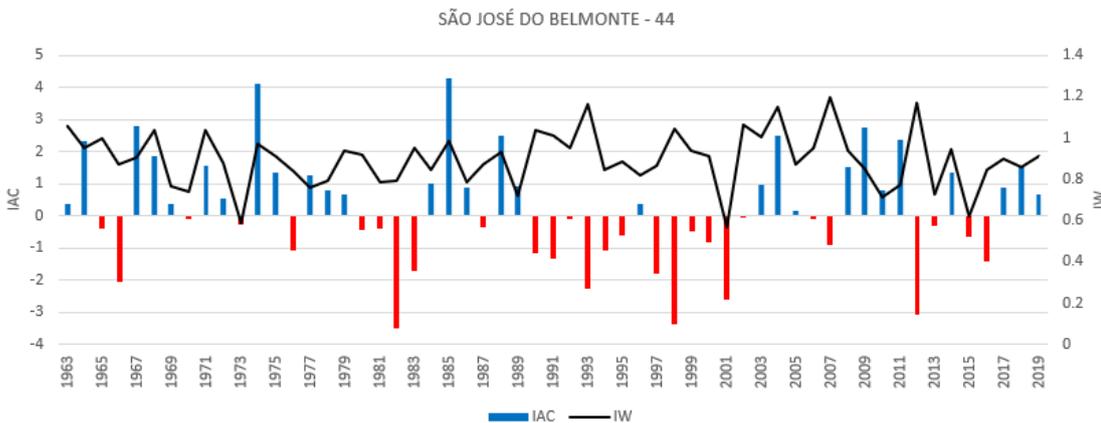
Ainda com relação ao IAC, deve-se destacar a quantidade de anos em que os valores negativos aparecem, isso indica a maior frequência de períodos secos na região. Para o posto 11, existem 29 picos negativos de IAC enquanto para o posto 44 existem 23.

Figura 19 – IAC e IW para o posto 11.



Fonte: A autora (2021).

Figura 20 – IAC e IW para o posto 44.



Fonte: A autora (2021).

Essas informações também ficam evidentes quando se analisa o IAC e o IW em conjunto com o SPI (Tabelas 19 e 20), onde se nota que para aqueles períodos de IAC negativo, o SPI indicou seca prolongada, como nos anos de 1990-2002 (para os dois postos esse período se destacou com picos seguidos de anomalias negativas de acordo com o IAC e seca intensa de acordo com o SPI). Nos últimos anos, o posto 11 se mostrou mais susceptível à seca, como uma seca prolongada de 23 meses entre 2016 e 2018 com média de -1.19 (indicando um período moderadamente seco), além disso, também apresenta os maiores picos de SPI enquanto o posto 44 apresenta os maiores valores do índice para a soma de todos os valores em cada período de seca. Assim como nos postos do grupo anterior, mesmo com a seca prolongada os valores médios são mais baixos que os demais.

Tabela 19 – SPI para o posto 11.

<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
01/01/1971	06/01/1971	5	-1.7	-4.59	-0.92	-1.21
03/01/1982	05/01/1984	26	-1.56	-19.2	-0.74	-0.69
02/01/1993	02/01/1994	12	-1.49	-9.46	-0.79	-0.79
03/01/1995	01/01/1998	34	-1.34	-16.2	-0.48	-0.52
04/01/1998	02/01/2003	58	-2.14	-55.41	-0.96	-0.87
01/01/2005	04/01/2006	15	-2.48	-15.1	-1.01	-0.89
04/01/2007	04/01/2008	12	-1.79	-18.27	-1.52	-1.63
05/01/2012	03/01/2014	22	-2.94	-34.91	-1.59	-1.41
03/01/2016	02/01/2018	23	-2.4	-27.31	-1.19	-1.37

Fonte: A autora (2021).

Tabela 20 – SPI para o posto 44.

<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
04/01/1966	03/01/1967	11	-1.47	-12.27	-1.12	-1.1
02/01/1981	06/01/1981	4	-1.61	-3.17	-0.79	-0.73
04/01/1982	04/01/1984	24	-2.33	-28.2	-1.18	-1.03
02/01/1993	03/01/1996	37	-1.16	-21.2	-0.57	-0.45
03/01/1998	04/01/2000	25	-2.35	-32.68	-1.31	-1.06
03/01/2001	01/01/2002	10	-1.55	-13.19	-1.32	-1.29

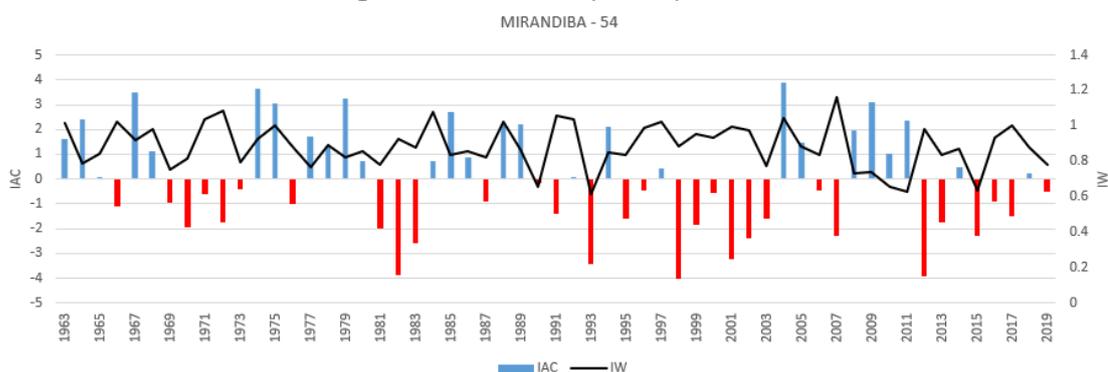
02/01/2005	12/01/2005	10	-1.42	-2.54	-0.25	-0.11
10/01/2012	03/01/2014	17	-2.75	-20.43	-1.2	-1.14
01/01/2017	04/01/2017	3	-1.22	-3.21	-1.07	-1.1

Fonte: A autora (2021).

Próximo a esses postos e com altimetria parecida está localizado o posto 54 (Mirandiba) (Figura 21). Com relação ao IAC, ao contrário das anteriores, ele possui uma boa quantidade de anos com IAC positivo embora o IW mostre que a sazonalidade nessa área também é forte. O SPI mostrou resultados melhores do que os anteriores, indicando que mesmo com períodos de seca prolongada, também ocorreram períodos em que as condições climáticas estavam mais favoráveis a umidade.

Devido ao período de IAC positivo no início da série com apenas um curto período seco em 1966, o primeiro período de seca observado para o município ocorreu apenas em 1970 com média de -1.29 indicando seca moderada. Entre as décadas de 1970 e 1980, também ocorreram períodos em que o SPI não indicou seca (Tabela 21). O maior período de seca encontrado se deu entre os anos de 2001-2004, totalizando 36 meses de seca, com a maior soma de toda a série e considerado moderadamente seco de acordo com a média.

Figura 21 – IAC e IW para o posto 54.



Fonte: A autora (2021).

Tabela 21 – SPI para o posto 54.

Início	Final	Duração (em meses)	Pico	Soma	Média	Mediana
04/01/1970	04/01/1971	12	-1.84	-15.45	-1.29	-1.29
04/01/1972	05/01/1973	13	-1.72	-15.24	-1.17	-1.49

01/01/1982	04/01/1984	27	-2.4	-40.03	-1.48	-1.37
02/01/1993	02/01/1994	12	-2.22	-21.14	-1.76	-1.89
03/01/1998	04/01/2000	25	-2.41	-41.55	-1.66	-1.89
01/01/2001	01/01/2004	36	-1.77	-42.5	-1.18	-1.26
02/01/2005	03/01/2005	1	-1.01	-1.01	-1.01	-1.01
12/01/2007	04/01/2008	4	-1.15	-3.05	-0.76	-0.87
08/01/2012	05/01/2014	21	-2.31	-29.93	-1.43	-1.43
11/01/2015	01/01/2016	2	-1.18	-2.24	-1.12	-1.12
01/01/2017	02/01/2018	13	-1.98	-9.5	-0.73	-0.53

Fonte: A autora (2021).

Os próximos postos analisados são os do município de Serra Talhada, divididos em dois blocos em função da altimetria. Os postos 12, 13, e 189 com altimetria de 519, 435 e 483, respectivamente serão os primeiros. Observando os gráficos de precipitação em função da média (APÊNDICE B), nota-se que o posto 12 possui a maior precipitação média anual com relação as demais, embora também fique claro que nessa localidade, nos últimos anos a precipitação anual não vem alcançando a média histórica. O posto 189 apresenta a maior quantidade de anos com precipitação acima da média dentre as três analisadas.

Com relação ao IW para esses postos pluviométricos (Figuras 22, 23 e 24) temos comportamento semelhante de IW para os postos 12 e 189, para quase toda a série o IW possui valor maior do que o máximo tabelado, indicando forte sazonalidade da precipitação. O posto 12 se destaca por ser aquela dentro do município que embora não alcance o valor máximo, muitas vezes, não possui nenhum valor de IW menor que 0.

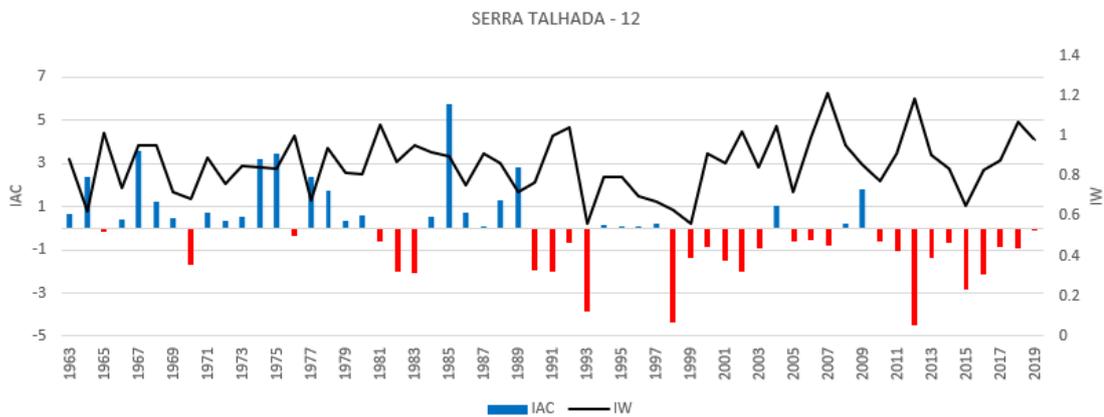
A maioria dos valores obtidos para esse posto giram em torno de 0.6 até 0.8, indicando precipitação sazonal, porém não concentrada em poucos meses. O posto 13 foi o que se mostrou com maior sazonalidade dentre eles, onde, com muitos anos com valores acima de 1 e média entre 0.8 e 1.0, as chuvas foram classificadas como sazonal com longa estação seca.

O IAC segue o mesmo padrão anterior, onde os postos 12 e 189 apresentam comportamentos semelhantes, com a maior média de valores sendo entre 0 e 2 indicando normalidade ou umidade suave para os períodos mais úmidos e entre 0 e -2 nos anos mais secos indicando seca suave e moderada. Para o posto 13,

principalmente a partir do ano de 2004, nota-se que ele apresenta umidade menor que o posto 189, porém maior que o posto 12. Na última década o posto 12 não apresentou nenhum ano com IAC positivo. Silva *et al.* (2017) quando aplicaram o IAC para o município de Petrolina, também obtiveram resultados indicando a diminuição da precipitação média ao longo dos últimos sete anos. Eles ainda disseram que os anos considerados anômalos possuem relação forte com a ocorrência do fenômeno ENOS.

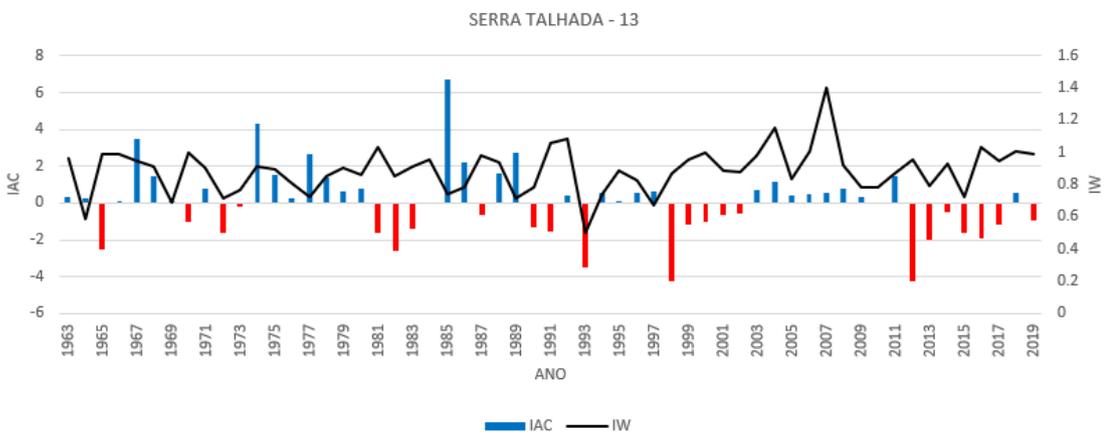
Rodrigues *et al.* (2019) quando aplicou o IAC para o município de Parnamirim, localizado a 150km de Serra Talhada, também no sertão do Estado, obteve resultados semelhantes, onde quase toda a série apresentou IAC negativo e concentração de chuvas em poucos meses.

Figura 22 – IAC e IW para o posto 12.



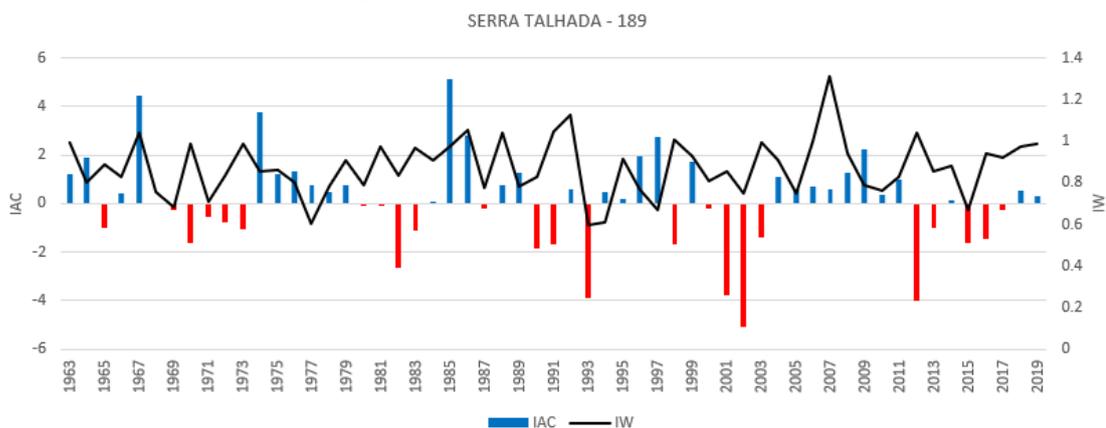
Fonte: A autora (2021).

Figura 23 – IAC e IW para o posto 13.



Fonte: A autora (2021).

Figura 24- IAC e IW para o posto 189.



Fonte: A autora (2021).

Com relação ao SPI, o posto 12 (Tabela 22) possui longos períodos de seca para quase toda a série, sendo o maior de 46 meses entre 2015-2019, com média de -0.76 (uma das menores médias observadas em toda a série), e o menor período de seca num total de quatro meses no ano de 2008. Farias *et al.* (2017) e Duarte *et al.* (2018) em estudos para áreas semiáridas do estado da Paraíba também encontraram períodos de seca severa para os últimos anos. Esse posto também se destaca por ter quase todos os períodos prolongados de seca superiores a 12 meses de duração.

Para o posto 13 (Tabela 23), aconteceram mais períodos de seca quando comparados com o posto 12, embora, nota-se que não foram encontrados nenhum período de seca tão prolongado quanto os 46 meses do posto 12. Em média, nesse posto, os períodos de seca duram pouco mais de um ano, mesmo com tudo isso, a média e a mediana dos valores observados são mais altas em comparação com as anteriores. Os maiores período de seca encontrados foram de 30 meses entre 1981 e 1984 e de 24 meses entre 2012 e 2014.

O posto 189 (Tabela 24), assim como já mencionado com os índices anteriores, também se assemelha ao posto 12 quando é analisado o SPI com relação aos períodos de seca, porém a semelhança com o posto 13 é maior quando se analisa a duração desses períodos em meses. Para esse posto foi encontrado o maior pico para todo o município, -3.84 no período de seca entre 2001 e 2004 que durou 33 meses, coincidentemente esse é o período mais longo de seca encontrado para esse posto

Tabela 22 – SPI para o posto 12.

<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
07/01/1970	04/01/1971	9	-1.24	-6.99	-0.78	-0.72
04/01/1982	04/01/1984	24	-1.11	-17.05	-0.71	-0.69
02/01/1993	06/01/1994	16	-2.39	-25.91	-1.62	-2.01
04/01/1998	04/01/2000	24	-2.75	-39.13	-1.63	-1.7
01/01/2003	01/01/2004	12	-1.15	-5.87	-0.49	-0.47
02/01/2005	02/01/2006	12	-1.6	-6.6	-0.55	-0.43
02/01/2008	06/01/2008	4	-1.05	-1.79	-0.45	-0.36
04/01/2012	03/01/2014	23	-3.44	-45.59	-1.98	-2.02
05/01/2015	03/01/2019	46	-1.95	-35.18	-0.76	-0.88

Fonte: A autora (2021).

Tabela 23 – SPI para o posto 13.

<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
09/01/1965	12/01/1966	15	-1.24	-10.09	-0.67	-0.54
02/01/1971	04/01/1971	2	-1.16	-2.18	-1.09	-1.09
11/01/1972	10/01/1973	11	-1.18	-6.84	-0.62	-0.42
11/01/1981	05/01/1984	30	-1.3	-21.43	-0.71	-0.72
02/01/1993	05/01/1994	15	-2.16	-21.03	-1.4	-1.7
05/01/1998	02/01/2000	21	-2.8	-39.51	-1.88	-2.06
01/01/2005	03/01/2005	2	-1.55	-2.64	-1.32	-1.32
02/01/2008	05/01/2008	3	-1.3	-2.07	-0.69	-0.52
05/01/2012	05/01/2014	24	-2.82	-41.88	-1.75	-1.7
01/01/2017	02/01/2018	13	-1.93	-9.17	-0.71	-0.44

Fonte: A autora (2021).

Tabela 24 – SPI para o posto 189.

<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
01/01/1971	01/01/1972	12	-1.92	-6.48	-0.54	-0.16
03/01/1982	07/01/1984	28	-1.71	-20.62	-0.74	-0.4
02/01/1993	07/01/1994	17	-2.39	-28.67	-1.69	-2.21
01/01/1999	10/01/1999	9	-2.46	-11.92	-1.32	-1.11
04/01/2001	01/01/2004	33	-3.84	-67.56	-2.05	-1.69
02/01/2005	03/01/2005	1	-1.04	-1.04	-1.04	-1.04

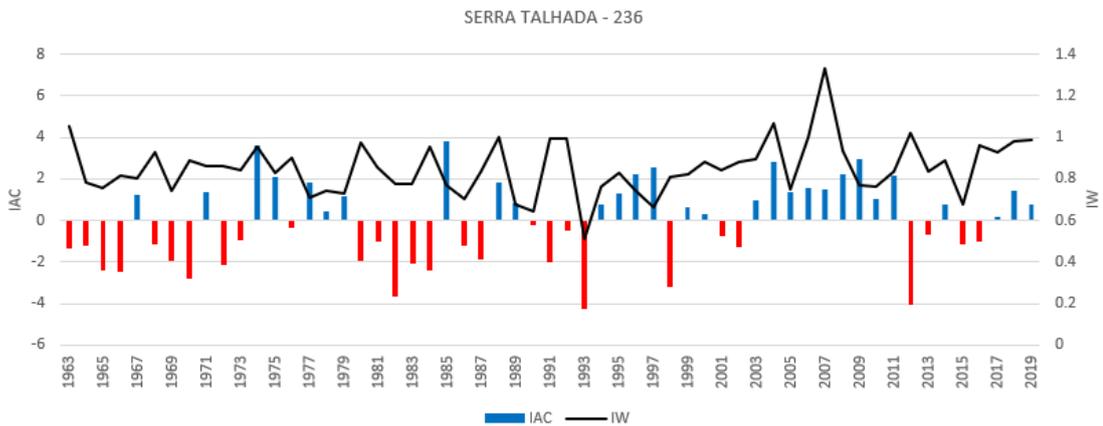
05/01/2012	03/01/2014	22	-2.96	-37.28	-1.69	-1.66
01/01/2017	06/01/2017	5	-1.6	-4.96	-0.99	-0.99

Fonte: A autora (2021).

Ainda no município de Serra Talhada, só que mais ao sul e em uma área com altimetria menor que as anteriores, temos os postos 236, 297 e 197. Para os postos 236 (Figura 25) e 297 (Figura 26) o IW foi extremamente parecido olhando visualmente, porém o posto 297 apresentou quase a série toda com valores superiores a 1, enquanto a 236 obteve valores médios entre 0.8 e 1, mesmo assim, os dois se caracterizam como chuvas sazonais e concentradas em poucos meses do ano (3 no máximo) e longa estação seca. O posto 197 (Figura 27) mostrou mais anos com valores entre 0.6 e 08, caracterizando apenas chuvas sazonais.

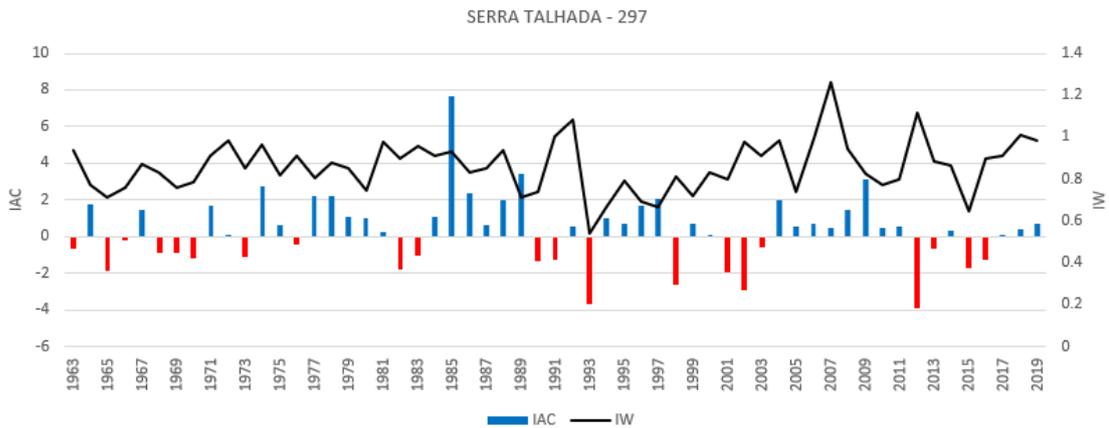
Com relação ao índice de anomalia de chuva, todos os postos pluviométricos apresentaram mais anos com IAC negativo do que com IAC positivo, assim como as anteriores, a maior quantidade de anos obteve eles entre 0 e -2, indicando seca suave e seca moderada, as secas mais intensas podem ser observadas para os anos de 1993 e 2012 para os três postos.

Figura 25 – IAC e IW para o posto 236.



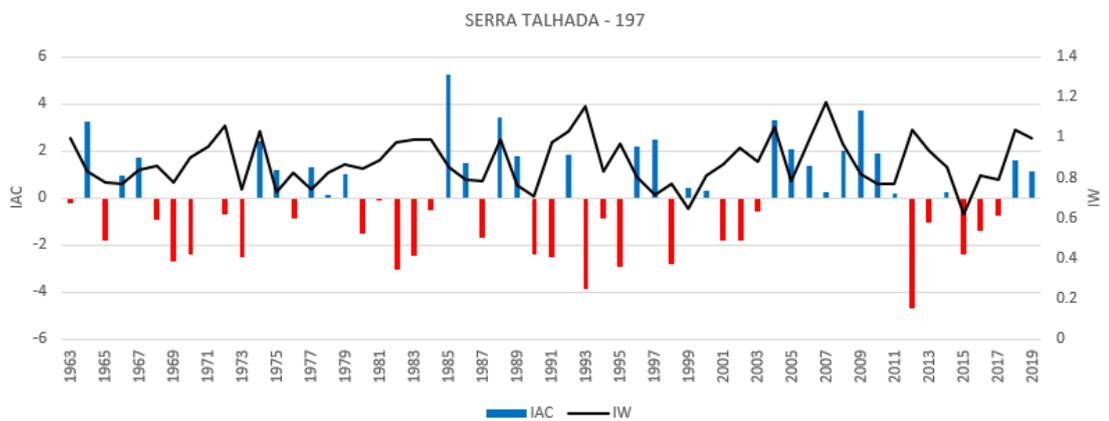
Fonte: A autora (2021).

Figura 26 – IAC e IW para o posto 297.



Fonte: A autora (2021).

Figura 27 – IAC e IW para o posto 197.



Fonte: A autora (2021).

O SPI para esses postos podem ser observados nas Tabelas 25, 26 e 27. Os postos 236 e 297 apresentaram períodos de seca mais para o início da série e pelo menos de duas a três vezes por década foi possível notar períodos de seca prolongada, destacando-se o período de 1981-1985 para o posto 236 com seca prolongada de 49 meses (e maior pico de SPI) e 2001-2004 para o posto 297 com seca prolongada de 25 meses. Desde 2005, os dois postos vêm apresentando o mesmo período de seca, embora com intensidades diferentes como podem ser observados pelos valores da soma e pico do SPI. O posto 297 apresenta esses indicadores um pouco maiores que o posto 236, indicando que para ele o período de seca é mais intenso. O posto 197 apresenta menos períodos de seca que os anteriores, porém, as secas demonstraram ser mais prolongadas, alcançando 34 meses entre 1982-1984, 37 meses entre 1993-1996 e 27 meses entre 2015-2018.

Para o posto 297 também é observado o maior pico de toda a série histórica, superior a -3, indicando uma seca extremamente forte.

Tabela 25 – SPI para o posto 236.

<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
11/01/1963	07/01/1964	8	-1.11	-4.25	-0.53	-0.44
04/01/1965	03/01/1967	23	-1.95	-33.54	-1.46	-1.53
03/01/1969	04/01/1971	25	-2.02	-30.47	-1.22	-1.11
06/01/1972	01/01/1974	19	-1.63	-17.38	-0.91	-0.95
01/01/1981	02/01/1985	49	-2.28	-57.53	-1.17	-1.13
01/01/1988	04/01/1988	3	-1.16	-2.73	-0.91	-1.1
02/01/1993	05/01/1994	15	-2.7	-28.97	-1.93	-2.35
10/01/1998	11/01/1999	13	-2.43	-20.9	-1.61	-1.6
02/01/2005	03/01/2005	1	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08
05/01/2012	03/01/2014	22	-2.91	-35.2	-1.6	-1.5
01/01/2017	06/01/2017	5	-1.53	-4.19	-0.84	-0.83

Fonte: A autora (2021).

Tabela 26 – SPI para o posto 297.

<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
08/01/1965	12/01/1966	16	-1.17	-11.12	-0.69	-0.71
01/01/1971	04/01/1971	3	-1.02	-1.47	-0.49	-0.39
02/01/1984	04/01/1984	2	-1.18	-1.58	-0.79	-0.79
02/01/1993	05/01/1994	15	-2.41	-26.51	-1.77	-2.18
11/01/1998	11/01/1999	12	-2.5	-15.77	-1.31	-1.2
12/01/2001	01/01/2004	25	-1.68	-21.19	-0.85	-1.02
02/01/2005	03/01/2005	1	-1.15	-1.15	-1.15	-1.15
05/01/2012	03/01/2014	22	-3.31	-37.23	-1.69	-1.69
01/01/2017	06/01/2017	5	-1.63	-4.8	-0.96	-1

Fonte: A autora (2021).

Tabela 27 – SPI para o posto 197.

<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
05/01/1969	04/01/1971	23	-1.62	-26.73	-1.16	-1.12

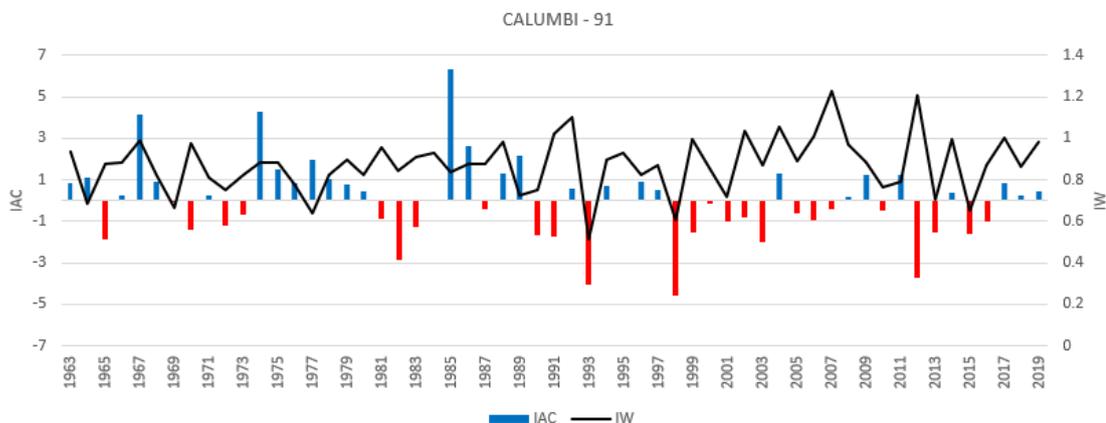
04/01/1972	10/01/1973	18	-1.67	-17.39	-0.97	-0.62
12/01/1973	02/01/1974	2	-1.18	-1.34	-0.67	-0.67
02/01/1981	10/01/1981	8	-1.63	-2.54	-0.32	-0.11
03/01/1982	01/01/1985	34	-2.31	-33.39	-0.98	-0.87
12/01/1990	02/01/1992	14	-1.18	-11.36	-0.81	-0.94
04/01/1993	05/01/1996	37	-2.09	-44.07	-1.19	-1.16
06/01/1998	12/01/1999	18	-2.11	-21.55	-1.2	-1.19
01/01/2003	01/01/2004	12	-1.31	-4.12	-0.34	-0.22
04/01/2012	03/01/2014	23	-3.51	-46.74	-2.03	-2.04
11/01/2015	02/01/2018	27	-1.74	-17.14	-0.63	-0.49

Fonte: A autora (2021).

O posto 91 (Figura 28) está localizado no município de Calumbi, limítrofe com Serra Talhada ao norte da bacia hidrográfica. O IAC apresentou muitos valores abaixo de 0, indicando anomalias negativas de precipitação. Ocorreram dois picos negativos, em 1993 e em 1998 com valores inferiores a -3, indicando seca alta e extremamente seco. A anomalia positiva de destaque ocorreu no ano de 1985. Com relação ao IW, destaca-se o ano de 1993, que embora tenha tido um pico negativo de IAC, para o IW obteve valor próximo de 0.50, indicando sazonalidade com curta estação seca. Nos últimos anos, o IW retornou uma média de valores entre 0.60 e 0.80 indicando sazonalidade com longa estação seca.

Já para o SPI (Tabela 28) o maior período prolongado de seca aconteceu entre 1982 e 1984, totalizando duração de 26 meses, com pico de -1.57 e média de -0.81, caracterizando extremamente seco e moderadamente seco, respectivamente. No geral, esse posto não apresentou períodos de seca muito extensos quando comparadas com as demais. Os valores das médias também não foram muito discrepantes, com o menor valor chegando a -1.93.

Figura 28 – IAC e IW para o posto 91.



Fonte: A autora (2021).

Tabela 28 – SPI para o posto 91.

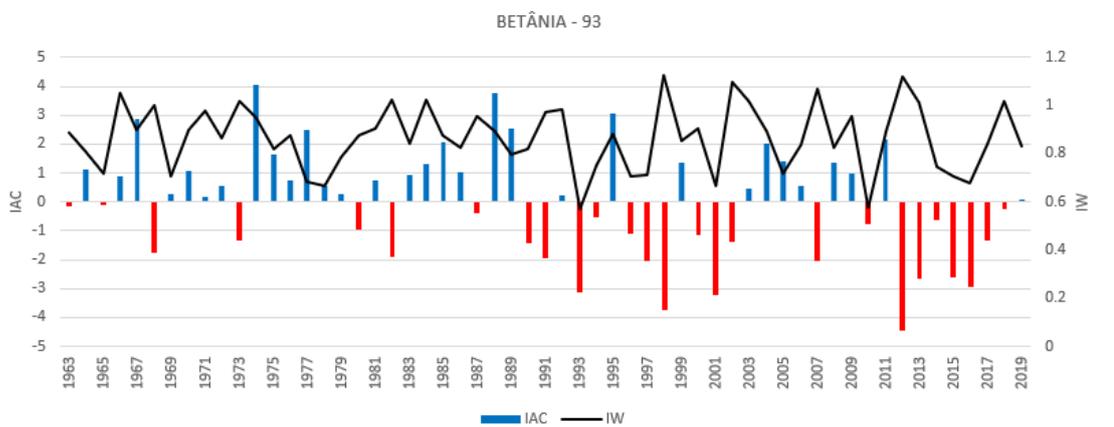
Início	Final	Duração (em meses)	Pico	Soma	Média	Mediana
01/01/1971	05/01/1971	4	-1.63	-4.32	-1.08	-1.27
02/01/1973	10/01/1973	8	-1.03	-3.99	-0.5	-0.33
03/01/1982	05/01/1984	26	-1.57	-21.07	-0.81	-0.78
02/01/1993	04/01/1994	14	-2.51	-27.02	-1.93	-2.17
04/01/1998	04/01/2000	24	-3.27	-39.79	-1.66	-1.82
01/01/2003	01/01/2004	12	-1.27	-10.59	-0.88	-0.87
02/01/2005	03/01/2005	1	-1.14	-1.14	-1.14	-1.14
08/01/2012	05/01/2014	21	-3.01	-31.49	-1.5	-1.24
01/01/2017	04/01/2017	3	-1.65	-3.52	-1.17	-1

Fonte: A autora (2021).

O posto 93 e o 266 estão localizados no município de Betânia. Primeiramente, para o posto 93 (Figura 29), analisando o IAC, nota-se que no início da série até meados dos anos 1990 os valores encontrados para o índice se concentraram entre 0 e -2 indicando normal, seca suave e início de seca moderada. A partir dos anos 1990 começam os picos inferiores a -2, indicando seca moderada e alta. Macedo *et al.* (2010) encontraram valores semelhantes quando aplicaram os índices para o estado da Paraíba. O único ano considerado como extremamente seco foi o de 2012, porém, é a partir desse ano até 2019 que aconteceram anos sucessivos de anomalias negativas além de não ocorrer nenhum pico que índice umidade extrema. O IW se apresenta quase todo acima de 1, indicando concentração de chuvas em poucos meses.

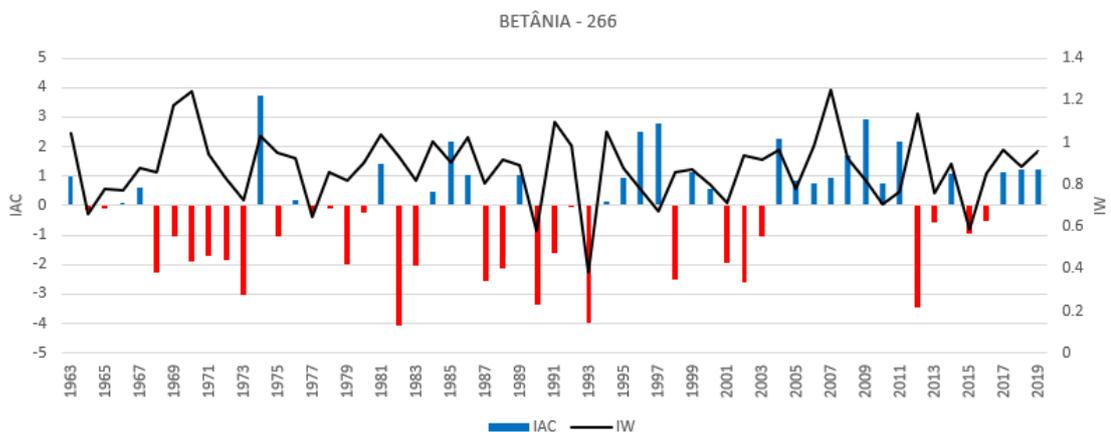
Para o posto 266 (Figura 30), o IAC se comportou como o anterior, embora tenha ocorrido mais períodos de anomalias negativas com menos intensidade, notando claramente que em nenhum ano o valor obtido foi inferior a -4, a maior parte dos valores condizem com uma seca suave. Para o IW em apenas um ano o valor obtido ultrapassou -1.20, indicando concentração de chuvas em um ou dois meses, o restante dos valores indica média entre 0.8 e 1, indicando sazonalidade com longa estação seca e início de chuvas concentradas em três meses ou menos.

Figura 29 – IAC e IW para o posto 93.



Fonte: A autora (2021).

Figura 30 – IAC e IW para o posto 266.



Fonte: A autora (2021).

O SPI demonstra que o posto 93 (Tabela 29) apresenta períodos de seca mais longos e mais intensos do que os apresentados pelo posto 266, embora este posto apresente mais períodos de seca. Para o 93, o maior período de seca foi 31 meses entre 2015 e 2019, com média de -0.79. Porém, correlacionando o SPI com o IAC para o mesmo posto, a partir de 2012 acontece um período sucessivo de seca. Entre

2012 e 2014 acontece um período prolongado de seca de 25 meses que apresentou o maior valor de pico encontrado em toda a série. Outro período em destaque foi entre 1997 e 1999, com 30 meses de duração e média de -1.51, caracterizado como muito seco. Assim como em alguns postos já mencionados, este também obteve valores recentes que indicam uma seca prolongada nos últimos anos.

Para o posto 266 (Tabela 30) ocorreram vários períodos de seca, porém com curta duração como dois meses entre 1968 e 1969, um mês em 1981 e 2017. O período mais longo de seca se deu por 41 meses entre 1970 e 1974, com média de -1.2 e o período de maior intensidade se deu por 13 meses entre 1993 e 1994 com valor de média de -2.4.

Tabela 29 – SPI para o posto 93.

<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
01/01/1963	12/01/1963	11	-1.85	-14.26	-1.3	-1.28
02/01/1981	03/01/1981	1	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23
02/01/1993	07/01/1994	17	-2.05	-23	-1.35	-1.74
04/01/1997	10/01/1999	30	-2.88	-45.27	-1.51	-1.4
02/01/2001	03/01/2003	25	-1.85	-22.24	-0.89	-0.59
02/01/2008	04/01/2008	2	-1.61	-1.75	-0.87	-0.87
05/01/2012	06/01/2014	25	-3.75	-54.56	-2.18	-2.59
07/01/2015	02/01/2018	31	-2.55	-36.73	-1.18	-1.13

Fonte: A autora (2021).

Tabela 30 – SPI para o posto 266.

<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
12/01/1968	02/01/1969	2	-1.2	-1.83	-0.91	-0.91
09/01/1970	02/01/1974	41	-3.09	-49.21	-1.2	-1.13
04/01/1977	02/01/1978	10	-1.07	-6.23	-0.62	-0.65
05/01/1979	02/01/1980	9	-1.23	-10.21	-1.13	-1.19
02/01/1981	03/01/1981	1	-1.69	-1.69	-1.69	-1.69
03/01/1982	04/01/1984	25	-2.65	-38.78	-1.55	-1.32
04/01/1987	12/01/1989	32	-1.64	-36.98	-1.16	-1.28
12/01/1990	02/01/1992	14	-2.17	-15.65	-1.12	-1.17
02/01/1993	03/01/1994	13	-2.74	-31.15	-2.4	-2.61

11/01/1998	10/01/1999	11	-2.66	-15.43	-1.4	-1.22
07/01/2002	01/01/2004	18	-1.69	-14.12	-0.78	-0.56
06/01/2012	03/01/2014	21	-2.82	-29.03	-1.38	-1.28
03/01/2017	04/01/2017	1	-1.21	-1.21	-1.21	-1.21

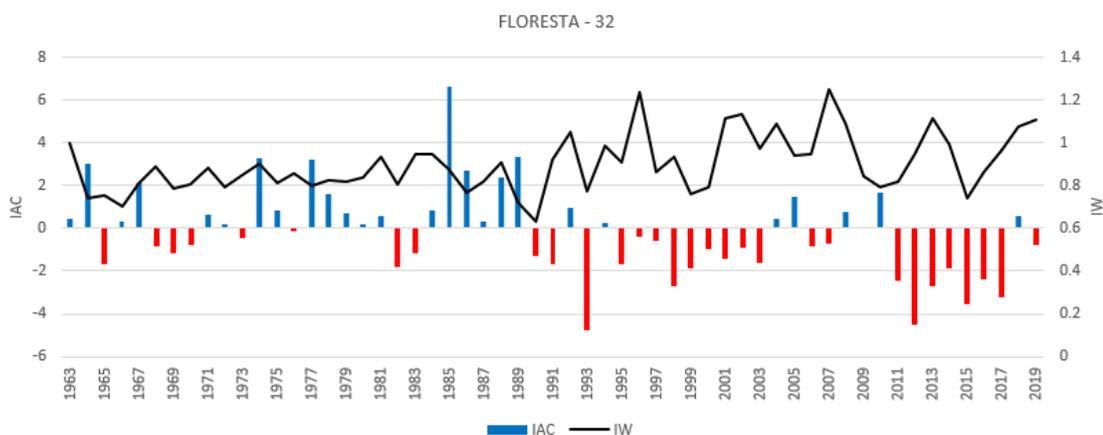
Fonte: A autora (2021).

O próximo município trabalhado foi o de Floresta, último município do lado esquerdo do rio Pajeú antes que ele alcance sua foz no rio São Francisco. Nesse município foram trabalhados três postos pluviométricos, o 32 (o mais próximo da foz do rio Pajeú), o 255 (ao norte do município) e o 419 (na divisa municipal entre Floresta e Serra Talhada).

Iniciando a discussão pelo posto 32 (Figura 31), já que ele é diferente dos demais em todos os índices. Para o IW esse posto só apresentou valores acima de 1 a partir da década de 1990, antes disso, praticamente todos os valores oscilaram entre 0.7 e pouco acima de 0.8, indicando apenas a sazonalidade comum para o clima semiárido, porém, a partir de 1990, valores acima de 1 começaram a ser mais comuns, em contrapartida, isso reflete diretamente no IAC, visto que a partir dessa época é possível notar que não existem valores significantes de anomalias positivas. O único pico de IAC positivo observado na série foi alcançado no ano de 1985. Desde 2009 a região enfrenta uma longa série de anomalias negativas, indicando seca extrema e prolongada.

Com relação ao SPI (tabela 31), apesar de ter sido detectado apenas 6 períodos de seca prolongada, são todos acima de um ano. De 2011-2014 e 2015-2018 foram encontrados os maiores períodos com 35 e 36 meses de duração respectivamente. Embora a média sugira apenas que o período seja classificado como moderadamente ou muito seco, a mediana apresenta dois valores acima de -2.00, indicando seca extrema. Marcos-Garcia, Lopez-Nicolas e Pulido-Velazquez (2017) também utilizaram vários índices de seca para analisar a condição climática em uma bacia mediterrânea, atestando aumento da frequência e intensidade das secas, porém o maior período de duração de seca analisado por ele foi de 14 meses.

Figura 31 – IAC e IW para o posto 32.



Fonte: A autora (2021).

Tabela 31 – SPI para o posto 32.

Início	Final	Duração (em meses)	Pico	Soma	Média	Mediana
02/01/1993	05/01/1994	15	-2.98	-29.64	-1.98	-2.35
03/01/1995	11/01/1996	20	-1.09	-14.62	-0.73	-0.7
04/01/1998	04/01/2000	24	-1.71	-29.56	-1.23	-1.23
01/01/2003	01/01/2004	12	-1.46	-8.2	-0.68	-0.57
12/01/2011	11/01/2014	35	-3.3	-63.77	-1.82	-2.18
04/01/2015	04/01/2018	36	-2.7	-52.95	-1.47	-1.53

Fonte: A autora (2021).

Os postos 255 (Figura 32) e 419 (Figura 33) apresentaram comportamento para IAC e IW bem semelhantes. Visualmente, pode ser observado que os picos e quedas acontecem nos mesmos períodos com relação ao IW, e com relação ao IAC também foram observados os mesmos períodos de anomalias positivas e negativas, embora o posto 255 apresente menos anomalias positivas em comparação com o 419. Trazendo o SPI para a discussão (Tabelas 32 e 33), o posto 419 apresenta mais períodos de seca, porém com menor duração até o final da década de 1980, após isso o comportamento se inverte e a 155 é aquela a apresentar os períodos mais prolongados de seca. A maior duração para as séries é de 47 meses para o posto 255 entre os anos de 1969 e 1973 com média de -0.7 e de 34 meses entre 1969 e 1972 com média de -0.82 para o posto 419, indicando valores próximos ao normal. Nenhuma apresentou valor de SPI condizente com seca extrema.

Figura 32 – IAC e IW para o posto 255.

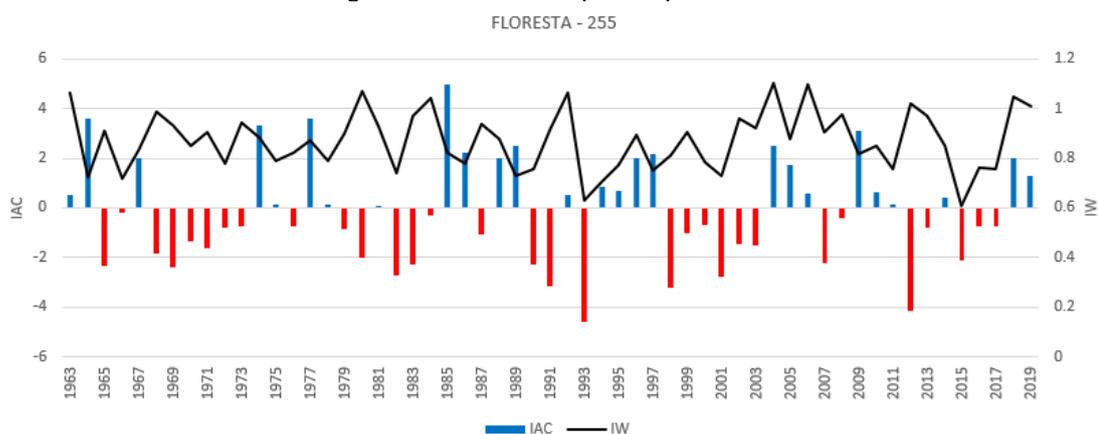


Figura 33 – IAC e IW para o posto 419.

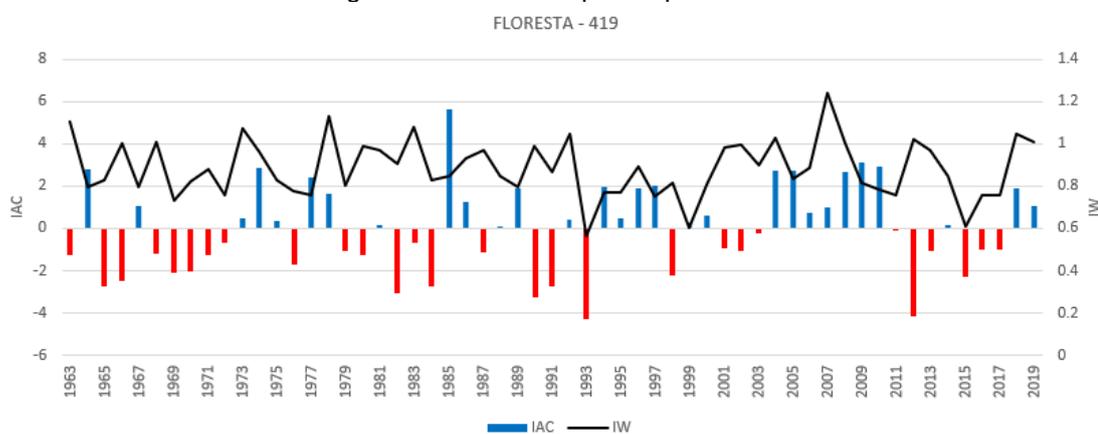


Tabela 32 – SPI para o posto 255.

Início	Final	Duração (em meses)	Pico	Soma	Média	Mediana
12/01/1965	12/01/1966	12	-1.15	-7.18	-0.6	-0.45
05/01/1969	04/01/1973	47	-1.39	-32.91	-0.7	-0.78
01/01/1980	12/01/1981	23	-1.51	-12.92	-0.56	-0.52
03/01/1982	09/01/1984	30	-1.64	-27.61	-0.92	-0.94
01/01/1991	04/01/1992	15	-1.81	-16.86	-1.12	-1.3
02/01/1993	11/01/1994	21	-2.77	-30.73	-1.46	-1.93
05/01/1998	01/01/2000	20	-2.27	-28.65	-1.43	-1.45
04/01/2001	01/01/2004	33	-1.31	-25.4	-0.77	-0.67
04/01/2007	01/01/2009	21	-1.76	-12.77	-0.61	-0.69
04/01/2012	03/01/2014	23	-3.13	-40.01	-1.74	-1.7
01/01/2017	02/01/2018	13	-1.52	-8.29	-0.64	-0.44

Fonte: A autora (2021).

Tabela 33 – SPI para o posto 419.

Início	Final	Duração (em meses)	Pico	Soma	Média	Mediana
08/01/1965	03/01/1967	19	-1.73	-25.84	-1.36	-1.35
03/01/1969	01/01/1972	34	-1.25	-27.84	-0.82	-0.89
04/01/1972	03/01/1973	11	-1.19	-9.97	-0.91	-1
07/01/1976	01/01/1977	6	-1.05	-5.21	-0.87	-0.83
02/01/1981	05/01/1981	3	-1.26	-1.42	-0.47	-0.09
03/01/1982	11/01/1983	20	-1.72	-17.89	-0.89	-1.3
02/01/1984	02/01/1985	12	-1.77	-16.3	-1.36	-1.4
04/01/1988	12/01/1988	8	-1.09	-5.59	-0.7	-0.59
12/01/1990	04/01/1992	16	-1.73	-18.43	-1.15	-1.38
02/01/1993	03/01/1994	13	-2.76	-28.35	-2.18	-2.3
07/01/1998	12/01/1999	17	-1.75	-16.58	-0.98	-1.03
01/01/2003	06/01/2003	5	-1.24	-2.35	-0.47	-0.24
04/01/2012	03/01/2014	23	-3.28	-43.46	-1.89	-1.85
11/01/2015	02/01/2018	27	-1.67	-16.24	-0.6	-0.39

Fonte: A autora (2021).

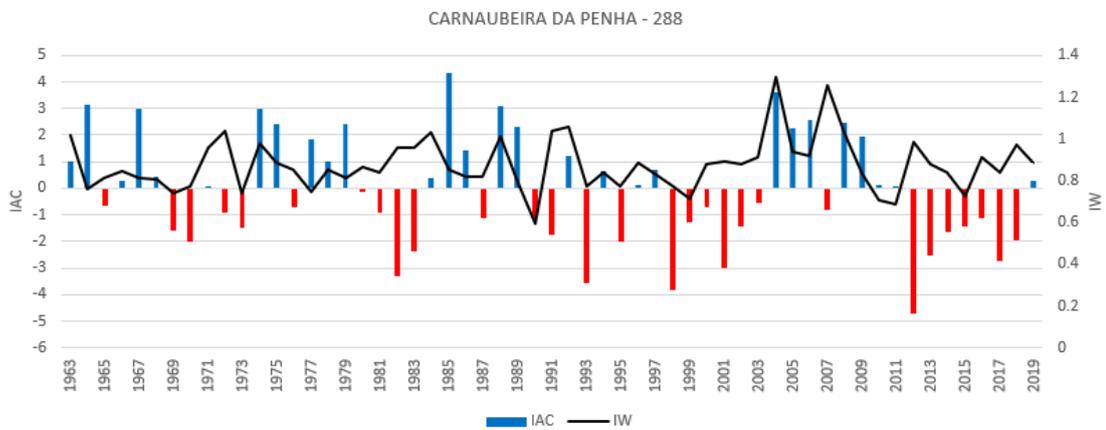
Os postos 288 (Carnaubeira da Penha) e o posto 434 (Belém de São Francisco) estão localizados mais ao oeste da bacia. O IAC para o posto 288 (Figura 34) apresenta muitos valores próximos a 0, o que faz com que o gráfico pareça possuir poucos dados. Existe apenas um ano com pico de extrema umidade (1985), enquanto picos de anomalias negativas são bastante comuns, atingindo o pico em 2012 e seguindo negativo até o ano de 2018, assim como já demonstrado por postos anteriores.

Para o posto 434 (Figura 35), as anomalias positivas e as negativas ficam mais evidentes. Existem três picos de anomalias negativas nos anos de 1982, 1993 e 2012. Esse posto também apresentou 33 anos com picos de anomalias negativas, sendo um dos maiores encontrados neste estudo. Nenhum ano consegue alcançar o pico de anomalia positiva. Com relação ao IW o comportamento entre eles é semelhante, a maioria dos valores obtidos oscilam entre 0.8 e 1, indicando concentração de chuvas em poucos meses do ano.

Com relação ao SPI, o posto 288 (Tabela 34) possui nove períodos prolongados de seca, sendo o maior deles entre 1981 e 1984 com duração de 41

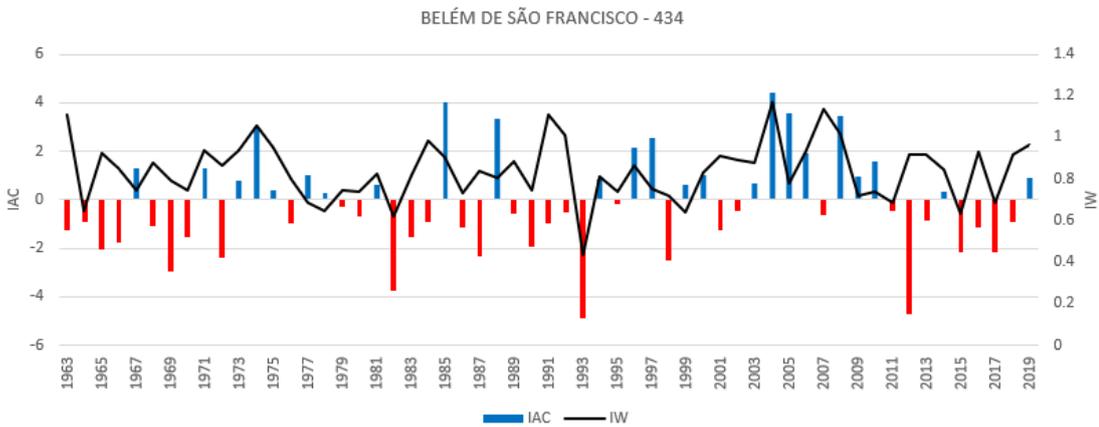
meses e média de -0.84. No geral, embora tenha apresentado secas longas, os valores médios sugerem apenas uma precipitação sazonal ou sazonal com estação seca bem definida. Para o posto 434 (tabela 35), não ocorreu período de seca tão longo como o anterior. Para esse posto, o maior foi de 34 meses entre 1982 e 1985 com média de -0.97. Esse posto também apresentou um valor médio de -2.06 para o período de seca de 16 meses entre 1993 e 1994, indicando chuvas concentradas em um ou dois meses do ano.

Figura 34 – IAC e IW para o posto 288.



Fonte: A autora (2021).

Figura 35 – IAC e IW para o posto 434.



Fonte: A autora (2021).

Tabela 34 – SPI para o posto 288.

Início	Final	Duração (em meses)	Pico	Soma	Média	Mediana
04/01/1970	04/01/1971	12	-1.56	-13.72	-1.14	-1.18
04/01/1972	06/01/1973	14	-1.48	-12.91	-0.92	-1.35

02/01/1981	07/01/1984	41	-2.14	-34.41	-0.84	-0.91
03/01/1993	05/01/1994	14	-1.86	-18.79	-1.34	-1.67
04/01/1998	02/01/2000	22	-2.35	-35.3	-1.6	-1.77
04/01/2001	01/01/2004	33	-1.46	-19.9	-0.6	-0.53
02/01/2005	03/01/2005	1	-1.63	-1.63	-1.63	-1.63
04/01/2012	11/01/2014	31	-3.51	-55.77	-1.8	-2.04
01/01/2017	04/01/2019	27	-1.99	-31.15	-1.15	-1.25

Fonte: A autora (2021).

Tabela 35 – SPI para o posto 434.

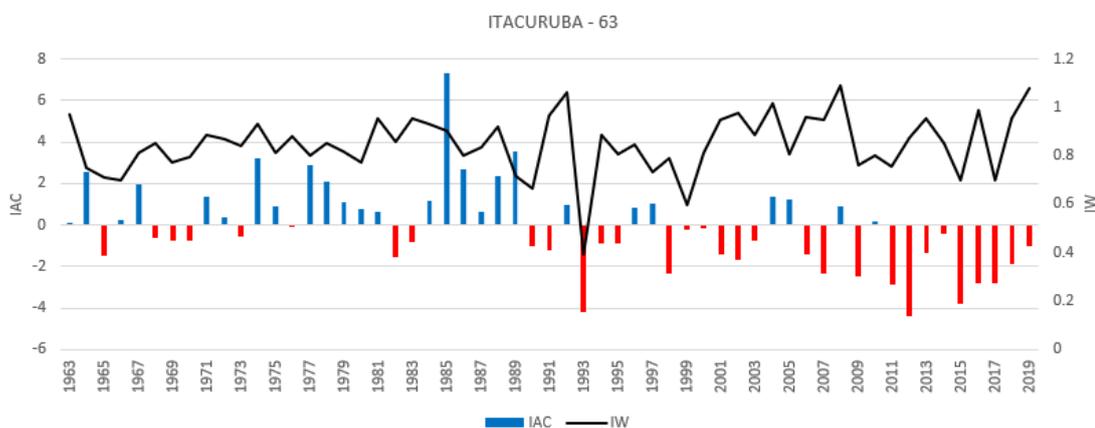
Início	Final	Duração (em meses)	Pico	Soma	Média	Mediana
09/01/1965	03/01/1967	18	-1.17	-15.44	-0.86	-0.85
03/01/1969	03/01/1971	24	-1.88	-28.51	-1.19	-1.19
04/01/1972	03/01/1973	11	-1.53	-13.44	-1.22	-1.25
07/01/1976	01/01/1977	6	-1.11	-4.49	-0.75	-0.84
03/01/1982	01/01/1985	34	-2.04	-32.95	-0.97	-0.81
11/01/1987	03/01/1988	4	-1.01	-3.49	-0.87	-0.9
01/01/1993	05/01/1994	16	-2.87	-32.91	-2.06	-2.63
07/01/1998	12/01/1999	17	-1.79	-15.84	-0.93	-0.98
03/01/2012	03/01/2014	24	-3.12	-44.87	-1.87	-1.96
11/01/2015	01/01/2016	2	-1.03	-1.95	-0.97	-0.97
01/01/2017	03/01/2019	26	-2.01	-22.97	-0.88	-0.88

Fonte: A autora (2021).

O posto 63 está localizado praticamente na foz do rio Pajeú no município de Itacuruba. Mesmo estando em uma área próxima ao rio São Francisco é um dos postos com menor média de precipitação anual de todas as séries estudadas, não chegando aos 500 mm anuais, isso reflete diretamente no IAC e no IW (Figura 36). Mesmo possuindo bons períodos de anomalia positiva, o destaque maior é encontrado para as anomalias negativas, principalmente nas encontradas a partir de 2006, onde em quase todos os anos os valores são maiores que -2, indicando seca extrema e o IW acompanha esse resultado, embora só ocorra três picos acima de 1, quase toda a série se encontra com valores entre 0.8 e 1, indicando a concentração de chuvas.

O SPI retornou resultados com poucos períodos de seca e apenas a partir do ano de 1993, os valores são bem razoáveis, porém os períodos de seca são longos, como os 38 meses entre 1993 e 1996 e os 28 meses entre 2011 e 2014 (Tabela 36).

Figura 36 – IAC e IW para o posto 63.



Fonte: A autora (2021).

Tabela 36 – SPI para o posto 63.

Início	Final	Duração (em meses)	Pico	Soma	Média	Mediana
02/01/1993	04/01/1996	38	-2.62	-38.55	-1.01	-0.5
07/01/1998	12/01/1999	17	-1.64	-16.96	-1	-1.03
01/01/2003	01/01/2004	12	-1.21	-4.65	-0.39	-0.25
12/01/2007	04/01/2008	4	-1.06	-2.99	-0.75	-0.89
04/01/2009	12/01/2010	20	-1.24	-15.46	-0.77	-0.76
12/01/2011	04/01/2014	28	-2.95	-55.44	-1.98	-2.08

Fonte: A autora (2021).

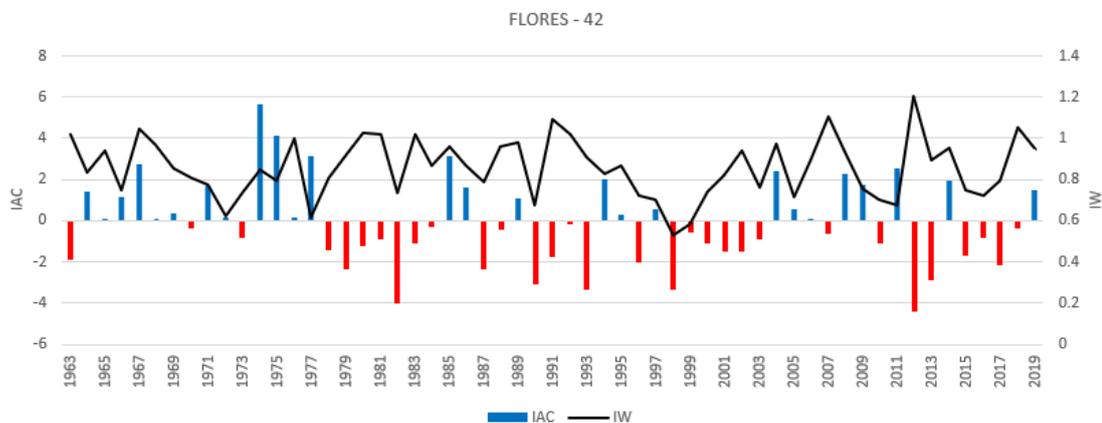
### GRUPO 3

Os postos 42 (Figura 37) e 194 (Figura 38) estão localizados no município de Flores, devido a isso, os dois apresentaram comportamentos semelhantes para o IAC e o IW. Ambos possuem valores de IW superiores a 1 e no ano de 2012, atingem o pico superior a 1.2, indicando concentração de chuvas em um ou dois meses do ano, porém, esse é o único ano de toda a série a atingir tal valor, o que se mostra incomum na área. Mesmo assim, o valor médio para os dois postos gira em torno de 0.8 e 1, assim como os anteriores, indicando concentração de chuvas em três meses do ano.

Para o IAC, embora parecidos, o posto 42 possui mais períodos de anomalia negativa do que a 194. Os picos e os valores mais baixos são alcançados pelas duas nos mesmos períodos. O posto 42 também mostrou o pico mais alto de anomalia positiva,  $>5$  em 1974.

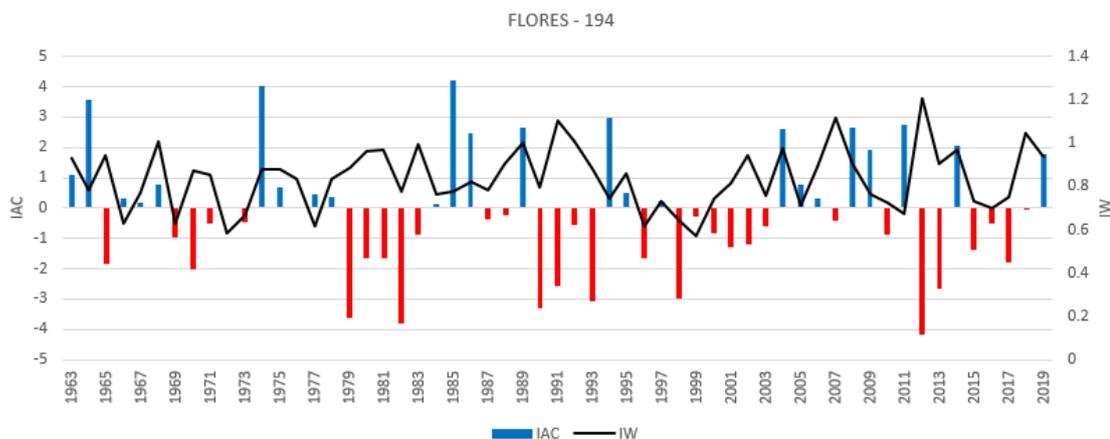
Com relação ao SPI, o posto 42 (Tabela 37) retornou mais períodos secos do que o posto 194 (Tabela 38). O diferencial é que não ocorreram períodos secos logo no início da série, iniciando apenas no início da década de 1970 para o posto 194 (com duração de 12 meses e média de  $-0.90$ ) e para o final da década de 1970 até 1985 para o posto 42, que retornou um dos períodos secos mais longos de todas as séries analisadas, com duração de 69 meses e média de  $-0.87$ , ambos indicam período moderado de seca, mesmo que esse período de 69 meses tenha apresentado um pico de  $-2.32$ , indicando seca extrema. Após isso, o posto 42 se manteve com períodos de seca menos duradouros, embora mais frequentes e o posto 194 apresentou seca prolongada entre 1979-1984 e 1990-1994, com 63 e 46 meses respectivamente e com picos maiores que  $-2$ , indicando secas prolongadas e intensas.

Figura 37 – IAC e IW para o posto 42.



Fonte: A autora (2021).

Figura 38 – IAC e IW para o posto 194.



Fonte: A autora (2021)

Tabela 37 – SPI para o posto 42.

Início	Final	Duração (em meses)	Pico	Soma	Média	Mediana
04/01/1979	01/01/1985	69	-2.32	-59.87	-0.87	-0.63
11/01/1987	04/01/1989	17	-1.31	-10.99	-0.65	-0.71
05/01/1990	03/01/1991	10	-1.56	-10.17	-1.02	-0.99
02/01/1993	04/01/1994	14	-2.51	-22.47	-1.61	-1.72
05/01/1996	03/01/1997	10	-1.17	-7.96	-0.8	-0.86
04/01/1998	02/01/2000	22	-1.99	-24.94	-1.13	-1.16
01/01/2003	01/01/2004	12	-1.08	-7.63	-0.64	-0.61
06/01/2012	03/01/2014	21	-4	-42.74	-2.04	-1.88
01/01/2018	01/01/2019	12	-1.13	-4.02	-0.33	-0.31

Fonte: A autora (2021).

Tabela 38 – SPI para o posto 194.

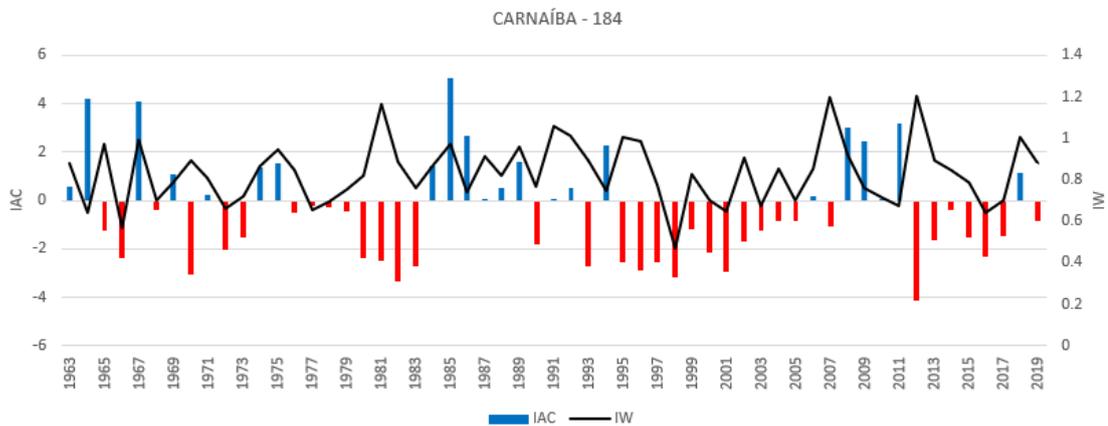
Início	Final	Duração (em meses)	Pico	Soma	Média	Mediana
07/01/1970	07/01/1971	12	-1.73	-10.81	-0.9	-0.86
05/01/1979	08/01/1984	63	-2.3	-69.07	-1.1	-1.01
05/01/1990	03/01/1994	46	-2.55	-50.03	-1.09	-1.23
05/01/1996	02/01/1997	9	-1.02	-5.86	-0.65	-0.64
05/01/1998	12/01/1999	19	-1.89	-18.79	-0.99	-1.24
08/01/2012	03/01/2014	19	-3.92	-37.65	-1.98	-1.74

Fonte: A autora (2021).

O posto 184 (Figura 39) está localizado no município de Carnaíba e o 238 (Figura 40) no município de Quixabá. Devido à proximidade geográfica, os dois apresentaram comportamento semelhante para o IAC e O IW, embora o posto 184 apresente mais anomalias negativas do que o outro. Nota-se que a partir da década de 1990, se torna cada vez mais comum anos com IAC inferiores a 0 para o posto 184, isso só acontece para o posto 238 a partir de 2012, inclusive, nenhum ano após esse obteve IAC positivo. As anomalias positivas são poucas, e atingindo o pico temos apenas o ano de 1985 para os dois postos e 1994 para o segundo.

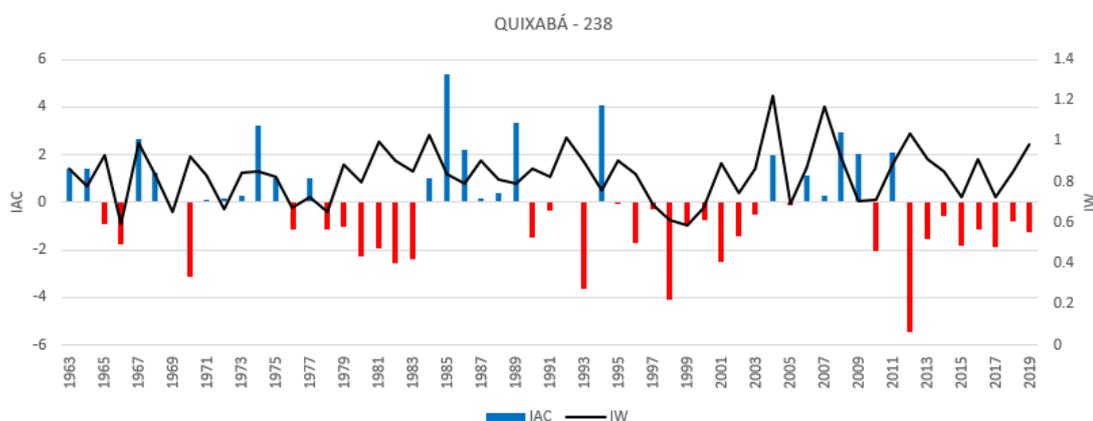
Com relação ao IW, os postos atingiram o pico máximo em 1.2, indicando que nesses anos apenas um ou dois meses do ano foram considerados chuvosos. Entretanto, o posto 184 obteve valor de IW de 0.4 no ano de 1998, sendo um dos valores mais baixos encontrados em todo o estudo. Esse valor indica que neste ano apesar da sazonalidade da precipitação, a estação seca aconteceu em um curto período, porém, quando se analisa o SPI para esse mesmo posto (tabela 39), nota-se que o ano de 1998 está dentro de um período extremamente longo de seca, o maior registrado neste estudo, indicando que mesmo com a chuva mais distribuída, não foi um volume suficiente para restaurar a seca acumulada que acontecia desde 1996.

Figura 39 – IAC e IW para o posto 184.



Fonte: A autora (2021).

Figura 40 – IAC e IW para o posto 238.



Fonte: A autora (2021)

Ainda sobre o SPI do posto 184 (Tabela 39), nota-se que apesar do longo período de 96 meses de seca ocorridos entre os anos de 1996 e 2004, a média não foi tão alta como em postos anteriores, indicando uma seca moderada, porém constante. Outro período de seca de destaque para esse posto é o de 43 meses entre os anos de 1980 e 1984. Os valores obtidos indicam uma média referente a proximidade a normalidade e seca moderada. Os dois postos apresentaram picos condizentes com seca extrema entre 2012 e 2014. Assim como já demonstrado anteriormente, nos últimos anos também ocorreu um período de seca prolongada neste posto.

Tabela 39 – SPI para o posto 184.

Início	Final	Duração (em meses)	Pico	Soma	Média	Mediana
04/01/1966	03/01/1967	11	-1.33	-10.96	-1	-1.07
07/01/1970	05/01/1971	10	-1.57	-11.79	-1.18	-1.22
07/01/1972	02/01/1974	19	-1.2	-13.06	-0.69	-0.6
03/01/1977	07/01/1977	4	-1.16	-2.88	-0.72	-0.78
09/01/1980	04/01/1984	43	-2.33	-47.55	-1.11	-1.08
03/01/1993	02/01/1994	11	-1.76	-12.85	-1.17	-1.11
01/01/1996	01/01/2004	96	-2	-86.46	-0.9	-0.86
10/01/2012	05/01/2014	19	-2.98	-23.66	-1.25	-0.99
07/01/2016	02/01/2018	19	-1.3	-14.46	-0.76	-0.82

Fonte: A autora (2021).

Para o posto 238 (Tabela 40), o SPI indicou que o maior período de seca prolongada ocorreu por 49 meses entre os anos de 1980 e 1984, mostrando que os dois municípios vivenciaram secas semelhantes, embora o posto 238 tenha apresentado mais períodos de seca do que o anterior. Apesar dos períodos de seca mais curtos (dos 11 períodos encontrados, 5 foram inferiores a 12 meses) quando comparados com os demais, esse posto apresentou picos muito altos, sendo o maior deles de -3.76. Entre 2012 e 2014 com a seca prolongada de 22 meses, ocorreu a maior média da análise, -1.97.

Tabela 40 – SPI para o posto 238.

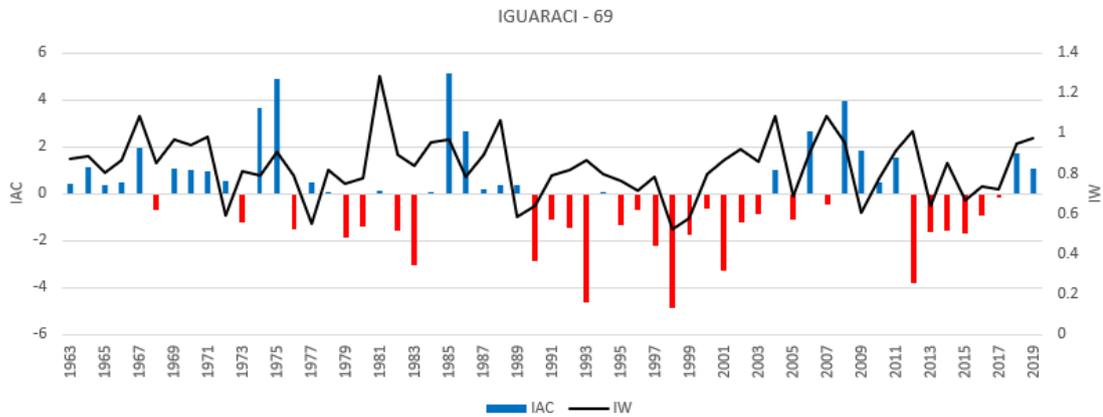
<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
04/01/1966	03/01/1967	11	-1.21	-10.34	-0.94	-0.95
07/01/1970	06/01/1971	11	-1.73	-12.93	-1.18	-1.24
07/01/1976	05/01/1977	10	-1.29	-6.89	-0.69	-0.58
04/01/1980	05/01/1984	49	-1.6	-46.88	-0.96	-0.96
02/01/1993	03/01/1994	13	-2.56	-21.08	-1.62	-1.72
03/01/1998	02/01/2000	23	-2.32	-30.76	-1.34	-1.09
12/01/2001	04/01/2003	16	-1.06	-11.31	-0.71	-0.81
02/01/2005	12/01/2005	10	-1.8	-6.3	-0.63	-0.28
04/01/2012	02/01/2014	22	-3.76	-43.31	-1.97	-2.01
05/01/2015	01/01/2016	8	-1.03	-6.56	-0.82	-0.76
01/01/2017	04/01/2018	15	-1.64	-13.33	-0.89	-0.73

Fonte: A autora (2021).

Os próximos postos estão localizados no município de Iguaraci. O posto 69 (Figura 41) e o posto 414 (Figura 42) mostraram uma média de valores próximos a 0 tanto para anomalias positivas quanto para as negativas. Em geral, foram os postos com a maior quantidade de anomalias positivas, 22 em destaque e mais alguns anos com valores em 0. No geral, destaca-se apenas alguns picos, como os positivos nos anos de 1974, 1975, 1985, 2006 e 2008 para o posto 69 e 1963, 1964 e 1985 para o posto 414. Os picos de anomalias negativas são mais comuns e constantes, como nos anos de 1990, 1993, 1997, 1998, 2001 e 2012, para o posto 69 e 1979, 1982, 1983, 1993, 1997, 1998, e 2012-2017. Com relação ao IW, os dois postos são

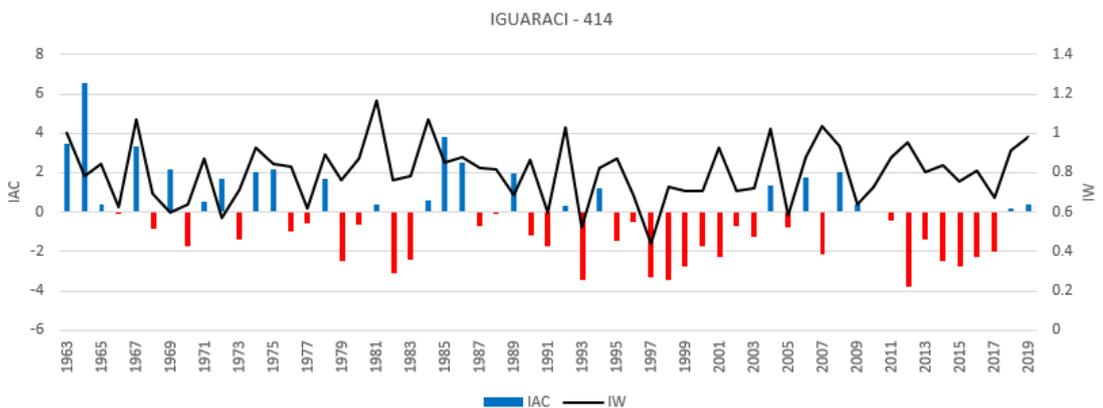
semelhantes, indicando pela média chuvas sazonais e em alguns anos a sazonalidade vem acompanhada de uma longa estação seca.

Figura 41 – IAC E IW para o posto 69.



Fonte: A autora (2021).

Figura 42 – IAC e IW para o posto 414.



Fonte: A autora (2021).

Para o posto 69 (Tabela 41), o SPI indicou nove períodos de seca prolongada, sendo o maior deles de 30 meses entre os anos de 1982 e 1984, de 29 meses entre os anos de 1997 e 2000 e de 24 meses entre 2012 e 2014. A média foi maior das normalmente obtidas para períodos tão longos, bem como o pico, indicando seca extrema nesses períodos. Para o posto 414 (Tabela 42), foi indicado que nos últimos anos, entre 2012 e 2018, ocorreu um período prolongado de seca bem severo, assim como nos anos de 1997 e 2002. Nesses anos a média e o pico atingiram valores condizentes com seca moderada e extrema.

Tabela 41 – SPI para o posto 69.

<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
07/01/1976	06/01/1977	11	-1.03	-6.41	-0.58	-0.58
02/01/1982	08/01/1984	30	-2.73	-30.09	-1	-0.74
10/01/1990	01/01/1992	15	-1.33	-9.22	-0.61	-0.41
01/01/1993	06/01/1994	17	-2.93	-33.51	-1.97	-2.37
11/01/1997	04/01/2000	29	-2.88	-46.45	-1.6	-1.41
04/01/2001	05/01/2002	13	-1.97	-16.27	-1.25	-1.57
01/01/2005	03/01/2006	14	-1.38	-11.3	-0.81	-0.76
05/01/2012	05/01/2014	24	-2.05	-34.01	-1.42	-1.49
04/01/2015	03/01/2016	11	-1.39	-8.11	-0.74	-0.69

Fonte: A autora (2021).

Tabela 42 – SPI para o posto 414.

<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
02/01/1971	04/01/1971	2	-1.08	-2.02	-1.01	-1.01
06/01/1979	01/01/1981	19	-1.27	-10.53	-0.55	-0.28
03/01/1982	04/01/1984	25	-1.93	-30.61	-1.22	-1.12
03/01/1993	03/01/1994	12	-2.38	-20.63	-1.72	-1.69
04/01/1997	05/01/2002	61	-1.95	-71.56	-1.17	-1.26
05/01/2012	02/01/2018	69	-2.11	-76.82	-1.11	-1.05

Fonte: A autora (2021).

O posto 146 está localizado no município de Afogados da Ingazeira. Apesar de poucos anos com anomalias positivas de precipitação, os valores alcançados são referentes a muito ou extremamente úmido, principalmente no período entre os anos de 1984 e 1992, porém, também ocorrem períodos longos de anomalias negativas, como entre 1995 e 2003 (Figura 43). Esse comportamento também é mostrado pelo SPI (Tabela 43), que mostra que nesse mesmo intervalo de tempo estava acontecendo um período prolongado de seca de 46 meses entre 1998 e 2002 com pico de -2.69 e média de -1.38. Apesar do IAC retornar uma pequena anomalia positiva em 2018 e 2019, o SPI mostrou que entre 2012 e 2018 ocorreu um período de seca prolongado de 68 meses, com média de -0.91 e pico de -2.1. Outro período prolongado de destaque foi o de 27 meses ocorrido entre os anos de 1982 e 1984,

com um dos maiores picos da série, -2.81 e média de -1.02. O IW atinge pico em 1.2 em quatro anos (1981, 1984, 2004 e 2012), indicando chuvas concentradas em um ou dois meses nesses anos. No geral, os valores oscilaram entre 0.6 e 1, indicando sazonalidade e sazonalidade com longa estação seca.

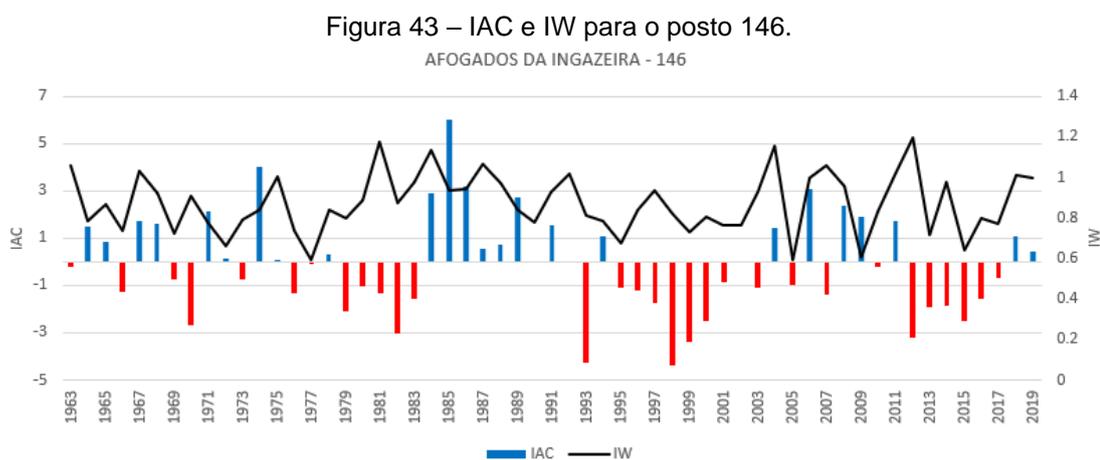


Tabela 43 – SPI para o posto 146.

Início	Final	Duração (em meses)	Pico	Soma	Média	Mediana
06/01/1966	04/01/1967	10	-1.33	-8.9	-0.89	-1.04
07/01/1970	04/01/1971	9	-1.51	-9.13	-1.01	-1.04
01/01/1982	04/01/1984	27	-2.81	-27.42	-1.02	-1.06
02/01/1993	05/01/1994	15	-2.83	-31.42	-2.09	-2.41
03/01/1998	01/01/2002	46	-2.69	-63.54	-1.38	-1.62
02/01/2005	02/01/2006	12	-1.42	-9.09	-0.76	-0.72
02/01/2008	03/01/2008	1	-1.03	-1.03	-1.03	-1.03
05/01/2012	01/01/2018	68	-2.1	-61.55	-0.91	-0.87

Fonte: A autora (2021).

O posto 74 está localizado no município de Tabira. Com relação ao IAC e ao IW (Figura 44), nota-se que os períodos de anomalia positiva possuem valores próximos a 0 em sua maioria, sendo destaque apenas os anos de 1964, 1985 e 1989. Com relação as anomalias negativas, em muitos anos, ela é menor que -2, indicando períodos secos. Para o IW, praticamente todos os valores estão na faixa entre 0.6 e 1, indicando sazonalidade e sazonalidade com longa estação seca. O SPI (Tabela 44)

indicou que o maior período de seca prolongada ocorreu por 54 meses entre 1980 e 1984 e embora a média seja relativamente baixa (-0.85) o pico atingiu -2.46, incluindo este período como seca extrema.

Figura 44 – IAC e IW para o posto 74.

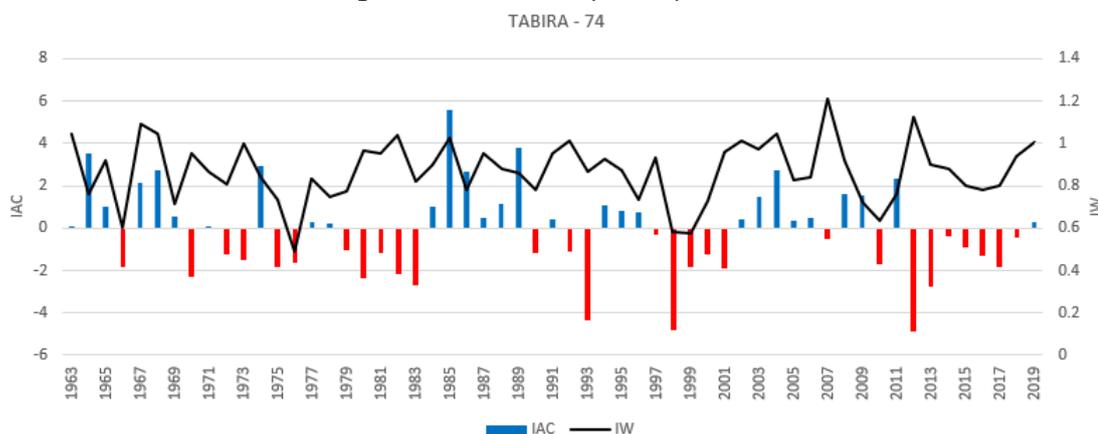


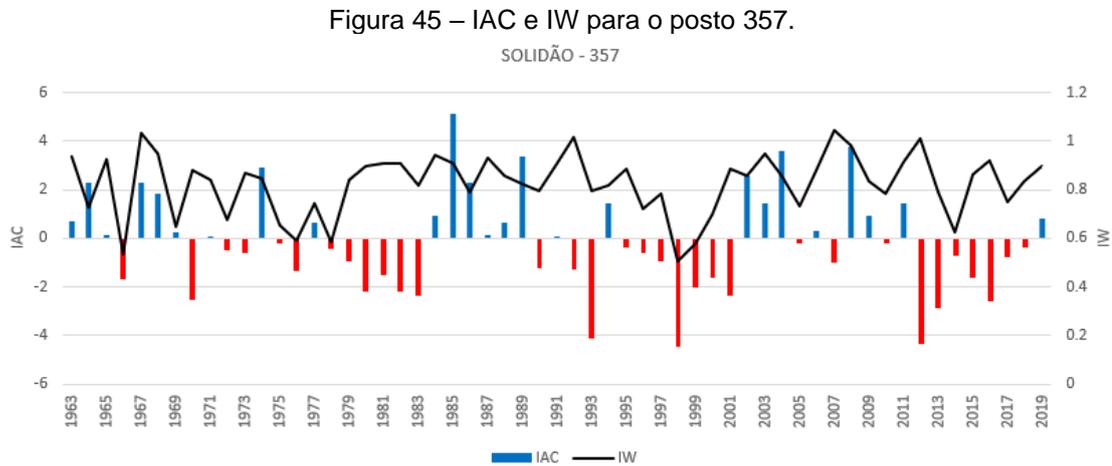
Tabela 44 – SPI para o posto 74.

Início	Final	Duração (em meses)	Pico	Soma	Média	Mediana
04/01/1966	03/01/1967	11	-1.22	-9.24	-0.84	-0.82
07/01/1970	06/01/1971	11	-1.76	-10.94	-0.99	-1.03
05/01/1975	05/01/1977	24	-1.47	-18.45	-0.77	-0.68
05/01/1980	11/01/1984	54	-2.46	-46.02	-0.85	-0.88
02/01/1993	05/01/1994	15	-2.78	-29.29	-1.95	-2.25
03/01/1998	01/01/2002	46	-2.69	-52.51	-1.14	-0.9
05/01/2012	05/01/2014	24	-3.55	-46.99	-1.96	-1.88
08/01/2016	03/01/2018	19	-1.18	-13.2	-0.69	-0.81

Fonte: A autora (2021).

O posto 357 está localizado no município de Solidão. O IAC (Figura 45) demonstrou mais picos de anomalias negativas do que positivas, indicando a tendência a seca do município. O maior e único pico positivo foi para o ano de 1985, seguidos por 2004 e 2008 com destaque. Com anomalias negativas os anos de 1993, 1998 e 2012 se destacaram com relação a seca, inclusive, de 2012 a 2018 só ocorreram valores negativos para o IAC, corroborando os dados obtidos com o SPI

(Tabela 45). O IW (Figura 45), oscilou entre os valores de 0.6 e 1, indicando sazonalidade e chuvas concentradas em poucos meses do ano.



O SPI (Tabela 45) mostrou que neste mesmo período de destaque do IAC, ocorreu uma seca prolongada de 69 meses (a maior obtida para essa série). A média de SPI deste período foi de -1.28 e o pico foi de -3.62, um dos maiores obtidos em todo o estudo. Esses valores indicam seca moderada e seca extrema respectivamente. Esse posto também possui mais dois longos períodos de seca. O primeiro entre 1980-1984 com duração de 48 meses e pico de -1.97 e o segundo entre 1998-2002 com duração de 46 meses e pico de -2.35.

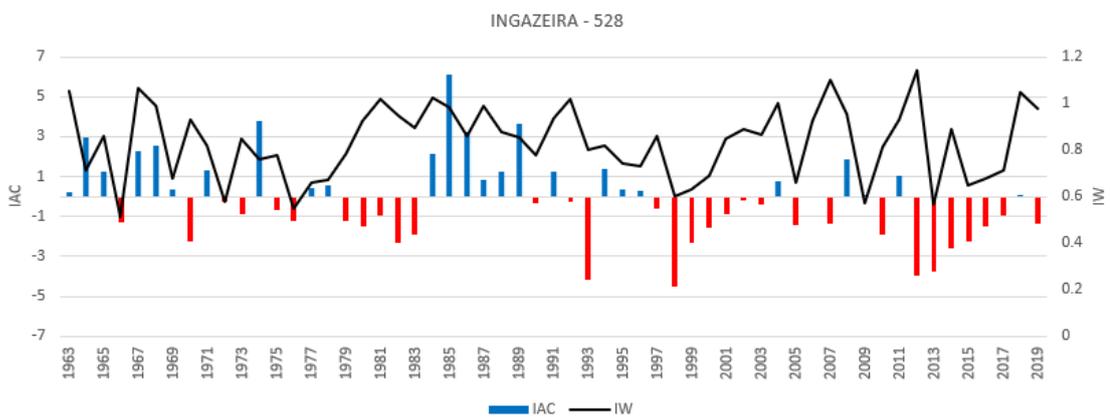
Tabela 45 – SPI para o posto 357.

Início	Final	Duração (em meses)	Pico	Soma	Média	Mediana
04/01/1966	03/01/1967	11	-1.19	-9.49	-0.86	-0.82
07/01/1970	06/01/1971	11	-1.69	-11.65	-1.06	-1.1
07/01/1976	05/01/1977	10	-1.32	-7.59	-0.76	-0.7
05/01/1980	05/01/1984	48	-1.97	-44.4	-0.93	-0.94
02/01/1993	03/01/1994	13	-2.71	-24.21	-1.86	-1.98
03/01/1998	01/01/2002	46	-2.35	-44.83	-0.97	-0.78
05/01/2012	02/01/2018	69	-3.62	-88.23	-1.28	-1.02

Fonte: A autora (2021).

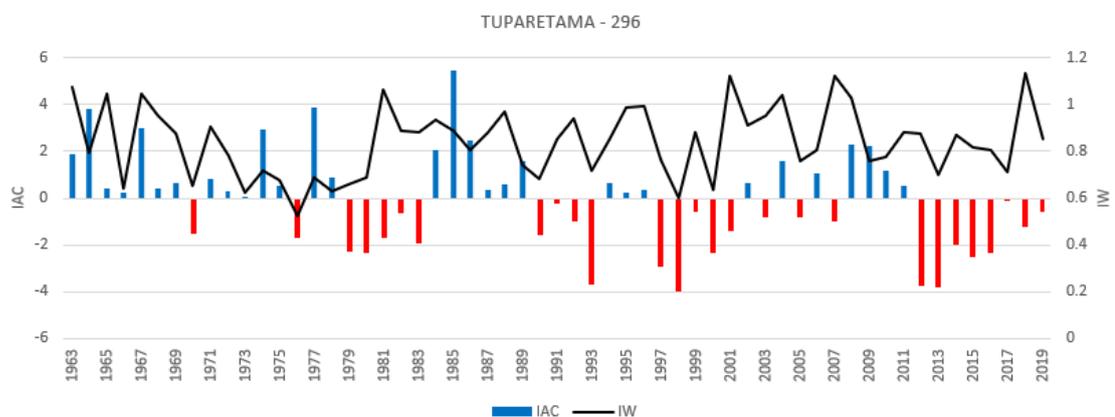
O posto 528 (Figura 46) e o 296 (Figura 47) estão localizados respectivamente nos municípios de Ingazeira e Tuparetama. Para esses postos, o IAC apresentou períodos semelhantes de anomalias positivas e negativas. De positivas, destacam-se os anos entre 1984 e 1989, inclusive atingindo o pico, e de negativas, pode-se destacar três períodos: 1979-1983, 1997, 2003 e 2012-2019. Ainda para esses postos, o IW apontou melhor resultado para o posto 528 (Figura 46), onde foi obtido valor menor que 0.6 para os anos de 1966, 1972, 1976, 2009 e 2013, indicando apenas sazonalidade da precipitação. Os anos com precipitações mais concentradas foram os de 2007, 2012 e 2018. Para o posto 296 (Figura 47), o IW mostrou valores menores que 0.6 apenas em 1976, nos demais anos os valores obtidos oscilaram entre 0.7 e 1, indicando concentração de chuvas em poucos meses.

Figura 46 – IAC e IW para o posto 528.



Fonte: A autora (2021).

Figura 47 – IAC e IW para o posto 296.



Fonte: A autora (2021).

O SPI para o posto 528 (Tabela 46) indicou dois grandes períodos de seca prolongada. O primeiro foi de 46 meses entre os anos de 1998-2002 com média de -1.09 e pico de -2.54 e o segundo período com duração de 62 meses entre 2012-2017 com média de -1.35 e pico de -3.24. Em ambos, o pico foi de valores característicos de períodos extremamente secos, porém, em geral, não é um local que apresentou muitos períodos de seca e com duração longa. Para o posto 296, o SPI (Tabela 47) retornou com mais períodos de seca prolongada do que para o posto anterior. Neste caso foram três. O primeiro de 38 meses entre 1979-1983 com média de -0.7 e pico de -1.91, o segundo de 36 meses com média de -1.47 e pico de -2.35 e o terceiro de 62 meses com média de -1.46 e pico de -3.18. Levando em consideração essas observações, o terceiro é considerado pior, pois, além de ter a maior duração, tem o maior pico e a média é praticamente a mesma do segundo período.

Tabela 46 – SPI para o posto 528.

Início	Final	Duração				
		(em meses)	Pico	Soma	Média	Mediana
01/01/1971	05/01/1971	4	-1.53	-3.21	-0.8	-0.82
07/01/1976	05/01/1977	10	-1.04	-6.01	-0.6	-0.54
03/01/1982	03/01/1983	12	-2.34	-10.85	-0.9	-0.78
02/01/1984	04/01/1984	2	-1.38	-2.2	-1.1	-1.1
02/01/1993	05/01/1994	15	-2.63	-28.32	-1.89	-2.26
03/01/1998	01/01/2002	46	-2.54	-50.01	-1.09	-0.83
01/01/2005	04/01/2006	15	-1.71	-13.78	-0.92	-0.99
05/01/2012	07/01/2017	62	-3.24	-83.64	-1.35	-1.04

Fonte: A autora (2021).

Tabela 47 – SPI para o posto 296.

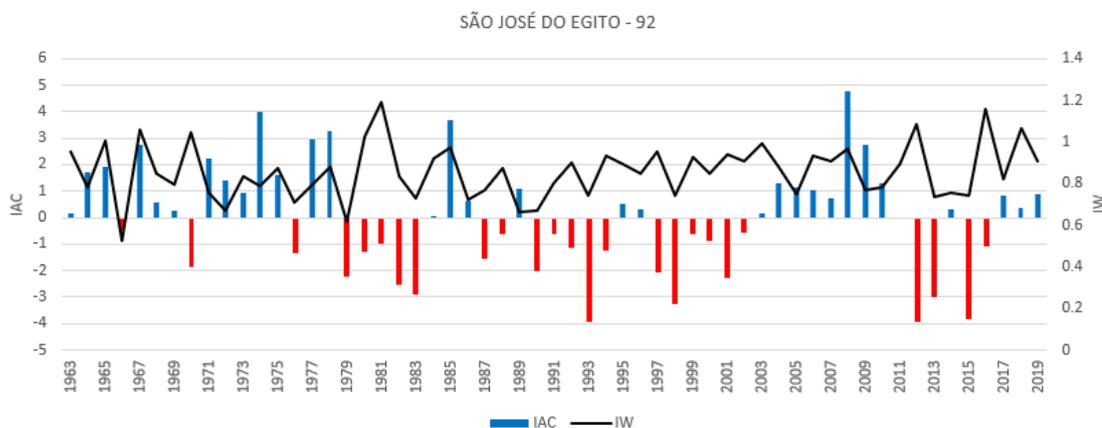
Início	Final	Duração				
		(em meses)	Pico	Soma	Média	Mediana
01/01/1971	04/01/1971	3	-1.12	-2.59	-0.86	-0.9
06/01/1972	12/01/1972	6	-1.02	-3.15	-0.52	-0.4
07/01/1976	04/01/1977	9	-1.45	-7.14	-0.79	-0.76
12/01/1979	02/01/1983	38	-1.91	-26.75	-0.7	-0.73
02/01/1984	04/01/1984	2	-1.22	-2.09	-1.05	-1.05
02/01/1993	05/01/1994	15	-2.22	-22.58	-1.51	-1.84

04/01/1997	04/01/2000	36	-2.35	-53	-1.47	-1.71
12/01/2000	01/01/2002	13	-1.54	-13.11	-1.01	-0.99
05/01/2012	07/01/2017	62	-3.18	-90.3	-1.46	-1.17

Fonte: A autora (2021).

O posto 92 está localizado no município de São José do Egito. Para o IAC (Figura 48), nota-se que as anomalias negativas se destacam mais do que as positivas. De anomalia positiva de destaque, temos o ano de 1974, 1985 e 2008, embora 1976, 1977 e 2009 também responderam bem quanto a precipitação. As negativas aparecem mais frequentes e intensas, principalmente nos períodos de 1979-1983, 1990-2002 e 2012-2016. Ortiz-Gomez *et al.* (2018) através da análise do SPI para uma área semiárida na área central do México, encontraram as maiores secas nos períodos de 1982-1983, 1998-2000 e 2010-2012. Já Ruiz-Gibert *et al.* (2019) encontraram os maiores períodos de seca entre 1999-2003, 2006-2008, 2014-2015 para a bacia do rio Tijuana, localizada na fronteira dos estados unidos com o México. Isso mostra a variabilidade das secas em grandes áreas. Esse foi um dos poucos postos em estudo que não apresentaram anomalias negativas para os últimos anos da série. Com relação ao IW ainda na mesma figura, nota-se que a maioria dos valores oscilam em torno de 0.8 e 1, indicando chuvas concentradas e longa estação seca. Apenas dois anos (1981 e 2016) alcançam o valor de 1.2 indicando chuvas concentradas em um ou dois meses.

Figura 48 – IAC e IW para o posto 92.



Fonte: A autora (2021).

O SPI para o posto 92 (Tabela 48) retorna com muitos períodos prolongados de seca que merecem destaque, sendo o primeiro e principal deles o de 1979 a 1984 que durou 61 meses com média de -0.63 e pico de -1.19. O segundo entre 1993 e 1995 com duração de 27 meses, média de -1.39 e pico de -2.67. O terceiro com duração de 25 meses entre 1998 e 2000 com média de -1.29 e pico de -2.02, o quarto com duração de 30 meses entre 2012 e 2014, média de -1.74 e pico de -2.6 e o último entre os anos de 2015 e 2017 com 25 meses de duração, média de -0.98 e pico de -2.32. Tudo isso indica que dentro de todas as séries analisadas, essa de São José do Egito pode ser considerada uma das mais secas da região, principalmente devido aos valores de pico dos períodos secos serem próximos ou superiores a -2, indicando período prolongado de seca extrema.

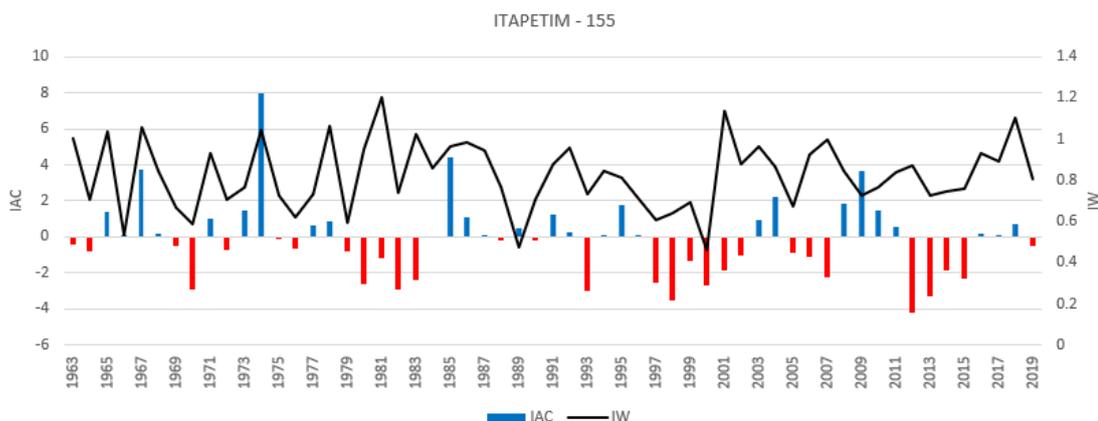
Tabela 48 – SPI para o posto 92.

<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
01/01/1971	03/01/1971	2	-1.22	-1.78	-0.89	-0.89
07/01/1976	04/01/1977	9	-1.19	-5.67	-0.63	-0.57
07/01/1979	08/01/1984	61	-2.46	-58.12	-0.95	-1.03
02/01/1988	03/01/1989	13	-1.34	-5.65	-0.43	-0.41
02/01/1993	05/01/1995	27	-2.67	-37.62	-1.39	-1.03
01/01/1998	02/01/2000	25	-2.02	-32.18	-1.29	-1.63
04/01/2001	03/01/2002	11	-1.6	-9.89	-0.9	-0.92
04/01/2012	10/01/2014	30	-2.6	-52.09	-1.74	-2.01
05/01/2015	06/01/2017	25	-2.38	-24.57	-0.98	-0.58

Fonte: A autora (2021).

O posto 155 está localizado no município de Itapetim. Com relação ao IAC (Figura 49), nota-se que em poucos anos o valor é maior do que 2, que indica forte umidade, destacando-se apenas os anos de 1974 com o maior IAC obtido para todo o estudo, 1985 e 2009. As anomalias negativas são mais duradouras, tendo como períodos principais de 1979 a 1983, de 1997 a 2002 e de 2012 a 2015. O IW (Figura 49) mostra apenas dois anos com valores menores que 0.6, 1989 e 2000, indicando que nesses anos a chuva foi apenas sazonal. Para os demais, os valores oscilaram entre 0.7 e 1.0, indicando concentração de chuvas e seca extrema. Apenas o ano de 1981 alcança o valor máximo de 1.2.

Figura 49 – IAC e IW para o posto 155.



Fonte: A autora (2021).

O SPI (Tabela 49) retorna poucos períodos de seca, porém mais duradouros, como 45 meses entre 1980 e 1984 com média de -0.94 e pico de -1.94, 68 meses entre 1997 e 2003, com média -0.94 e pico de -1.98 e 46 meses entre 2012 e 2016, com média de -1.5 e pico de -2.65. Com essas observações, o último período foi o mais crítico para a área devido ao fato de ter retornado o maior valor de média e de pico. Outros dois períodos de seca apareceram, porém de curta duração se levado em consideração as características climáticas da região em que foram coletados os dados.

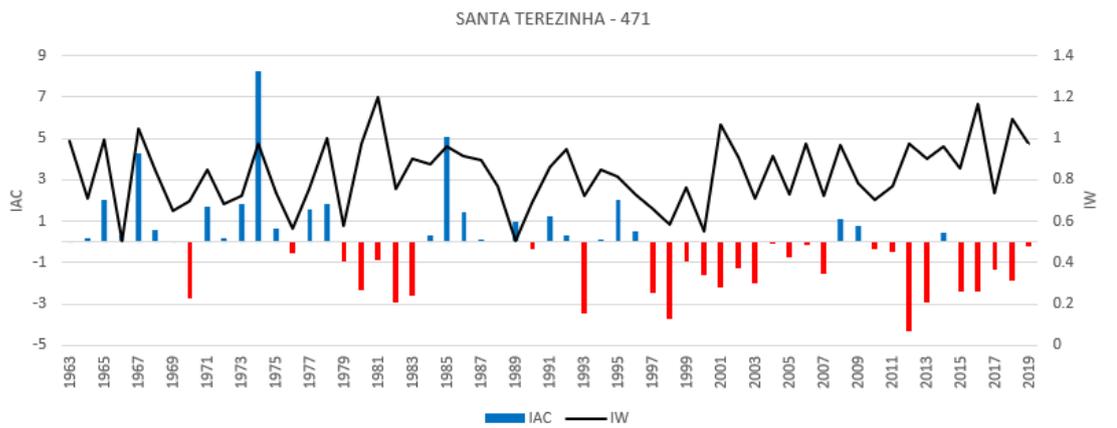
Tabela 49 – SPI para o posto 155.

Início	Final	Duração (em meses)	Pico	Soma	Média	Mediana
06/01/1970	04/01/1971	10	-1.76	-12.35	-1.24	-1.29
11/01/1980	08/01/1984	45	-1.94	-42.48	-0.94	-1.04
03/01/1993	04/01/1994	13	-1.81	-17.44	-1.34	-1.48
05/01/1997	01/01/2003	68	-1.98	-63.86	-0.94	-0.93
05/01/2012	03/01/2016	46	-2.65	-68.98	-1.5	-1.31

Fonte: A autora (2021).

O posto 471 está localizado no município de Santa Terezinha. Para o IAC (Figura 50) fica evidente que nos primeiros anos da série o que predomina são as anomalias positivas, atingindo um pico em 1974 e outro em 1985. Esse comportamento também se repete no posto 473 (Figura 51). As anomalias negativas também se repetem nos dois postos, com períodos mais longos entre 1979 e 1983, 1997 e 2007, 2010 e 2019.

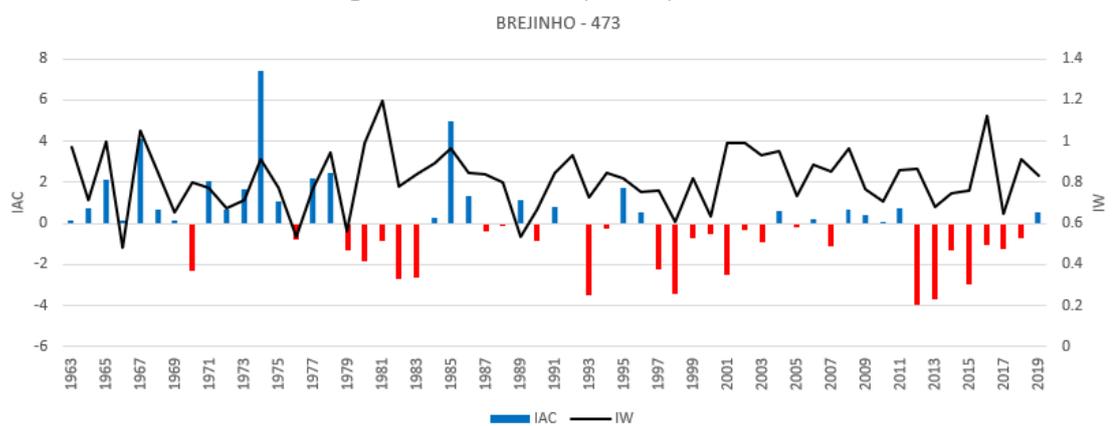
Figura 50 – IAC e IW para o posto 471.



Fonte: A autora (2021).

Essa dinâmica mostra porque esses postos apresentaram tendência de diminuição da precipitação comprovada estatisticamente. O IW para o posto 471 (Figura 50) e posto 473 (Figura 51) mostra que os valores oscilam em média entre 0.6 e 1.0, indicando sazonalidade e chuvas concentradas. Com relação ao SPI, o posto 471 (Tabela 50) apresentou três longos períodos de seca prolongada. 41 meses entre 1981 e 1984 com média de -0.9 e pico de -1.83, 74 meses entre 1997 e 2004, com média de -0.81 e pico de -1.97 e 47 meses de 2015 a 2019, média de -0.62 e pico de -1.82. Para o posto 473 (tabela 51), também são três longos períodos, 40 meses entre 1981 e 1984, 27 meses entre 1997 e 2000 e 72 meses entre 2012 e 2018, dando destaque que nesse período foi obtido o maior pico para essa série, -2.98.

Figura 51 – IAC e IW para o posto 473.



Fonte: A autora (2021).

Tabela 50 – SPI para o posto 471.

<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
07/01/1970	04/01/1971	9	-1.51	-9.45	-1.05	-1.15
02/01/1981	07/01/1984	41	-1.83	-36.83	-0.9	-1.13
03/01/1993	04/01/1994	13	-1.99	-19.9	-1.53	-1.75
11/01/1997	01/01/2004	74	-1.97	-60.1	-0.81	-0.66
02/01/2005	04/01/2006	14	-1.18	-7.49	-0.53	-0.57
04/01/2012	04/01/2014	24	-3.04	-45.56	-1.9	-1.89
12/01/2015	11/01/2019	47	-1.82	-29.12	-0.62	-0.58

Fonte: A autora (2021).

Tabela 51 – SPI para o posto 473.

<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Duração (em meses)</b>	<b>Pico</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
07/01/1970	04/01/1971	9	-1.48	-8.4	-0.93	-1
02/01/1981	06/01/1984	40	-1.95	-38.96	-0.97	-1.27
03/01/1988	04/01/1988	1	-1	-1	-1	-1
03/01/1993	06/01/1994	15	-2.29	-23.61	-1.57	-2.01
11/01/1997	02/01/2000	27	-1.96	-34.35	-1.27	-1.45
12/01/2001	05/01/2002	5	-1.22	-1.88	-0.38	-0.15
02/01/2005	06/01/2005	4	-1.22	-1.58	-0.4	-0.18
04/01/2012	04/01/2018	72	-2.98	-86.84	-1.21	-0.88

Fonte: A autora (2021).

Através da análise dos três índices podemos inferir algumas suposições quanto a aplicabilidade deles para áreas semiáridas. Todos os índices de seca aqui utilizados se mostraram capazes de detectar os períodos históricos de seca. Enquanto o IAC mostra se a chuva foi forte ou escassa, o índice de Walsh mostrava a sazonalidade da precipitação e o SPI indicava os períodos de seca. Zarch, Sivakumar e Sharma (2015) chegaram à conclusão que o SPI é o melhor índice para mostrar áreas propensas a seca. Suredran *et al.* (2019) utilizaram o SPI para a análise de secas em climas diversos da Índia e obtiveram bons resultados ressaltando que os resultados obtidos com esse índice podem ser utilizados para desenvolver um plano de gestão de desastres para mitigar as consequências das secas. A relação entre o índice de seca operacional padronizado SI e os índices meteorológicos de longo prazo, SPI-12

ou SPI-24, mostram que, em uma bacia de tamanho médio, o conceito de "seca prolongada" exigido pela Comissão Europeia sob a Diretiva Quadro da Água poderia ser definido pelo uso de índices de precipitação acumulada (ORTEGA-GOMEZ; PEREZ-MARTIN; ESTRELA, 2018). Longos períodos de seca também foram encontrados para o SPI na bacia do rio Paraguaçu no semiárido baiano, no estudo de Sousa *et al.* (2016).

Silva *et al.* (2017) quando aplicou o IAC para Petrolina/PE, também um local semiárido, encontrou período de seca similares aos abordados aqui. Segundo eles os anos de 1982 e 2012 foram considerados como extremamente secos. Os anos de 1986, 1990, 1993, 1998, 2011, 2015 foram classificados como muito secos e os anos de 1979, 1980, 1981, 1987, 1988, 2001, 2002, 2003, 2005, 2006, 2007, 2010, 2013 e 2016 foram classificados como secos ou neutros.

Nas análises de seca, devem ser considerados os fatores climáticos que influenciam as regiões em análise. No caso da bacia hidrográfica do rio Pajeú que está localizada na região nordeste do Brasil, existem alguns índices globais que historicamente são conhecidos por causar impactos na precipitação. Nesta perspectiva, vários são os estudos sobre a ocorrência prolongada de secas em virtude da mudança climática, demonstrando a necessidade de melhor entendimento e previsão de ocorrência.

Segundo Molion (2002) os processos relacionados a precipitação no NEB estão intimamente ligados a fenômenos de escala global, que essencialmente controla, intensificando ou inibindo, as chuvas sobre a região. Diversas pesquisas começaram a associar a variabilidade da precipitação no semiárido brasileiro com variações de padrões da temperatura da superfície do mar sobre os oceanos em áreas tropicais que afetam diretamente a posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico em direção ao sul, que influencia na convergência de umidade e convecção local (ASSIS *et al.*, 2018; KEMENES; FERREIRA, 2019; Marengo *et al.*, 2011; NÓBREGA; SANTIAGO, 2014). Silva *et al.* (2011) verificou em seu estudo para uma área do estado de Pernambuco que a região possui uma forte correlação positiva com a área de estudo da Bacia do Atlântico Sul e uma correlação negativa com a Bacia do Pacífico Equatorial. Entretanto, as anomalias na temperatura das águas superficiais da região do Atlântico, por estar adjacente a área analisada, apresentam uma correlação mais forte, ao mesmo nível de significância, que as anomalias do Pacífico. Os resultados mostram que um

aquecimento anômalo nesta área do Atlântico pode causar eventos extremos de chuva na costa leste do Nordeste.

É aceito por diversos autores que eventos como El Niño-Oscilação Sul (ENOS) afetam globalmente o tempo e o clima, principalmente o regime de precipitação do Nordeste brasileiro. Essa perturbação climática pode ser sentida especialmente pela alteração no regime e no total pluviométrico que, dependendo da intensidade, pode resultar em secas severas (MARENGO *et al.*, 2011). O El Niño é um fenômeno causado pelo aquecimento das águas superficiais e subsuperficiais do Oceano Pacífico Equatorial além do normal e pela redução dos ventos alísios na região equatorial. A La Niña representa um fenômeno oceânico-atmosférico com características opostas ao EN, e que se caracteriza por um esfriamento anormal nas águas superficiais e subsuperficiais do Oceano Pacífico Equatorial (NORONHA *et al.*, 2016). Souza *et al.* (2017) também encontraram correlação positiva entre anos de El Niño e diminuição da precipitação no estado do Ceará, porém a maior correlação encontrada foi com as anomalias de TSM, com 99% de significância estatística. No entanto, ENOS explica apenas uma parte da variabilidade da precipitação na região (MARENGO; CUNHA; ALVES, 2016).

De acordo com Marengo, Cunha e Alves (2016), a partir das mais recentes secas de 1992, 1998, 2002, 2010 e agora 2012-2015, apenas os de 1998, 2002 e, recentemente, em 2015 as secas aconteceram durante um evento El Niño. Em 2015 a situação foi agravada pela deficiência que já existia pelo menos há três anos. Na verdade, a chuva no NEB é marcada por uma forte variabilidade interanual, parte da qual tem sido atribuída ao ENOS, enquanto outros eventos de seca são devidos a uma posição anormalmente mais ao norte da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o setor do Atlântico, devido a um Oceano Atlântico Tropical Norte mais quente. Marengo (2018), em seu estudo mais recente abordou a cauda dos períodos de seca no NEB de 2011 a 2016 e chegou à conclusão de que o acoplamento de uma sequência de El Niños no Pacífico tropical através de uma ponte atmosférica induziu anomalias de TSM positivas no Atlântico tropical norte. Essas características, em geral, estão associadas às condições de secas no NEB ou anos de chuvas muito irregulares nas escalas espaciais e temporais (VASCONSELOS *et al.*, 2019).

Através da aplicação dos índices de seca, foram encontrados períodos de seca em comum em toda a bacia, porém, entra em destaque o período mais recente, a partir do ano de 2010, que foi onde começou a diminuir as anomalias positivas de

precipitação, demonstrando que antes de iniciar efetivamente um período seco, são emitidos sinais. Marengo *et al.* (2013) diz que o período chuvoso no NEB ocorre entre fevereiro e maio, porém, em 2012 a precipitação não ocorreu da forma esperada, sendo considerado o período chuvoso mais seco da história, apesar de ser ano de La Niña, em que historicamente, são anos em que as chuvas são acima da média na região. Silva *et al.* (2017) também descartaram a influência do La Niña em 2012 e reafirmaram o aumento da intensidade do El Niño a partir de 2015.

Silva e Guedes (2012), quando estudaram a precipitação do estado de Pernambuco de 1936 a 2011, indicaram que o principal fator que condicionou a ausência de chuva (e conseqüentemente as secas) sobre todo o Estado nos períodos analisados foram as anomalias negativas de TSM no oceano Atlântico Sul, seguido pela presença de um anticiclone sobre o Nordeste nos meses mais chuvosos do semiárido. Constatou-se que, apesar da ocorrência do fenômeno La Niña, seu efeito foi inibido pela configuração dinâmica moldada pelo Atlântico Sul e pelo gradiente meridional da TSM.

Santos e Brito (2007) quando estudaram as relações entre precipitação e TSM para os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte encontraram resultados que apontam que as correlações entre as tendências dos índices e as anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico demonstram forte influência das anomalias de TSM de ambos os Oceanos sobre a precipitação da região estudada, fortalecendo assim, estudos que mostram a atuação do ENOS e do Dipolo do Atlântico como de grande influência sobre o clima do NEB.

Silva *et al.* (2018) em estudo para o semiárido pernambucano encontraram uma variação nos padrões de precipitação pluviométrica, em que os meses historicamente de maior precipitação até a década de 1970 (dezembro-abril) passaram a apresentar diminuição da precipitação, enquanto os meses de menor precipitação (junho-agosto) tiveram um acréscimo na precipitação, coincidindo com o final da atuação negativa da ODP e início da atuação positiva. Isso corrobora os resultados encontrados nesta pesquisa, onde, para boa parte dos postos estudados, o final da década de 1970 e toda a década de 1980 indicaram períodos prolongados de seca.

Com relação a ODP, Costa, Becker e Brito (2013) quando analisaram a influência deste índice com a precipitação no semiárido paraibano encontraram resultados que indicam que uma parcela da ODP influencia na variabilidade

pluviométrica, porém depende da intensidade, do dipolo do atlântico e dos eventos ENOS.

Com todas essas informações, fica a grande questão que vem sendo discutida nos últimos anos: “Como lidar com as secas e seus impactos?”

#### 4.4 A SECA E A AGRICULTURA NO SEMIÁRIDO

A variabilidade da precipitação na região Nordeste do Brasil exerce forte influência na agricultura de sequeiro, que também é afetada pelas temperaturas elevadas e altas taxas de evaporação registradas na parte semiárida (SILVA *et al.*, 2006). O sucesso das culturas implantadas depende da regularidade e quantidade das chuvas. As variabilidades espaciais e temporais da precipitação pluvial nas regiões áridas e semiáridas são fatores limitantes para a agricultura de sequeiro (GRAEF; HAIGIS, 2001). Azevedo e Silva (2007) destacam que a estação de crescimento das culturas depende da época em que as chuvas efetivamente começam. O conhecimento do regime de precipitação pluvial de uma região, no que concerne à duração e ao final da estação chuvosa, e a possibilidade de se conhecer períodos mais susceptíveis a estiagem (veranicos) dentro dessa estação, são fundamentais para a elaboração de um calendário agrícola e a implementação de projetos agrícolas (SILVA *et al.*, 2011).

A agricultura familiar, é predominantemente baseada em forma de sequeiro, por isso, apresenta grande dificuldade de produção se os períodos de estiagens são muito extensos. A falta de chuva e a falta de subsídios aos pequenos produtores são os fatores mais limitantes a produção semiárida. Na bacia hidrográfica do rio Pajeú, de acordo com dados do último censo, menos da metade dos estabelecimentos familiares são beneficiários de programas como o PRONAF.

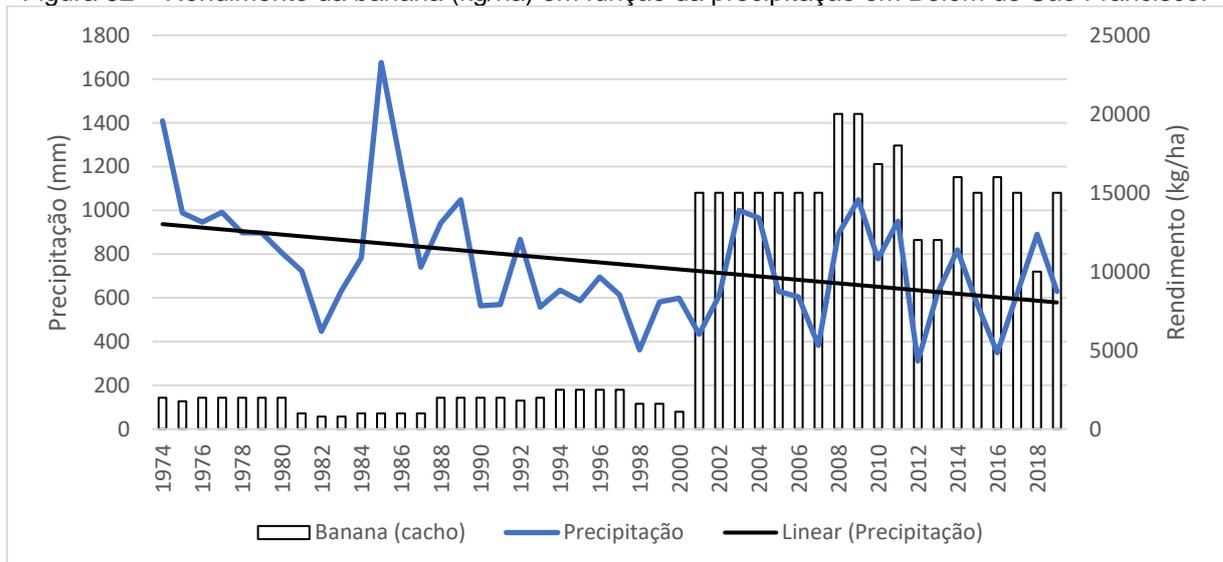
No Brasil, o acesso à informação ainda é muito difícil, principalmente quando se refere a dados de produção e rendimento da agricultura familiar. Nota-se através da plataforma SIDRA que antes de 2006 não existe a disponibilidade de dados em escala municipal, o que dificulta a pesquisa. A partir do ano 2006, com o penúltimo censo agropecuário foi que os dados começaram a ser disponibilizados em escala municipal, porém, entra outra dificuldade: esses dados não estavam dispostos por tipo de produção, apenas o total de cada categoria. Já para o censo 2017 existe a possibilidade de se obter os dados por tipo de produção, porém não são

disponibilizados os dados de rendimento da produção com a finalidade de “garantir o sigilo do informante”. Outro fator falho na disponibilidade dos dados é que não são disponibilizados dados de produção de matéria bruta, apenas produtos derivados. Devido a tudo isso, se torna bastante difícil conciliar estudos sobre produção de agricultura familiar sem ir efetivamente em campo e analisar in loco. Já quando se refere a agricultura de sequeiro, os dados são bons e praticamente sem falhas, principalmente os disponibilizados pelo banco de dados do Estado de Pernambuco.

Numa área de clima tão severo, algumas culturas ganham destaque por serem mais propícias a se desenvolver nessa região, principalmente próximas aos rios. Quando irrigadas corretamente, essas culturas se tornam permanentes, como é o caso das plantações de banana, coco de baia e manga.

A bananeira é o tipo de planta que precisa de muita água e temperatura constante (em torno dos 28 graus) para o seu desenvolvimento, além de que, quanto mais próximo ao nível do mar, maior seria a produção. Isso fica claro quando se analisa que na área estudada, os municípios mais produtores do fruto são: São José do Belmonte, Belém do São Francisco e Serra Talhada, todos possuem cultivo sob o sistema de irrigação e estão localizados ao sul da bacia nas áreas de menores altitudes (Figura 52).

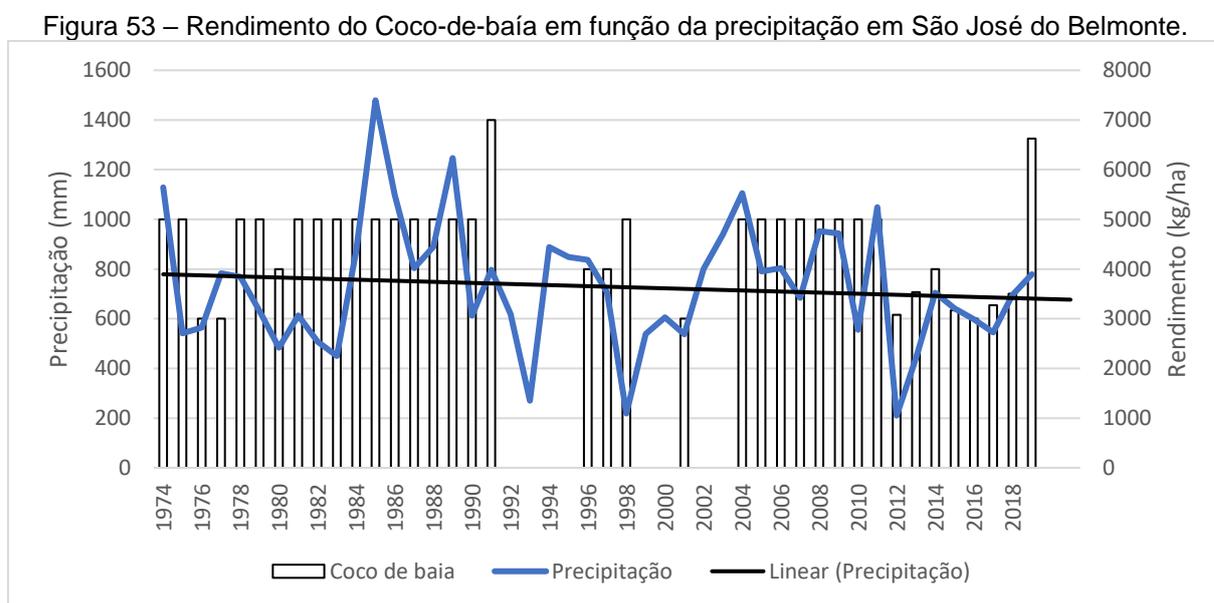
Figura 52 – Rendimento da banana (kg/ha) em função da precipitação em Belém do São Francisco.



Fonte: A autora (2021).

Em locais com elevada insolação, o período para que o cacho atinja ponto de corte oscila entre 80 e 90 dias. Após sua emissão, sob pouca insolação, o período para que o cacho atinja o ponto de corte comercial pode variar entre 85 e 112 dias (EMBRAPA, 2004). Segundo alguns estudos da EMBRAPA, a bananeira irrigada tem potencial produtor 120% maior do que quando não irrigada. Na banana pacovan, esse potencial chega a ser de 150%. Devido ao clima da localidade ser propício para o cultivo, pode ser plantada em qualquer época do ano. Quando analisamos a precipitação e o rendimento em um mesmo gráfico (Figura 52), fica claro que a produção do fruto é independente do regime pluviométrico. Outra informação relevante a ser tirada deste contexto é que esse tipo de cultivo só ficou forte na região a partir de 2001, antes disso a produção não chegava a 2.500 kg/ha.

O Coco-de-Baia também é um cultivo que precisa de irrigação. Na área em estudo, os maiores produtores são os municípios de Flores, São José do Belmonte e Belém do São Francisco (Figura 53).

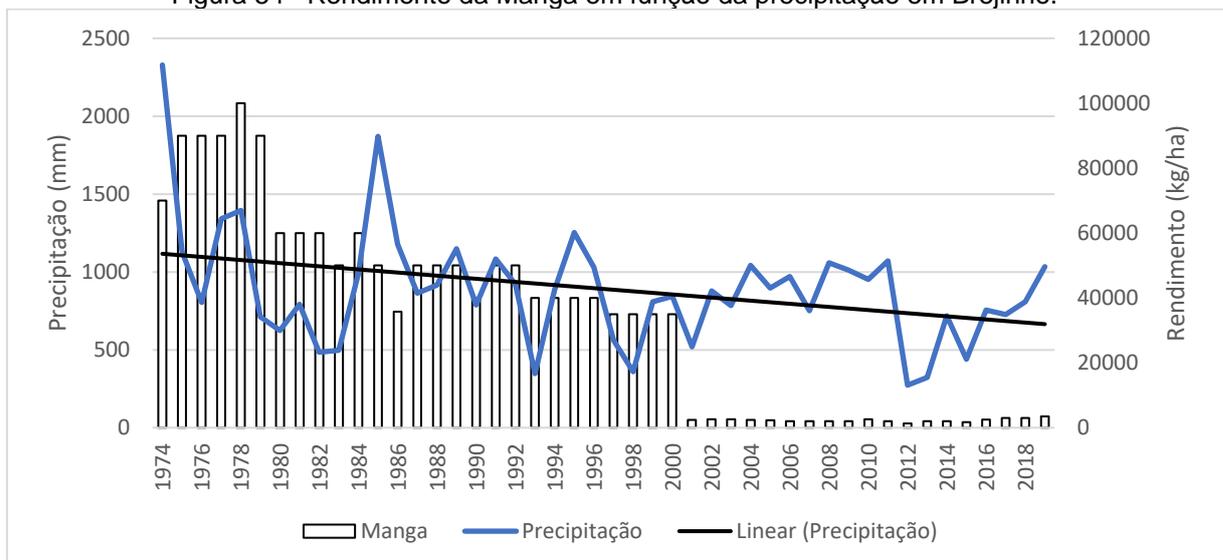


A região Nordeste é a maior produtora do fruto, de acordo com Brainer (2018) a produção da região corresponde a 74% do total nacional. É um cultivo longo e de grande permanência devido a vida útil da planta que é de 30 a 80 anos, dependendo da variedade. Como a banana, podem ser obtidos em qualquer época do ano, porém os produtores focam nas vendas no verão devido ao preço mais alto. É um fruto

altamente produtivo em que todo ele pode ser utilizado. De acordo com Brainer (2018), a produção do fruto no país caiu a partir de 2007 até 2018, como reflexo de períodos de seca e falta de assistência aos pequenos produtores que são os maiores responsáveis pelo cultivo. Na figura abaixo (Figura 53), como exemplificação temos um gráfico do rendimento em kg/ha com a precipitação para a bacia do rio Pajeú, confirmando as informações do estudo citado.

O cultivo da mangueira irrigada na região semiárida brasileira contempla 69% e 76% da área plantada e de produção no Brasil, respectivamente, como também é responsável por mais de 90% da exportação nacional de manga (EMBRAPA, 2010). Na área em estudo, os maiores produtores são Brejinho, Belém do São Francisco e Itapetim, demonstrando que a mangueira também apresenta produção elevada em áreas mais secas e sem irrigação constante como são os casos de Brejinho e Itapetim (mesmo com a diminuição da produção na última década). A mangueira é mais susceptível ao clima do que os cultivos anteriores, pois floresce apenas uma vez ao ano. Como pode ser visto na Figura 54, junto com a precipitação também quem caindo a produção de manga no município de Brejinho. Longe do polo irrigado, dependendo apenas da precipitação, a produção fica inviável. De acordo com os dados do IBGE, a partir de 2001 a produção caiu a poucas toneladas por ano.

Figura 54– Rendimento da Manga em função da precipitação em Brejinho.



Fonte: A autora (2021).

Como floresce apenas uma vez ao ano, de acordo com a Embrapa (2010), a umidade do ar estimula a brotação das flores e as chuvas são desfavoráveis nesta fase. Portanto, um período seco durante o ano é essencial para o sucesso do cultivo

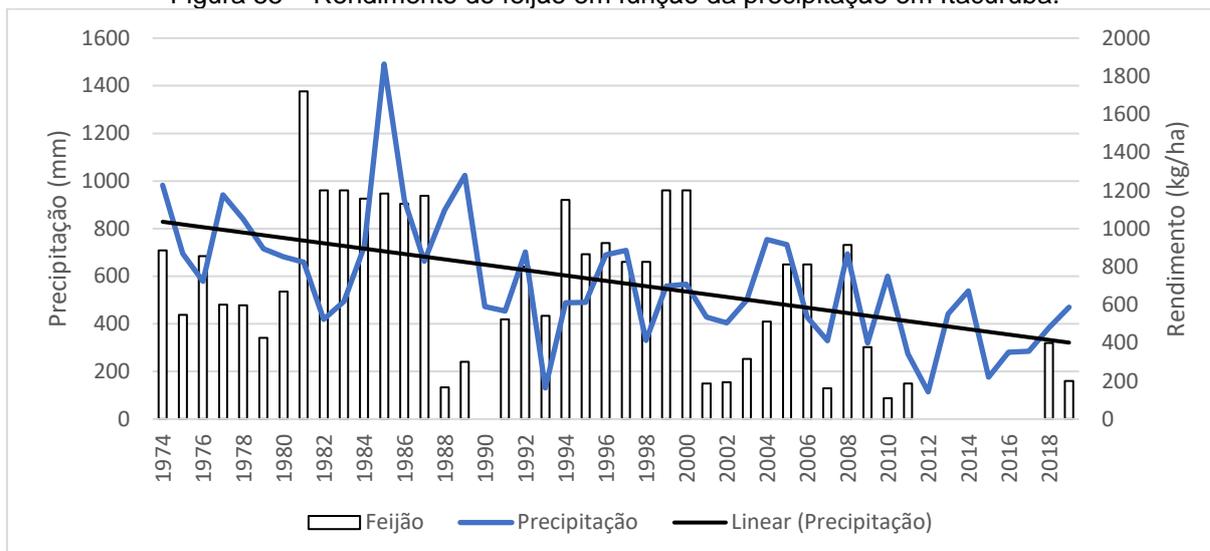
comercial dos pomares. A melhor condição de umidade para condições de sequeiro se verifica em áreas com índices pluviométricos entre 750 mm e 2.500 mm durante um período relativamente curto de quatro meses, seguidos de oito meses sem chuvas. Voltando a Figura 54, vemos que é bastante comum a precipitação ser de 500 a 1000 mm anuais, tornando difícil a produção em sequeiro.

Diferente das anteriores, algumas culturas ainda são temporárias, devido a diversos fatores como: falta de irrigação adequada e ciclos mais curtos de produção, como é o caso do feijão, da mandioca e do milho.

O Feijão é uma das culturas mais produzidas em solo semiárido, principalmente em Pernambuco, é predominantemente cultivado pela agricultura familiar e vem adquirindo maior expressão econômica devido à busca populacional por uma alimentação mais saudável. Segundo dados do CONAC, foram colhidos no Brasil em 2011 aproximadamente 822 mil toneladas dessa cultura. Na bacia hidrográfica do rio Pajeú, todos os municípios são produtores, em geral da variedade “Caupi”. Embora seja considerada uma cultura tropical, de acordo com a Embrapa, possui baixo rendimento no sistema de produção familiar, porém, ainda assim, ela é responsável por 60% da produção de feijão do país. A maior produção concentra-se no Nordeste, com 84% da área plantada e 86% da produção nacional de acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Em toda a área estudada aqui, Belém do São Francisco, Itacuruba e Floresta são mais produtoras, porém a soma total de produção em toda a série não chega a 44 toneladas por hectare. Isso demonstra que, embora seja uma cultura bem adaptada a região, a produção em sequeiro não apresenta muito rendimento. Possui um ciclo curto de produção, a floração acontece em torno de 42 dias após a plantação e a colheita após 70 dias.

Na Figura 55 vemos a irregularidade da produção do feijão. Nos anos em que foram detectados seca extrema (2012-2017) de acordo com os índices do capítulo anterior, não ocorreu produção no maior município produtor da bacia hidrográfica. Também se nota a queda brusca dos totais anuais de precipitação ao longo do tempo.

Figura 55 – Rendimento do feijão em função da precipitação em Itacuruba.



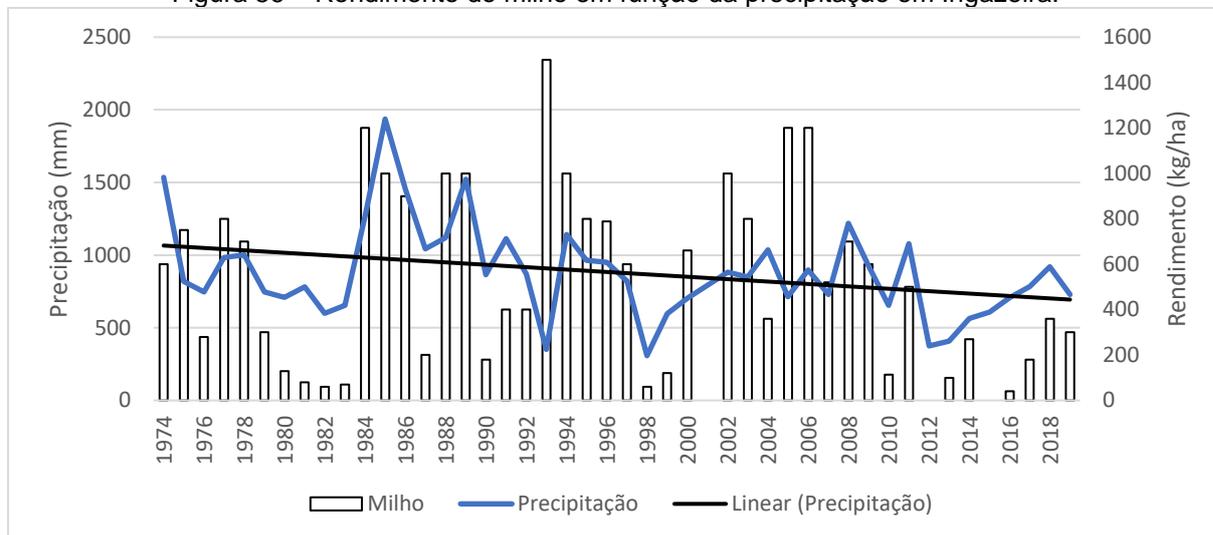
Fonte: A autora (2021).

Esse sistema do feijão é semelhante a produção do milho que é um dos principais cereais produzidos no mundo e o mais cultivado no Brasil, porém mesmo elas sendo culturas bem adaptadas às regiões tropicais e subtropicais com alta disponibilidade de água, nutrientes e radiação solar, onde produzem grande quantidade de biomassa, ainda são no Nordeste brasileiro cultivadas principalmente em regime dependente de chuvas (SOUZA *et al.*, 2011).

A importância econômica do milho é caracterizada mundialmente pelas diversas formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Na realidade, o uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte (70%) do consumo desse cereal. Nos Estados Unidos, cerca de 50% são destinados a esse fim, enquanto no Brasil varia de 60 a 80%, dependendo da fonte da estimativa e de ano para ano. Apesar de não ter uma participação muito grande no uso de milho em grão, a alimentação humana, com derivados de milho, constitui fator importante de uso desse cereal em regiões com baixa renda (EMBRAPA, 2010). Na bacia do rio Pajeú, o rendimento da produção somado em toda a série analisada gira em torno de 20 toneladas (em grãos) e a colheita é feita historicamente no mês de junho devido as festas culturais. Após o plantio, se a distribuição das chuvas for regular, a colheita pode ser realizada em 70 dias. Os maiores produtores de milho na área em estudo são Ingazeira, Carnaíba e Tabira, onde projetos de irrigação não são tão fortes. Assim como no caso do feijão, o milho mostra mais susceptibilidade a falta de precipitação nos últimos anos (Figura 56). Em

2012, historicamente conhecido como o ano da seca mais severa da última década, não teve produção do grão no município de Ingazeira.

Figura 56 – Rendimento do milho em função da precipitação em Ingazeira.



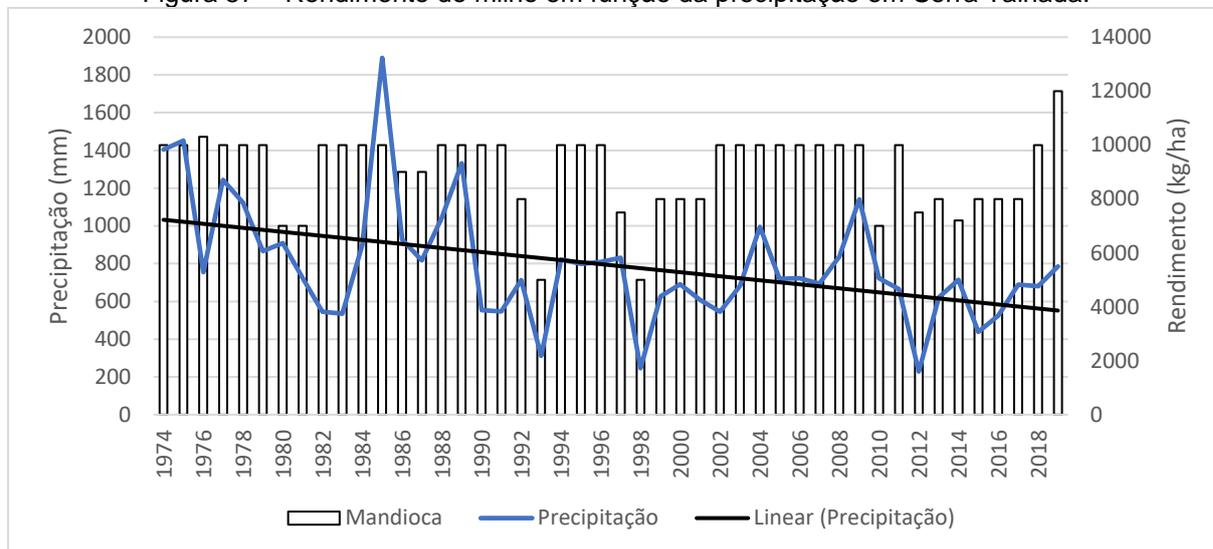
Fonte: A autora (2021).

A mandioca é considerada a mais brasileira das culturas, por ser originária do Brasil e cultivada em todo o território nacional. Vem sendo explorada, basicamente, por pequenos produtores, em áreas marginais de agricultura, em razão da sua rusticidade e da capacidade de produzir relativamente bem em condições em que outras espécies sequer sobreviveriam. É bem tolerante à seca e possui ampla adaptação às mais variadas condições de clima e solo. Tendo suas raízes usadas como alimento básico por largas faixas da população e consumidas como farinha, amido ou cozido (in natura), a mandioca apresenta elevada importância sociocultural para as populações que a cultivam. Contudo, por sua capacidade produtiva, pela qualidade do seu amido e da sua parte aérea, alcança novos mercados, tanto na indústria (alimentícia e química) quanto na alimentação animal (raízes e parte aérea) (EMBRAPA, 2014). Na bacia do rio Pajeú, os maiores produtores são Serra Talhada, São José do Belmonte e Betânia.

Apesar de ser clara a diminuição da precipitação ao longo do tempo, a produção da mandioca se manteve constante, mesmo que em alguns anos em que aconteça uma queda brusca do valor precipitado (1979, 1993, 1998, 2010) o rendimento também caiu (Figura 57). Serra Talhada é conhecida por possuir um perímetro irrigado importante na região, o Cachoeira II. De acordo com dados da

Agência Nacional de Águas (ANA, 2016), 31% da água do reservatório de mesmo nome, é destinada a irrigação e 6% ao abastecimento da zona rural.

Figura 57 – Rendimento do milho em função da precipitação em Serra Talhada.



Fonte: A autora (2021).

Conforme já abordado, embora essas culturas sejam as mais fortes nessa região semiárida analisada e base alimentar de boa parte da população, sua produção ainda depende muito de fatores climáticos como pode ser observado através da tabela 52 onde foi obtido o coeficiente de correlação entre a precipitação e o rendimento médio da produção.

Diaz, Miranda e Nóbrega (2019) estudaram a relação entre precipitação e agricultura na bacia hidrográfica do rio Pajeú e chegaram à conclusão de que a melhor forma de comparação entre as duas variáveis é através da utilização do rendimento de cada cultura em kg/ha. De acordo com a tabela disponibilizada pela Universidade de Valência, os valores tabelados de  $r$  para  $n=45$  são: 0.24 para 95% e 0.33 para 99%.

Tabela 52 – Coeficiente de correlação ( $r$ ) entre precipitação (mm) e rendimento médio da produção (kg/ha) entre 1974 e 2019.

	Banana	Coco de baía	Manga	Feijão	Mandioca	Milho
Afogados da Ingazeira	0.07	0.21	0.15	0.11	0.58	0.45
Belém do São Francisco	0.14	0.11	0.06	-0.28	0.37	0.35
Betania	-0.16	S/D	S/D	0.16	0.37	0.58
Brejinho	-0.10	0.04	0.33	0.58	0.39	0.44

Calumbi	-0.17	0.34	0.48	0.62	0.44	0.59
Carnaíba	0.05	0.30	0.09	0.17	0.42	0.49
Carnaubeira da Penha	0.33	-0.13	-0.27	0.56	0.17	0.61
Flores	0.08	S/D	S/D	0.43	0.48	0.57
Floresta	-0.36	-0.20	0.60	-0.10	0.41	0.46
Iguaraci	0.12	0.23	0.13	0.27	0.54	0.55
Ingazeira	-0.15	0.14	0.36	0.16	0.63	0.47
Itacuruba	-0.38	-0.16	0.53	0.42	0.19	0.51
Itapetim	0.08	0.15	0.13	0.40	0.43	0.38
Mirandiba	0.04	0.05	0.14	0.66	0.48	0.72
Quixabá	0.23	0.28	-0.07	0.60	0.50	0.66
Santa Terezinha	-0.18	-0.02	0.38	0.57	0.48	0.49
São José do Belmonte	0.17	0.20	0.26	0.07	0.41	0.45
São José do Egito	0.24	0.24	0.10	0.72	0.52	0.60
Serra Talhada	0.18	0.40	S/D	0.50	0.48	0.66
Solidão	0.20	S/D	0.11	0.48	0.59	0.66
Tabira	0.06	0.36	0.12	0.39	0.50	0.71
Triunfo	-0.17	S/D	S/D	0.47	0.50	0.58
Tuparetama	0.05	0.08	0.22	0.49	0.50	0.59

Fonte: A autora (2021).

Conforme pode ser observado através da tabela 52 foram correlacionados a precipitação e o rendimento médio da produção para verificar a influência das chuvas com a produção. Conforme era esperado, as culturas permanentes (banana, coco e manga) apresentaram em sua maioria falta de correlação e até mesmo correlação negativa. Os melhores valores obtidos foram para a produção de manga de 0.48 em Calumbi, 0.60 em Floresta, 0.36 em Ingazeira, 0.53 em Itacuruba e 0.38 em Santa Terezinha. Mesmo sendo produzida por irrigação, ainda é uma cultura que depende das chuvas e vento para o florescimento, fica claro quando os melhores valores obtidos foram para esta cultura.

Com relação a banana os melhores valores obtidos foram de 0.33, -0.36 e -0.38 (correlação negativa) e 0.24 em Carnaubeira da Penha, Floresta, Itacuruba e São José do Egito respectivamente. Demonstrando a efetividade da irrigação nessa plantação.

Já para o coco seis municípios apresentaram correlação entre precipitação e rendimento, foram eles: Calumbi (0.34), Carnaíba (0.30), Quixabá (0.28), São José do Egito (0.24), Serra Talhada (0.40) e Tabira (0.36). Deve-se levar em consideração que todos esses municípios estão localizados na área central e norte da bacia, onde a altitude é maior e a precipitação ultrapassa os 700 mm anuais.

As culturas temporárias demonstraram os melhores resultados, o feijão apresentou bons resultados de correlação com a precipitação em Brejinho (0.58), Calumbi (0.62), Carnaubeira da Penha (0.56), Iguaraci (0.27), Itacuruba (0.42), Itapetim (0.40), Mirandiba (0.66), Quixabá (0.60), Santa Terezinha (0.57), São José do Egito (0.72), Serra Talhada (0.50), Solidão (0.48), Tabira (0.39), Triunfo (0.47) e Tuparetama (0.50), ainda apresentou correlação negativa com significância estatística no município de Belém do São Francisco, que como já citado anteriormente, é um polo forte em irrigação. Francisco *et al.* (2016) estudaram a aptidão climática do estado da Paraíba para o cultivo do feijão e chegaram à conclusão de que as áreas de maior precipitação são aquelas em que a produção é maior. Andrade e Júnior *et al.* (2003), mencionam em seu estudo que a necessidade do feijão-caupi é de pelo menos 450 mm de precipitação em média por ciclo de produção (três a quatro meses) e Santos *et al.* (2002) mostrou em sua pesquisa que quando irrigado, o feijão pode obter até quatro vezes mais rendimento em kg/ha do que quando produzido em sequeiro.

Para a mandioca apenas os municípios de carnaubeira da penha e Itacuruba não apresentaram significância estatística. Gabriel *et al.* (2014) fizeram uma revisão para tentar entender como as mudanças climáticas poderiam afetar a produção da mandioca e chegaram à conclusão que na maioria dos cenários a mandioca seria o cultivo que mais se adaptaria as condições climáticas mais severas. Já Silva *et al.* (2013) analisaram o comportamento de variedades da mandioca e mostraram resultados que inferem que o cultivo é bem adaptado ao clima semiárido.

Com relação ao milho, foram obtidos os melhores resultados, pois todos os municípios indicaram correlação, valendo destaque para Mirandiba que obteve a melhor correlação para esta cultura (0.72). Uma pesquisa experimental realizada pela Embrapa sobre a adaptabilidade de 21 culturas diferentes em diferentes condições ambientais no NEB, obteve resultados que trazem o milho como a cultura com a maior produtividade média da região (CARVALHO *et al.*, 2000).

Com relação as três culturas temporárias abordadas aqui, Vasconcelos *et al.* (2019) e Diaz, Miranda e Nóbrega (2019) também encontraram boa correlação entre

a produção e a precipitação nos cultivos de feijão, milho e mandioca no Estado do Ceará e no Estado de Pernambuco, respectivamente.

Como os resultados para as culturas permanentes demonstraram que a precipitação não possui grande influência no rendimento, optou-se por seguir a análise apenas com as três culturas temporárias. São-José *et al.* (2020) chegaram à conclusão de que as secas afetaram diretamente a produção agrícola e pecuária do semiárido baiano enquanto Nascimento, Almeida e Araújo (2020) conseguiram identificar as épocas mais propícias a realização da agricultura utilizando o índice de anomalia de chuva. Dos eventos climáticos que afetam as produções agrícolas, a seca é um dos mais graves. De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) 80% das perdas do setor agrícola dos países em desenvolvimento são causadas por eventos de seca (FAO, 2017). Devido a isso, na Tabela 53 está o coeficiente de correlação entre o IAC e o IW com o rendimento da produção em kg/ha.

O IW informa o quanto a precipitação é sazonal ou não, para a grande maioria dos municípios não foi encontrada boa correlação com esse índice, em alguns casos como para o cultivo do feijão em Belém do São Francisco e Betânia foram encontrados valores indicando correlação negativa entre as duas variáveis. Com correlação positiva foram encontrados apenas os valores de 0.25 para o cultivo do feijão em São José do Belmonte e 0.34 para o cultivo da mandioca em Serra Talhada. Como o IW é abordado através de valores anuais, provavelmente ele não seja um parâmetro indicado para este tipo de análise, talvez se a comparação fosse realizada mês a mês com outro índice poderia ter retornado com bons resultados, pois, a sazonalidade da precipitação não é o fator mais importante no resultado nesse tipo de comparação.

Já com relação ao IAC foram encontrados resultados melhores, embora ainda apresente algumas correlações negativas com significância como -0.29 para o plantio do feijão em Belém do São Francisco. Porém, para essa cultura, foram encontrados resultados excelentes para Brejinho (0.59), Calumbi (0.63), Carnaubeira da Penha (0.55), Flores (0.44), Itacuruba e Itapetim (0.43), Mirandiba (0.66), Quixabá (0.62), Santa Terezinha (0.58), São José do Egito (0.72), Serra talhara (0.49), Solidão (0.50), Tabira (0.40), Triunfo (0.31) e Tuparetama (0.51). Para a correlação entre mandioca e rendimento os resultados foram ainda melhores, apenas para os municípios de Carnaubeira da Penha e Itacuruba não foram encontrados valores com significância. Assim como no caso da correlação entre precipitação e rendimento do milho, quando

analisada a correlação entre o IAC e o milho, todos os resultados foram excelentes, indicando que a produção do milho pode ser relacionada com o índice de seca.

Tabela 53 – Coeficiente de correlação (r) entre o IAC, IW e o rendimento médio da produção (kg/ha) entre 1974 e 2019.

	Feijão		Mandioca		Milho	
	IAC	IW	IAC	IW	IAC	IW
Afogados da Ingazeira	0.09	0.01	0.59	-0.05	0.44	-0.06
Belém do São Francisco	-0.29	-0.22	0.38	-0.01	0.36	-0.04
Betânia	0.15	-0.29	0.38	0.11	0.58	0.13
Brejinho	0.59	0.12	0.41	-0.05	0.46	0.11
Calumbi	0.63	0.07	0.48	0.01	0.60	0.07
Carnaíba	0.18	0.13	0.46	-0.03	0.50	0.09
Carnaubeira da Penha	0.55	0.08	0.17	-0.04	0.60	0.09
Flores	0.44	-0.21	0.50	-0.12	0.58	-0.22
Floresta	-0.12	-0.04	0.41	-0.42	0.45	-0.26
Iguaraci	0.22	-0.16	0.26	0.23	0.54	-0.15
Ingazeira	0.15	-0.03	0.64	0.14	0.47	0.03
Itacuruba	0.43	0.06	0.18	0.12	0.51	0.15
Itapetim	0.43	0.11	0.45	-0.20	0.41	-0.10
Mirandiba	0.66	-0.05	0.49	0.03	0.72	0.05
Quixabá	0.62	-0.04	0.52	-0.08	0.68	-0.07
Santa Terezinha	0.58	0.04	0.50	-0.21	0.51	-0.11
São José do Belmonte	0.00	0.25	0.43	-0.13	0.49	0.01
São José do Egito	0.72	0.05	0.52	-0.11	0.60	0.01
Serra Talhada	0.49	-0.19	0.49	0.34	0.69	-0.17
Solidão	0.50	-0.10	0.61	0.06	0.68	0.07
Tabira	0.40	0.01	0.51	0.04	0.72	0.03
Triunfo	0.31	0.09	0.44	0.14	0.43	0.14
Tuparetama	0.51	-0.01	0.51	0.14	0.60	0.08

Fonte: A autora (2021).

Prosseguindo com as análises dos índices de seca e rendimento médio da produção, através da utilização do índice de precipitação padronizada (SPI) foram identificados três períodos de seca que são comuns em todas os postos pluviométricos analisados neste estudo e que são confrontados com os mesmos períodos que Lima e Magalhães (2018) e Silva *et al.* (2013) encontraram em seus estudos. Campos (2014) traça períodos temporais que discorrem brevemente sobre

as secas que atingiram a Região Nordeste. São essas: 1583-1848, 1849-1877, 1877-1958, 1959-1991 e 1992-2014. Todas elas englobam as encontradas nesta pesquisa. Com isso, esses períodos foram isolados e realizada a correlação da precipitação com o rendimento do feijão, da mandioca e do milho exclusivamente para esses períodos de seca em comum. Os valores tabelados de  $r$  para  $n=6$  de acordo com a Universidade de Valência é 0.622 para significância de 95% e 0.789 para significância de 99%.

Primeiramente foi identificado um período de seca entre 1979 e 1984 (Tabela 54). De acordo com Silva *et al.* (2013) esse período é a seca mais longa, forte e abrangente a atingir a região Nordeste do Brasil. Os resultados apontam que para a maioria dos municípios foi comprovado que o rendimento da produção foi menor neste período.

Para a cultura do feijão, o município mais susceptível neste período foi Carnaíba, que apresentou coeficiente de correlação de 0.926 e queda no rendimento em mais de 150%. Solidão, São José do Belmonte, Santa Terezinha, Mirandiba, Itapetim, Ingazeira e Tuparetama também apresentaram valores condizentes com 99% de significância. Vale salientar, que Belém do São Francisco é o maior produtor de feijão da área em estudo e como já mencionado anteriormente, um polo de irrigação, não tendo apresentado resultados que comprovem que a seca nesse período influenciou no rendimento. Os municípios mais afetados foram aqueles em que a agricultura de sequeiro é mais utilizada. De acordo com Filho e Costa (2020) foi nessa época em que a oferta de tipos diferentes de grãos ficou escassa.

Já a mandioca, menos municípios demonstraram sofrer impactos no rendimento durante esse período de seca, com destaque para Carnaíba e Mirandiba que foram os mais impactados. Para o município de Mirandiba, a queda da produção foi de 55% e para Carnaíba de 80%. São José do Belmonte, o maior produtor de mandioca da bacia hidrográfica, também apresentou significância estatística entre a queda do rendimento e a seca, tendo o rendimento diminuído pela metade. Durante esse período, em nenhum município o rendimento chegou a ser maior que 10t anuais.

Tabela 54 – Coeficiente de correlação (r) entre os períodos de seca mais frequentes e o rendimento da produção (kg/ha).

	Feijão			Mandioca			Milho		
	1979 - 1984	1997 - 2002	2012 - 2017	1979 - 1984	1997 - 2002	2012 - 2017	1979 - 1984	1997 - 2002	2012 - 2017
Afogados da Ingazeira	0.754**	0.745**	0.799*	0.595	0.225	0.453	0.932*	0.529	0.616
Belém do São Francisco	-0.032	0.311	0.190	0.136	-0.124	S/P	0.498	0.168	S/P
Betania	-0.515	-0.828*	-0.006	0.348	-0.394	0.846*	-0.337	0.152	0.818*
Brejinho	0.684**	0.773**	0.869*	0.799*	0.237	0.792*	0.759**	0.680**	0.902*
Calumbi	0.658**	0.805*	0.894*	0.425	0.815*	-0.149	0.358	0.707**	0.773**
Carnaíba	0.926*	0.445	0.672**	0.894*	0.288	-0.054	0.957*	0.377	0.735**
Carnaubeira da Penha	-0.225	-0.096	S/P	-0.054	0.808*	S/P	-0.176	-0.214	S/P
Flores	0.125	-0.323	0.710**	0.390	0.405	0.540	0.509	0.619	0.861*
Floresta	-0.054	-0.765**	-0.455	-0.048	0.527	-0.104	0.661**	0.646**	0.131
Iguaraci	0.189	0.708**	0.525	0.758**	0.325	0.045	0.463	0.758**	0.351
Ingazeira	0.849*	0.505	0.178	0.740**	0.161	0.427	0.968*	0.614	0.267
Itacuruba	-0.324	0.487	S/P	-0.128	-0.392	S/P	0.532	S/P	0.163
Itapetim	0.794*	0.419	0.642**	0.737**	-0.160	0.762**	0.707**	0.128	0.472
Mirandiba	0.858*	0.719**	0.715**	0.894*	0.669**	0.960*	S/P	S/P	S/P
Quixabá	S/P	S/P	S/P	0.658**	0.654**	0.640**	0.820*	0.148	0.584
Santa Terezinha	0.818*	0.397	0.875*	0.456	-0.576	0.655**	0.839*	0.415	0.917*
São José do Belmonte	0.800*	-0.399	0.527	0.762**	0.632**	0.524	0.780**	-0.010	0.805*
São José do Egito	0.628**	0.808*	0.889*	0.443	0.803*	0.097	0.747**	0.632**	0.862*
Serra Talhada	0.771**	-0.624**	0.782**	-0.333	0.687**	0.033	0.648**	0.770**	0.702**
Solidão	0.820*	0.836*	0.606	0.717**	0.388	0.403	0.973*	0.844*	0.702**
Tabira	0.725**	0.791*	0.394	0.793*	0.899*	0.683**	0.955*	0.749**	0.496
Triunfo	0.688**	0.669**	0.711**	0.706**	0.829*	-0.102	0.589	0.596	0.628**
Tuparetama	0.918*	0.309	0.731**	0.483	0.803*	0.282	0.935*	0.413	0.778**

\* nível de significância 99%; \*\* nível de significância 95%; S/P - Sem produção. Fonte: A autora (2021).

Ainda analisando a tabela 54, para o milho também foi notado queda no rendimento na maioria dos municípios, com destaque para o município de Floresta, que para os cultivos de feijão e mandioca não foi alcançado valores com significância e para o milho retornou um valor de 0.661. Entre 1979 e 1980, o município passou de 600kg/ha de produção de milho para 60kg/ha. Ao longo deste período a queda da produção girou em torno de 65%. O município mais afetado de acordo com o coeficiente de correlação deveria ter sido Solidão, porém a diminuição da produção foi de apenas 20%. Os três maiores produtores são Ingazeira, Carnaíba e Tabira, e apresentaram valores de correlação maiores que 0.950. Através dos dados do censo, estima-se que a produção sofreu um decréscimo total de 200% neste período em toda a bacia.

O segundo período de seca identificado foi entre 1997 e 2002 (Tabela 54). Nesse período, de acordo com diversas pesquisas (BERLATO; FARENZENA; FONTANA, 2005; COSTA, 2020; FREIRE; LIMA; CAVALCANTI, 2011; MARENGO, 2011), todo o NEB sofreu consequências do El Niño. Foi tão grave a seca neste período que ocasionou diminuição do volume de água do rio São Francisco em 2001 (PRUSKI *et al.*, 2004). De acordo com Tavares, Arruda e Silva (2019), os impactos negativos sobre os recursos hídricos e suas consequências na agricultura de sequeiro poderão comprometer a população da região (ANGELOTTI; FERNANDES JÚNIOR; SÁ, 2011). Alves, Servain e Campos (2009) mostraram que as condições térmicas, associadas à anos de El Niño, La Niña e de gradientes meridionais de TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais, condicionam anos com mais ou menos produção e produtividade de milho, feijão-caupi e mandioca. Os resultados apontaram que para a mandioca não foi observada grandes variações no rendimento, ao contrário do milho que se mostrou bastante influenciável pelas questões atmosféricas. Já para o feijão os maiores rendimentos foram encontrados para anos em que a pluviosidade ficou acima da média (VASCONSELOS *et al.*, 2019).

Para o cultivo do feijão, durante este período foram encontradas correlações negativas entre rendimento e precipitação, -0.828 em Betânia, -0.765 em Floresta e -0.624 em Serra Talhada, porém o rendimento da produção nesse período teve uma queda de apenas 7%, o que não deve ter influenciado no resultado. Para o município de Floresta, o rendimento passou de 504 kg/ha em 1997 para 1200 kg/ha em 1998 e 1320 kg/ha em 1999 mesmo com a precipitação caindo de 860 para 414 mm nesse período. Ao final do ano de 2001, o rendimento foi de 312 kg/ha, muito menos da

metade do que nos anos anteriores. A maior correlação positiva foi para solidão (0.836) onde não teve rendimento nas safras de 1998 e 2001.

Para a mandioca, dez municípios apresentaram correlação significativa. Destaca-se Tabira (0.899), Triunfo (0.829), Tuparetama (0.803), São José do Egito (0.803), Carnaubeira da Penha (0.808) e Calumbi (0.815). Em Tabira e Tuparetama, foi perdida toda a produção de 1998, em Calumbi ocorreu queda de rendimento de 1000 kg/ha e em São José do Egito se perdeu 2000 kg/ha em todo o período. Porém a maior diminuição do rendimento foi em Mirandiba, o município viu seu rendimento cair pela metade nesses seis anos, de 8000 para 4000 kg/ha.

Para o milho, menos municípios se mostraram susceptíveis a diminuição do rendimento, porém, em solidão, assim como para a mandioca, em 1998 e 2001 toda a safra anual do milho foi perdida, causando prejuízos altos demais aos pequenos produtores rurais. Em Serra Talhada, também não teve rendimento do milho em 1998 e ao longo da série a produção caiu de 1000 kg/ha em 1997 para 120 kg/ha em 1999 e 50 kg/ha em 2001. Em todos os outros municípios, o rendimento apresentou esse comportamento.

Ximenes (2013) quando analisou o rendimento de anos anteriores a seca e comparou com os anos de seca para o estado do Ceará, constatou que para o milho e o feijão, a queda do rendimento foi de 26% em 1979, 61% em 1980, 84% em 1981, 14% em 1982, 88% em 1983, 62% em 1998 e 59% em 2001.

O último período de seca encontrado foi entre os anos de 2012 e 2017. Segundo Carvalho (2012) no século XXI, de 2001 a 2010, houve no Nordeste brasileiro cinco secas que assolaram esta região tão suscetível à ocorrência deste evento. Acrescenta-se, nesse contexto, as secas de 2012 a 2016, contabilizando mais quatro anos consecutivos de secas e que já se configura como uma das maiores secas dos últimos trinta anos (MARTINS; MAGALHÃES, 2015).

Para o cultivo do feijão entre 2012 e 2017, nenhum dos três maiores produtores do grão apresentou correlação significativa entre precipitação e rendimento. Com destaque ao município de Itacuruba onde não foi possível fazer o cálculo pois de acordo com os dados do censo agropecuário, em todos esses anos não ocorreu rendimento da cultura no município, não se sabe se foi devido à seca ou falha nos dados. O maior valor de correlação foi encontrado para o município de Carnaíba, onde em 2012 não ocorreu rendimento do feijão e a média total do período é de 80kg/ha, muito abaixo da média geral. Em São José do Egito, em 2012 e 2015 não ocorreu

rendimento do feijão e a média não ultrapassou 50 kg/ha em todo o período de análise. Nos outros municípios, o rendimento foi um pouco maior, mas ainda assim bem abaixo da média.

Para a mandioca, o município de Brejinho apresentou um dos melhores valores de correlação, 0.846, porém ocorreu o fenômeno inverso neste município, a precipitação aumentou junto com a quantidade do rendimento, de 3200 kg/ha em 2012 para 7000 kg/ha em 2017 e a precipitação foi de 270 mm anuais em 2012 para 726 mm anuais em 2017. Para Mirandiba (correlação de 0.960), no ano de 2011 o rendimento foi de 10000 kg/ha de mandioca, porém entre 2012 e 2017 o rendimento foi igual a 0, embora a precipitação tenha se mantido na média.

Para o milho foram encontradas a maior quantidade de correlações desse período quando comparadas com o feijão e mandioca. Doze municípios apresentaram valores que afirmam que o rendimento sofreu impactos da precipitação, como em São José do Egito, onde o rendimento médio da produção foi de 160 kg/ha do grão, porém nos anos de 2012 e 2015 toda a safra foi perdida. Carnaíba e Tabira foram os municípios em que o rendimento foi mais fraco dentro da série analisada. Em Tabira o rendimento médio foi de 120 kg/ha enquanto em Carnaíba foi de 130 kg/ha.

Os dados aqui abordados mostram que no início do período seco o impacto no rendimento das culturas é maior. De acordo com Oliveira *et al.* (2017), em suas análises das consequências da seca dos anos de 2012 a 2016 em um perímetro irrigado do semiárido paraibano, mostraram que ocorreu diminuição da produção, da área irrigada e da qualidade de vida dos moradores dessa área. Fazendo uma abordagem geral sobre as áreas semiáridas do NEB, Santana e Santos (2020), verificaram a queda da produção (e, em consequência, da produtividade) de grande maioria dos cultivos característicos de práticas agrícolas familiares. O valor da produção agrícola nos municípios apontou variações negativas superiores a 90% no início da seca, apesar da manutenção e de alterações em parte das atividades produtivas.

Santana e Santos (2020) ainda encontraram mais resultados em comum com esta pesquisa, principalmente para os cultivos de milho e mandioca. Eles afirmam que os produtos que apresentaram as maiores quedas na produção são característicos de atividades realizadas por pequenos produtores, sobretudo da agricultura. O destaque ficou por conta do milho, que é o produto mais diversificado e apresentou queda de 50,62% entre 2011 e 2012, tendo se recuperado somente em 2017 (ainda abaixo de

2011); e da mandioca, cultivo tradicional e de importante papel na segurança alimentar na região, que teve queda acumulada na quantidade produzida, entre 2011 e 2017. Os dados da PAM mostram que, entre cinquenta produtos de lavouras temporárias e permanentes com produção no Nordeste, 39 apresentaram variação negativa na quantidade produzida em 2012, em relação a 2011 (SANTANA; SANTOS, 2020).

As oscilações nos casos do feijão (44,25%) e da cana-de-açúcar (48,56%) entre 2011 e 2017 são também impactantes, uma vez que têm grande importância para a segurança alimentar (SANTANA; SILVA, 2020). Sobre a segurança alimentar, Cerri e Cerri (2007) complementam que a diminuição da produtividade agrícola além de afetar a segurança alimentar, afeta a economia do país, com base em cenários futuros realizados em seu estudo, eles mostraram que a queda do rendimento na agricultura de sequeiro também afeta o PIB do país a longo prazo.

Complementando essas informações, a Food and Agriculture Organization of The United Nations, ainda diz que as transformações no clima podem colocar a população em um ciclo vicioso de miséria e má nutrição, que até 2050 quedas acentuadas na produção agrícola podem elevar em 20% a fome no mundo (FAO, 2017).

Como a maior parte da agricultura de sequeiro no semiárido ocorre por meio de estabelecimentos familiares, foi feita a análise municipal por cultura, porém, é necessário trazer alguns dados de agricultura familiar propriamente dita para que se possa compreender melhor a dinâmica da produção e como ela ocorre. Porém, deve-se salientar novamente a dificuldade em se trabalhar com dados de produção da agricultura familiar devido à falta de disponibilidade pelos meios oficiais, sendo disponibilizados apenas dados totais e mais recentemente da produção de produtos beneficiados (como farinha de mandioca e não da mandioca em si).

Na Tabela 55 temos os dados disponíveis para agricultura familiar do censo agropecuário 2006. Com isso, nota-se que a menor produção que pode ser encontrada é a de floricultura, presente apenas em São José do Belmonte e Santa Cruz da Baixa Verde. O município com a maior produção total é o de Serra Talhada, com valor total da produção de 78960. Isso se deve ao fato de Serra Talhada obter a maior produção em quase todos os tipos de variáveis analisadas. No cultivo das lavouras temporárias, destaca-se pelo valor da produção São José do Belmonte, Carnaubeira da Penha, Belém do São Francisco, Tabira, Serra Talhada, Triunfo, Santa Terezinha, São José do Egito e Igaraci.

Algo a ser destacado também é a agroindústria. De acordo com o Censo Agropecuário realizado em 2006 pelo IBGE, a agroindústria rural abrange as “atividades de transformação e beneficiamento de produtos agropecuários de origem animal ou vegetal, que foram realizadas em instalações próprias, comunitárias ou de terceiros, a partir de matéria-prima produzida no próprio estabelecimento agropecuário ou adquirida de outros produtores”, desde que a destinação final do produto seja dada pelo produtor. No censo são disponibilizados os dados de quantos estabelecimentos existem no município que podem ser considerados "agroindústria rural". Flores, Triunfo e Santa Cruz da Baixa Verde se destacam muito além dos demais. Vale lembrar que esses três municípios estão localizados na área de maior altimetria da bacia hidrográfica e possui um clima diferente do comum para áreas semiáridas, sendo considerados brejos de altitude segundo a geomorfologia e climatologia local.

Já com relação as lavouras permanentes, é Serra Talhada quem entra novamente em destaque. Também foi notado que para o censo 2006, a predominância da produção se encontrava nos municípios localizados ao centro e norte da bacia hidrográfica do rio Pajeú.

Tabela 55 – Censo agropecuário 2006 – Agricultura familiar.

Município	Total da produção*	Animal	Animal (grande porte)	Animal (médio porte)	Animal (aves)	Animal (pequeno porte)	Vegetal (Total)	Vegetal (lavouras permanentes)	Vegetal (lavouras temporárias)	Vegetal (horticultura)	Vegetal (floricultura)	Vegetal (silvicultura)	Vegetal (extração vegetal)	Agroindústria (em unidades)
São José do Belmonte (PE)	9624	2534	1725	316	476	18	7063	404	6162	207	1	75	214	17
Mirandiba (PE)	2441	1114	525	456	130	3	1220	127	822	47	-	47	176	3
Carnaubeira da Penha (PE)	9047	1530	697	528	303	3	7514	782	5964	68	-	697	X	3
Belém do São Francisco (PE)	7861	1185	641	439	102	X	6672	609	5746	182	-	134	-	3
Itacuruba (PE)	2610	92	55	38	X	-	2518	X	2495	X	-	-	-	-
Tabira (PE)	11555	1442	1142	104	196	X	10109	101	9792	41	X	129	46	1
Tuparetama (PE)	1716	1417	777	244	395	X	281	29	238	8	-	4	1	-
Quixaba (PE)	2480	1294	846	67	379	3	1181	86	921	61	-	96	17	5
Flores (PE)	10254	3375	2210	213	948	4	6535	1796	4454	10	-	101	175	322
Floresta (PE)	4700	1330	583	646	100	1	3278	1630	1400	97	-	126	24	25
Betânia (PE)	2139	973	729	170	69	5	1166	14	1092	13	-	45	2	0
Serra Talhada (PE)	78960	8530	4728	1151	2587	64	70180	25387	43326	1279	-	40	148	7
Calumbi (PE)	2261	819	666	63	90	X	1440	926	466	2	X	39	7	2
Triunfo (PE)	16346	1447	1014	214	216	4	14651	7204	7365	73	X	4	3	248
Afogados da Ingazeira (PE)	4843	1936	1433	107	333	63	2883	953	1651	159	-	81	39	21
Ingazeira (PE)	1798	888	628	94	161	X	826	122	414	66	-	144	80	3
Solidão (PE)	1548	629	487	54	82	5	842	133	481	3	-	211	14	77
Carnaíba (PE)	4254	1628	1247	149	226	6	2608	554	1575	426	-	24	29	17
Santa Cruz da Baixa Verde (PE)	2965	753	531	123	99	-	1898	75	1700	30	0	90	2	313
Itapetim (PE)	4178	2908	2155	264	461	28	1243	84	1094	28	X	19	13	4
Brejinho (PE)	3385	2659	882	73	1704	X	661	315	311	7	X	8	19	2
Santa Terezinha (PE)	11131	735	579	78	74	3	10388	473	9909	4	-	2	X	X
São José do Egito (PE)	15474	4716	2455	376	1873	12	10564	81	10211	112	-	75	85	39
Iguaraci (PE)	15784	2138	1557	239	336	X	13588	52	13196	30	X	65	245	49

\*Valor da produção (Mil reais); (X) - não existe; (-) valores faltantes. Fonte: IBGE.

Com relação a agricultura familiar, Pelegrini e Gazolla (2009) abordam em seu estudo como seria a ordem de crescimento e formulação de um estabelecimento familiar. Eles dividem em três fases: ocupação do território e primeiras atividades produtivas, início da especialização e aprofundamento das relações mercantis, modernização da agricultura. Eles ainda trazem uma definição mais abrangente de agroindústria familiar do que a abordada anterior.

Segundo Prezotto (2001) a agroindústria familiar é a unidade de transformação e/ou beneficiamento de produtos agropecuários produzidos pelos agricultores familiares. Gerenciada pelos próprios agricultores, a agroindústria familiar é constituída de instalações e equipamentos adequados à escala de produção industrial tradicional, ou seja, de grandes agroindústrias. Assim, entende-se a agroindústria familiar como uma estratégia de reprodução social dentro do grande universo empírico do que se costuma chamar, a partir dos anos 1990, de agricultura familiar (PELEGRINI; GAZOLLA, 2009).

Nas Tabelas 56 e 57 estão os dados disponíveis para agricultura familiar do censo agropecuário 2017, talvez os dados desse censo sejam os que mais tem sigilo de informações. Foram selecionados apenas aqueles produtos que são beneficiados em algum município da bacia hidrográfica. Queijo e requeijão e carvão vegetal se destacam pela maior produção em toneladas e mais frequência na bacia. Ao todo são produzidas 376 toneladas de queijo e requeijão e 207 toneladas de carvão vegetal. Doces e geleias, apesar da pequena quantidade em toneladas (41 t), são produtos beneficiados em quase todos os municípios. As menores produções ficam por conta das 15 t de legumes e verduras processadas em São José do Belmonte, 1 t de licor em Tuparetama, 3 t de manteiga em Flores, São José do Belmonte e Serra Talhada e 1 t de óleos vegetais em São José do Belmonte.

Com relação a quantidade de estabelecimentos identificados como agricultura familiar e o que produzem por município (Tabela 58), destaca-se São José do Egito com a maior quantidade de estabelecimentos, são ao todo, 124 estabelecimentos e a maioria deles (74) produzem queijos e requeijão. Este município também se destaca como produtor de Fubá de Milho (visto que anteriormente ele apresentou bom rendimento de produção do grão), tendo 18 estabelecimentos voltados para este fim. Com relação ao censo anterior, além do fubá de milho, outra produção também aparece que não aparecia anteriormente, a polpa de frutas, tendo 27 estabelecimentos voltados para este fim. O carvão vegetal além de se destacar como

a maior produção, também entra em destaque pela quantidade alta de estabelecimentos em um mesmo município, como os 40 em Iguaraci e 30 em São José do Belmonte.

Tabela 56 – Censo Agropecuário 2017 – Produção em toneladas de produtos provenientes da agricultura familiar por município.

	Doces e geléias	Farinha de mandioca	Fubá de milho	Legumes e verduras (processadas)	Licores	Manteiga	Óleos vegetais	Polpa de frutas	Queijo e requeijão	Rapadura	Carvão vegetal	Goma ou tapioca
Afogados da Ingazeira	-	1	-	-	-	-	-	4	26	-	12	-
Belém do São Francisco	-	5	-	-	-	-	-	-	6	-	27	-
Betânia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-
Brejinho	-	2	-	-	-	-	-	1	5	-	6	-
Calumbi	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-
Carnaíba	-	12	-	-	-	-	-	1	9	-	3	9
Carnaubeira da Penha	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-
Flores	1	-	-	-	-	1	-	-	7	-	6	-
Floresta	1	-	-	-	-	-	-	-	2	-	3	-
Iguaracy	1	-	-	-	-	-	-	-	17	-	40	-
Ingazeira	-	-	4	-	-	-	-	6	7	-	-	-
Itacuruba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Itapetim	2	2	5	-	-	-	-	2	28	1	21	-
Mirandiba	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quixaba	1	-	-	-	-	-	-	-	8	-	1	-
Santa Terezinha	1	4	-	-	-	-	-	1	8	1	2	-
São José do Belmonte	4	-	-	15	-	1	1	1	28	-	30	1
São José do Egito	11	-	18	-	-	-	-	4	74	-	17	-
Serra Talhada	3	2	-	-	-	1	-	-	64	-	-	1
Solidão	1	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-
Tabira	9	-	-	-	-	-	-	-	28	3	-	-
Triunfo	1	7	-	-	-	-	-	6	23	34	-	1
Tuparetama	4	-	-	-	1	-	-	1	22	-	30	-

- sem dados

Fonte: IBGE

Tabela 57 – Censo Agropecuário 2017 – Quantidade de estabelecimentos identificados como agricultura familiar e o que produzem por município.

	Doces e geléias	Farinha de mandioca	Fubá de milho	Legumes e verduras (processadas)	Licores	Manteiga	Óleos vegetais	Polpa de frutas	Queijo e requeijão	Rapadura	Carvão vegetal	Goma ou tapioca
Afogados da Ingazeira	-	1	-	-	-	-	-	4	26	-	12	-
Belém do São Francisco	-	5	-	-	-	-	-	-	6	-	27	-
Betânia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-
Brejinho	-	2	-	-	-	-	-	1	5	-	6	-
Calumbi	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-
Carnaíba	-	12	-	-	-	-	-	1	9	-	3	9
Carnaubeira da Penha	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-
Flores	1	-	-	-	-	1	-	-	7	-	6	-
Floresta	1	-	-	-	-	-	-	-	2	-	3	-
Iguaraci	1	-	-	-	-	-	-	-	17	-	40	-
Ingazeira	-	-	4	-	-	-	-	6	7	-	-	-
Itacuruba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Itapetim	2	2	5	-	-	-	-	2	28	1	21	-
Mirandiba	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quixaba	1	-	-	-	-	-	-	-	8	-	1	-
Santa Terezinha	1	4	-	-	-	-	-	1	8	1	2	-
São José do Belmonte	4	-	-	15	-	1	1	1	28	-	30	1
São José do Egito	11	-	18	-	-	-	-	4	74	-	17	-
Serra Talhada	3	2	-	-	-	1	-	-	64	-	-	1
Solidão	1	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-
Tabira	9	-	-	-	-	-	-	-	28	3	-	-
Triunfo	1	7	-	-	-	-	-	6	23	34	-	1
Tuparetama	4	-	-	-	1	-	-	1	22	-	30	-

- sem dados.

Fonte: IBGE

#### **4.4.1 Reflexões sobre agricultura, políticas públicas e objetivos para o desenvolvimento sustentável**

O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos do mundo, tendo boa parte do seu PIB oriundo de atividades agrícolas. Porém, essa agricultura é, em maior parte responsável pelo intenso processo de degradação do meio ambiente.

Em qualquer sistema agrário existe o processo de degradação ambiental, o que muda é em até que ponto o ambiente é afetado. De acordo com Filho e Barbosa (1999) existem algumas etapas que quase sempre são seguidas quando uma área é escolhida para produzir alguma atividade agrícola. Em primeiro lugar, destaca-se a redução drástica da biodiversidade. Na implantação de uma área de cultivo ou de uma pastagem, a primeira providência consiste na erradicação total da vegetação original, acompanhada quase sempre da queima dos restos. Substitui-se uma comunidade vegetal complexa por uma monocultura, o que acarreta uma super simplificação da rede alimentar, perdendo o sistema a resiliência ou plasticidade ambiental, e reduzindo sua estabilidade diante das variações dos fatores do meio. Por outro lado, intensificam-se as repercussões sobre a fauna, privada que foi de sua alimentação e abrigos com profundas alterações em seus habitats. As culturas estabelecidas passam ser a fonte mais importante de alimentação para a restauração das cadeias alimentares. Insetos e outros artrópodes passam a constituir as "pragas" requerendo medidas de controle baseadas no uso de agrotóxicos, poluentes que serão repassados para o ambiente ao longo da cadeia alimentar. A partir daí, não é difícil se visualizar a degradação paulatina do ecossistema.

Para Silva e Rios (2013) as práticas agrícolas desenvolvidas no Semiárido são conhecimentos passados de geração para geração, sendo muitas vezes inadequadas. Resultando assim em solos empobrecidos, com escassez de cobertura vegetal e indícios de desertificação.

Dessa forma, fica claro que no semiárido se faz necessário que ocorram ações para tornar a produção mais sustentável. Costa (2010) enfatiza que a agricultura sustentável se encontra ancorada no caráter tridimensional da sustentabilidade – ambiental, econômico e social. Na dimensão ambiental a agricultura sustentável busca a utilização racional dos recursos naturais; na dimensão econômica ela busca a utilização de tecnologias adequadas e de baixo custo e na dimensão social ela é caracterizada pelo acesso equitativo aos recursos e às informações.

O processo da sustentabilidade passa pela agricultura tradicional, embora tanto nesta como na agricultura moderna o processo da produção sustentável ainda seja muito falho devido principalmente ao uso de métodos e tecnologias agressivas ao meio ambiente. A agricultura tradicional subdivide-se em dois grupos: a agricultura de subsistência tradicional, praticada apenas para a sobrevivência da família produtora através da mão de obra familiar e animais de carga, e a agricultura tradicional intensa que além de produzir para a subsistência também gera renda, através do aumento de mão de obra obtendo conseqüente aumento de produção (PEREIRA *et al.*, 2010).

O sistema de agricultura do Semiárido é caracterizado como sendo tradicional de sequeiro, utilizando como forma de preparo do solo o corte-queima. Nesse modelo o agricultor tem uma certa capacidade de interpretar os sinais naturais, para assim planejar o seu calendário agropecuário, determinando o início das atividades de preparo da terra, plantio e colheita (NASUTI; EIRÓ; LINDOSO, 2013). Porém, esse sistema não é indicado, para alcançar a sustentabilidade, o agro ecossistema deve fundamentar-se no uso limitado de energia e recursos externos, buscando restabelecer as cadeias alimentares, mantendo, tanto quanto possível, fechados os ciclos biogeoquímicos. O passo seguinte será a restauração da estabilidade da comunidade vegetal, restabelecendo-se a reciclagem de nutrientes, garantindo o fluxo eficiente de energia, otimizando a taxa de desfrute e maximizando o uso da terra. Um outro elemento, importante para a sustentabilidade da produção agrícola, é o fortalecimento da agricultura familiar, cuja lógica de produção é baseada em sistemas agrícolas diversificados e potencialmente mais resistentes. Por fim, deve-se encorajar a produção local, adaptada ao cenário socioeconômico nacional, para o atendimento do mercado interno (ARAUJO FILHO; BARBOSA, 1999).

Nesse contexto, torna-se necessário que o desenvolvimento da agricultura no Semiárido seja praticado de forma sustentável, adotando técnicas corretas de manejo e conservação do solo e da água, aumentando assim a produção sem provocar a exaustão da terra (PEREIRA, 2010). O processo de construção de uma agricultura realmente sustentável, embora implique a substituição inicial de insumos, não se resume a isso, devendo passar, necessariamente, pelo fortalecimento da agricultura de base familiar, por profundas modificações na estrutura fundiária do País, por políticas públicas consistentes e coerentes com a emancipação de milhões de brasileiros da miséria e pela revisão dos pressupostos epistemológicos e metodológicos que guiam ações de pesquisa e desenvolvimento (MOREIRA;

CARMO, 2004). Com isso, entram dois tipos de agricultura que mesmo semelhantes possuem contrapontos totalmente expostos: A agricultura familiar e a agricultura camponesa.

Agricultura familiar não é propriamente um termo novo, mas seu uso recente, com ampla penetração nos meios acadêmicos, nas políticas de governo e nos movimentos sociais, adquire novas significações. Quando o poder público implanta políticas federais voltada para este segmento como o Programa de Fortalecimento da Agricultura Familiar – PRONAF em 1996 e o Programa Nacional de Crédito Fundiário – PNCF em 2003, e quando cria a Lei 11.326/2006, a primeira a fixar diretrizes para o setor (BRASIL, 2006), a opção adotada para delimitar o público foi o uso “operacional” do conceito, centrado na caracterização geral de um grupo social bastante heterogêneo. Já no meio acadêmico, encontramos diversas reflexões sobre o conceito de agricultura familiar, propondo um tratamento mais analítico e menos operacional do termo (ALTAFIN, 2007). As maiores implicações da falta de sustentabilidade da agricultura familiar vêm do fato de que na maioria dos casos ainda há a predominância da monocultura em detrimento da diversificação.

Já esse não é um problema da agricultura camponesa. Altafin (2017) resgata o trabalho de Cardoso (1987) e traz algumas características básicas do conceito mais clássico de Camponês. São elas: Acesso estável à terra, seja em forma de propriedade, seja mediante algum tipo de usufruto; Trabalho predominantemente familiar, o que não exclui o uso de força de trabalho externa, de forma adicional; Autossustentância combinada a uma vinculação ao mercado, eventual ou permanente; Grau de autonomia na gestão das atividades agrícolas, ou seja, nas decisões sobre o que e quando plantar.

O que diferencia a agricultura familiar da camponesa, é que na camponesa, a prioridade será o bem-estar da família e o plantio se dará de forma mais integrada. O campesinato, é indiscutivelmente mais ecológico do que a agricultura familiar, embora na agricultura familiar a produção sustentável também pode ser alcançada. Devido a isso, é importante entender por que determinada cultura é produzida em determinado lugar. Segundo Altafin (2017) a diversificação de culturas configura-se como parte da estratégia adotada pela família camponesa, que tem na combinação com a criação de animais sua alternativa de fertilização dos solos e melhoria na produtividade dos cultivos.

Dessa forma, como se atingir o desenvolvimento sustentável dentro da agricultura familiar? O conceito de desenvolvimento sustentável ainda é bastante confuso segundo alguns autores (CIEGIS; RAMANAUSKIENE; MARTINKUS, 2009; HARLOW; GOLUB; ALLENBY, 2013), porém existe uma aceitação geral que seria a busca do equilíbrio entre as necessidades do ser humano e o meio ambiente (FEIL; SCHREIBER, 2017).

Com isso, entre as experiências alternativas que estão sendo adotadas nas regiões semiáridas, a agricultura sustentável é a que mais se destaca. No entanto, esta alternativa exige mudanças radicais no atual sistema de agricultura familiar. As práticas agroecológicas são inovadoras, pois proporcionam uma mudança de comportamento na relação entre o sertanejo e a vegetação (BRASILEIRO, 2009). Convencionalmente, no processo agrícola o produtor usa apenas um tipo de cultivo em uma área extensa. Em sistemas agroecológicos ocorre a diversificação de culturas em uma mesma área.

A agroecologia desenvolvida no semiárido consolida-se na medida em que os agricultores familiares se nutrem de uma visão mais aprofundada de sua relação com o meio. Ela procura aliar o saber e a experiência dos agricultores através de uma relação mais próxima entre os conceitos e os métodos dela e as práticas de desenvolvimento sustentável. Todo esse processo atribui ao território da caatinga, mais precisamente às pequenas propriedades familiares, uma nova configuração espacial, à medida que esses territórios passam a ter uma nova função produtiva e de sustentabilidade. Eles adquirem um novo significado para os agricultores através da preservação das raízes culturais, da manutenção dos recursos naturais do bioma caatinga e da agregação de valor ao trabalho do agricultor familiar, já que os produtos agroecológicos permitem ser comercializados em um mercado diferenciado (BRASILEIRO, 2009). Na literatura atual, diversos autores apontam que a agroecologia é a única forma de se atingir o desenvolvimento sustentável dentro da agricultura (CAPORAL; COSTABEBER, 2002; ELICHER, 2002; SARAGOSO; MACHADAO; GARCIA, 2018; UDRY; ARAUJO, 2012).

Sistemas agroecológicos são tratados como um sistema do futuro, paralelo a isso, podemos inserir a bagagem dos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. A ODS 2, com foco na agricultura sustentável e segurança alimentar, pode ser usada como base para o fomento de melhorias em sistemas agrícolas no semiárido. Tendo como uma das metas para 2030 garantir sistemas mais sustentáveis

de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes bem como o aumento de investimentos em infraestrutura rural, se torna fundamental no processo de se alcançar a sustentabilidade. Uma pauta também importante dentro dessa ODS é o fortalecimento da capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo. Esse último fator se relaciona diretamente com a ODS 13 voltada para ações contra a mudança global do clima, que traz logo em seu primeiro tópico o reforço a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países.

Conforme abordado em toda esta pesquisa, clima e agricultura estão diretamente relacionados, logo, com as possíveis mudanças climáticas que já vem ocorrendo ao longo das últimas décadas e que podem se agravar, deve-se ter uma preocupação a mais com a agricultura e discussões sobre como proteger a agricultura familiar e garantir boas condições para a prática da agricultura de sequeiro.

Porém, tudo isso perde o sentido sem uma análise climática que exemplifique como chegamos até aqui e a influência das secas na formação das dinâmicas de produção semiárida. De acordo com Lemos e Santiago (2020), cultivar lavouras de sequeiro depende diretamente das condições do clima, mais precisamente, das precipitações. Como os agricultores não exercem qualquer controle sobre a natureza, as oscilações das lavouras, em regime de sequeiro, devem--se à variabilidade das condições climáticas. São, portanto, atividades de alto risco. As fragilidades desse sistema de produção refletem-se nas oscilações das áreas colhidas, produções, produtividade, preços e renda associada a essas atividades (COSTA FILHO, 2019; FISCHER; SHAH; VAN VELTHUIZEN, 2002). Já Silva *et al.* (2013) diz que a forte influência dos fatores ambientais sobre a população da região é nitidamente vista, no qual a seca representa um agravante que culmina no “aumento das desigualdades, conflitos sociais e desarticulação total da estrutura produtiva local para as faixas mais pobres das populações”.

É oportuno reconhecer que os impactos na produção agrícola possuem diferentes causas paralelas e de distintas magnitudes, indo além da escassez hídrica aqui tratada, em razão de aspectos como: perfil do produtor; nível tecnológico e de infraestrutura; características dos cultivos e dos produtos da agropecuária; ativos

disponíveis (com destaque para capital, terra e acesso aos recursos hídricos); eficácia das políticas de suporte à produção e à comercialização. (SANTANA; SANTOS, 2020).

Dessa forma, ao longo de toda a história em que a agricultura se fez presente em solo semiárido, vem se formulando e discutindo políticas públicas que auxiliem a produção e a população local. De uma forma geral, política pública é tudo aquilo que se refere as atividades governamentais que influenciem na vida dos cidadãos.

Sobre políticas públicas, a área contou com quatro grandes “pais” fundadores: Harold Lasswell, Herbert Simon, Edward Lindblom e David Easton. Enquanto área de conhecimento e disciplina acadêmica, ela nasce nos EUA, rompendo as etapas tradicionais europeias que se concentravam mais na análise sobre o Estado e suas instituições do que na produção dos Governos. Sua inserção como instrumento das tomadas de decisões do Governo é fruto da Guerra Fria e da valorização da tecnocracia (SOUZA, 2006).

No Brasil, a análise das políticas públicas intensifica-se a partir dos anos 1980 proveniente da dinâmica política e das transformações que o país enfrentava, com reformas econômicas e políticas nas áreas de saúde, educação, previdência, saneamento, dentre outras (SILVA *et al.*, 2017), porém, antes disso, já acontecia medidas governamentais na tentativa de combate as secas no semiárido.

Acredita-se que a primeira grande estratégia de combate às secas (políticas públicas) foi a criação do IOCS (Inspetoria de Obras Contra as Secas) em 1909, que teria sua política voltada para o armazenamento de água pela população para suprir as necessidades humanas e a agricultura da época. Uma década depois, o IOCS é reformulado e vira o IFOCS (Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas), que faz um estudo regional mais detalhado e pela primeira vez leva em consideração o clima, solo, vegetação que ocasiona o início das políticas de construções de barragens. Por fim, em 1945 o agora IFOCS muda novamente suas atribuições e passa a se chamar DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), possuindo mais metas e focando em combater as secas em todo o país, não apenas na região Nordeste (FARAH, 2016; MELO; PEREIRA; DANTAS NETO, 2009; NASCIMENTO; SANTOS 2019).

Nas décadas de 1950 e 1970, através do GTDN (Grupo de Trabalho para o Desenvolvimento do Nordeste), viu-se a ineficácia do combate à seca, mostrando a incapacidade das políticas governamentais contra esta. Passou-se, então, a criar um

ar de convivência com o Semiárido. As ações governamentais, em suma, baseavam-se em três bases: o caráter emergencial, fragmentado e descontínuo dos programas em momentos de calamidade; as ações emergenciais que alimentam a indústria da seca; e a solução hidráulica, com a construção de obras hídricas, quase sempre favorecendo empreiteiras e a grande propriedade rural (NASCIMENTO; SANTOS, 2019). Em 1958, após um período de grande seca, o NEB já possuía uma rede razoável de açudes, estradas e rede elétrica, com suporte do DNOCS, BNB (Banco do Nordeste), CVSF (Comissão do Vale do São Francisco) e CHESF (Companhia Hidrelétrica do São Francisco), porém, o levantamento realizado, além de demonstrar o histórico das secas, evidencia que, ao longo do tempo, as ações voltadas a minimizar os seus efeitos não foram eficientes em implementar soluções duradouras, sendo caracterizadas pelos autores como ações imediatistas (CAMPOS, 2014; SANTANA; SANTOS, 2020).

Em condições normais, os açudes existentes no Nordeste, construídos pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e, mais recentemente, pelos estados, nos últimos 120 anos, deveriam ser suficientes para assegurar o abastecimento de água para as populações residentes no interior, inclusive nas cidades. No entanto, durante grandes secas plurianuais (como a dos últimos anos), tanto os pequenos quanto os grandes reservatórios sofreram um grande abalo. No final de 2017, 62% dos depósitos de água do Semiárido – incluído o Nordeste e norte de Minas Gerais – se encontravam com índices abaixo de 10% do volume e muitos estavam completamente secos. Essa situação levou dezenas de cidades ao colapso, forçando o abastecimento por carros-pipas (LIMA; MAGALHÃES, 2018). Isso acontece principalmente devido à má distribuição da água e sistema ineficiente.

Na bacia hidrográfica do Rio Pajeú existem 30 barragens construídas com o intuito de melhorar o abastecimento de água da região, sendo a maior delas a de Serrinha II e a mais antiga a do Saco I, construída em 1936. A maioria das políticas públicas de convivência com a seca formuladas para a região se basearam na construção de barragens, porém, como é de conhecimento comum, nunca chegou perto de ser suficiente para suprir as necessidades da população. A má distribuição, sistemas antigos e ineficientes, falta de manutenção são exemplos comuns do porquê isso acontece. É bastante comum observar fissuras, infiltrações, acúmulo de sedimentos, dentre outros.

Com tudo isso, a melhor forma de se alcançar os Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável propostos na Agenda 2030 seriam através de formulações de políticas públicas eficazes (pois se nota que até o momento a maioria delas não obteve sucesso total em suas aplicações) que dessem incentivo ao pequeno produtor rural, seja familiar, camponês ou agroecológico, que propusessem melhorias nos sistemas de armazenamento e distribuição de água, de forma a dar suporte digno às populações semiáridas. Com tudo o que foi abordado aqui, fica claro que a seca é um fenômeno natural e não é possível acabar com ela, porém, com a ajuda necessária, é possível que a população sertaneja tenha condições dignas de viver e conviver com os períodos mais extremos. Assim, poderemos caminhar em busca de um futuro mais digno, seguro e sustentável.

## 5 CONCLUSÕES

Todos os métodos de preenchimento de falhas aqui utilizados poderiam ser aplicados com sucesso, porém, o método da ponderação regional e da ponderação regional com base em regressões lineares obtiveram melhores resultados quando comparado aos demais, enquanto o método da regressão linear foi aquele que obteve os piores resultados.

Os três testes estatísticos de tendência foram bem aplicados e retornaram resultados condizentes, embora não seja recomendável a utilização do teste estatístico não-paramétrico de Wald-Wolfowitz para séries mensais ou diárias. O modelo de Cox-Stuart obteve bons resultados como forma de análise de estacionariedade em séries climáticas, bem como o de Mann-Kendall para tendência climática.

Na área de estudo, em sua maior parte, foi detectada tendência de diminuição da precipitação.

Através da aplicação do índice de anomalia de chuva foi notado que a área de estudo possui mais anomalias negativas do que positivas de precipitação e que ao longo da última década as anomalias negativas têm sido cada vez mais frequentes.

Com a utilização do índice de Walsh, chega-se à conclusão de que as chuvas da região são sazonais e/ou concentradas em poucos meses do ano.

O índice de precipitação padronizado, quando utilizado para monitorar a frequência e intensidade das secas, retorna com bons resultados e quando relacionados com o IAC e o IW torna os dados mais claros.

Recomenda-se a utilização dos índices aqui mencionados como excelente suporte aos estudos do clima em áreas semiáridas.

Com relação a agricultura, nota-se que em áreas irrigadas com presença de culturas permanentes, os períodos de seca pouco influenciam no rendimento da produção. Já nas áreas com prática de agricultura de sequeiro e/ou familiar, as culturas mais fortes são o milho, o feijão e a mandioca (base alimentar) e que o rendimento da produção é diretamente afetado por períodos prolongados de seca.

O milho talvez seja a cultura mais afetada por períodos prolongados de seca, pois, foi para esta cultura que foi obtido os melhores resultados de correlação entre seca e rendimento da produção.

A seca entre 2012 e 2017 pode ter sido a mais severa para a produção agrícola dentre o período analisado pois foi durante ela que foi notada as maiores quedas em rendimento da produção, onde em alguns municípios não obtiveram rendimento de pelo menos uma das culturas analisadas.

Para se atingir os ODS, é necessária a formulação de políticas públicas eficazes com foco em auxiliar a população na convivência com a seca e que o caminho passa através de maior suporte ao pequeno produtor rural e fomento à sistemas de produção agroecológicos.

## REFERÊNCIAS

- ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. *Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables*. New York: Dover, 1965. 1046 p.
- ACOCK, M. C.; PACHEPSKY, Y. A. A. Estimation of missing meteorological data for agricultural simulations using group data manipulation method, **J. Appl. Meteorol.**, n. 39, p. 1176-1184, 2000.
- ACQUAOTTA, F.; FRATIANNI, S.; CASSARDO, C.; CREMONINI, R. On the continuity and climatic variability of the meteorological stations in Torino, Asti, Vercelli and Oropa, **Meteorol. Atmos. Phys.**, v. 103, n. 1–4, p. 279-287, 2009.
- AHMADI, F.; RADMANEH, F.; PARHAM, G. A.; MIRABBASI, R. Comparison of the performance of power law and probability distributions in the frequency analysis of flood in Dez Basin, Iran, **Natural Hazards**, v.87, n. 3, p. 1313-1331, 2017.
- AIRES, U. R. V.; NETO, J. O. M.; MELLO, C. R. Estimativas de precipitação derivadas do satélite TRMM para a bacia hidrográfica do Rio Paraopeba, MG, **Revista Scientia Agrária**, v. 17, n. 2, p.57-66, 2016.
- ALEXANDRE, G. R. Estudo para identificação de tendências do regime pluvial na região metropolitana de belo horizonte a partir de métodos estatísticos e modelos climáticos. 2009. 215 p. Dissertação de mestrado (Programa de pós-graduação em saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte/MG. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/731M.PDF>>. Acessado em: março de 2019.
- ALTAFIN, I. Reflexões sobre o conceito de agricultura familiar. 2017. Disponível em: <<http://www.enfoc.org.br/system/arquivos/documentos/70/f1282reflexoes-sobre-o-conceito-de-agricultura-familiar---iara-altafin---2007.pdf>>. Acesso em abr. 2021.
- ALTIERI, M. A.; KOOHAFKAN, P. *Enduring Farms: Climate Change, Smallholders and Traditional Farming Communities*. Penang, Malaysia: Third World Network, 2008.
- ALVES, J. M. B; SERVAIN, J.; CAMPOS, J. B. Relationship between ocean climatic variability and rain-fed agriculture in northeast Brazil. **Climate Research**, v. 38, n. 5, p. 225-236, 2009.
- ALVES, J. O.; PEREIRA, P. C.; QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; FERREIRA, J. M. S.; JUNIOR, G. N. A. Índice de anomalia de chuva para diferentes mesorregiões do estado de Pernambuco. **Revista Pensar Acadêmico**, v.14, n.1, p.37-47, 2016.
- ALVES, M. F. A.; MEDEIROS, M. C.; MOURA, E. F.; LIMA, G. A.; CRISPIM, D. L. Análise do regime hídrico de Patos-PB por meio do Índice de Anomalia de Chuvas, IAC. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.10, n.4, p.42-46, 2015.
- ALY, A.; PATHAK, C.; TEEGAVARAPU, R.S.V.; ALQUIST, J.; FUELBERG, H. Evaluation of improvised spatial interpolation methods for infilling missing precipitation records. In:World Environment Water Resources Congress 2009: Great Rivers. 2009. p. 1-10.

ANDERSEN, L. E.; VERNER, D.; WIEBELT, M. Gender and climate change in Latin America: An analysis of vulnerability, adaptation and resilience based on household surveys. Econstor. La Paz, Bolivia. Working Paper. 2014. Disponível em: <<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/106343/1/814197523.pdf>>. Acesso em: 2 jun. 2020.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SANTOS, A. A. dos; ATHAYDE SOBRINHO, C.; BASTOS, E. A.; MELO, F. de B.; VIANA, F. M.; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. da S.; ROCHA, M. de M.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S. da; RIBEIRO, V. Q. Cultivo de feijão-caupi. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2003. (Embrapa Meio-Norte. Sistemas de Produção, 2). Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoCaupi/index.htm>>. Acesso em: 22 mar. 2021.

ANGELOTTI, F.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; SÁ, I. B. de. Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Medidas de Mitigação e Adaptação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 06, p. 1097-1111, 2011.

ARAUJO, A. K.; ARAÚJO-FILHO, J. A.; MARANHÃO, S. R. Consórcios de milho, feijão e mandioca em presença de bagana de carnaúba em um argissolo no litoral norte do Ceará sob condições de sequeiro. **Essentia**, v.18, n.1, p.2-23, 2017.

ARAUJO, L. E.; SILVA, D. F.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação na Bacia do Rio Paraíba usando IAC. **Revista de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 47-59, 2007.

ARAÚJO, R.; ANDREOLI, R. V.; CANDIDO, L. A.; KAYANO, M. T.; SOUZA, R. A. F. A influência do evento El Niño - Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Acta Amazonica**, v. 43, n.4, p.469-480, 2013.

ASSIS, J. M. O.; SOUZA, W. M.; KOCH, H.; SOBRAL, M. C. M. Influência dos oceanos pacífico e atlântico tropicais sobre os índices climáticos da precipitação do submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.23, p.412-433, 2018.

AYANLADE, A.; RADENY, M.; MORTON, J. F. Comparing smallholder farmers perception of climate change with meteorological data: A case study from southwestern Nigeria, **Weather and Climate Extremes**, v. 15, p. 24-33, 2017.

AYUSO-MUÑOZ, J. L.; GARCÍA-MARIN, A. P.; AYUSO-RUIZ, P.; ESTEVEZ, J.; PIZZARO-TAPIA, R.; TAGUAS, E. V. A more efficient rainfall intensity-duration-frequency relationship by using an “at-site” regional frequency analysis: application at Mediterranean climate locations, **Water Resources Management**, v. 29, p.3243-3263, 2015.

AZEVEDO, P. V.; SILVA, F. D. S. Risco climático para o cultivo do algodoeiro na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, p.408-416, 2007.

BARBOSA, E. C.; SILVA, C. H. O.; NASCIMENTO, M.; LIMA, J. E. Análise e

previsão de temperatura máxima mensal da cidade do Rio de Janeiro (RJ) para o ano de 2016. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 35, n. 1, p.174-193, 2017.

BELAYNEH, A.; ADAMOWSKI, J.; KHALIL, B.; OZGA-ZIELINSKI, B. Long-term SPI drought forecasting in the Awash River Basin in Ethiopia using wavelet neural network and wavelet support vector regression models. **Journal of Hydrology**, v. 508, p. 418-429, 2014.

BERLATO, M. A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre El Niño oscilação sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 40, n. 5, p. 423-432, 2005.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 2007.

BESSA, M. R. Projeto Estratégico ANEEL 001/2008: Otimização do despacho hidrotérmico mediante algoritmos híbridos com computação de alto desempenho. Curitiba: LACTEC Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. 2012.

BIER, A. A.; FERRAZ, S. E. T. Comparação de Metodologias de Preenchimento de Falhas em Dados Meteorológicos para Estações no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 215–226, 2017.

BLAIN, G. C. Detecção de tendências monótonas em séries mensais de precipitação pluvial no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.69, n4, p.1027-1033, 2010.

BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. Análise da escala temporal de monitoramento das secas agrícolas e meteorológicas no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, p. 255-261, 2007.

BRAGA, C. C.; BRITO, J. I. B.; SANSIGOLO, C. A.; RAO, T. V. R. Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 1, p.149-157, 2003.

BRAINER, M. S. C. P. Produção de coco: O Nordeste é destaque nacional. **Caderno Setorial ETENE**, n.61, p.1-25, 2018.

BRASIL, Lei 11.326, de 24 de Julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Diário Oficial da União, dia 25/07/2006.

BRASILEIRO, R. S. Alternativas de desenvolvimento sustentável no semiárido nordestino: da degradação à conservação. **Scientia Plena**, v.5, n.5, p. 1-12, 2009.

BUYUKOZTURK, S. *Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı*. Ankara: Yayıncılık 224p.

BYAKATONDA, J.; PARIDA, B. P.; MOALAFHI, D. B.; KENABATHO, P. K. Analysis of long term drought severity characteristics and trends across semiarid Botswana using two drought indices. **Atmospheric Research**, v.213, p.492-508, 2018.

CAMPOS, J. N. B. Secas e políticas públicas no Semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Estudos avançados**, v. 28, n. 82, p. 65-88, 2014.

CAMPOZANO, E. S.; SÁNCHEZ, A.; AVILES, A.; SAMANIEGO, E. Evaluating of infilling methods for time series of daily precipitation and temperature: the case of the ecuadorian Andes. **Maskana**, v. 5, p. 99-115, 2014.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. Agroecologia. Enfoque científico e estratégico. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Estratégico**, v.3, n.2, p.13-16, 2002.

CARDOSO, C. F. Escravo ou Camponês? O Protocampesinato Nero nas Américas. São Paulo, Brasiliense, 1987.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; MALUF, J. R. T.; RADIN, B. Modelo harmônico para a estimativa da temperatura do ar média mensal em diferentes locais do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 40, n. 9, p. 1888-1896, 2010.

CARVALHO, H. P., RUIZ, M. V. S. Avaliação da consistência de séries históricas de chuva da bacia hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 12, n. 6, p. 76-84, 2016.

CARVALHO, H.W.L. et al. Adaptabilidade e Estabilidade de Cultivares de Milho no Nordeste brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1115-1123, jun. 2000.

CARVALHO, O. As secas e seus impactos. In: A Questão de Água no Nordeste. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos –CGEE, Agência Nacional das Águas – ANA. Brasília, 2012.

CBHSF. COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO. O tal do rio Pajeú que despeja no São Francisco. 2014. Disponível em: <<http://cbhsaofrancisco.org.br/o-tal-do-rio-pajeu-que-despeja-no-sao-francisco/>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

CERRI, C.C; CERRI, PELLEGRINE, C.E. Agricultura e aquecimento global. **Boletim Informativo da SBCE**, Viçosa, v.23, p.40-44, 2007.

CHAGAS-NETO, P.; ARAÚJO, L. E. Avaliação espaço-temporal da precipitação da microrregião do Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.21, p.284-295, 2017.

CIEGIS, R.; RAMANAUSKIENE, J.; MARTINKUS, B. The concept of Sustainable development and its use for sustainability scenarios. **Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics**, Kaunas, v. 20, n. 2, p. 28-37, 2009.

COLLE, B. A. Sensitivity of orographic precipitation to changing ambient conditions and terrain geometries: an idealized modeling perspective, **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 61, p. 588-606, 2004.

COSTA, A. A. V. M. R. Agricultura sustentável I: conceitos. **Revista de Ciências Agrárias**, v.33, n.2, p. 61-74, 2010.

COSTA, J. A. O fenômeno el niño e as secas no nordeste do Brasil. **Revista Científica do IFAL**, Maceió, v.1, n.4, p.1-12, 2012.

COSTA FILHO, J. Efeitos da instabilidade pluviométrica sobre a previsão da produção de lavouras de sequeiro em áreas sujeitas à desertificação (ASD) no semiárido do estado do Ceará: casos de Irauçuba e Tauá. 2019. Tese (Mestrado Acadêmico em Economia Rural) – Universidade Federal do Ceará. Dissertação de mestrado. Fortaleza, Ceará. 2019. Disponível em: <  
[http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/43729/3/2019\\_dis\\_jcostafilho.pdf](http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/43729/3/2019_dis_jcostafilho.pdf).> Acesso em: 13 fev. 2021.

COSTA, M. N. M.; BECKER, C. T.; BRITO, J. I. B. Análise das séries temporais de precipitação do semiárido paraibano em um período de 100 anos - 1911 a 2010. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, n. 4, p. 680-696, 2013. DOI: 10.26848/rbgf.v6i4.233058.

COSTA, R. L.; BAPTISTA, G. M. M.; GOMES, H. B.; SILVA, F. D. S.; ROCHA-JUNIOR, R. L.; SALVADOR, M. A.; HERDIES, D. L. Analysis of climate extremes indices over northeast Brazil from 1961 to 2012, **Weather and Climate Extremes**, v.28, 2020.

COUTINHO, E. R.; SILVA, R. M.; MADEIRA, J. G. F.; COUTINHO, P. R. O. S.; BOLOY, R. A. M.; DELGADO, A. R. S. Aplicação de Redes Neurais Artificiais (RNAs) no preenchimento de falhas de séries temporais meteorológicas, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 2, p. 317-328, 2018.

COX, D. R.; STUART, A. Some quick tests for trend in location and dispersion. *Biometrika*, London, v. 42, p.80-95, 1955.

DIAZ, C. C. F.; MIRANDA, R. Q.; NÓBREGA, R. S. Agricultural productivity of cassava under the rainfall of Pajeú river basin. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**. v. 9, n.5, p.269-282, 2019.

DIAZ, C. C. F.; PEREIRA, J. A. S.; NÓBREGA, R. S. Comparação de dados estimados por dois diferentes métodos para o preenchimento de falhas de precipitação pluvial na bacia do rio Pajeú, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 324-339, 2018.

DIETZ, T.; OSTROM, E.; STERN, P. C. Struggle to govern the commons. **Science**, v. 302, n.5652, p. 1907-1912, 2003.

DINIZ, R. R. S.; ALENCAR, M. L. S.; MEDEIROS, S. A.; GUERRA, H. O. C.; SALES, J. C. R. Índice de anomalia de chuvas da microrregião do Cariri Ocidental Paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.6, p. 2020.

DUARTE, J. G. P.; FARIAS, A. A.; SOUSA, F. A. S. S.; SOUZA, J. T. A. S.; RAMOS, M. M. Q. Secas e impactos na agropecuária no município de Campina Grande - PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.33, n.2, p.289-297, 2018.

DUTTA, D.; KUNDU, A.; PATEL, N. R.; SAHA, S. K.; SIDDIQUI, A. R. Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived Vegetation

Condition Index (VCI) and Standardized Precipitation Index (SPI), **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 18, n. 1, p.53-63, 2015.

EAKIN, H.; LEMOS, M. C. Institutions and change: the challenge of building adaptive capacity in Latin America. **Global Environmental Change**, v. 20, n. 1, p. 1-3, 2010.

EISCHEID, J. K.; BAKER, C. B.; KARL, T. R.; DIAZ, H. F. The quality control of long-term climatological data using objective data analysis, **American Meteorological Society**, v. 34, p. 2787-2795, 1995.

EISCHEID, J. K.; PASTERIS, P. A.; DIAZ, H. F.; PLANTICO, M. S.; LOTT, N. J. Creating a Serially Complete, National Daily Time Series of Temperature and Precipitation for the Western United States, **J. Appl. Meteor.**, v.39, p. 1580-1591, 2000.

ELICHER, M. J. A agroecologia e o desenvolvimento sustentável: uma construção teórica para a análise da agricultura familiar. **Revista de Ciências Humanas**, n.31, p.67-91, 2002.

EMBRAPA. Cultura da Mandioca. Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 197p.  
Disponível em: <  
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/112346/1/Apostila-Mandioca.pdf>>. Acesso em 10 jan. 2021.

EMBRAPA, Milho e Sorgo, Cultivo do Milho Sistema de Produção, Ed 1, ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição Minas Gerais Set. 2010.

EMBRAPA SEMIÁRIDO. Cultivo da Mangueira. Versão eletrônica, 111p, 2004.

ENDO, C. K., SAMPAIO, S. C., SUSZEK, M. Consistência de dados de precipitação da região oeste do estado do Paraná. **Revista Varia Scientia**, v. 7, n. 13, p. 95-100, 2007.

ENFIELD, D. B.; MESTAS-NUÑEZ, A. M.; MAYER, D. A.; CID-SERRANO, L. How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures? **Journal of Geophysical Research**, v.104, n.c4, p.7841-7848, 1999.

FANTE, K. P.; SANTA'ANNA NETO, J. L. Técnicas estatísticas para a homogeneização de dados de temperatura em séries temporais climatológicas, **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 143-156, 2016.

FARAH, M. F. S. Análise de políticas públicas no Brasil: de uma prática não nomeada à institucionalização do “campo de públicas”. **Revista de Administração Pública** — Rio de Janeiro v.50, n.6, p.959-979, 2016.

FARIAS, A.A.; SOUSA, F.A.S.; MORAES NETO, J.M.; ALVES, A.S. Secas e seus impactos no município de Boqueirão, PB, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 2, 2017.

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. Agricultura dos países em desenvolvimento sofreu 23% de todos os danos e

prejuízos causados por desastres. 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/892916/>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

FAO, 2014. DEEP ROOTS. The Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy and Copublisher: Tudor Rose. 256p. Disponível em: <[www.tudor-rose.co.uk](http://www.tudor-rose.co.uk)>. Acesso em: 09 jan. 2021.

FATICHI, S.; BARBOSA, S. M.; CAPORALI, E.; SILVA, M. E. Deterministic versus stochastic trends: Detection and challenges. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, p.1-11, 2009.

FECHINI, J. A. Identificação de secas meteorológicas na região metropolitana de fortaleza, usando o índice de precipitação padronizada (SPI). **Boletim de Geografia**, v. 33, n. 2, p. 18-33, 2015.

FEIL, A. A.; SCHREIBER, D. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. **Cadernos EBAPE.BR**, v.15, n.3, p.667-681, 2017.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L. F.; AMORIM, A. O. Desempenho de índices quantitativos de seca na estimativa da produtividade de arroz de terras altas, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.8, p.771-779,2010.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L.; AMORIM, A. O.; CARDOSO, A. S. Índices para a quantificação da seca. Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 48 p.

FERNANDEZ, M. N. Preenchimento de falhas em séries temporais. 2007. 106 p. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, FURG, Rio Grande/RS. Disponível em: <<http://www.engenhariaoceanica.furg.br/arquivos/fernandez,m.n.pdf>>. Acesso em: dezembro de 2019.

FERRARI, A.L.; VECCHIA, F.A.S.; COLABONE, R.O. Tendência e variabilidade anuais da temperatura e da pluviosidade em Pirassununga-SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.10, p. 30-46. 2012.

FERREIRA, P. S.; GOMES, V. P.; SANTOS, A. M.; SOUZA, W. M. Avaliação da tendência espaço-temporal da precipitação pluviométrica em uma região semiárida do estado de Pernambuco, **Revista Brasileira de Climatologia**. v.21, sep. 2017.

FILHO, A. S. F.; LIMA, G. A. R. Gap Filling of Precipitation Data by SSA - Singular Spectrum Analysis. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 759, n. 1, 2016.

FILHO, F. R. F.; COSTA, A. F. Feijão-Caupi: Classificação botânica e importância. Cadernos do Semiárido. Disponível em: <<https://www.creape.org.br/wp-content/uploads/2020/10/CADERNO-SEMIARIDO-17-FEIJAO-CAUPI.pdf>>. Acesso em abr 2021.

FILHO, H. M.; MORAES, C.; BENNATI, P.; RODRIGUES, R. A.; GUILLES, M.; ROCHA, P.; LIMA, A.; VASCONCELOS, I. Mudança do clima e os impactos na agricultura familiar no Norte e Nordeste do Brasil. No 141, Working Papers

Portuguese from International Policy Centre for Inclusive Growth. 68p. 2016.

FILHO, W. L. F. C.; SANTOS, T. V.; DIOGO, A. M.; AMORIM, R. F. C. Diagnóstico da precipitação e EVI em dois eventos de seca no Nordeste do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, v.35, p.102-112, 2018.

FILPI, H. E. F. C. M. Zoneamento edafoclimático em cenários de mudanças climáticas para a seleção de espécies em projetos de recomposição florestal em Minas Gerais, Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada. 2019, 70f.

FISCHER, G.; SHAH, M.; VAN VELTHUIZEN, H. Climate change and agricultural vulnerability. Johannesburg: International Institute for Applied Systems Analysis to World Summit on Sustainable Development, Special Report, 2002.

FOLHES, M.T.; FISCH, G. Caracterização climática e estudo de tendência nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté (SP). **Ambi-Agua**, Taubaté, v.1, n.1, p.61-71, 2006.

Food and Agriculture Organization of the United Nations –FAO. Tracking adaptation in agricultural sectors: Climate change adaptation indicators. Rome, 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i8145e.pdf>>. Acesso: 04 de julho de 2020.

FRANCISCO, P. R. M.; BANDEIRA, M. M.; PEREIRA, F. C.; GONÇALVES, J. L. G. Aptidão climática da cultura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) para o Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.19, p.366-379, 2016.

FRANÇA, L. M. A.; DIAZ, C. C. F.; REIS, J. V.; COSTA, V. S. O.; GALVÍNCIO, J. D. Efeitos da precipitação na vazão da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 6, p. 2377-2391, 2019.

FREIRE, J. L. M.; LIMA, J. R. A.; CAVALCANTI, E. P. Análise de aspectos meteorológicos sobre o Nordeste do Brasil em anos de El niño e La niña. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.3, p.429-444, 2011.

FOX, D. G Judging air quality model performance: a summary of AMS workshop on dispersion model performance. Bull. **Am. Meteorol. Soc.** n. 62, p.599– 609. 1981.

GABRIEL, L. F.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; SILVA, M. R.; SILVA, S. D. Mudança climática e seus efeitos na cultura da mandioca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n. 1, p.90-98, 2014.

GANAPURAM, S.; NAGARAJAN, R.; SEHKAR, G. C.; BALAJI, V. Spatio-temporal analysis of droughts in the semi-arid Pedda Vagu and Ookacheti Vagu watersheds, Mahabubnagar District, India. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 8, p. 6911-6929, 2015.

GAO, Y. C.; LIU, M. F. Evaluation of high-resolution satellite precipitation products using rain gauge observations over the Tibetan Plateau, **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, p. 837-849, 2013.

GARCIA, D. S. S.; GARCIA, H. S. Objetivos de Desenvolvimento do Milênio e as novas perspectivas do desenvolvimento sustentável pela Organização das Nações

Unidas. **Revista da Faculdade de Direito da UFRGS**, Porto Alegre, n. 35, vol. esp., p. 192-206, 2016.

GENÇAY, R. Non-linear prediction of security returns with moving average rules. **Journal of Forecasting**, v. 15, n. 3, p. 165– 174,1996.

Luiz Gonzaga e José Marcolino. Sertão de Aço. Cidade: Nova Iorque. Gravadora: RCA Records Label. 2000. 2:14min.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, v.4, n.4, p. 385-400, 1986.

GOOVAERTS, P. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall, **Journal of Hydrology**, n.228, p. 113–129. 2000.

GOYAL, M. K.; SARMA, A. K. Analysis of the change in temperature trends in Subansiri River basin for RCP scenarios using CMIP5 datasets. **Theor Appl Climatol**, v. 129, n. 3, p. 1175–1187, 2017.

GRAEF, F.; HAIGIS, J. Spatial and temporal rainfall variability in the sahel and it's effects on formen management strategies. **Journal of Arid Environments**, v.48, p.221-231, 2001.

GRISA, C.; SCHNEIDER, S. Três gerações de políticas públicas para a agricultura familiar e formas de interação entre sociedade e Estado no Brasil. In: GRISA, Catia; SCHNEIDER, Sergio (Orgs.). Políticas Públicas de Desenvolvimento Rural no Brasil. Porto Alegre: UFRGS, 2015.

GRISA, C.; WESZ-JUNIOR, V. J.; BUCHWEITZ, V. D. Revisitando o Pronaf: velhos questionamentos, novas interpretações. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, v.52, n.2, p.323-346, 2014.

GROSS, J. A.; CASSOL, R. Ocorrências de índices de anomalia de chuva negativos no estado do rio grande do Sul, **Rev. Geogr. Acadêmica**, v.9, n. 2, p.21-33, 2015a.

GROSS, J. A.; CASSOL, R. Índice de anomalia de chuva do estado do Rio Grande do Sul. **Ambiência Guarapuava** (PR), v.11, n.3, p.529-543, 2015b.

GUÇLU, Y. S. Improved visualization for trend analysis by comparing with classical Mann-Kendall test and ITA, **Journal of Hydrology**, v.584, 2020.

GUEDES, R. V. S.; MACEDO, M. J. H.; SOUSA, F. A. S. Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 23, p.55-65, 2012.

GUO, B.; ZHANG, J.; MENG, X.; XU, T.; SONG, Y. Long-term spatio-temporal precipitation variations in China with precipitation surface interpolated by ANUSPLIN, **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, 2020.

HAKTANIR, T.; BAJABAA, S.; MASOUD, M. Stochastic analyses of maximum daily rainfall series recorded at two stations across the Mediterranean Sea. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 6, p.3943-3958, 2013.

HAKTANIR, T.; CITAKOGLU, H. Trend, Independence, Stationarity and homogeneity tests on maximum rainfall series of standard durations recorded in Turkey. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.19, n.9, p.1-13, 2014.

HARLOW, J.; GOLUB, A.; ALLENBY, B. A review of utopian themes in sustainable development discourse. **Sustainable Development**, v. 21, n. 4, p. 270-80, 2013.

HASAN, M. M.; CROKE, B. F. W. Filling gaps in daily rainfall data: a statistical approach. In: International Congress on Modelling and Simulation, 20, 2013, Austrália.

HONG, Y.; NIX, H. A.; HUTCHINSON, M. F.; BOOTH, T. H. Spatial interpolation of monthly mean climate data for China, **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 10, p.1369-1379, 2005.

HUANG, H.; LIANG, Z.; LI, B.; WANG, D. A new spatial precipitation interpolation method based on the information diffusion principle, **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 33, p. 765-777, 2019.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

IÇAGA, Y.; TAS, E. Comparative analysis of different interpolation methods in modeling spatial distribution of monthly precipitation, **Journal of Natural Hazards and Environment**, v. 4, n. 2, p.89-104, 2018.

IÇAGA Y., TAS E., KILIT M. Flood inundation mapping by GIS and a hydraulic model (HEC RAS): A case study of Akarcay Bolvadin subbasin, in Turkey, **Acta Geobalcánica**, v. 2, n. 2, p. 111-118, 2016.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso do método de interpolação espacial das análises sociodemográficas. IN: Anais do XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Caxambu-MG: ABEP, p. 1-22, 2006.

JUNQUEIRA, R.; AMORIM, J. S.; OLIVEIRA, A. S. Comparação entre diferentes metodologias para preenchimento de falhas em dados pluviométricos, **Sustentare**, v. 2, n. 1, p. 198-210, 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

IM, J.; LU, Z.; RHEE, J.; QUACKENBUSH, L. J. Impervious surface quantification using a synthesis of artificial immune networks and decision/regression trees from multi-sensor data. **Remote Sensing of Environment**, v. 117, p. 102-113, 2012.

JIMENEZ, K. Q.; DOMECCO, F. M. Estimação de chuva usando métodos de interpolação. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.16, 2008 [S.l].

JUNQUEIRA, R., AMORIM, J. S., OLIVEIRA, A. S. Comparação entre diferentes metodologias para preenchimento de falhas em dados pluviométricos. **Sustentare**, v. 2, n. 1, p. 198-210, 2018.

KALISA, W.; ZHANG, J.; IGBAWUA, T.; UJOH, F.; EBOHON, O. J.; NAMUGIZE, J. N.; YAO, F. Spatio-temporal analysis of drought and return periods over the East African region using Standardized precipitation index from 1920 to 2016, **Agricultural Water Management**, v. 237, 2020.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A F. Evolving anomalous SST patterns leading to ENSO extremes: Relations between the tropical Pacific and Atlantic Oceans and the influence on the South American rainfall. **International Journal of Climatology**, v.31, n.8, p.1119-1134, 2011.

KANDA, N.; NEGI, H. S.; RISHI, M. S.; SHEKHAR, M. S. Performance os various techniques in estimating missing climatological data over snowbound mountainous areas of Karakoram Himalaya, **Meteorological applications**, v.25, p. 337-349, 2018.

KASHANI, M. H.; DINPASHOH, Y. Evaluation of efficiency of different estimation methods for missing climatological data, **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 26, p. 59-71, 2012.

KEMENES, A.; FERREIRA, L. G. C. Influência das anomalias de temperatura da superfície do mar (Atlântico e Pacífico) sobre o acúmulo de água em reservatórios do interior do Nordeste do Brasil (1998-2015). Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2019. 39 p.:il.;16 cm x 22 cm (Documentos / Embrapa Meio-Norte, ISSN 0104-866X; 263).

KEMP, W. P. D.; BURNELL, D. G.; EVERSON, D. O.; THOMSON, A. J. Estimating missing daily maximum and minimum temperatures. **Journal of applied Meteorology and Climatology**, n. 22, p.1587-1593, 1983.

KENDALL, M. G. Rank Correlation Methods. CharlesGriffin, London. 1975.

KHAN, A.S.; CAMPOS, R.T. *Efeito das secas no setor agrícola do Nordeste (Estudo Especial)*, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1992

KIM, T.; AHN, H. Spatial rainfall model using a pattern classifier for estimating missing daily rainfall data, **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 23, p. 367-379, 2009.

KIM, Y.; KIM, T-H.; ERGUN, T. The instability of the Pearson correlation coefficient in the presence of coincidental outliers, **Finance Research Letters**, v. 13, p. 243-257, 2015.

KRUSCHE, N.; SARAIVA, M.B.J.; Reboita, M.S. *Normais Climatológicas Provisórias de Rio Grande, no período de 1991 a 2000 para Rio Grande, RS*. 1.ed. Rio Grande (RS): FURG, 2002.

KUHN, M.; WESTON, S.; KEEFER, C.; COULTER, N. **Cubist Models for Regression** R package Vignette R package version 0.0.18, 2012.

KUHN, M.; WESTON, S.; KEEFER, C.; COULTER, N. **N. C. C. Code for Cubist by Ross Quinlan, Cubist: Rule- and Instance-based Regression Modeling**. R package version 0.0.18, 2014.

KURTHS, J.; AGARWAL, A.; SHUKLA, R.; MARWAN, N.; RATHINASAMY, M.; CAESAR, L.; KRISHNAN, R.; MERZ, B. Unravelling the spatial diversity of Indian precipitation teleconnections via a non-linear multi-scale approach. **Nonlinear Processes in Geophysics**, v.26, p.251-266, 2019.

KURTZMAN, D.; NAVON, S.; MORIN, E. Improving interpolation of daily precipitation for hydrologic modelling: spatial patterns of preferred interpolators, **Hydrological processes**, v. 23, p. 3281-3291, 2009.

LANDIM, P. M. B. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatématica, Texto Didático 02, 20p, 2000. Disponível em: < <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>.

LEE, H.; KANG, K. Interpolation of Missing Precipitation Data Using Kernel Estimations for Hydrologic Modeling. **Advances in Meteorology**, v. 2015, 2015.

LEIVAS, J. F.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Risco de deficiência hídrica decenal na metade sul do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 397-407, 2006.

LEMOS, J. J. S.; SANTIAGO, D. F. Instabilidade temporal na produção agrícola familiar de sequeiro no semiárido do nordeste brasileiro. **Desenvolvimento em questão**, n. 50, p.186-200, 2020.

LEMOS FILHO, L. C. A.; CARVALHO, L. G.; EVANGELISTA, A. W. P.; CARVALHO, L. M. T.; DANTAS, A. A. A. Análise espaço-temporal da evapotranspiração de referência para Minas Gerais. **Ciência e agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1462-1469, 2007.

LI, J.; HEAP, A. D. (2008) *Spatial interpolation methods: a review for environmental scientists*. Geoscience Australia, Record. Geoscience Australia, Canberra, 137p.

LI, B.; RODELL, M. Evaluation of a model-based groundwater drought indicator in the conterminous U. S. **Journal of Hydrology**, v. 526, p. 78-88, 2015.

- LIAO, H.; XU, Z.; ZENG, X-J. Novel correlation coefficients between hesitant fuzzy sets and their application in decision making, **Knowledge-Based Systems**, v. 82, p. 115-127, 2015.
- LIBERTINO, A.; ALLAMANO, P.; LAIO, F.; CLAPS, P. Regional-scale analysis of extreme precipitation from short and fragmented records, **Advances in Water Resources**, v. 112, p. 147-159, 2018.
- LIMA, J. R.; MAGALHÃES, A. R. Secas no Nordeste: registros históricos das catástrofes econômicas e humanas do século 16 ao século 21. **Parc. Estrat**, v.23, n.46, p.191-212, 2018.
- LIMA, M. I. P.; MARQUES, A. C.; LIMA, J. L. M. P. Análise de tendência da precipitação anual e mensal no período 1900-2000 em Portugal continental, **Revista da Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança**. V.12, p.11-18, 2005.
- LIVNEH, B.; DEEMS, J. S.; SCHNEIDER, D.; BARSUGLI, J. J.; MOLOTCH, N. P. Filling in the gaps: Inferring spatially distributed precipitation from gauge observations over complex terrain. **Water Resources Research**, v.50, p.8589-8610, 2014.
- LOH, W-Y. Classification and Regression Tree Methods, **Wiley Stats Ref: Statistics Reference Online**, p. 1-11, 2014.
- LOOKINGBILL, T. R.; URBAN, D. L. Spatial estimation of air temperature differences for landscape-scale studies in montane environments, **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 114, n. 3-4, p. 141-151, 2003.
- LU, G. Y.; WONG, D. W. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. **Comput Geosci**, v.34, n. 9, p. 1044–1055, 2008.
- LY, S.; CHARLES, C.; DEGRÉE, A. Geostatistical interpolation of daily rainfall at a catchment scale: The use of several variogram models in the Ourthe and Ambleve catchments, Belgium. **Hydrology and Earth System Science**, n.15, p.2259–2274. 2011.
- MACEDO, M. J. H.; GUEDES, R. V. S.; SOUZA, F. A. S.; DANTAS, F. R. C. Análise do índice padronizado de precipitação para o estado da Paraíba, Brasil. **Ambi-água**. Taubaté, v. 5, n. 1, p. 204-214, 2010.
- MACHADO, L. A.; ASSIS, W. L. Comparação entre métodos de preenchimentos de falhas em séries de dados meteorológicos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas (MG), **Geografias**, v. 16, n. 1, 2018.
- MAGLIONE, D.; SOTO, J.; SÁENZ, J. L.; BONFILI, O. Utilización de diferentes metodologías para la construcción de un mapa de precipitación acumulada em la Provincia de Santa Cruz, **Informes Científicos Técnicos – UNPA**, v. 11, n. 1, 2019.
- MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no Semiárido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, Brasília, DF, n.27, 2008.

- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: Recursos Hídricos em regiões semiáridas, 40p, 2011.
- MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Climanalise**, v. 3, n. esp., p. 1-6, 2016.
- MARTINS, E. S. P. R.; NYS, E. D.; MOLEJÓN, C.; BIAZETO, B.; SILVA, R. F. V.; ENGLE, N. Série Água Brasil - Monitor de secas do nordeste, em busca de um novo paradigma para a gestão de secas. Banco Mundial, 1 edição, Brasília, 2015. 124p.
- MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245-259. 1945.
- MARCOS-GARCIA, P.; LOPEZ-NICOLAS, A.; PULIDO-VELAZQUES. Combined use of relative drought indices to analyze climate change impact on meteorological and hydrological droughts in a Mediterranean basin. **Journal of Hydrology**, v.554, p. 292-305, 2017.
- MARCUZZO, F. F. N.; MELO, D. C. R.; ROCHA, H. M. Distribuição espaço-temporal e sazonalidade das chuvas no Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.16, n.4, p.157-167, 2011.
- MOREIRA, R. M.; CARMO, M. A. Agroecologia na construção do desenvolvimento rural sustentável. **Agric.** São Paulo, São Paulo, v. 51, n. 2, p. 37-56, 2004.
- MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no Semiárido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, Brasília, DF, n.27, 2008.
- MARENGO, J. A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; RENOM, M. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. **Climatic Change**, v. 98, n. 3-4, p.509-529, 2010.
- MARTINS, E. S. R.; MAGALHÃES, A. R. A seca de 2012 –2015 no Nordeste e seus impactos. **Parc. Estrat.Ed.** Especial, Brasília, v. 20, n. 41, p. 107-128, 2015
- MATA, D.; FREITAS, R. E.; RESENDE, G. M. (Ed.). Avaliação de políticas públicas no Brasil: uma análise do Semiárido. Brasília: Ipea, 2019. v. 4. 397 p.
- MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to times scale. In: EIGHT CONFERENCE ON APPIED CLIMATOLOGY, 8.,1993, Boston. Anais American Meteorological Society. Boston: Preprints, p.179-184, 1993.
- MEDEIROS, R. M.; FRANÇA, M. V.; SABOYA, L. M. F.; NETO, F. C. R.; HOLANDA, R. M.; ARAÚJO, W. R. Influence of El Niño and La Niña on rainfall in São Bento do Una - Pernambuco, Brazil. **Research, Society and Development**, v.9, n.12, p.1-20, 2020.
- MELLO, C. R.; SILVA, A. M. *Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas*. Lavras: UFLA, 2013.
- MELLO, Y. R. DE; KOHLS, W.; OLIVEIRA, T. M. N. DE. Uso De Diferentes Métodos

Para O Preenchimento De Falhas Em Estações Pluviométricas. **Boletim de Geografia**, v. 35, n. 1, p. 112, 2017.

MELLO, C. R. de.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; SILVA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.925-933, 2003.

MELO, J. A. B. de; PEREIRA, R. A.; DANTAS NETO, J. Atuação do estado brasileiro no combate à seca no Nordeste e ampliação das vulnerabilidades locais. **Qualitas Revista Eletrônica**, v. 8, n. 2, 2009.

MELO, J. C. O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil. **Raízes**, ano XVIII, v. 20, p. 13-21, 1999.

MENEZES, F. P.; FERNANDES, L. L. Análise de tendência e variabilidade da precipitação no Estado do Pará. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer, v. 13, n. 24, p. 1580-1591, 2016

MEUSBURGER, K.; STEEL, A.; PANAGOS, P.; MONTANARELLA, L.; ALEWELL, C.. Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. **Hydrology and Earth System Science**, v. 16, p. 167-177, 2012.

MIKA, J.; HORVÁTH, SZ.; MAKRA, L.; DUNKEL, Z. The Palmer Drought Severity Index (PDSI), as an indicator of soil moisture, **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 30, n.1-3, p.223-230, 2005.

MIRANDA, T. P. Previsão da precipitação mensal do município de Ouro Branco - MG, por meio de modelos de séries temporais. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Tecnologias para o Desenvolvimento Sustentável. Universidade federal de são joão del rei, 46p, 2016.

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, v. 391, p. 202-216, 2010.

MO, K.; CHEN, Q.; CHEN, C.; ZHANG, J.; WANG, L.; BAO, Z. Spatiotemporal variation of correlation vegetation cover and precipitation in an arid mountain-oasis river basin in northwest China, **Journal of hydrology**, v. 574, p. 138-147, 2019.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. D. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.17, n. 1, p. 1-10, 2002.

MORAIS, Y. C. B. M.; FRANÇA, L. M. A.; QUEIROZ, W. O.; SOUZA, W. M.; GALVÍNCIO, J. D. Climate variability and extreme events occurrence in Petrolina-PE municipality. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 6, n. 4, p. 175-183, 2016.

MORALES-MORAGA, D.; MEZA, F. J.; MIRANDA, M.; GIRONÁS, J. Spatio-temporal estimation of climatic variables for gap filling and record extension using reanalysis data, **Theoretical and Applied Climatology**, v.137, p. 1089-1104, 2019.

MORTON, J. F. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, v. 104, n. 50,

p. 19680-19685, 2007.

MOSCATI, M.C.L.; SANTO C.M.; GIAROLLA, E.; PEREIRA, C.S. Estudo Climatológico sobre a Costa Sul-Sudeste do Brasil: Organização e tratamento dos dados meteorológicos. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, Rio de Janeiro, 2000. p. 745-751.

MU, Y.; LIU, X.; WANG, L. A Pearson's correlation coefficient based decision tree and its parallel implementation, **Information Sciences**, v. 435, p. 40-58, 2018.

MULLER, I. I.; KRUGER, M.; KAVISKI, E. Análise de estacionariedade de séries hidrológicas na bacia incremental de Itaipu. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 4, p.51-71, 1998.

NAGAI, W. A. 2000. 112f. Avaliação do Conhecimento extraído do problemas de regressão. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Ciências Matemáticas e da Computação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

NASCIMENTO, C. E. P.; SANTOS, M. D. C. Análise das políticas públicas contra a seca no semiárido nordestino. In: Desenvolvimento Regional: Processos, políticas e transformações territoriais. 2019.

NASCIMENTO, M.; CRUZ, C. M.; PETERNELLI, L. A.; CAMPANA, A. C. M.; PINTO, D. S.; FERREIRA, R. P. Testes dos sinais para tendência: uma aplicação em melhoramento de plantas, **Revista Brasileira de Biometria**, v. 26, n.4, p. 19-30, 2008.

NASCIMENTO, M. B.; ALMEIDA, N. V.; ARAUJO, L. E. Análise da variabilidade da precipitação pluviométrica na microrregião de Umbuzeiro, Paraíba. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.26, p.233-248, 2020.

NASUTI, S.; EIRÓ, F.; LINDOSO, D. Os desafios da agricultura no Semiárido brasileiro. **Sustentabilidade em debate**. v.4, n.2, p.276-298, 2013.

NDLOVU, M. S.; DEMLIE, M. Assessment of meteorological drought and wet conditions using two drought indices across KwaZulu-Natal Province, South Africa, **Atmosphere**, v. 11, n. 6, p.1-20, 2020.

NEETI, N; EASTMAN, J.R. A Contextual Mann-Kendall Approach for the Assessment of Trend Significance in Image Time Series. **Transactions in GIS**, v. 15, n. 5, p. 599-611, 2011.

NEWBOLD, P.; CARLSON, W. L.; THORNE, B. M. *Estadística para administración y economía*, 6. Ed. Madrid: Pearson Educación, 2008.

NNAMCHI, H. C.; LI, J. Influence of the South Atlantic Ocean dipole on West African summer precipitation. **Journal of Climate**, v. 24, n.4, p. 1184-1197, 2011.

NNAMCHI, H. C.; LI, J.; ANYADIKE, R. N. C. Does a dipole mode really exist in the South Atlantic Ocean?. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v.116, p.1-15, 2011.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia Norte Grande**, v. 63, p.9-26, 2016.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F. Tendência de temperatura na superfície do mar nos oceanos atlântico e pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. **Mercator**, v. 13, n.1, p.107-118, 2014.

NÓBREGA, R. S.; SOUZA, E. P.; GALVÍNIO, J. D. Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia ocidental, **Revista de Geografia**, v.25, n.1, p.6-20, 2008.

OLIVEIRA, F. F. D.; SOUSA, G. M.; SANTOS, V. S.; FIGUEIREDO, C. F. V.; ARAÚJO, B. J. B. L. Avaliação socioeconômica dos impactos da seca 2012-2016 no perímetro irrigado se São Gonçalo - PB. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v.11, n.1, p.168-173, 2017.

OLIVEIRA, L.F.C.; FIOREZE, A.P.; MEDEIROS, A.M.M.; SILVA, M.A.S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 11, p. 1186-1192, 2010.

OLIVEIRA, R. C.; ARAÚJO, R. C. Estudo da ocorrência de mudanças temporais na precipitação e descarga da sub-bacia do Rio Itacaiúnas, sudeste da Amazonia, **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 2, p. 148-156, 2013.

ONU - Organização das Nações Unidas. Relatório sobre os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio 2015. Nova Iorque: ONU, 76 p. 2015.

ORTEGA-GOMEZ, T.; PEREZ-MARTIN, M. A.; ESTRELA, T. Improvement of the drought indicators system in the Júcar River Basin, Spain. **Science of The Total Environment**, v.610-611, p.276-290, 2018.

ORTIZ-GOMEZ, R.; CARDONA-DÍAZ, J. C.; ORTIZ-ROBLES, F. A.; ALVARADO-MEDELIN, P. Caracterización de las sequías mediante la comparación de tres índices multiescales en Zacatecas, México. **Tecnología y Ciencias del Agua**, v. 7, n. 3, p. 47-91, 2018.

\_\_\_\_\_. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Nova Iorque: Centro de Informação das Nações Unidas. 42 p. 2016.

PAIVA, E.M.C.D.; CLARKE, R.T. Análise de tendência de precipitação na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**. n.10, p.37-41, 1995.

PALMER, W.C. Meteorological drought. Washington: U.S. Department of Commerce, 1965. 58p. (U.S. Department of Commerce. Research paper, 45).

PANOFSKY, H. A.; BRIER, G. W. *Some applications of statistics to meteorology*. University Park: Pennsylvania State University, 1958. 224 p.

PARK, S.; FEDDEMA, J.J.; EGBERT, S.L. MODIS land surface temperature composite data and their relationships with climatic water budget factors in the Central Great Plains. **International Journal of Remote Sensing**, v.26, p.1127-1144, 2005.

- PATEL, N. R.; YADAV, K. Monitoring spatio-temporal pattern of drought stress using integrated drought index over Bundelkhand region, India, **Natural Hazards**, v. 77, p. 663-677, 2015.
- PAULHUS, J. L. H.; KOHLER, M. A. Interpolation of missing precipitation records. **Monthly Weather Review**, v. 80, n. 5, p. 129-133, 1952.
- PAVANELLO, D.; ZAIMAN, W.; COLLI, A.; HEISER, J.; SMITH, S. Statistical functions and relevant correlation coefficients of clearness index, **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 130-131, p. 142-150, 2015.
- PBMC, 2014: Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 414 pp.
- PELEGRINI, G.; GAZOLLA, M. A agroindustrialização como estratégia de reprodução social da agricultura familiar. **Estudos, Sociedade e Agricultura**, v.17, n.2, p.332-378,2009.
- PENG, Z.; WANG, Q. J.; BENNETT, J. C.; POKHREL, P.; WANG, Z. Seasonal precipitation forecasts over China using monthly large-scale oceanic-atmospheric indices, **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 792-802, 2014a.
- PENG, Z.; WANG, Q. J.; BENNETT, J. C.; SCHEPEN, A.; PAPPENBERGER, F.; POKHREL, P.; WANG, Z. Statistical calibration and bridging of ECMWF System4 outputs for forecasting seasonal precipitation over China, **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 119, n. 12, p. 7116-7135, 2014b.
- PEREIRA, G. R. Correlação entre as secas e as perdas na agricultura de Sequeiro no Semiárido Nordeste. 2018. Disponível em:<[https://editorarealize.com.br/revistas/conadis/trabalhos/TRABALHO\\_EV116\\_MD1\\_SA23\\_ID185\\_19112018114546.pdf](https://editorarealize.com.br/revistas/conadis/trabalhos/TRABALHO_EV116_MD1_SA23_ID185_19112018114546.pdf)>. Acesso em: 2 maio 2020.
- PEREIRA, L. A.; PEREIRA, M. C. T.; BRITO, L. T. L.; MELO, R. F.; CAMARGO, A. F. M. A agricultura e suas relações com o ambiente. In: BRITO, L. T. de L.; MELO, R. F. de (Orgs). Impactos ambientais causados pela agricultura no semiárido brasileiro. Petrolina: Embrapa Semiárido, p. 13-29, 2010.
- PERIN, E. B.; VIANNA, L. F. N.; RICCE, W. S.; MASSIGNAM, A. M.; PANDOLFO, C. Interpolação das variáveis climáticas temperatura do ar e precipitação: revisão dos métodos mais eficientes. **Geografia, Rio Claro**, v. 40, n. 2, p. 269-289, 2015.
- PESSI, D. D.; SANTOS, C. S. S.; NONATO, J. J.; DOURADO, L. G. A.; SILVA, O. P.; BASSINI, R. T.; JOSÉ, J. V. Validação das estimativas de precipitação do satélite TRMM no Estado de Mato Grosso, Brasil, **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n.1, p. 79-88,2019.
- PLANO TERRITORIAL DE DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL – PTDRS. Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável do Sertão do Pajeú, 2011.

PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Precipitação média Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração na bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n.2/3 p. 247-253, 2004.

POZZI, W et al., Expanding international cooperation for the development of a framework for monitoring and forecasting, **Infrastructure**, p. 776-785, 2013.

PUTH, M-T.; NEUHAUSER, M.; RUXTON, G. D. Effective use of Pearson's product-moment correlation coefficient, **Animal Behaviour**, v. 93, p. 183-189, 2014.

QUINLAN, J. R. Combining Instance-based and Model-based learning. Proceedings of the Tenth International Conference on Machine Learning, p. 236-243, 1993.

REBOITA, M. S.; SANTOS, I. A. Influência de alguns padrões de teleconexão na precipitação no Norte e Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.15, p.28-48, 2015.

RESENDE, M. D. V.; STURION, J. A. Análise Genética de Dados com Dependência Espacial e Temporal no Melhoramento de Plantas Perenes via Modelos Geoestatísticos e de Séries Temporais Empregando REML/BLUP ao Nível Individual. Colombo: Embrapa Florestas, 2001, 79 p.

RODGERS, J. L.; NICEWANDER, W. A. Thirteen ways to look at the correlation coefficient, **The American Statistician**, v. 42, n. 1, p.59-66, 1988.

RODRIGUES, A. C. F.; RODRIGUES, E. S.; SILVA, C. W. G.; GALVÃO, S. R. S. Classificação da precipitação pluviométrica anual para o município de Pernambuco-PE utilizando Índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Revista semiárido de visu**, v.7, n.3, p.275-284, 2019.

ROPELEWSKI, C. F.; JONES, P. D. An extension of the Tahiti-Darwin southern oscillation index. **Monthly Weather Review**, v.115, p. 2161-2165, 1987.

ROSENZWEIG, C.; HILLEL, D. Climate change, agriculture and sustainability. In: LAL, R., UPHOFF, N.; STEWART, B. A.; HANSEN, D. O. (ed.). Climate change and global food security. London, UK: Taylor & Francis, 2005. p. 243-268

RUIZ-ARIAS, J. A.; TOVAR-PESCADOR, J.; POZO-VÁZQUEZ, D.; ALSAMAMRA, H. A comparative analysis of DEM-based models to estimate the solar radiation in mountainous terrain, **International Journal of Geographical Information Science**, v. 23, n. 8, p.1049-1076, 2009.

RUIZ-GIBERT, J. M.; HALLACK-ALEGRÍA, M.; ROBLES-MORUA, A.; MOLINA-NAVARRO, E. Using an integrated hydrological model to estimate the impacts of droughts in a semiarid transboundary river basin: the case of study of the Tijuana River Basin. **International Journal of River Basin Management**, p. 1-16, 2019.

RULEQUEST RESEARCH – Data mining tools. 2020. Disponível em: <<https://www.rulequest.com/cubist-info.html>>. Acesso em mar. 2020.

- SADAT-NOORI, M.; GLAMORE, W.; KHOJASTEH, D. Groundwater level prediction using genetic programming: the importance of precipitation data and weather station location on model accuracy, **Environmental Earth Sciences**, v. 79, p. 1-10, 2020.
- SALVIANO, M. F.; GROPPPO, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016.
- SANCHES, F. O.; BALEN, D. S.; SILVA, R. V.; ROSA, K. K.; RADUNZ, A. Chuvas no rio Grande do Sul: um estudo sobre as precipitações acumuladas intensas no alto Uruguai gaúcho, **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 15, p. 143-162, 2014.
- SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. O índice de anomalia de chuva (IAC) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/Rs (1928-2009). **Caminhos de Geografia**, v. 15, n. 51, p. 73-84, 2014.
- SANDERSON, M. UNESCO Sourcebook in Climatology for Hydrologists and Water Resource Engineers, UNESCO, Paris, 1992.
- SANTANA, A. S.; SANTOS, G. R. Impactos da seca 2012-2017 na região semiárida do Nordeste: notas sobre a abordagem de dados quantitativos e conclusões qualitativas. **Boletim regional, urbano e ambiental**. Brasília: IPEA, 2020. p. 119-129.
- SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.3, p.303-312, 2007.
- SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B.; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A. Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 39-47, 2009.
- SANTOS, C. A. F.; ARAUJO, F. P.; MENEZES, E. A. Comportamento produtivo de caupi em regimes irrigado e de sequeiro em Petrolina e Juazeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 11, p. 2229-2234, 2002.
- SANTOS, E. C. A.; ARAÚJO, L. E.; MARCELINO, A. S. Análise climática da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 1, p.9-14, 2015.
- SANTOS, E. P.; CORREIA, M. F.; ARAGÃO, M. R. S.; SILVA, F. D. S. Eventos extremos de chuva e alterações no regime hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: Uma aplicação do índice RAI (Rainfall Anomaly Index). **Engenharia Ambiental**, v.8, p.315-330, 2011.
- SANTOS, S. R. Q.; CUNHA, A. P. M. A.; RIBEIRO-NETO, G. G. Avaliação de dados de precipitação para o monitoramento do padrão espaço-temporal da seca no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.25, p.80-100, 2019.

SÃO-JOSÉ, R. V.; COLTRI, P. P.; GRECO, R.; SOUZA, I. S. Avaliação de vulnerabilidade agrícola à seca: um estudo de caso no semiárido do Estado da Bahia. **Revista Caminhos da Geografia**, v.21, n.77, p.96-110, 2020.

SARAGOSO, T. M. R.; MACHADO, L. G.; GARCIA, E. G. M. Agroecologia: uma ciência interdisciplinar. **Revista de Pesquisa Interdisciplinar**, v.3, n.1, p.107-113, 2018.

SCHMIDLI, J.; FREI, C.; VIDALE, P. L. Downscaling from GCM precipitation: a benchmark for dynamical and statistical downscaling methods, **International Journal of Climatology**, v. 26, n. 5, p. 679-689, 2006.

SCHNEIDER, S., CAZELLA, A. e MATTEI, L. Histórico, caracterização e dinâmica recente do Pronaf-Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar. In: SCHNEIDER, S., SILVA, M. K. e MARQUES, P. E. M. (Orgs.) Políticas públicas e participação social no Brasil rural. Porto Alegre (RS): Editora da UFRGS, 2004. p. 21-49.

SEN, Z. Discussion on “Applying fuzzy theory and genetic algorithm to interpolate precipitation” by C.L Chang, S.L. Lo, and S. L. Yu, **Jornal of Hydrology**, v. 33, n. 1-2, p.360-363, 2006.

SENA, A.; FREITAS, C. M.; BARCELLOS, C.; RAMALHO, W.; CORVALAN, C. Medindo o invisível: análise dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável em populações expostas a seca, **Ciência & Saúde Coletiva**, n. 21, v.3, p.671-683, 2016.

SILVA, A. A. F.; JARDIM, C. H. Aplicação de técnicas de preenchimento de falhas de dados de pluviosidade mensal e anual para o noroeste do estado de Minas Gerais – Brasil, **Geografias**, v. 15, n. 2, p. 83-106, 2017.

SILVA, A. F.; OLIVEIRA, D. S.; SANTOS, A. P. G.; SANTANA, L. M.; OLIVEIRA, A. P. D. Comportamento de variedades de mandioca submetidas a fertilização em comunidades dependentes de chuva no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.8, n.3, p.221-235, 2013.

SILVA, A. G. F.; MOTA, L. A.; DORNELAS, C. S. M.; LACERDA, A. V. A relação entre Estado e políticas públicas: uma análise teórica sobre o caso brasileiro. **Revista Debates**, v. 11, n. 1, p. 25-42, 2017.

SILVA, A. P. N.; MOURA, G. B. A.; GIONGO, P. R.; MEDEIROS, S. R. R. Correlação entre as temperaturas da superfície do mar e a quantidade da precipitação na estação chuvosa no nordeste do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.1, p.149-156, 2011.

SILVA, A. R.; SANTOS, T. S.; QUEIROZ, D. E.; GUSMÃO, M. O.; SILVA, T. G. F. Variações no índice de anomalia de chuva no semiárido. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.2, n.4, p.377-384, 2017.

SILVA, C.; PEREIRA, M. T. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável: Uma análise do ODS 6 para os países do Mercosul, **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão**, Paranaguá, PR. v. 4, n.1, p.130-141, 2019.

- SILVA, D. D. E.; RIOS, F. R. A. Degradação ambiental: uma análise sobre a agricultura no Semiárido Nordeste. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v.7, n.2, p. 01-06, 2013.
- SILVA, E. R. A. C.; GALVÍNCIO, J. D.; NASCIMENTO, K. R. P.; SANTANA, S. H. C.; SOUZA, W. M.; COSTA, V. S. O. Análise da tendência temporal da precipitação pluviométrica interanual e intra-anual no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 14, v. 22, p.76-98, 2018.
- SILVA, M. E. S.; SILVA, C. B. Influência da oscilação decadal do pacífico e do padrão pacífico south america no clima da américa do sul para o período 1970-2003. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.19, p.20-35, 2016.
- SILVA, S. F.; GENZ, F.; AGUIAR, W.; SILVA, N. M. D.; KIPERSTOK, A. Avaliação da ocorrência de secas na Bahia utilizando o Índice de Precipitação Padronizada (SPI). **Bahia Análise & Dados**, v.23, n.2, p.461-473, 2013.
- SILVA, T. L. V.; GUEDES, R. V. S. Análise do comportamento atmosférico em situação de seca: uma abordagem operacional para Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.4, p.937-950, 2012.
- SILVA, V. M. A.; PATRÍCIO, M. C. M.; RIBEIRO, V. H.; MEDEIROS, R. M. O desastre seca no Nordeste brasileiro. **Polêmica**, v.12, n.2, p.1-9, 2013.
- SILVA, V. P. R.; GUEDES, M. J. F.; LIMA, W. F. A.; CAMPOS, J. H. B. C. Modelo de previsão de rendimento de culturas de sequeiro, no semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.83-87, 2002.
- SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; ALMEIDA, R. S. R. Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, p.163-172, 2012.
- SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. S. S.; CAVALCANTI, E. P.; SOUZA, E. P.; SILVA, B. B. Teleconnections between sea-surface temperature anomalies and air temperature in northeast Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v.68, n.7, p.781-792, 2006.
- SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; AZEVEDO, P. V.; SOUSA, F. A. S.; SOUSA, I. F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p.131-138, 2011.
- SIMOLO, C.; BRUNETTI, M.; MAUGERI, M.; NANNI, T. Improving estimation of missing values in daily precipitation series by a probability density function-preserving approach, **International Journal of Climatology**, v. 30, n. 10, p.1564-1576, 2010.
- SOARES, A. S. D.; PAZ, A. R.; PICCILLI, D. G. A. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.21, n.2, p.288-299, 2016.

- SOARES, N. K. C.; SILVA, C. A. Comparação de metodologias para preenchimento de falhas em banco de dados pluviométricos: média aritmética x ponderação regional com base em regressão linear. In.: Perez FILHO, A., AMORIM, R.R. (Org.). Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento. Campinas: Instituto de Geociências-UNICAMP, 2017. Disponível em: <<https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2403/1644>>. Acesso em: 20 out. 2019.
- SOARES, D. B.; NOBREGA, R. S.; GALVÍNCIO, J. D. Indicadores climáticos de desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú, Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.22, p.363-380, 2018.
- SOUSA, F. A. S.; MACEDO, M. J. H.; GUEDES, R. V. S.; SILVA, V. P. R. O índice de precipitação padronizada (IPP) na identificação de extremos de chuvas e secas na bacia do rio Paraguaçu (BA). **Ambiência Guarapuava (PR)**, v.12, n.2, p.707-719, 2016.
- SOUZA, A. M.; GEORGE, R.; FERRAZ, S. E. T. Previsão de precipitação e temperatura em Santa Maria por meio de um modelo estatístico. **Ciência e Natura**, v. 31, n. 1, p. 49-64, 2009.
- SOUZA, C. Políticas públicas: uma revisão da literatura. **Sociologias**, ano 8, nº 16, p. 20-45. 2006.
- SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.3, p.715-721, 2011.
- STEINKE, V. A.; MELO, L. A. M. P.; MELO, M. L.; FRANCA, R. R.; LUCENA, R. L.; STEINKE, E. T. Trend analysis of air temperature in the Federal District of Brazil: 1980-2010. **Climate**, v. 8, n.89, p.1-17, 2020.
- SUN, Q.; MIAO, C.; DUAN, Q.; ASHOURI, H.; SOROOSHIAN, S.; HSU, K. A review of global precipitation data sets: data sources, estimation and intercomparisons, **Reviews of Geophysics**, v. 58, n. 1, p. 79-107, 2018.
- SUREDAN, U.; ANAGHA, B.; RAJA, P.; KUMAR, V.; RAJAN, K.; JAYAKUMAR, M. Analysis of drought from humid, semi-arid and arid regions of India using DrinC model with different drought indices. **Water Resources Management**, V.33, P. 1521-1540, 2019.
- TABACHNICK, B. G.; FIDELL, S. L. 1996. *Using multivariate statistics*. Harper Collins College Publishers. New York.
- TABONY, R.C. The estimation of missing climatological data. **Journal of Climatology**, v. 3, n. 3, p. 297-314, 1983.
- TAPIADOR, F. J.; TURK, F. J.; PETERSEN, W.; HOU, A. Y.; GARCÍA-ORTEGA, E.; MACHADO, L. A. T.; ANGELIS, C. F.; SALIO, P.; KIDD, C.; HUFFMAN, G. J.; CASTRO, M. Global Precipitation measurement: Methods, datasets and applications, **Atmospheric Research**, v. 104-105, p. 70-97, 2012.

TARDIVO, G.; BERTI, A. A dynamic method for gap filling in daily temperature datasets, **American Meteorological Society**, v. 51, p. 1079-1086, 2012.

TARDIVO, G.; BERTI, A. The selection of predictors in a regression-based method for gap filling in daily temperature datasets. **International Journal of Climatologic.**, v34, p.1311– 1317. 2014.

TAVARES, V. C.; ARRUDA, I. R.; P.; SILVA, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Geosul**, v.34, n.70, p.385-405, 2019.

TEEGAVARAPU, R. S.V.; CHANDRAMOULI, V. Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records. **Journal of Hydrology**, v. 312, p. 191-206, 2005.

TEIXEIRA-GANDRA, C. F. A.; DAMÉ, R. C. F.; SIMONETE, M. A.; BACELAR, L. C. S.; DISCONZI, P. B.; SANTOS, J. P. Modelagem estocástica: previsão das temperaturas para a localidade de pelotas/RS/Brasil. **Revista Agro@ambiente**, v. 8, n.1, p.18-28, 2014.

TOBIN, C.; NICOTINA, L.; PARLANGE, M. B.; BERNE, A.; RINALDO, A. Improved interpolation of meteorological forcings for hydrologic applications in a Swiss Alpine region, **Journal of Hydrology**, v. 401, n. 1-2, p. 77–89, 2011.

TOBLER, W. R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. **Economic geography**, v. 19, n. 4, p. 288-289, 1970.

TSUKAHARA, R.; JENSEN, T.; CARAMORI, P. H. Utilização de Redes Neurais Artificiais para Preenchimento de Falhas em Séries Horárias de Dados Meteorológicos. XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, PA, 2010.

TUBELIS, A. *Meteorologia Descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras*. São Paulo: Nobel, 1983.

TUCCI, C.E.M. *Hidrologia: Ciência aplicação*. 3 ed. Porto Alegre, RS: FAURGS - Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 942p.

TYAGI, S. K. Correlation coefficient of dual hesitant fuzzy sets and its applications, **Applied Mathematical Modelling**, v. 39, n. 22, p. 7082-7092, 2015.

UDRY, M. C.; ARAUJO, M. Agroecologia e desenvolvimento sustentável. **Revista de Política agrícola**, n.1, p.133-135, 2012.

UYANIK, G. K.; GÜLER, N. A study on multiple linear regression analysis. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 2013. v. 106, n. 0, p. 234 – 240, 2013.

VARGAS, T.; GOMES, M. G.; BELLADONA, R.; ADAMI, M. V. D. Aplicação do interpolador IDW para elaboração de mapas hidrogeológicos paramétricos na região da Serra Gaúcha, **Scientia cum indústria**, v. 6, n. 3, p. 38-43, 2018.

- VASCONCELOS, T. S.; MORAES, J. G. L.; ALVES, J. M. B.; JACINTO-JUNIOR, S. G.; OLIVEIRA, L. L. B.; SILVA, E. M.; SOUSA, G. G. Variabilidade pluviométrica no ceará e suas relações com o cultivo de milho, feijão-caupi e mandioca (1987-2016). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.34, n.3, p.431-438, 2019.
- VENTURA, T. M.; SANTANA, L. L. R.; MARTINS, C. A.; FIGUEIREDO, J. M. Análise da aplicabilidade de métodos estatísticos para preenchimento de falhas em dados meteorológicos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.19, n.12, p. 168-177, 2016.
- VIEIRA, S.; OSORIO, D. M. M.; QUEVEDO, D. M.; ADAM, K. N.; PEREIRA, M. A. F. Metodologia de imputação de dados hidrometeorológicos para análise de séries históricas – Bacia do Rio dos Sinos, RS, **Brasil. Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 189-204, 2018.
- VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; PINTO, D. B. F.; MELLO, J. M.; ÁVILA, L. F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 970-978, 2010.
- WAGNER, R. Decadal-scale trends in mechanisms controlling meridional sea surface temperature gradients in the tropical Atlantic. **Journal Geophysical Research**, v. 101, p. 16683-16694, 1996.
- WALD, A.; WOLFOWITZ, J. An exact test for randomness in the non-parametric case based on serial correlation". **Annals Mathematic and Statistics**, v. 14, p. 378-388, 1943.
- Wald Wolfowitz Run Test. Estatística.PT, Brasil, 2021. Disponível em: <<https://estatistica.pt/wald-wolfowitz-run-test/>>. Acesso em 23 de nov. 2020.
- WALSH, R. P. *The tropical rain forest*. Cambridge: Climate, 1996. 205 p.
- WALSH, R. P. D.; LAWLER, D. M. Rainfall Seasonality: Description, spatial patterns and change through time. **Weather**, v. 36, p. 201–208, 1981.
- WANDERLEY, H.S.; AMORIM, R.F.C.; CARVALHO, F.O. Interpolação Espacial De Dados Médios Mensais Pluviométricos Com Redes Neurais Artificiais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 3, p. 389-396, 2014.
- WANG, Y.; DING, Y. J.; YE, B. S.; LIU, F. J.; WANG, J.; WANG, J.; Contributions of climate and human activities to changes in runoff of the Yellow and Yangtze rivers from 1950 to 2008, **Science China Earth Sciences**, v. 56, n. 8, p.1398-1412, 2013.
- WANG, Z.; ZENG, Z.; LAI, C.; LIN, W.; WU, X.; CHEN, X. A regional frequency analysis of precipitation extremes in Mainland China with fuzzy c-means and L-moments approaches, **International Journal of Climatology**, v. 37, n. S1, p. 429-444, 2017.
- WATSON, D. F.; PHILIP, G. M. A Refinement of inverse distance weighted interpolation. **GeoProcessing**, v.2, p.315-327, 1985.

- WESTERBERG, I.; WALTHER, A.; GUERRERO, J-L.; COELLO, Z.; HALLDIN, S.; XU, C-Y.; CHEN, D.; LUNDIN, L-C. Precipitation data in a mountainous catchment in Honduras: quality assessment and spatiotemporal characteristics, **Theoretical and Applied climatology**, v. 101, p. 381-396, 2010.
- WHEELWRIGHT, S. C.; MAKRIDAKIS, S. *Forecasting Methods for Management*. 4th edition. New York: John Wiley & Sons Inc, 1985.
- WILHITE, D.A. Drought. In: HOLTON, J.A.; PYLE, C.; CURRY, J.A. (Ed.). **Encyclopedia of Atmospheric Science**. New York: Elsevier, 2003. p.650-658.
- WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. Understanding: The Drought Phenomenon: The Role of Definitions,” **Water International**, V. 10, No. 3, p. 111-120, 1985.
- WILHITE, D. A.; SVOBODA, M. D.; HAYES, M. J. Understanding the complex impacts of drought: A key to improving drought mitigation and preparedness. **Water Resources Management**, v. 21, n. 5, p. 763-774, 2007.
- WISSMANN, J. A., TAMPELINI, L. G., FEIL, A. C., SAMPAIO, S.C., SUSZEK, M. Ferramenta computacional para análise de consistência de dados pluviométricos. **Revista Varia Scientia**, v. 6, n. 11, p. 99-106, 2006.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. Report on Drought and Countries Affected by Drought During 1974–1985. Geneva, 1986. 118p.
- WOLDESENBET, T. A.; ELAGIB, N. A.; RIBBE, L.; HEINRICH, J. Gap filling and homogenization of climatological datasets in the headwater region of the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia, **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 4, p. 2122-2140, 2017.
- WORLAND, S. C.; FARMER, W. H.; KIANG, J. E. Improving predictions of hydrological low-flow indices in ungagged basins using machine learning, **Environmental Modelling & Software**, v. 101, p. 169-182, 2018.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. The Role of Climatological Normals in a Changing Climate. Geneva: World Climate Data and Monitoring Programme, 2007.
- XAVIER, A. C.F.; RUDKE, A. P.; FUJITA, T.; BLAIN, G. C.; MORAIS, M. V. B.; ALMEIDA, D. S.; RAFEE, S. A. A.; MARTINS, L. D.; SOUZA, R. A. F.; FREITAS, E. D.; MARTINS, J. A. Stationary and non-stationary detection of extreme precipitation events and trends of average precipitation from 1980 to 2010 in the Paraná River Basin, Brazil, **International Journal of Climatology**, v.40, n.2, p.1197-1212, 2020.
- XIA, Y.; FABIAN, P.; STOHL, A.; WINTERHALTER, M. Forest climatology: estimation of missing values for Bavaria, Germany. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 96, n. 1, p. 131-144, 1999.
- XIMENES, L. J. F. Efeitos da ocorrência de secas sobre indicadores agropecuários do Estado do Ceará. **Informe Rural**, n.1, p.1-14, 2013.

YAGUCHI, S. M.; MASSIGNAM, A. M.; RICCE, W. S.; PANDOLFO, C. Preenchimento de Falhas dos Dados Diários de Temperatura Máxima e Mínima do Ar. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 38, p. 1419-1425, 2016.

YUE, S.; PILON, P.; CAVADIAS, G. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. **Journal of Hydrology**, v. 259, n. 1-4, p. 254-271, 2002.

ZARCH, M. A. A.; SIVAKUMAR, B.; SHARMA, A. Droughts in a warming climate: A global assessment of Standardized precipitation index (SPI) and Reconnaissance drought index (RDI), **Journal of Hydrology**, v. 526, p. 183-195, 2015.

ZHANG, X.; SRINIVASAN, R. GIS-based spatial precipitation estimation: A comparison of geostatistical approaches, **Journal of the American Water Resources Association**, v. 45, n. 4, p. 894–906, 2009.

ZHANG, W.; YAN, Y.; ZHENG, J.; LI, L.; DONG, X.; CAI, H. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. **Global and Planetary Change**, v. 69, p. 35-47, 2009.

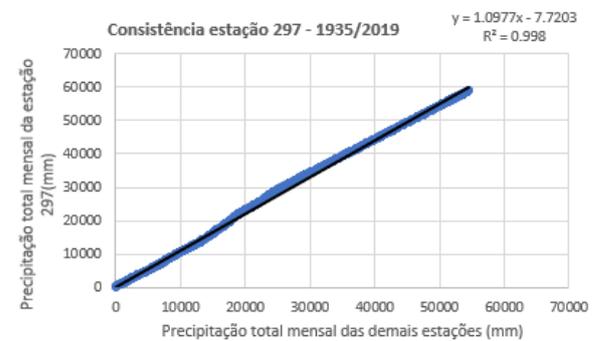
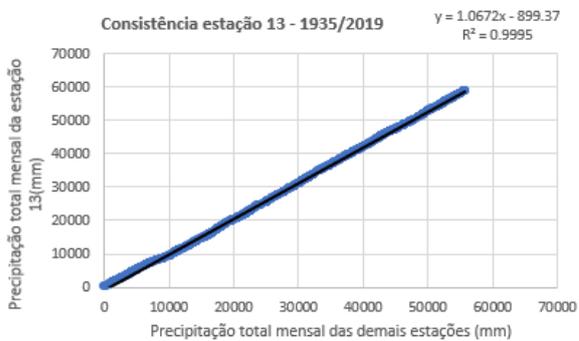
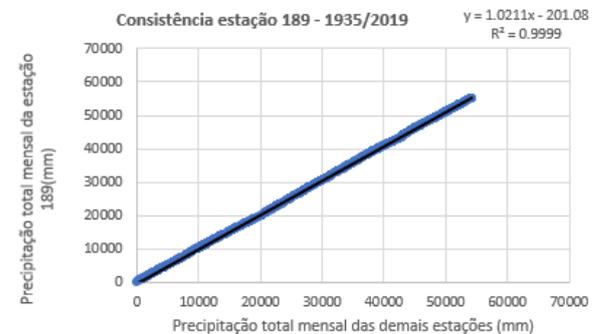
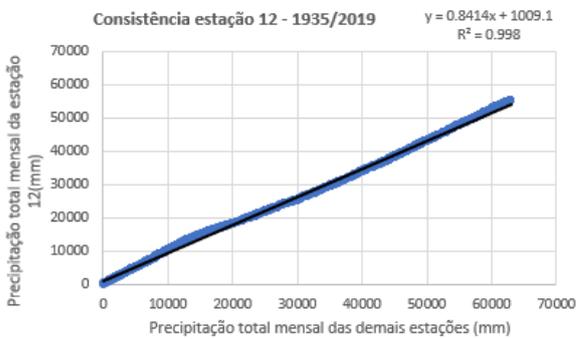
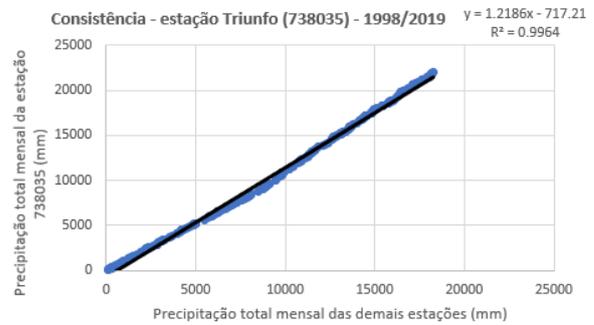
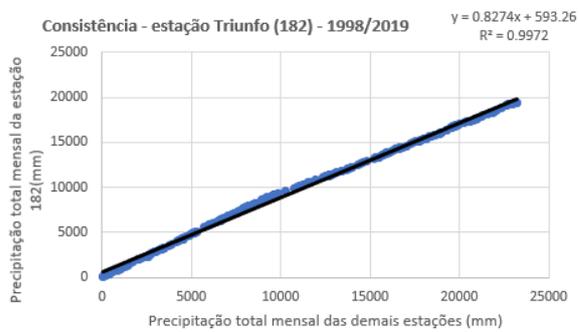
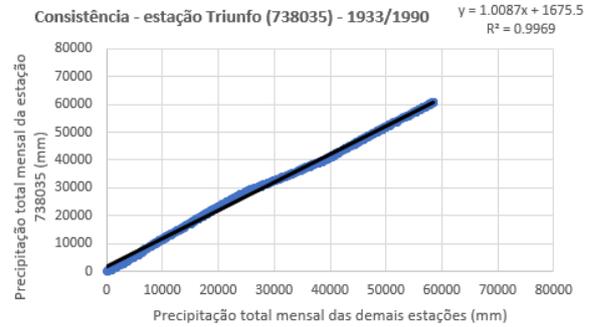
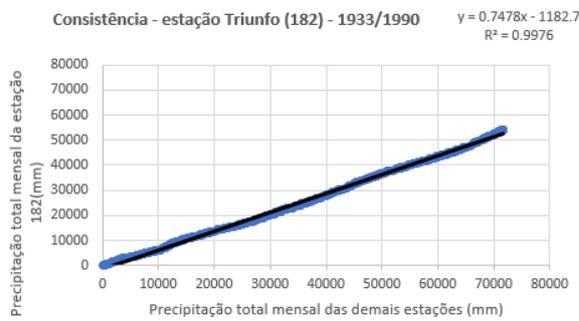
ZHANG, X.; YANG, F. RClimDex (1.0) User Guide. Climate Research Branch Environment Canada. Downsview (Ontario, Canada), 22p. 2004.

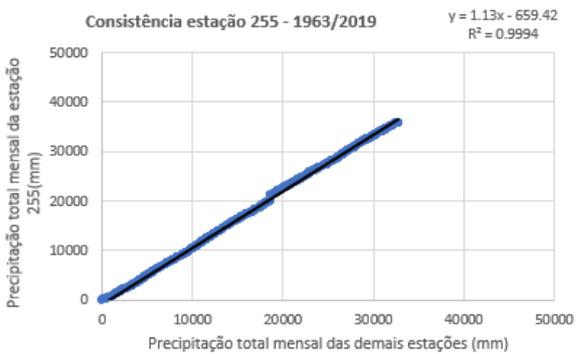
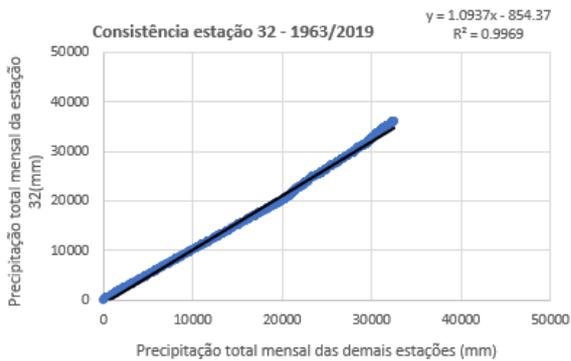
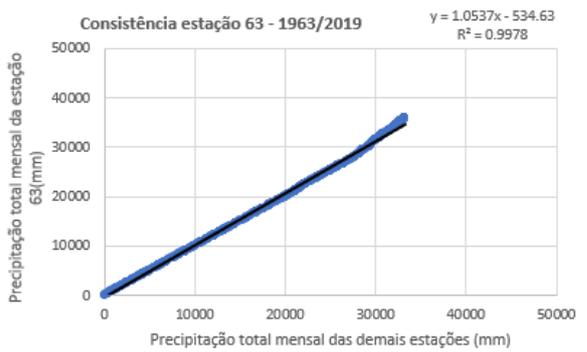
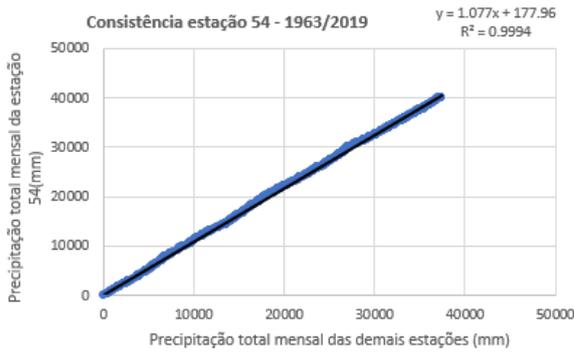
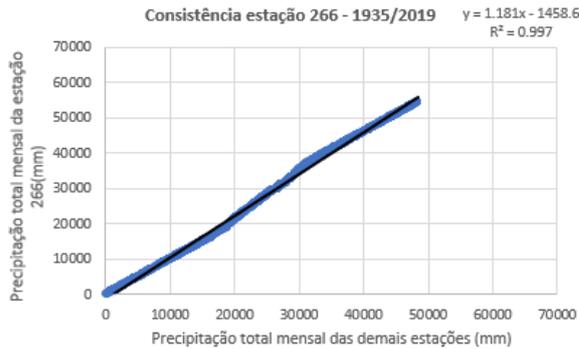
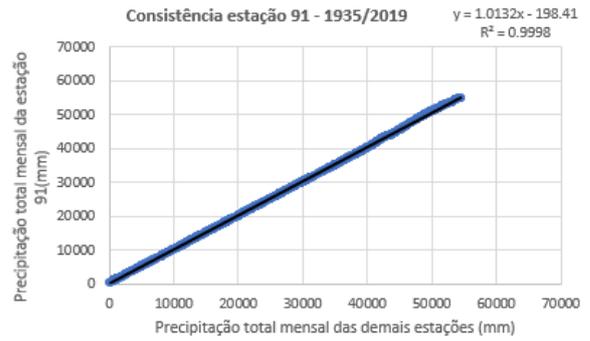
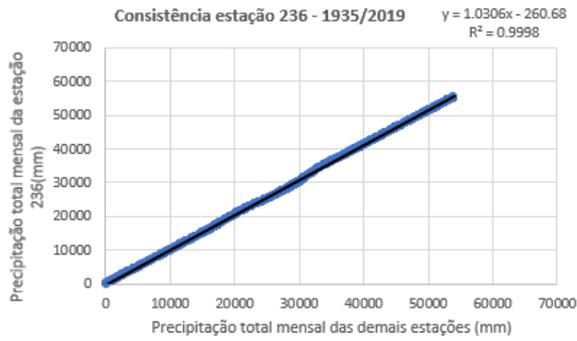
ZHENG, Y.; HE, Y.; CHEN, X. Spatiotemporal pattern of precipitation concentration and its possible causes in the Pearl River basin, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 161, p.1020-1031, 2017.

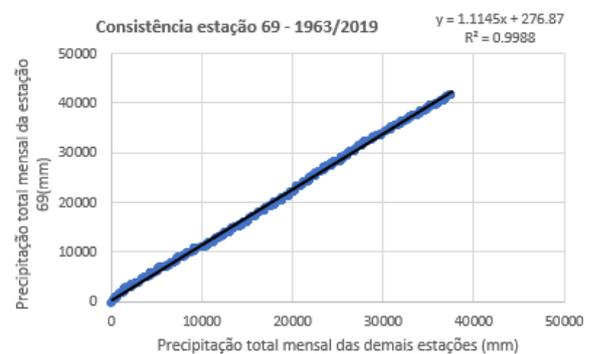
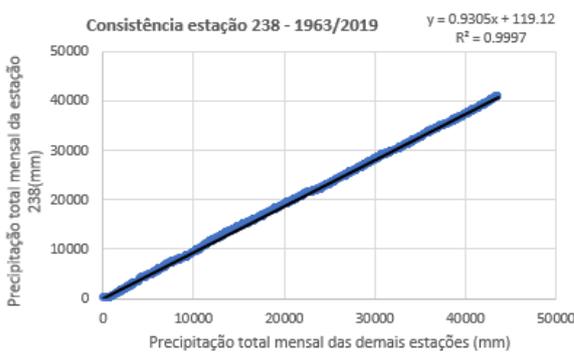
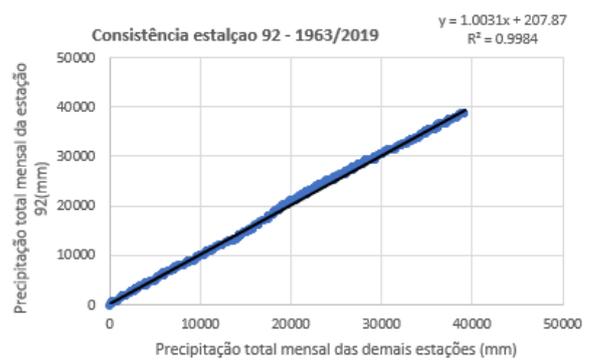
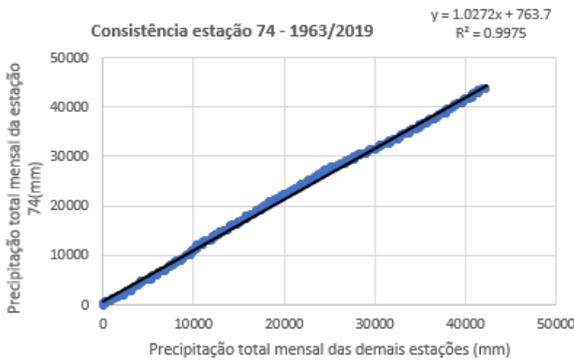
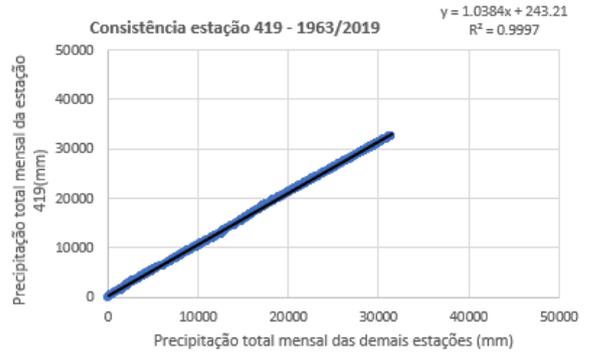
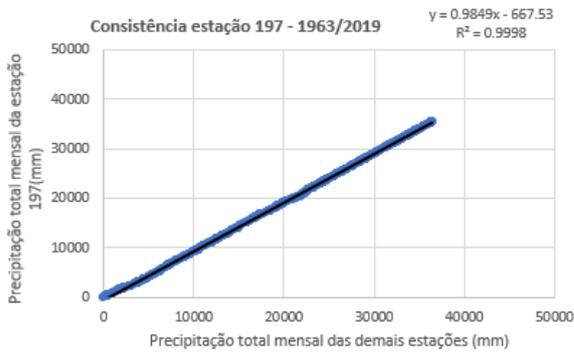
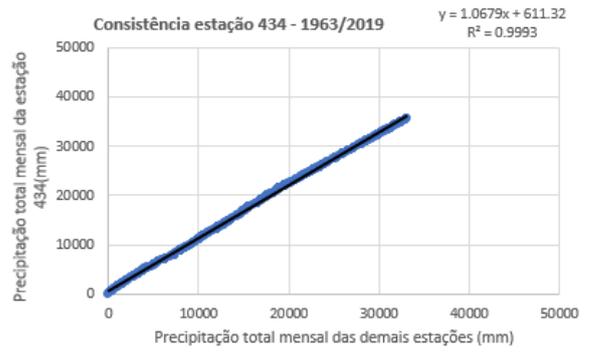
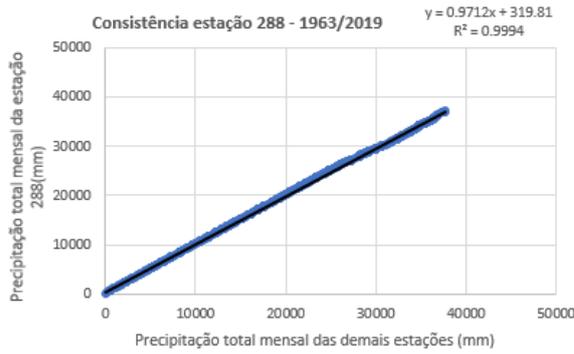
ZHOU, H.; DENG, Z.; XIA, Y.; FU, M. A new sampling method in particle filter based on Pearson correlation coefficient, **Neurocomputing**, v. 216, p. 208-215, 2016.

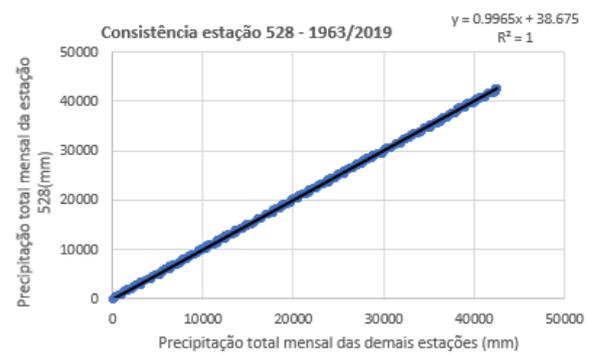
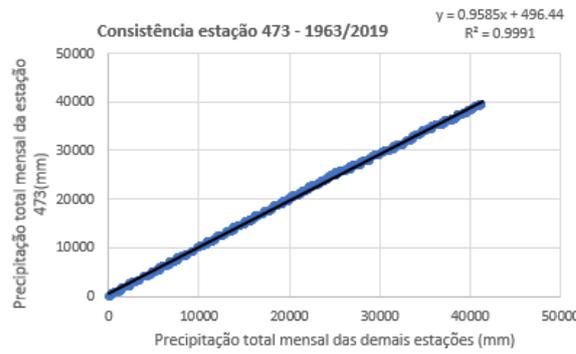
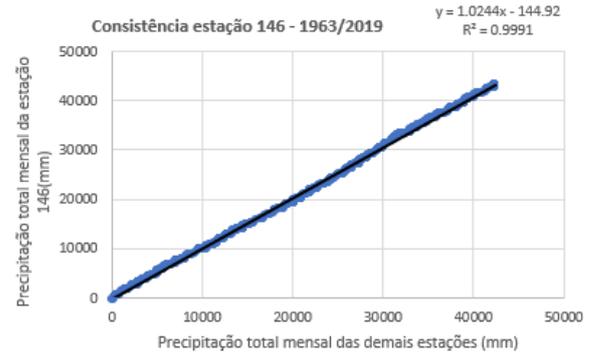
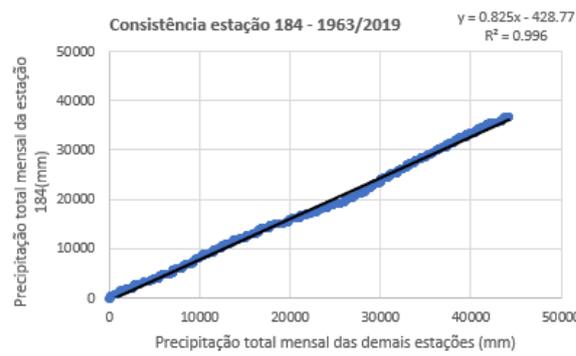
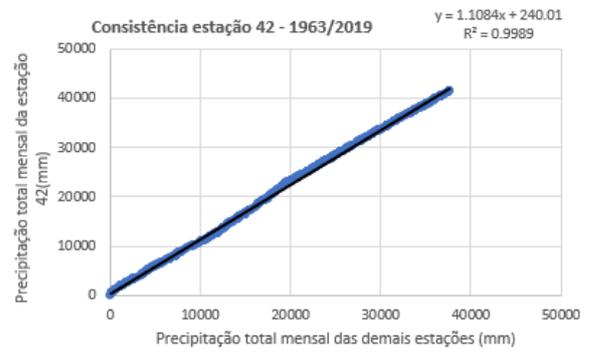
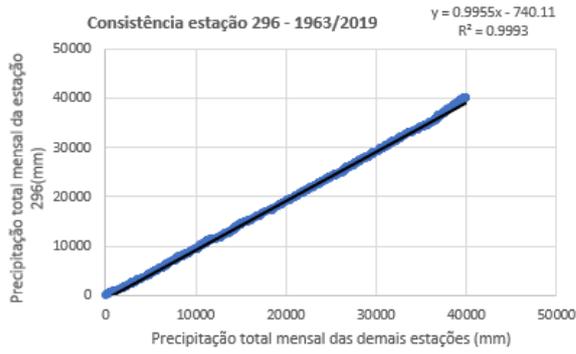
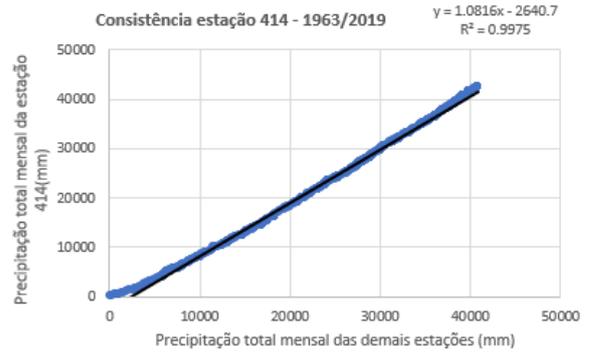
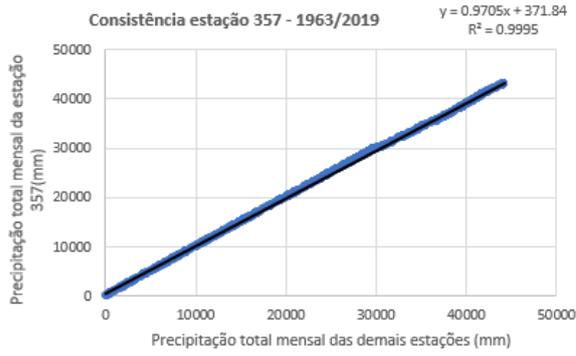
## APÊNDICE A – CONSISTÊNCIA DOS DADOS

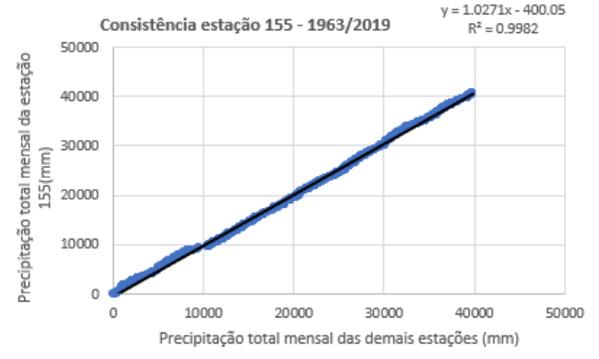
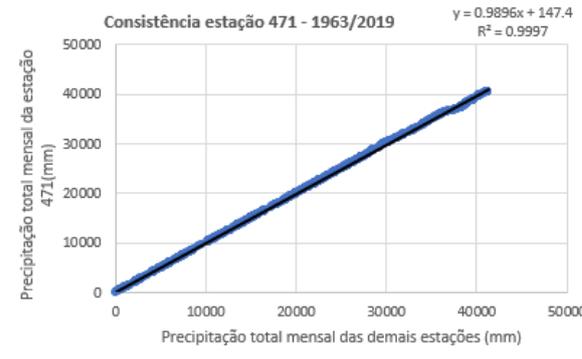
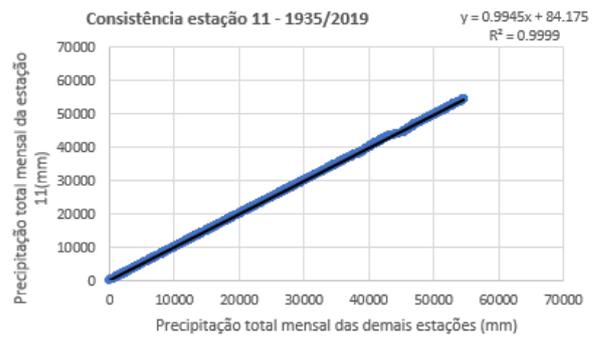
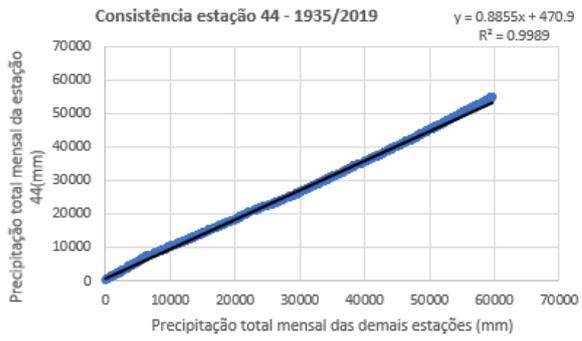
### Gráficos de consistência dos postos estudados para o método de Média Simples



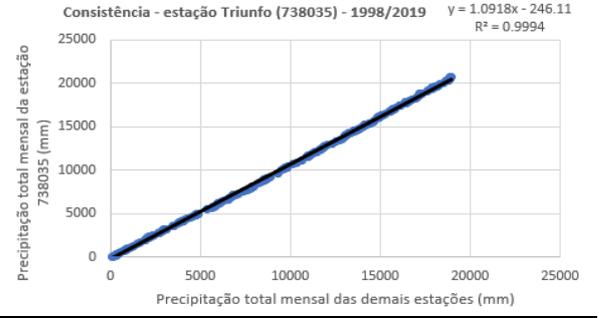
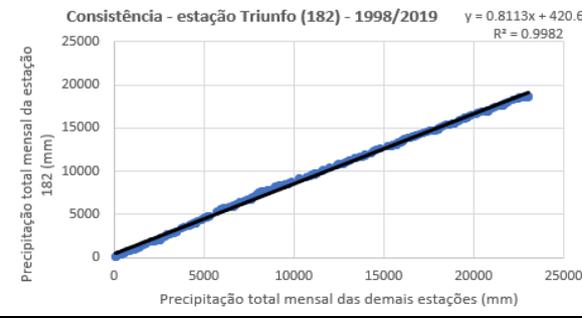
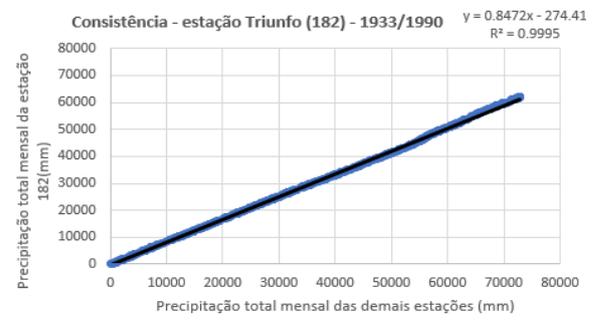
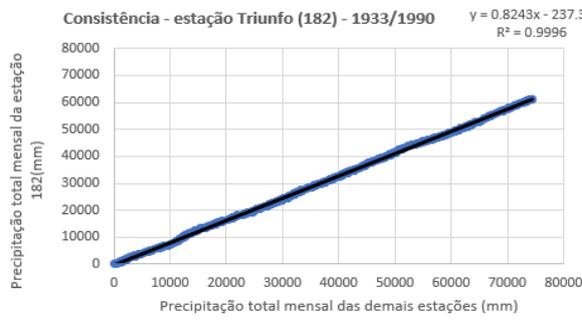


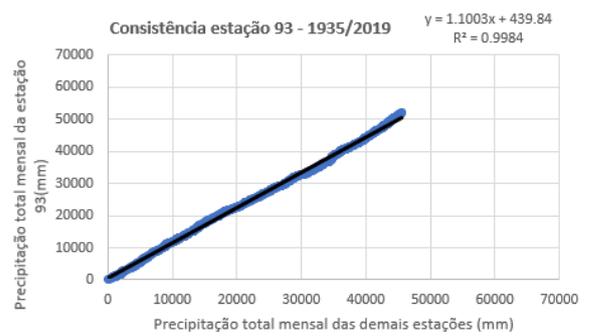
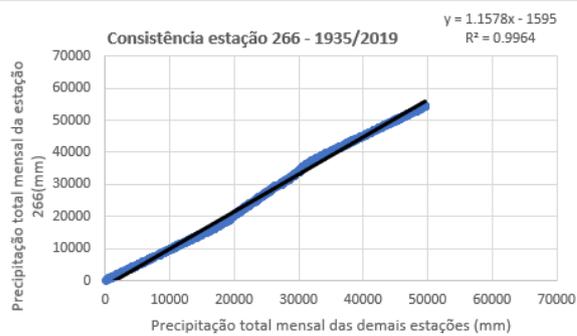
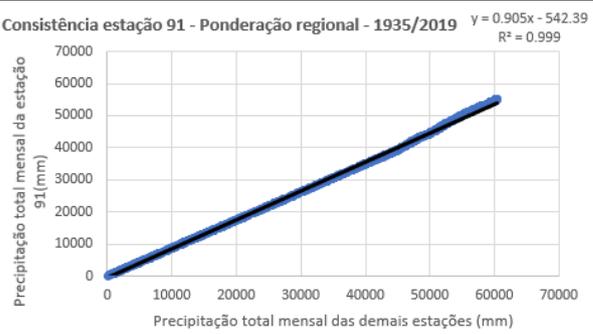
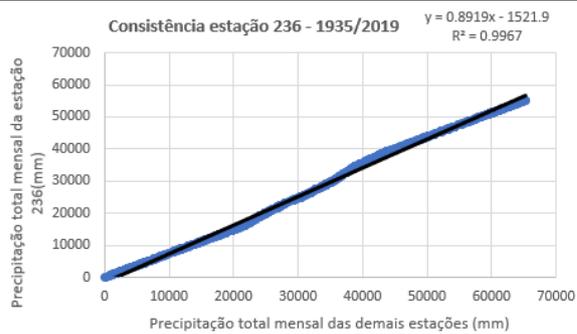
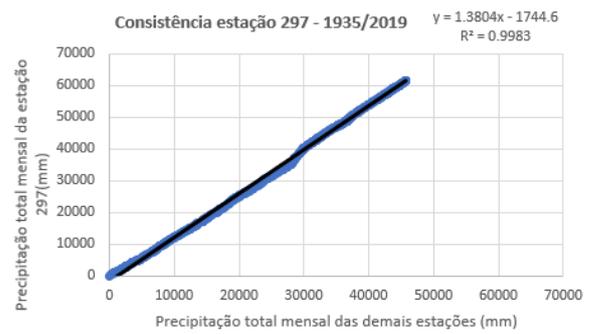
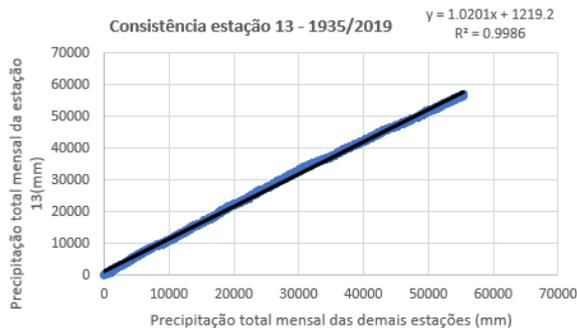
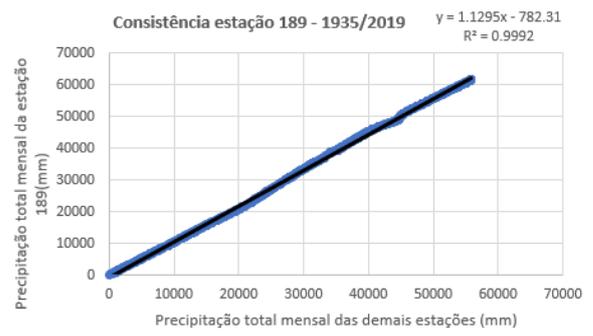
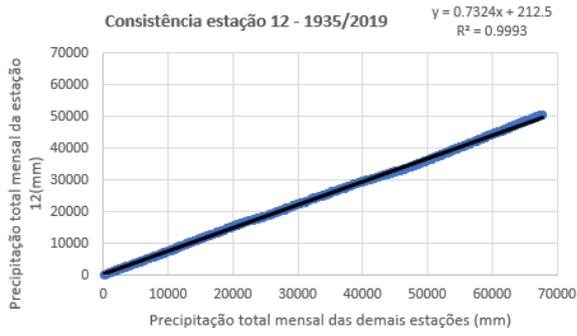


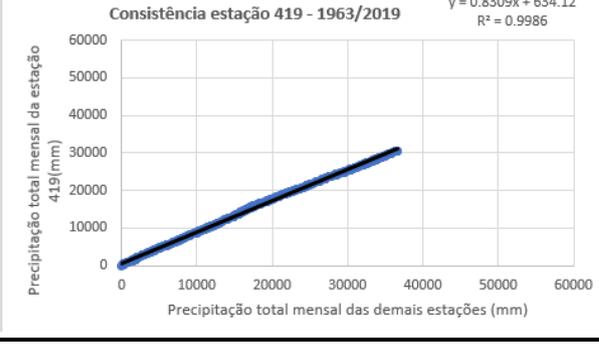
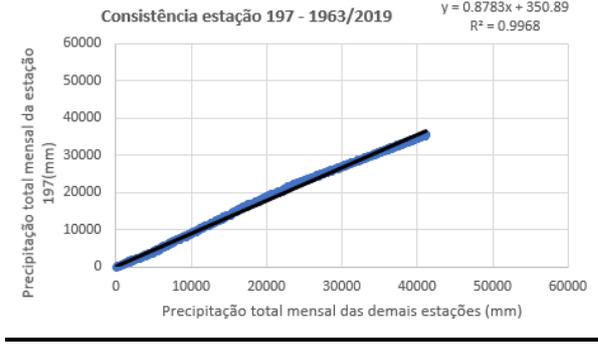
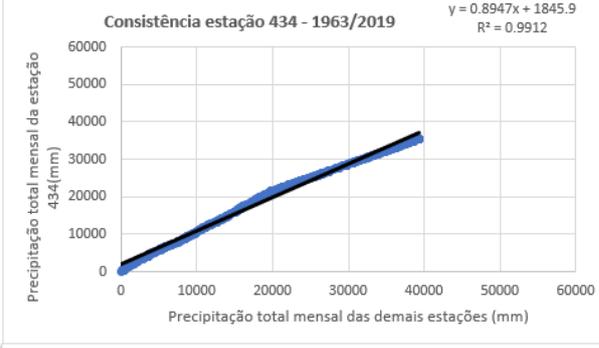
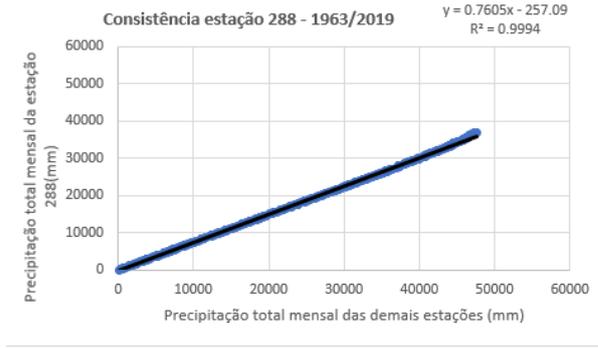
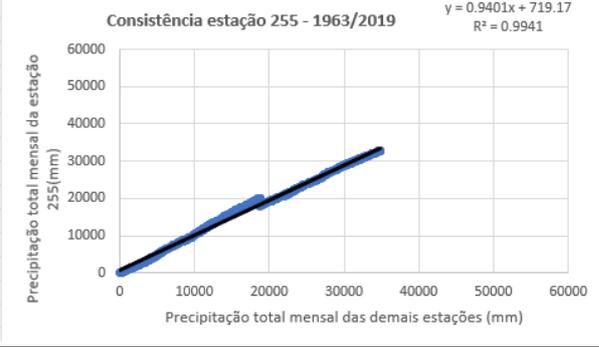
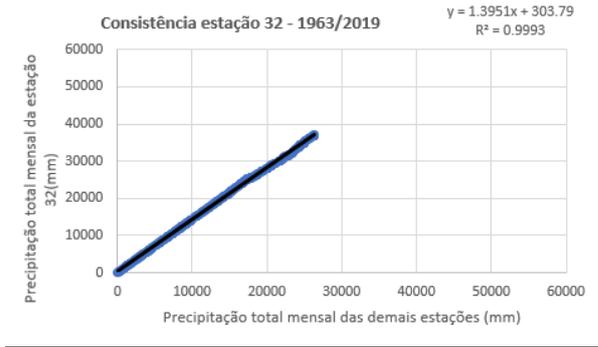
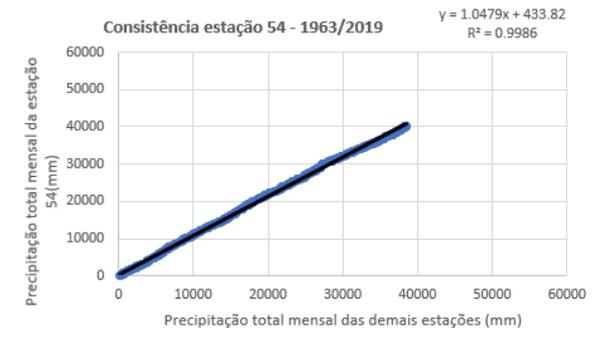


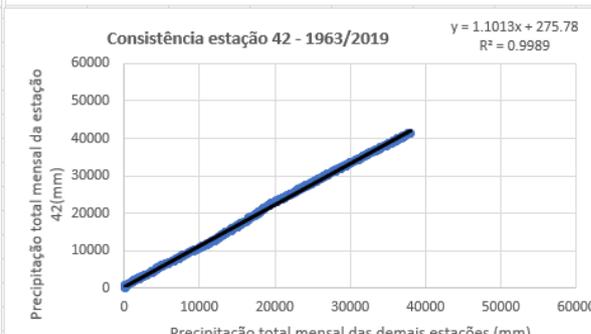
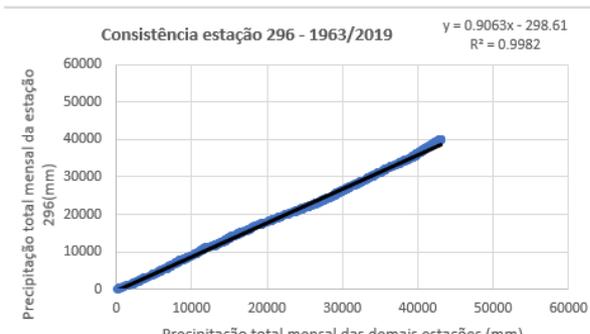
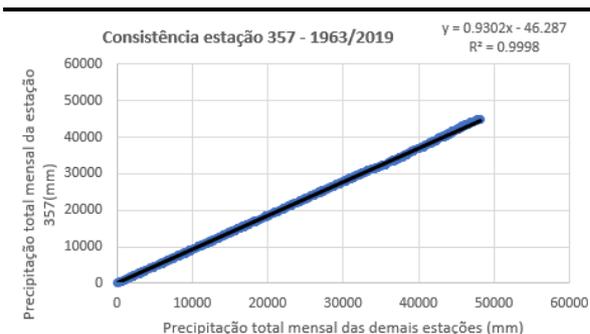
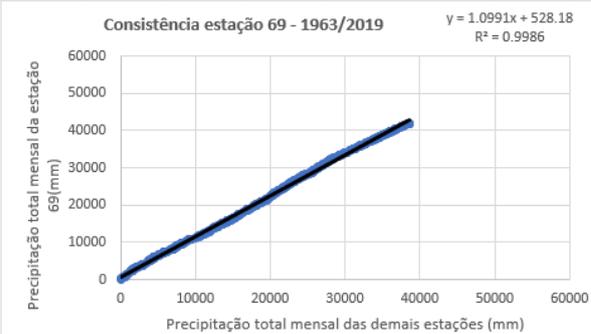
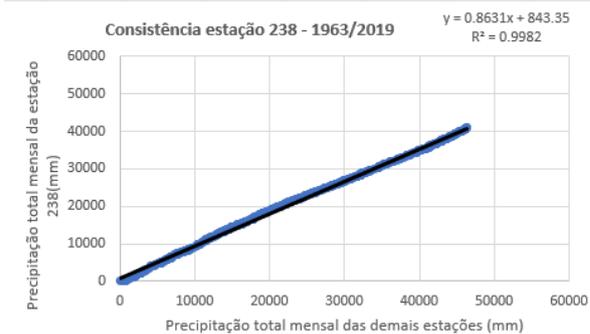
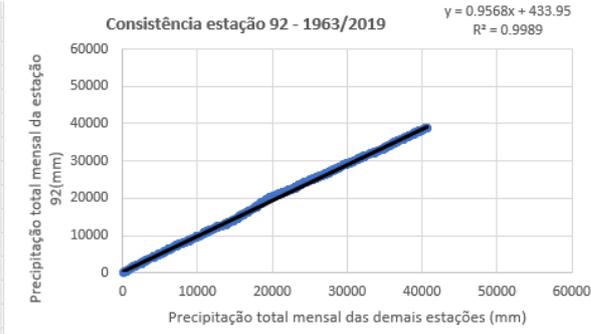
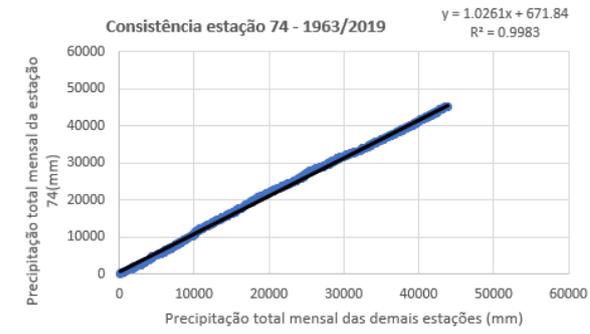


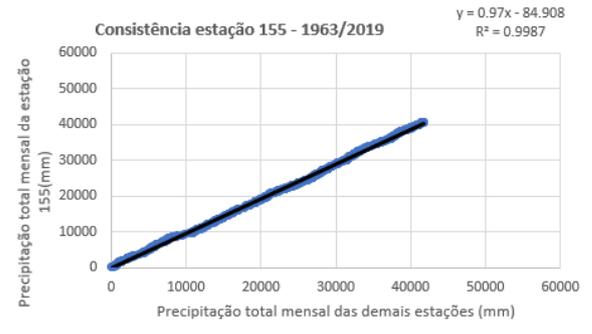
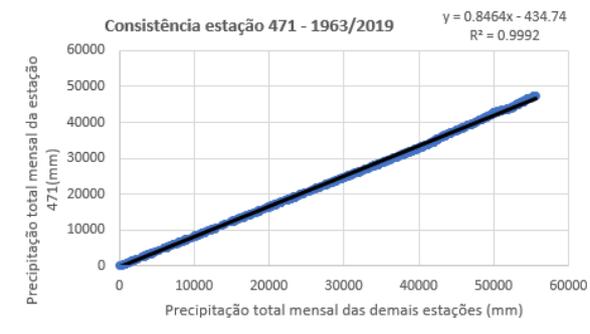
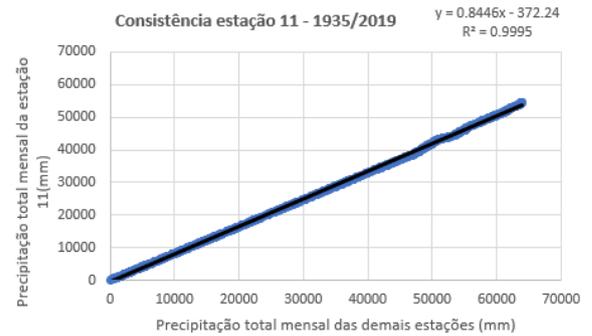
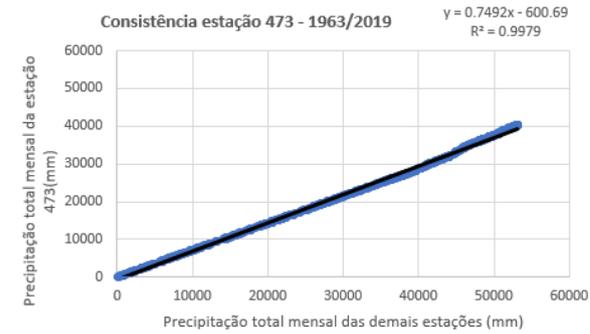
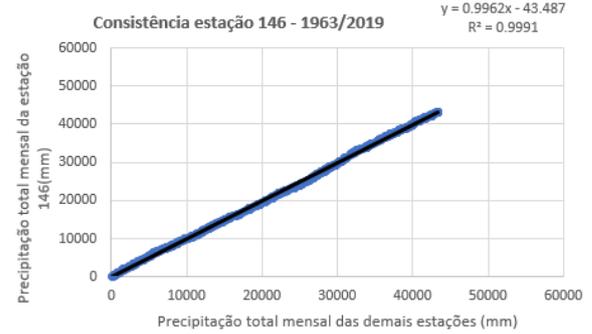
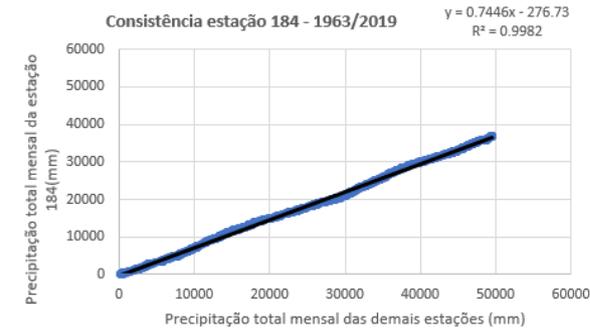
**Gráficos de consistência dos postos estudados para o método de Ponderação Regional**



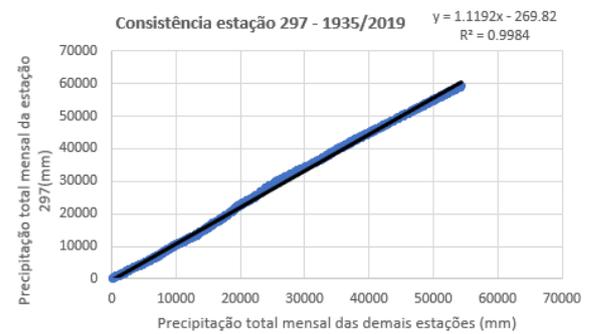
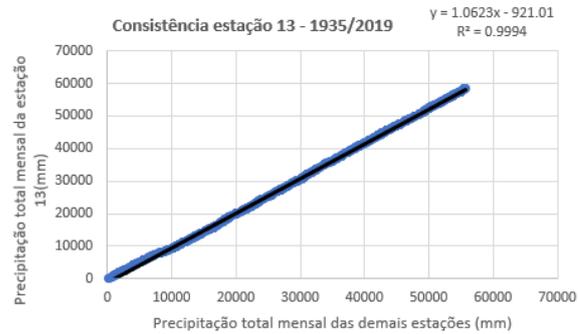
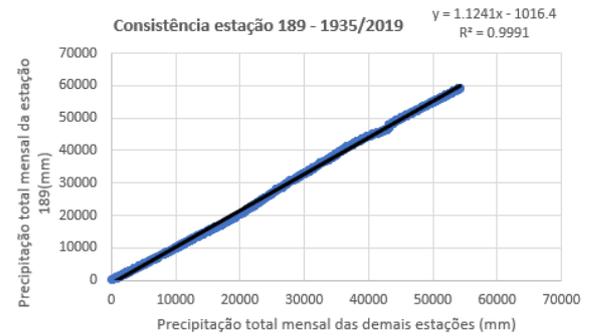
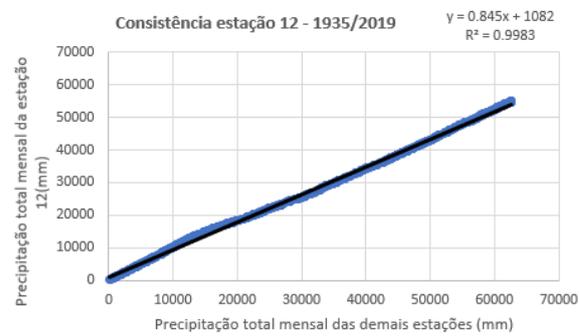
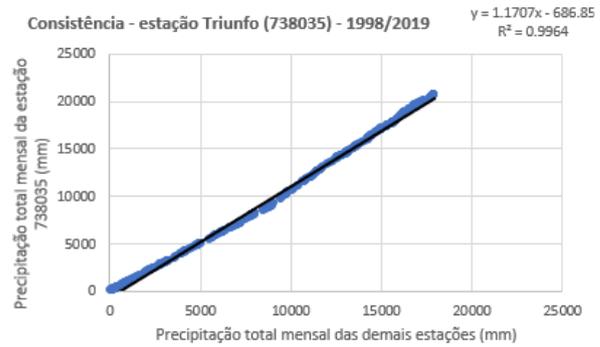
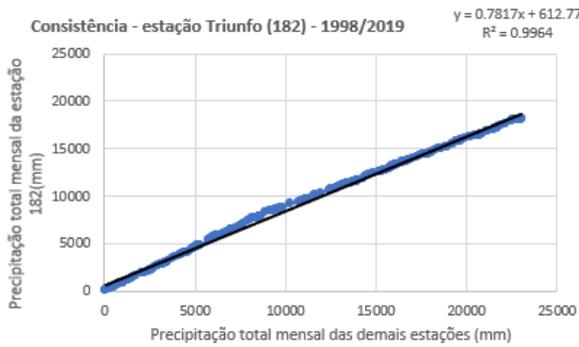
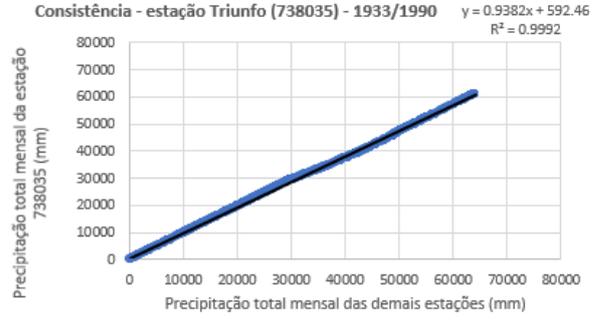
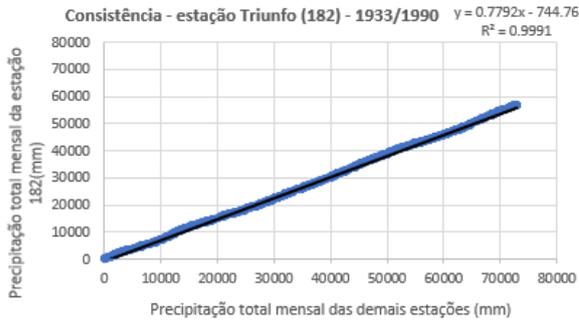


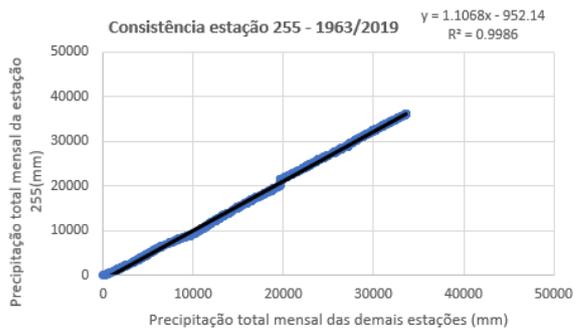
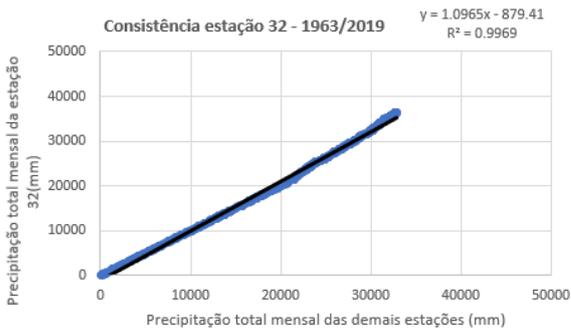
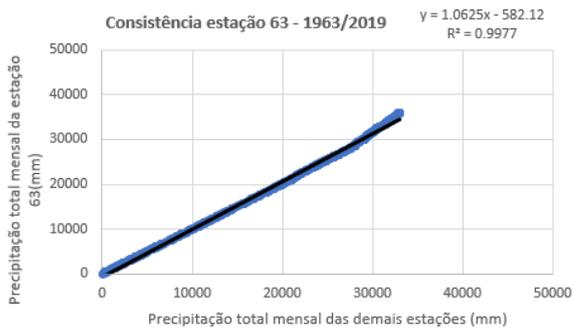
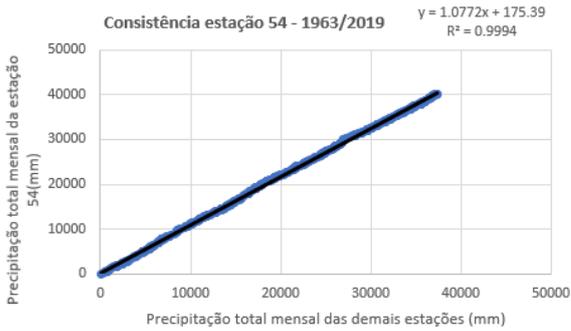
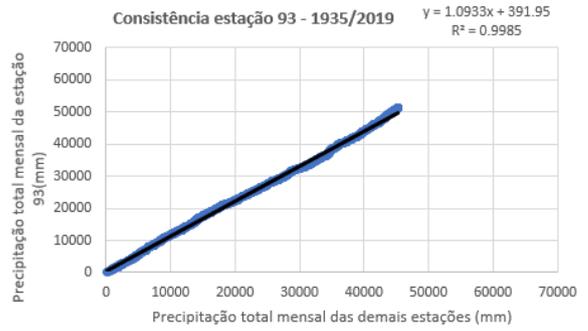
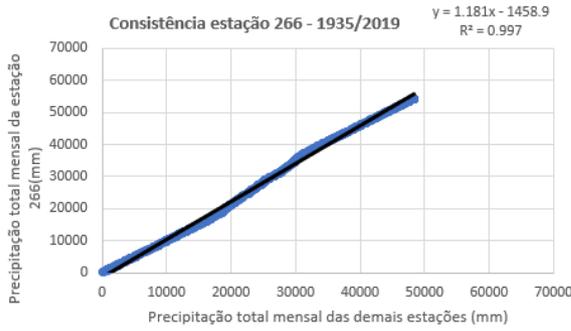
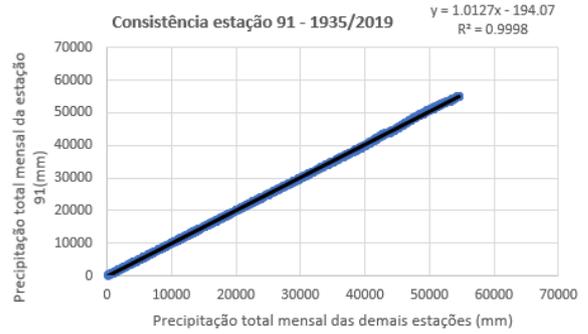
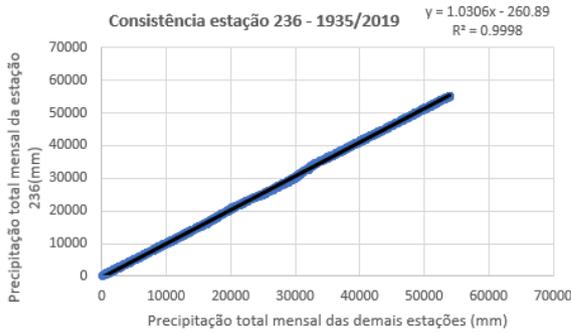


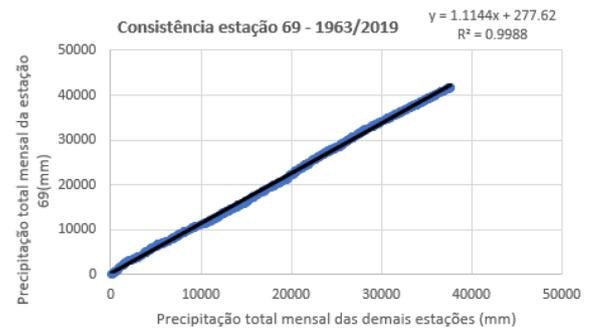
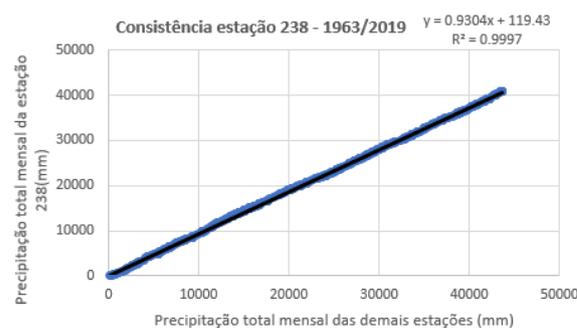
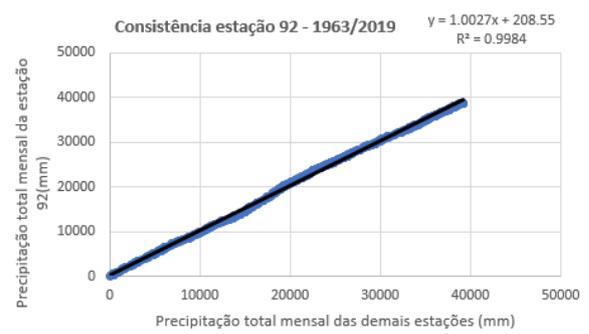
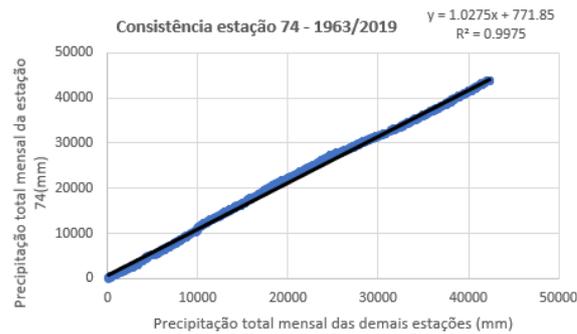
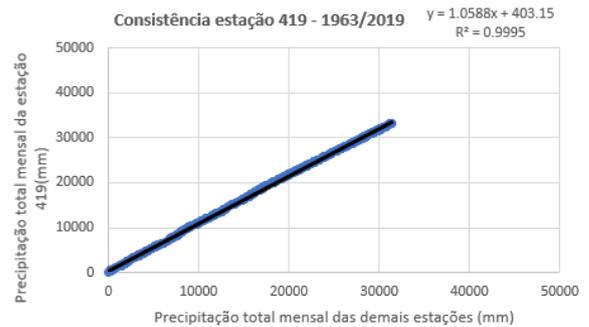
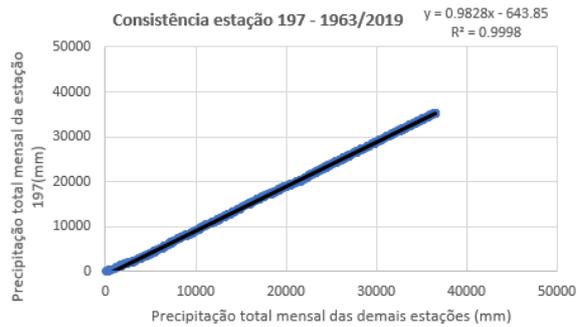
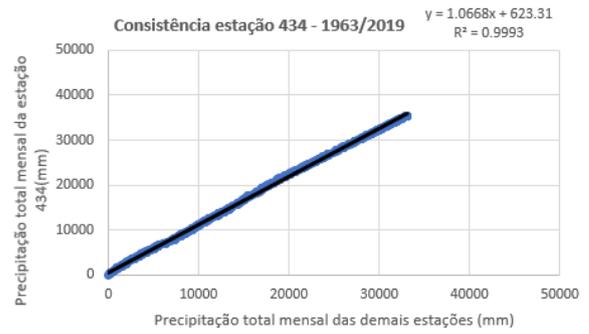
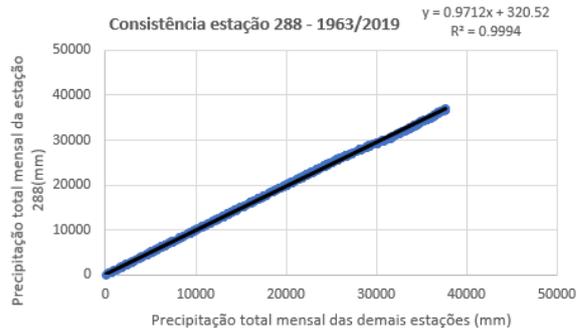


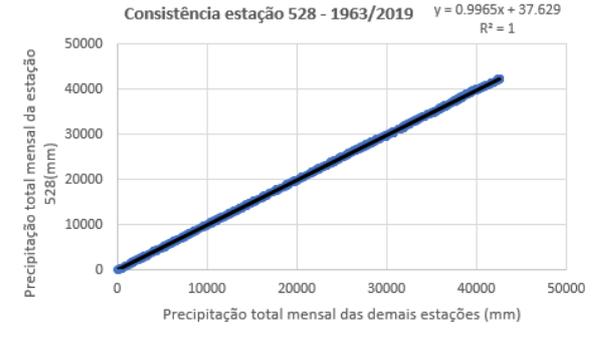
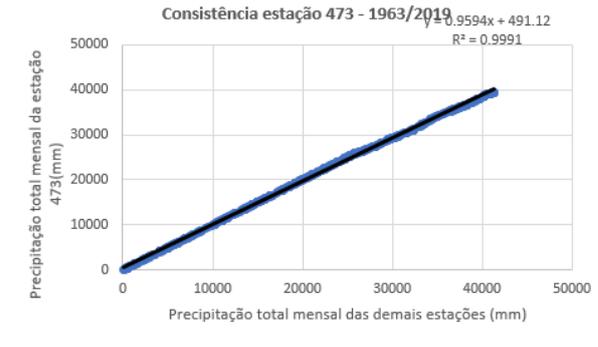
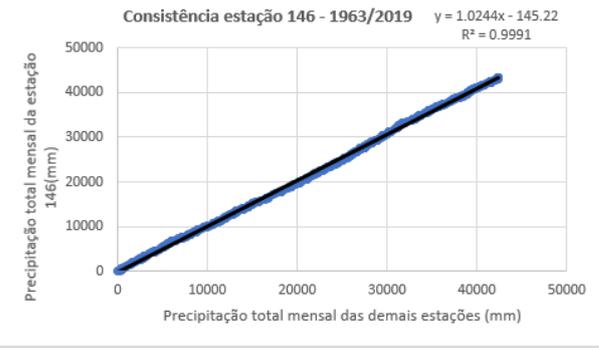
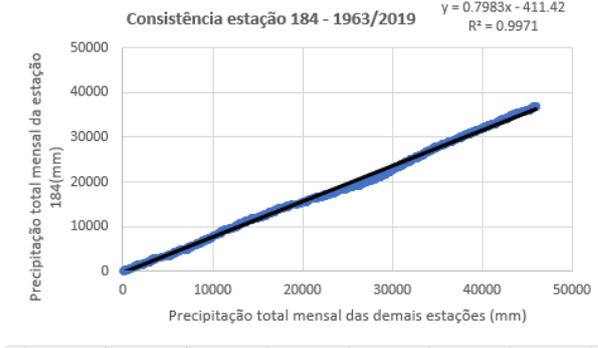
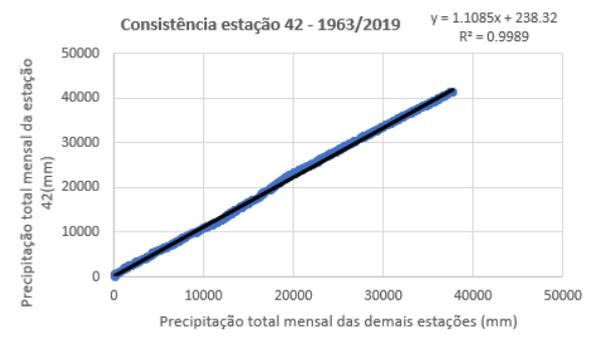
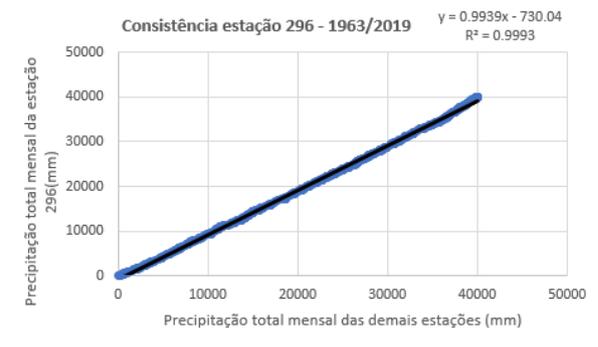
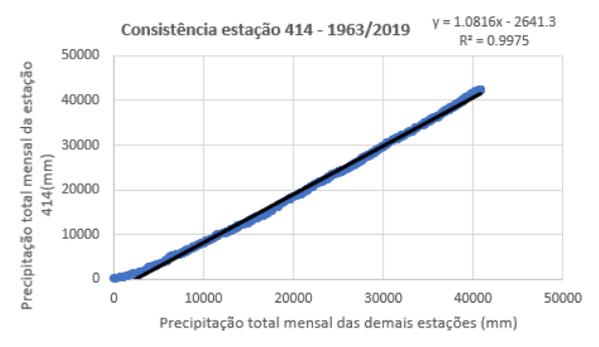
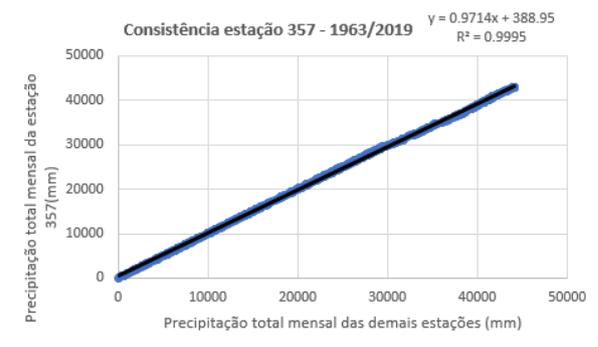


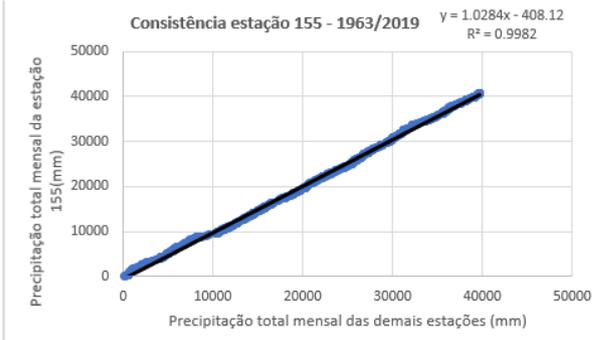
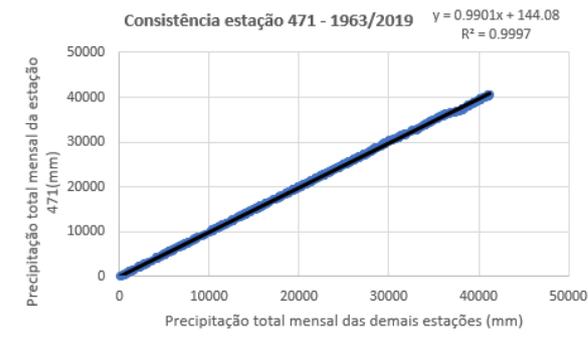
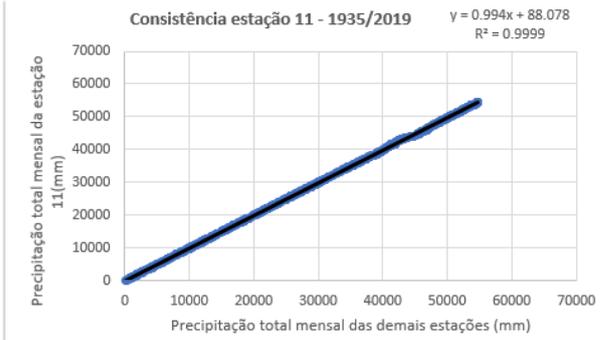
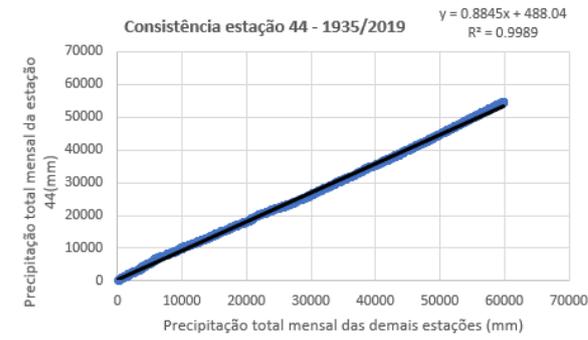
## Gráficos de consistência dos postos estudados para o método de Ponderação Regional com base em Regressões Lineares



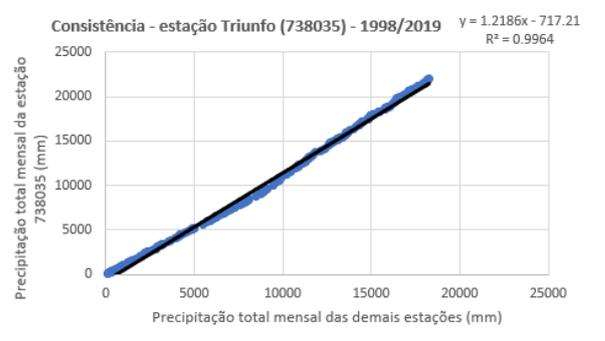
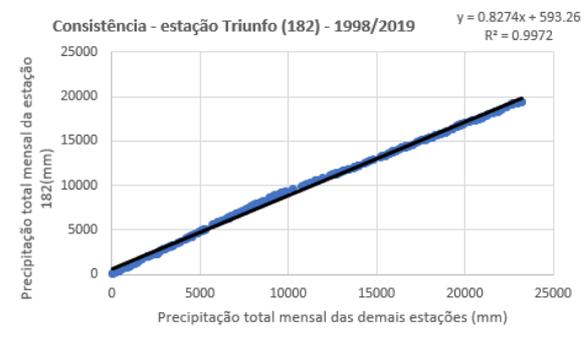
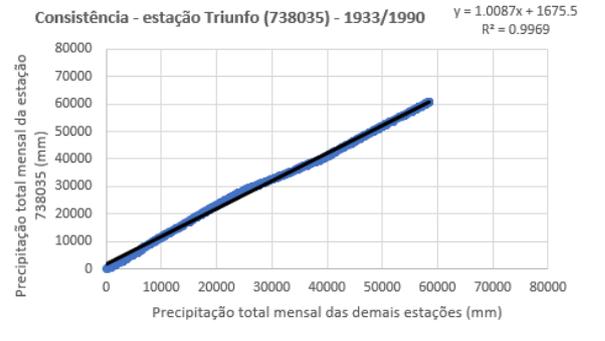
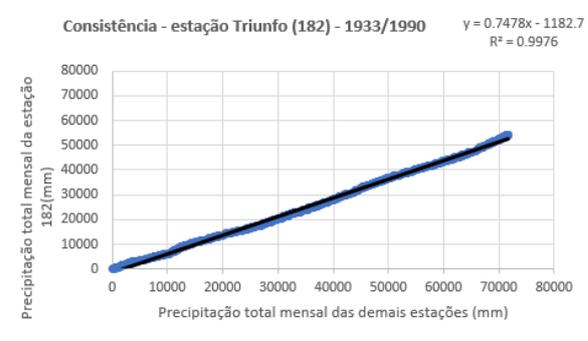


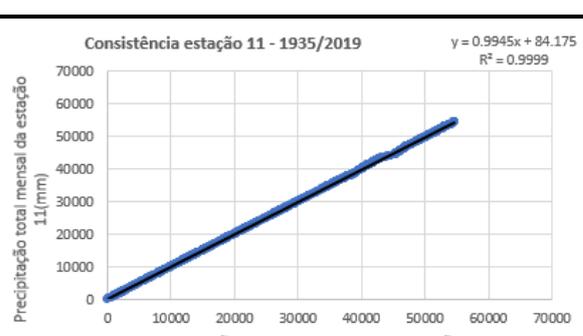
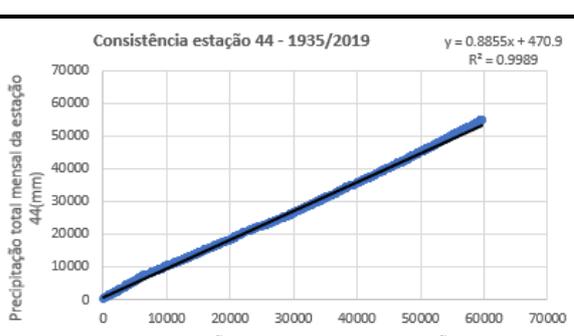
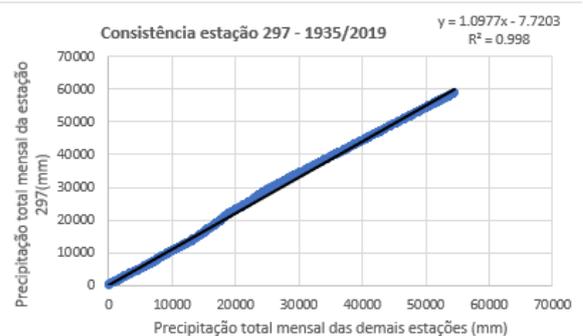
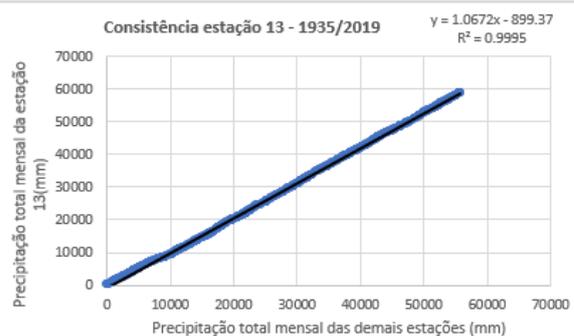
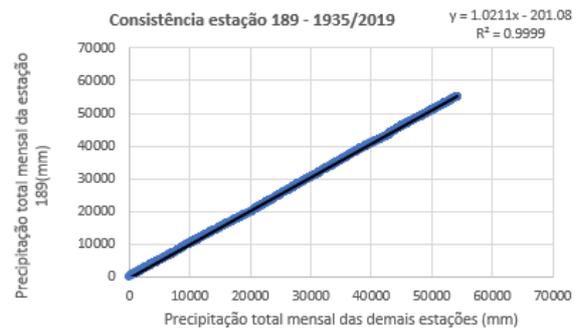
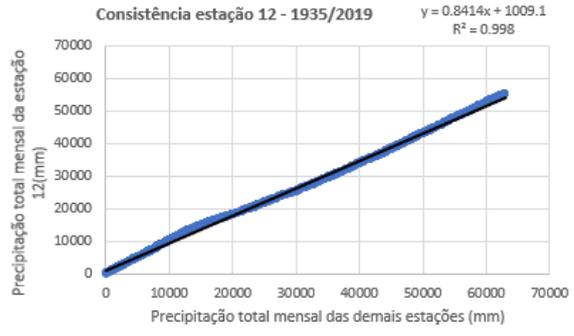


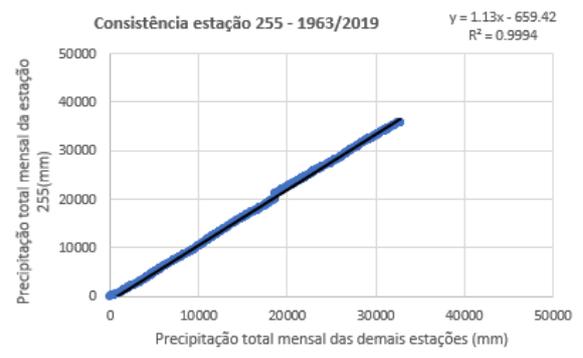
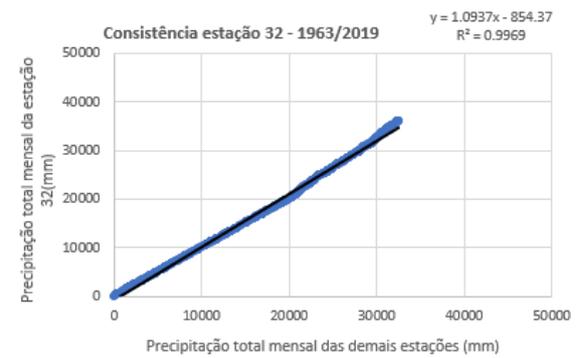
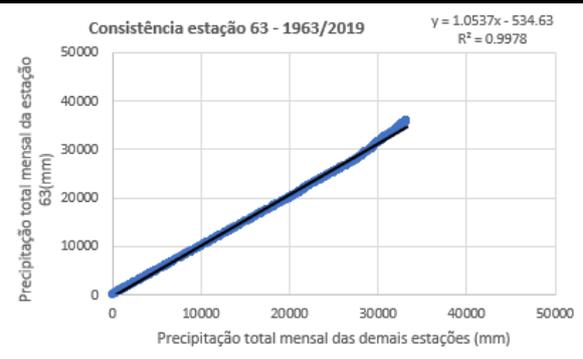
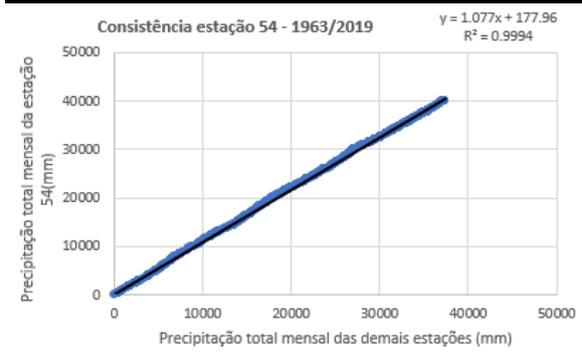
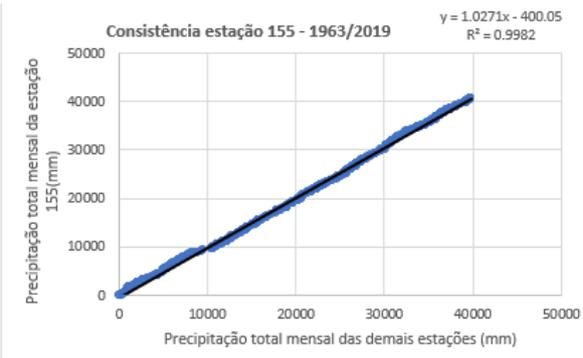
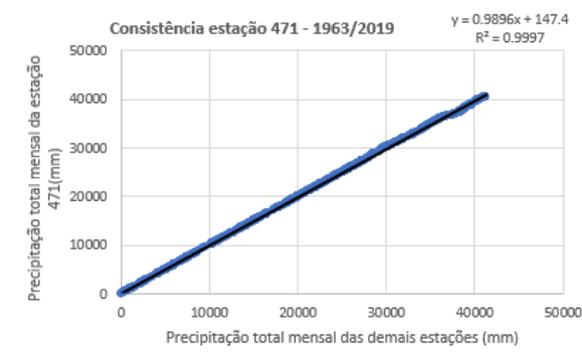


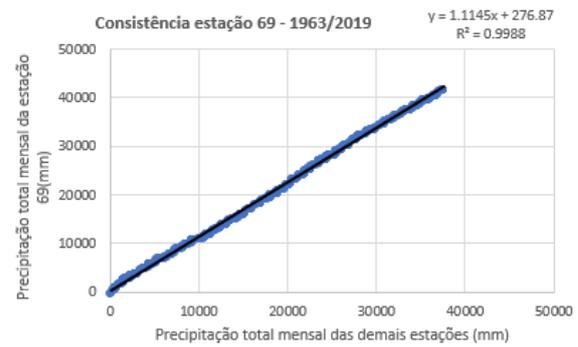
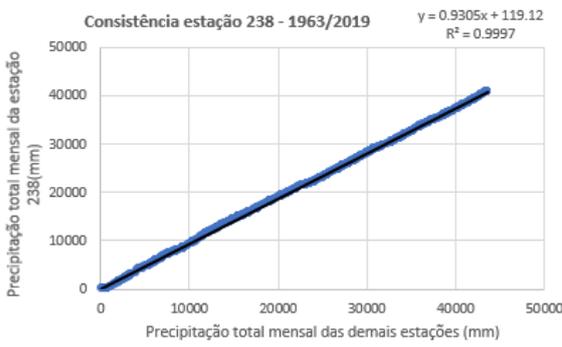
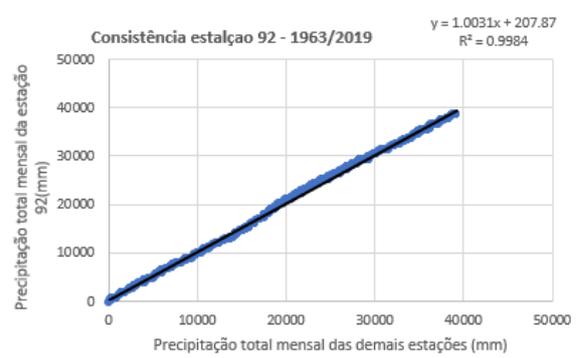
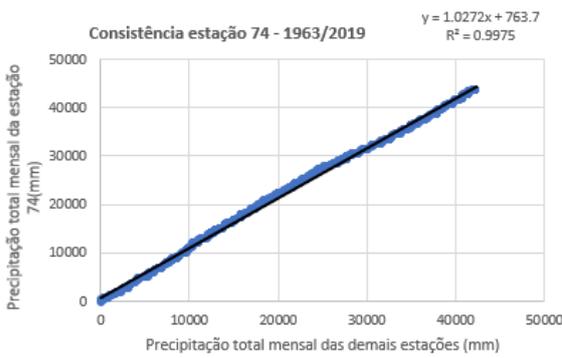
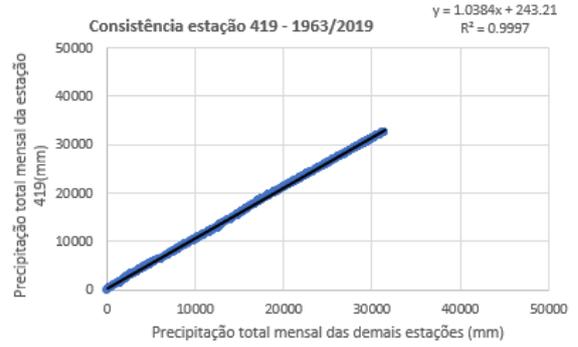
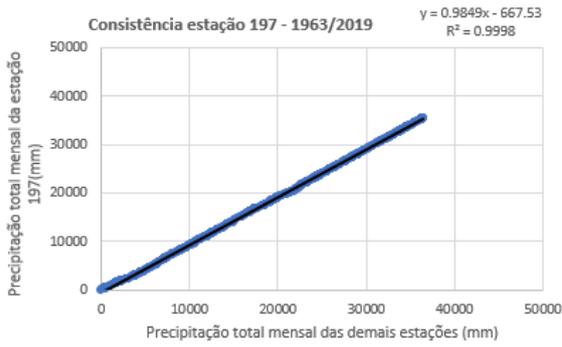
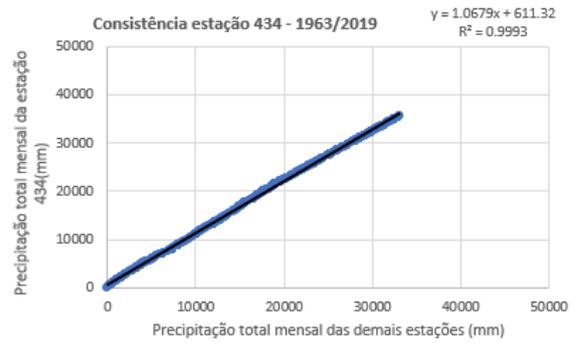
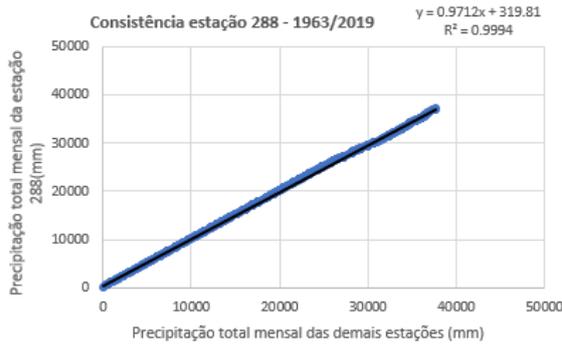


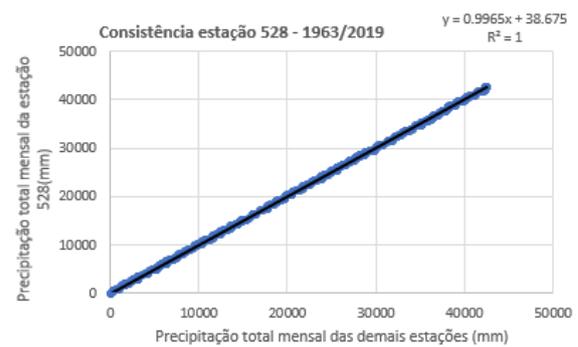
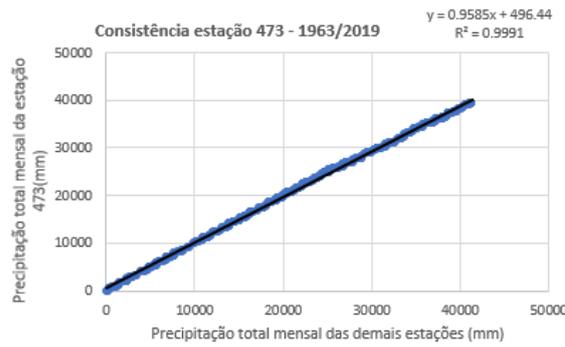
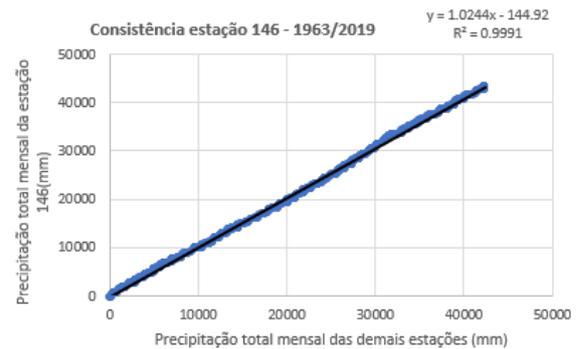
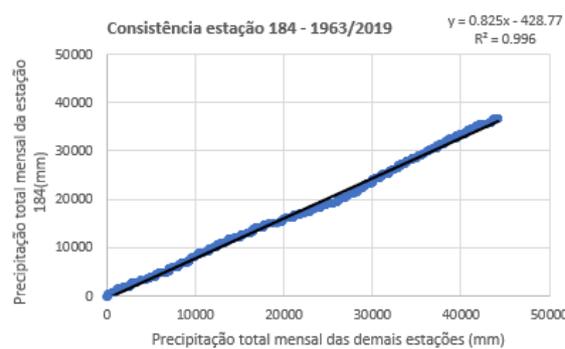
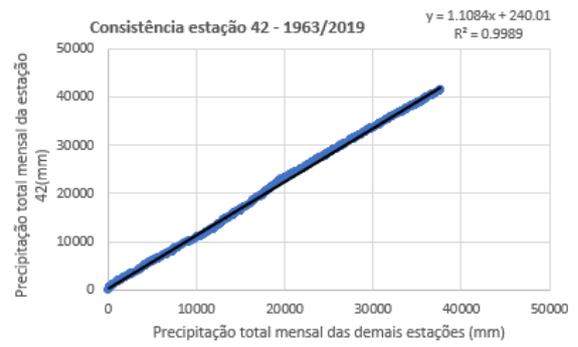
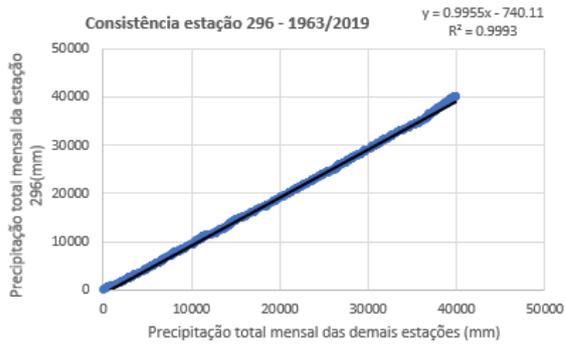
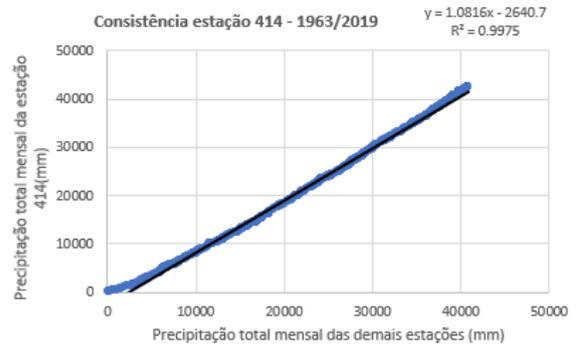
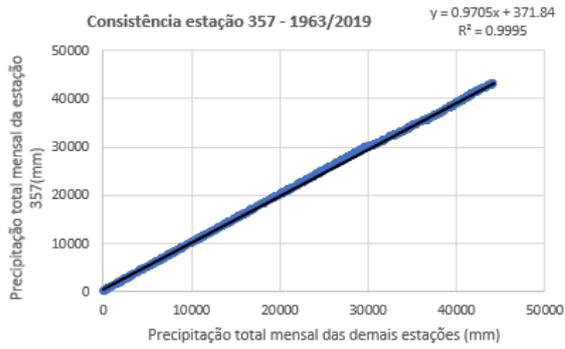
**Gráficos de consistência dos postos estudados para o método Regressão Linear Simples**



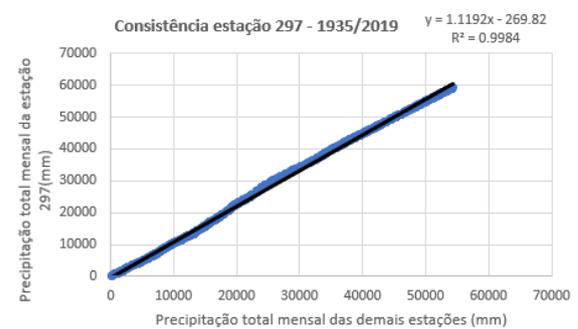
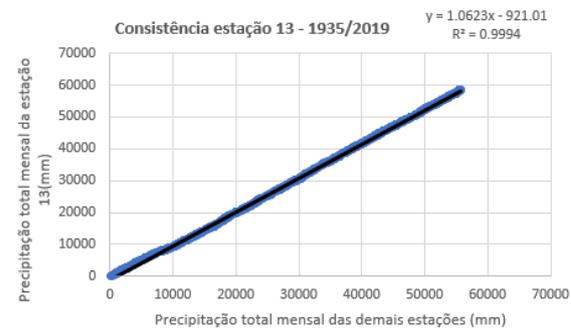
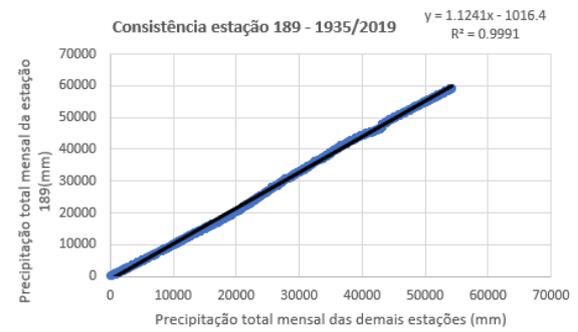
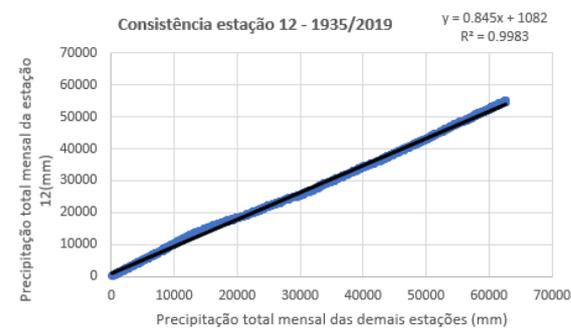
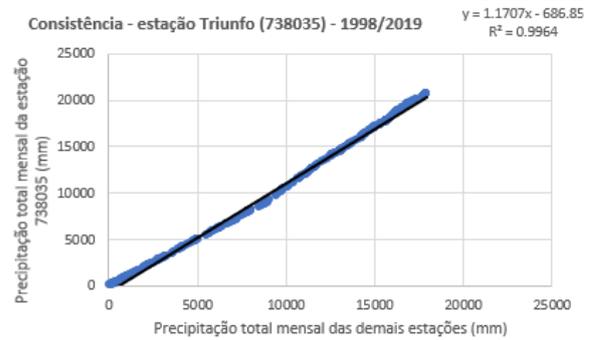
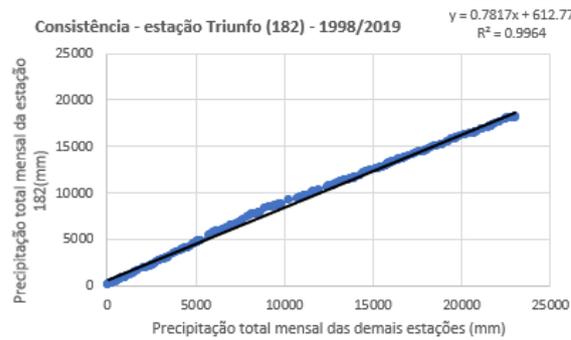
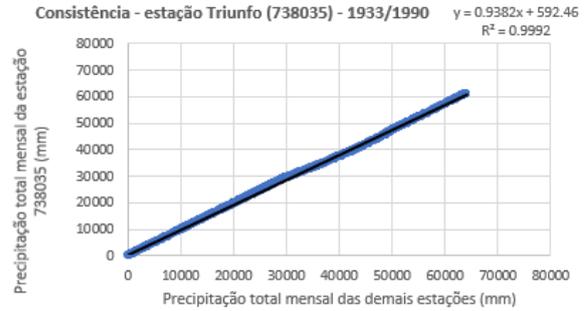
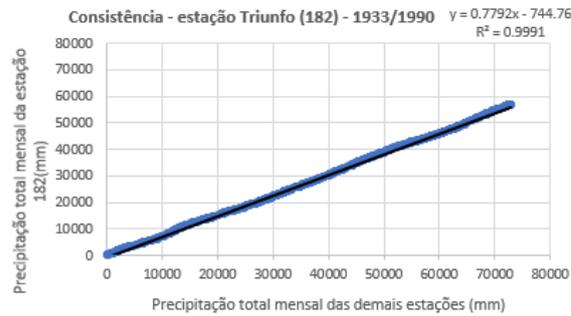


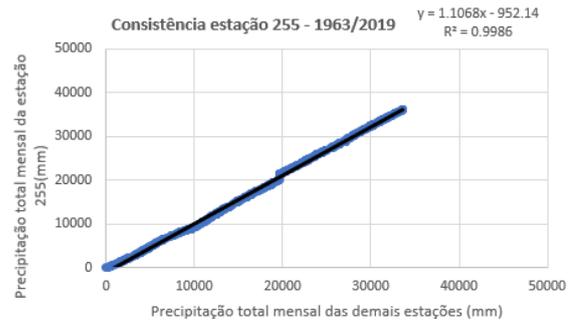
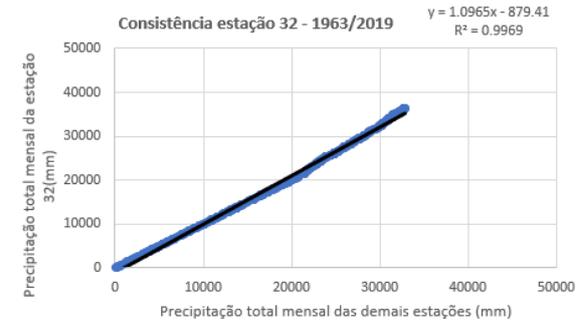
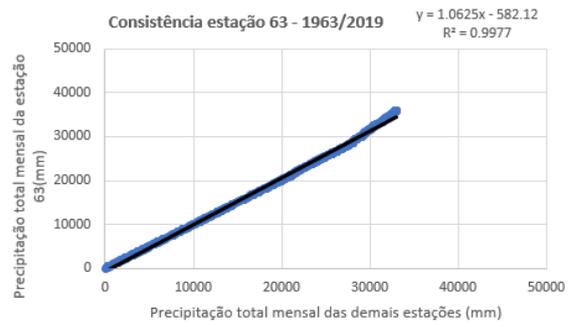
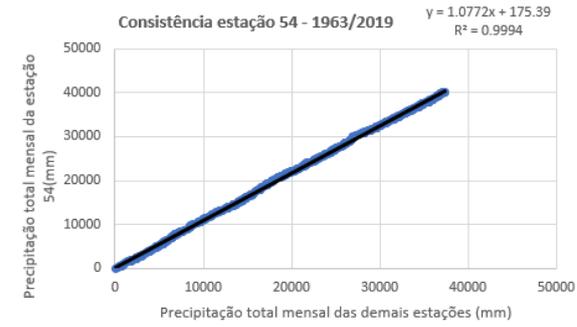
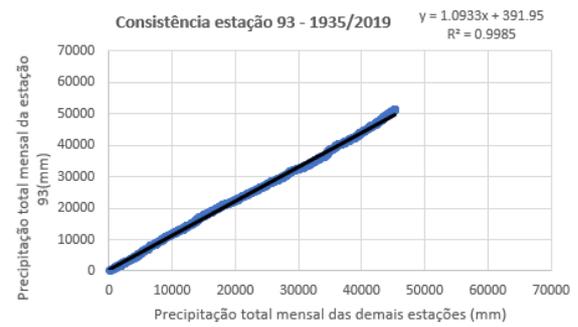
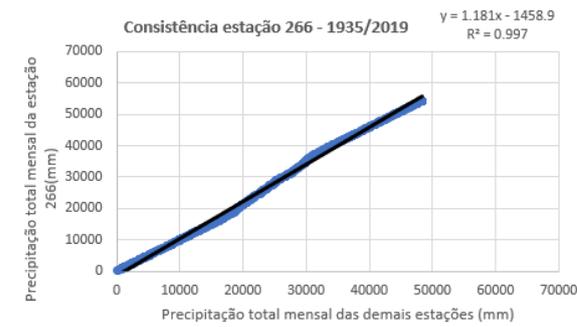
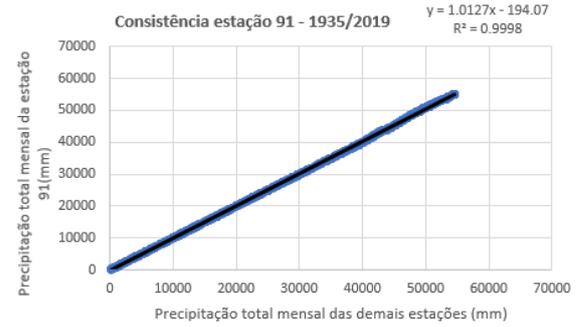
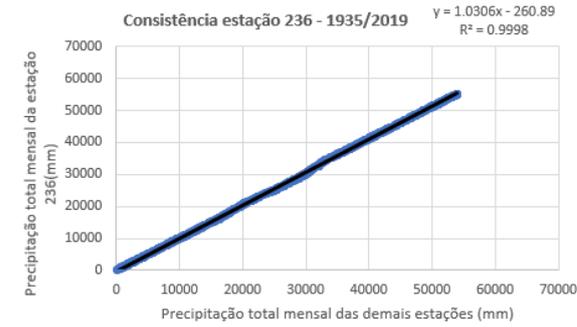


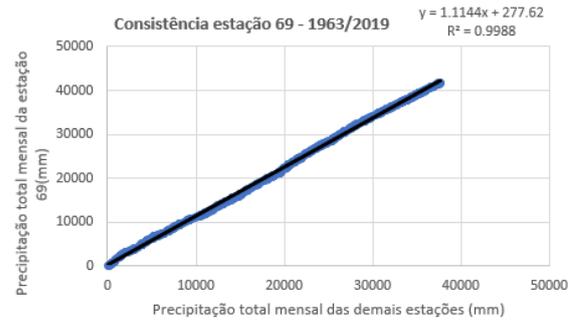
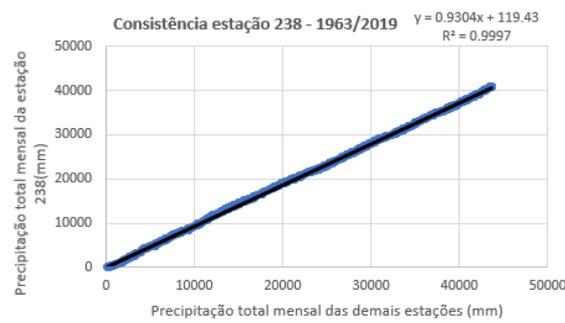
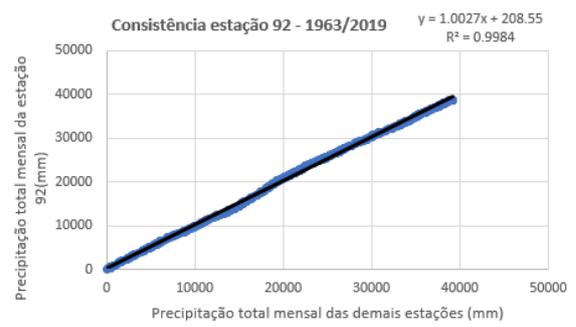
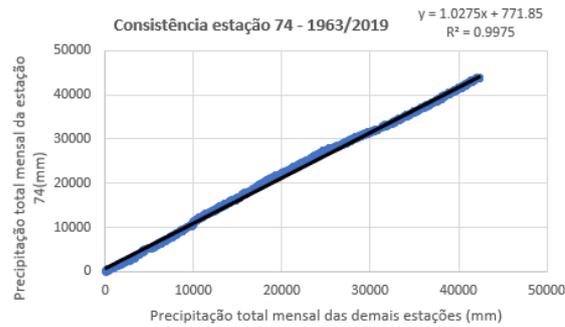
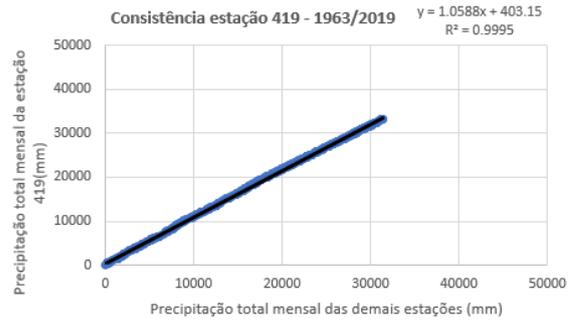
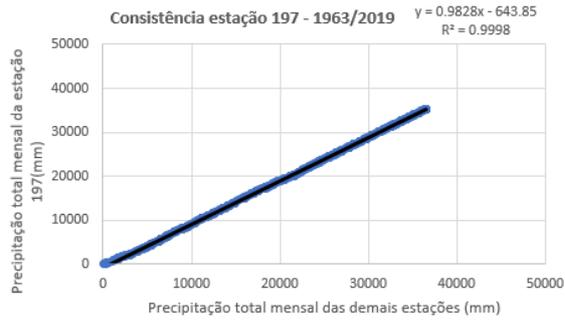
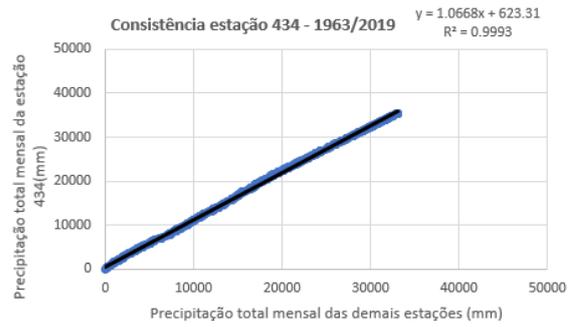
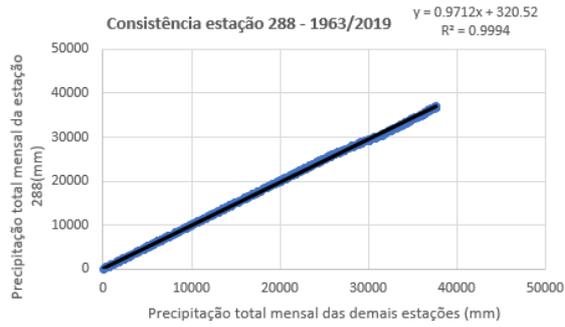


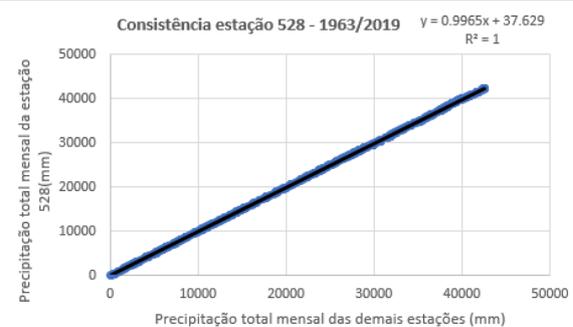
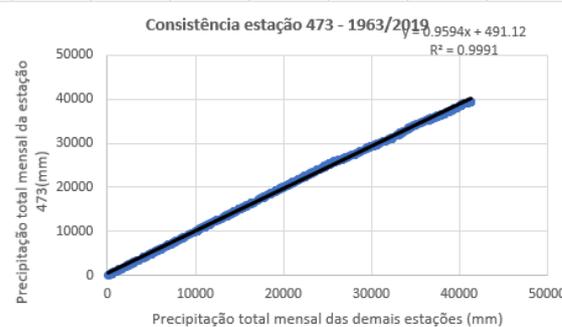
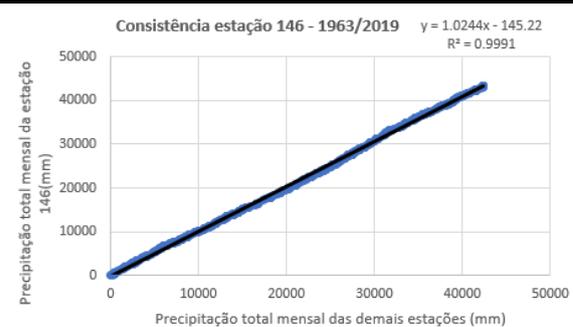
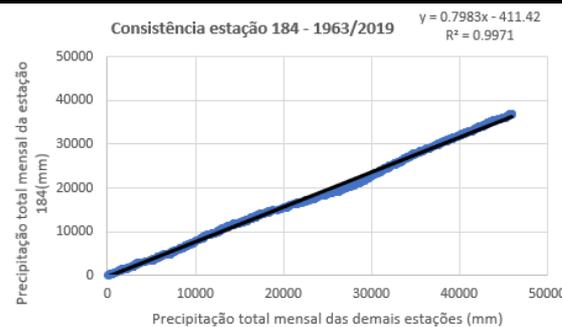
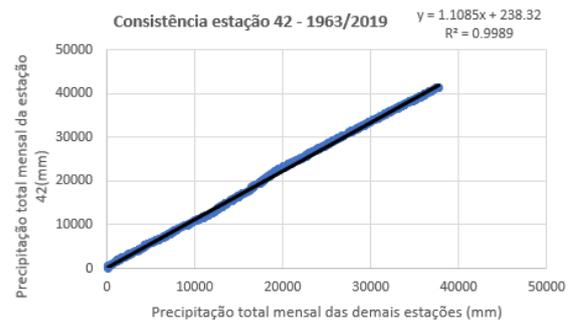
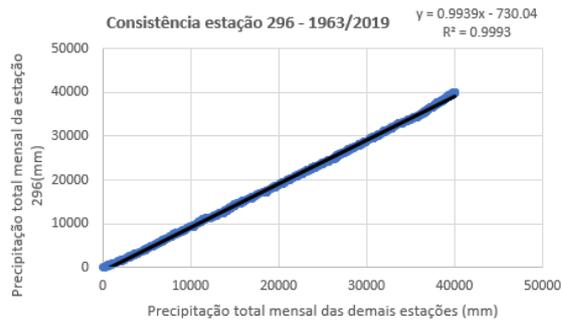
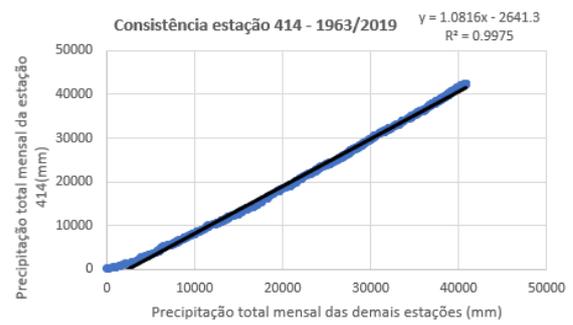
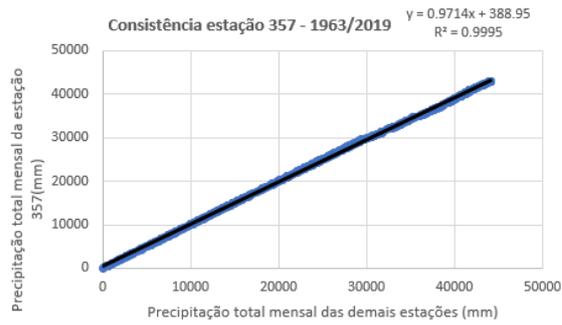


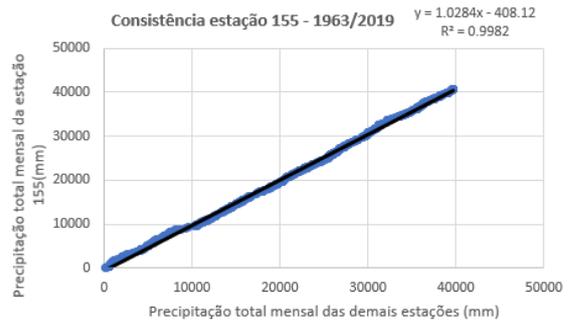
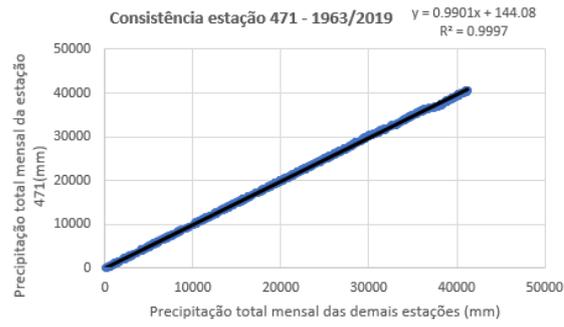
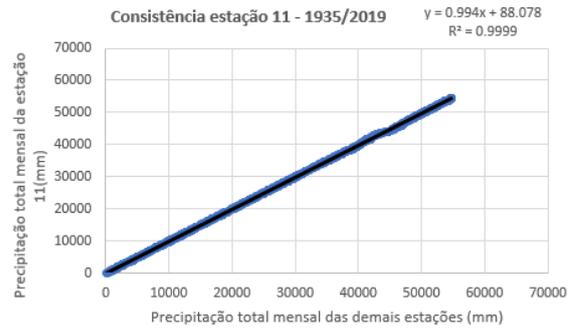
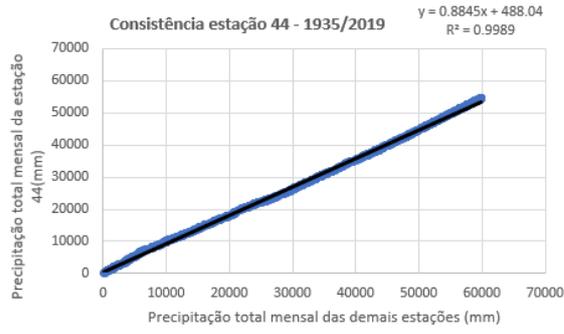
## Gráficos de consistência dos postos estudados para o método Regressão Linear Múltipla











# APÊNDICE B – PRECIPITAÇÃO EM FUNÇÃO DA MÉDIA

