

UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA

Autorização Decreto nº 9237/86. DOU 18/07/96. Reconhecimento:

Portaria 909/95, DOU 01/08-95

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIAS E CIÊNCIAS SOCIAIS

CAMPUS III – JUAZEIRO



DAISE FEITOZA DA ROCHA

**ANÁLISE PROBABILÍSTICA DA PRECIPITAÇÃO
PLUVIOMÉTRICA NA REGIÃO DO SUBMÉDIO DO VALE DO
SÃO FRANCISCO**

JUAZEIRO – BA

2022

DAISE FEITOZA DA ROCHA

**ANÁLISE PROBABILÍSTICA DA PRECIPITAÇÃO
PLUVIOMÉTRICA NA REGIÃO DO SUBMÉDIO DO VALE DO
SÃO FRANCISCO**

Monografia apresentada à Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais - UNEB/DTCS, Campus III, Curso de Engenharia Agrônoma, como um dos pré-requisitos para a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – TCC.

Orientadora: Dra. Gertrudes Macário de Oliveira

JUAZEIRO – BA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CPI)
Regivaldo José da Silva/CRB-5-1169

R672a Rocha, Daise Feitoza da

Análise probabilística da precipitação pluviométrica na região do Submédio do Vale do São Francisco / Daise Feitoza da Rocha. Juazeiro-BA, 2022.
54 fls.: il.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Gertrudes Macário de Oliveira.

Inclui Referências

TCC (Graduação – Engenharia Agrônômica) – Universidade do Estado da Bahia. Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais – DTCS. 2022.

1. Recursos hídricos – Teste de Mann-Kendall. 2. Recursos hídricos – Distribuição de probabilidade. 3. Recursos hídricos – Precipitação pluviométrica. 4. Recursos hídricos – Redes pluviométricas. 5. Recursos hídricos – Variabilidade da precipitação. 6. Recursos hídricos – Avaliação da eficiência. 7. Recursos hídricos – Região do Submédio do Vale do São Francisco. 8. Recursos hídricos – Diagnóstico pluviométrico. I. Oliveira, Gertrudes Macário de. II. Universidade do Estado da Bahia. Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais – DTCS. III. Título.

CDD: 551.480981

DAISE FEITOZA DA ROCHA

**ANÁLISE PROBABILÍSTICA DA PRECIPITAÇÃO
PLUVIOMÉTRICA NA REGIÃO DO SUBMÉDIO DO VALE DO
SÃO FRANCISCO**

Monografia apresentada à Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais - UNEB/DTCS, Campus III, Curso de Engenharia Agrônômica, como um dos pré-requisitos para a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – TCC.

Aprovado em 21 / 07 / 2022

BANCA EXAMINADORA

Gertrudes Macário de Oliveira

Prof. Dra. Gertrudes Macário de Oliveira (Presidente/Orientador)

Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais -III

THIAGO FRANCISCO DE SOUZA CARNEIRO NETO:06631968500 Digitally signed by THIAGO FRANCISCO DE SOUZA CARNEIRO
NETO:06631968500Date: 2022.08.05 14:32:54 -03'00'

Thiago Francisco de Souza Carneiro Neto (Primeiro examinador)

Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais -III

Iris Santana Gonçalves

Iris Santana Gonçalves (Segundo examinador)

Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais - III

JUAZEIRO - BA

2022

*À minha amada mãe, por todo amor, ensinamento
de honestidade e incentivo em toda minha
trajetória de vida, serei eternamente grata.*

Aos meus irmãos e sobrinho

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares, a minha mãe Maria Dalva Gomes da Rocha pelo amor, conselhos e incentivos, aos meus irmãos Paula e Italo pelo estímulo e apoio para o meu crescimento profissional, ao meu sobrinho Noah agradeço por sempre colocar alegria em meus pensamentos. Ainda gostaria de agradecer às minhas tias, às minhas primas e meu cunhado por sempre torcerem pelo meu sucesso. Obrigada família!

À Universidade do Estado da Bahia (UNEB), agradeço por possibilitar a realização desse sonho, por toda estrutura concedida, ao corpo docente (atual ou aos que não fazem mais parte da equipe) que de certa forma levarei para sempre os ensinamentos passados por cada um, servidores e terceirizados que direta ou indiretamente ajudaram quando necessário.

Um agradecimento especial a minha orientadora a Prof. Dra. Gertrudes Macário de Oliveira, a quem tanto admiro. Agradeço imensamente pelo suporte, pelos ensinamentos, pela amizade e por todas as palavras positivas e inspiradoras, pelos três anos e meio de Iniciação Científica, que possibilitou enriquecer a minha formação, e por fazer parte de mais uma finalização de ciclo da minha graduação. Sou muito grata de ter trabalhado ao seu lado nesta experiência. Aproveito para incluir o meu agradecimento a Prof. Dra. Rita de Cássia Mirela Resende Nassur, minha primeira orientadora, pelos ensinamentos durante as monitorias de ensino e por ser a minha inspiração de carreira no meio agrônômico.

Aos amigos que cultivo a longa data, Weltmam Filho agradeço pelo companheirismo, pelo convívio diário, por aguentar todos os meus surtos, pelo apoio oferecido sempre e confidências que só os grandes amigos fazem. À Theógenes Freire por seu apoio, amizade e carinho em todo momento, sem importar o tempo e a distância.

A todos aqueles amigos e colegas de curso que de alguma forma colaboraram a realização dessa graduação de suma importância para minha vida profissional e pessoal, sou grata em especial, à Camilla, Gabriela, Thiago Francisco, Tiago Nunes, Josemar, Diego, Thais, Edgo, Íris, Roniê e Allan.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para que esse sonho se realizasse. Obrigada!

RESUMO

As condições climáticas e suas mudanças são há muito tempo objeto de pesquisas para entender melhor o que está acontecendo em nosso meio ambiente. As mudanças climáticas no meio ambiente, independentemente de sua origem, causam efeitos diversos, principalmente na agricultura, podem causar sérios danos e colocar em risco as capacidades produtivas. Entre as variáveis meteorológicas, a precipitação pluviométrica, segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), vem sofrendo alterações nos seus mecanismos, como a frequência e intensidade das chuvas, que causam severos danos sociais, econômicos e ambientais. Considerando a importância da precipitação para a reposição de água ao solo, assegurando assim, o desenvolvimento das culturas, principalmente, na agricultura de sequeiro, o presente estudo objetiva realizar uma análise de tendência probabilística da precipitação pluviométrica na região do Submédio do Vale do São Francisco. Para tanto, foram utilizados dados das estações meteorológicas da Embrapa Bebedouro/Petrolina e de Mandacaru/Juazeiro, Uneb/Juazeiro, Univasf Juazeiro e Petrolina e INMET, referente ao período de 2006 a 2021. Para análise estatística da variabilidade climática da precipitação pluviométrica, dentro da série temporal escolhida, foram aplicados teste de Mann-Kendall. Para a estimativa dos valores de precipitação pluviométrica, foram ajustadas as distribuições de probabilidade: Gama, Weibull, Beta, Normal e Exponencial; e calculados os índices de anomalia da chuva (IAC) e índice de concentração da precipitação (ICP). Os resultados quanto a análise de tendência indicou redução da precipitação pluviométrica ao longo do período. Quanto à distribuição de probabilidade, o modelo de Weibull apresentou melhores resultados. A partir do Índice de Anomalia da Chuva (IAC) e índice de concentração da precipitação (ICP) verificou-se a ocorrência de eventos extremos de seca e chuva nas estações verão e primavera, para a região do Submédio do Vale do São Francisco.

Palavras-chave: Mann-Kendall; distribuição de probabilidade; chuvas.

ABSTRACT

Climatic conditions and their changes have long been the subject of research to better understand what is happening in our environment. Climate change in the environment, regardless of its origin, causes different effects, especially in agriculture, can cause serious damage and put in risk the productive capacities. Among the meteorological variables, rainfall measurements, according to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), has been undergoing changes in its mechanisms, such as the frequency and intensity of rainfall, which cause severe social, economic and environmental damage. Considering the importance of precipitation for the replacement of water in the soil, thus ensuring the development of crops, mainly in rainfed agriculture, the present study aims to carry out a probabilistic trend analysis of rainfall in the Sub-medium region of the São Francisco Valley. Furthermore, data from the meteorological stations of Embrapa Bebedouro/Petrolina and Mandacaru/Juazeiro, Uneb, Univasf Juazeiro and Petrolina and INMET were used, referring to the period from 2006 to 2021. For statistical analysis of the variability in the determination of the chosen rainfall series, the Mann-Kendall test was applied. To estimate the rainfall values, the probability distributions were adjusted: Gamma, Weibull, Beta, Normal and Exponential; and calculated the rainfall anomaly indices (RAI) and precipitation concentration index (PCI). The results regarding the trend analysis indicated a reduction in rainfall over the period. As for the probability distribution, the Weibull model showed better results. From the Rain Anomaly Index (RAI) and the Precipitation Concentration Index (PCI) it was verified the occurrence of extreme events of drought and rain in the summer and spring seasons, for the submiddle region of the São Francisco Valley.

Keywords: Mann-Kendall; probability distribution; rainfalls.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização e território das cidades Petrolina - PE e Juazeiro - BA. Fonte: Google Earth. Adaptado: Autora.	24
Figura 2. Distribuição espacial das estações meteorológicas localizadas nas cidades Petrolina – PE e Juazeiro - BA. Fonte: Google Earth. Adaptado: Autora.....	26
Figura 3. Índice de anomalia de chuva (IAC) na região do Submédio do Vale do São Francisco para o período de 2006 a 2021.	41
Figura 4. Valores do índice de concentração da precipitação (ICP) para o período de 2006 a 2021, na região do Submédio do Vale do São Francisco.	43
Figura 5. Índice de concentração da precipitação (ICP) sazonal na região do Submédio do Vale do São Francisco. Período 2006-2021.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação das intensidades das anomalias de precipitação anual de acordo com o Índice de Anomalia de Chuva (IAC).	22
Tabela 2. Detalhamento da localização das estações pluviométricas da região do Submédio do Vale do São Francisco utilizadas no presente estudo.	25
Tabela 3. Precipitação pluviométrica anual acumulada (mm), média ponderada anual e média histórica para cada estação meteorológica na região do Submédio do Vale do São Francisco. Período 2006-2021.	29
Tabela 4. Resultados da análise de tendência de Mann-Kendall dos dados diários para a precipitação mensal e anual das estações meteorológicas das cidades de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, no período: 2006-2021.	31
Tabela 5. P-valores do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, a uma probabilidade máxima de erro tipo I de 5%, para a precipitação pluviométrica mensal da região do Submédio do Vale do São Francisco. Período 2006-2021.	36
Tabela 6. Precipitação pluviométrica mensal provável (mm) para a região do Submédio do Vale do São Francisco, em diferentes níveis de probabilidade. Período 2006-2021.	38
Tabela 7. Precipitação mensal acumulada e média referente ao ano de 2022 para as seis estações meteorológica em estudo.	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 Caracterização da região	14
2.2 Teste de Mann-Kendall.....	15
2.3 Distribuição de probabilidade.....	17
2.3.1 Gama	17
2.3.2 Weibull.....	18
2.3.3 Beta	19
2.3.4 Normal	19
2.3.5 Exponencial.....	20
2.3.6 Método de Máxima Verossimilhança e Teste de Aderência	20
2.4 Índice de Anomalia da Chuva (IAC) e Índice de Concentração da Precipitação (ICP).....	21
3 MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1 Área de estudo	24
3.2 Aquisição de Dados Meteorológicos	25
3.3 Tratamento de dados.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Análise exploratória dos dados de precipitação.....	29
4.2 Análise de tendências nas séries temporais de precipitação pluviométrica..	30
4.3 Análise distribuição de probabilidade da precipitação pluviométrica.....	36
4.4 Análises do Índice de Anomalia da Chuva (IAC) e Índice de Concentração da Precipitação (ICP).....	41
5 CONCLUSÕES.....	46
6 REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

A meteorologia é a ciência que estuda o comportamento atmosférico, e as interações que ocorrem na superfície terrestre. Devido à tendência das mudanças climáticas, os elementos meteorológicos são aqueles que afetam a vida na Terra e hoje atraem a atenção das pessoas (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2022). Nos últimos anos, as mudanças climáticas e seu impacto no planeta se tornaram um dos desafios mais severos e discutidos para os cientistas e a sociedade como um todo (NASUTI et al., 2013).

Conforme o relatório de 2021 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as mudanças climáticas estão ocorrendo repentinamente em um ritmo crescente e estão causando cada vez mais eventualidades climáticas extremas, não exclusivamente avaliadas nas temperaturas globais, como também nas mudanças nos mecanismos de precipitação, como a frequência e intensidade das chuvas, que causam severos danos sociais, econômicos e ambientais. Diante desse cenário, produtores estão cada vez mais cientes das mudanças climáticas e dos padrões de precipitações, mesmo quando as adaptações estratégicas para esse fator ainda são escassas, o que pode resultar em uma maior vulnerabilidade na agricultura (PIRES et al., 2014).

Assim, os estudos hidrológicos e climatológicos se concentram na observação de séries temporais destinadas ao conhecimento climático, levando em consideração o grande impacto do clima em várias atribuições econômicas, como agricultura, pecuária, turismo, fornecimento e geração de energia elétrica (JUNQUEIRA et al., 2020). Em se tratando da produção agrícola, o uso de dados meteorológicos tem grande impacto, pois, o sistema agrícola é afetado por uma série de fatores ambientais, que podem afetar direta ou indiretamente sua produtividade (CHALLINOR et al., 2014).

Por certo, a precipitação é amplamente considerada por muitos pesquisadores e estudiosos como a variável climática mais importante nos trópicos (OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2014). Além disso, a compreensão da variabilidade, distribuição e tendências da precipitação ajuda a estudar o comportamento das águas superficiais e subterrâneas, bem como é importante para o dimensionamento de projetos de irrigação e agricultura, da mesma forma que possibilita o planejamento da gestão dos recursos hídricos (CRUZ et al., 2022; TUO et al., 2016).

Segundo Barros et al. (2021), o Brasil tem sido afetado por diversos eventos severos de secas e inundações nas últimas décadas. Os autores supracitados destacam que as secas são mais frequentes no Nordeste do Brasil, uma vez que abrange um clima majoritariamente semiárido, caracterizado por altas variações sazonais e interanuais na precipitação, acompanhada de chuvas extremas e eventos de seca. Angelotti et al. (2015) afirmam que os efeitos da precipitação anormal podem afetar severamente a produção agrícola, os recursos hídricos, o manejo da irrigação, a biodiversidade e os processos de desertificação.

Porquanto, o estudo da precipitação tem recebido atenção especial nas últimas décadas, evidenciando a importância de conhecer a variação temporal e espacial da distribuição das chuvas, em forma de pesquisa em áreas agrícolas, com o objetivo de entender e distinguir a tendência, frequência e intensidade das precipitações (LOPES et al., 2015; BALDO et al., 2021). A identificação de locais que estão sendo afetados por tendências meteorológicas proporciona estimar prováveis prejuízos que essas mudanças podem causar na atividade socioeconômica, ajudando os agricultores a tomar uma decisão a respeito dos riscos (SALVIANO et al., 2016).

Como a chuva é uma variável aleatória contínua, ela pode ser representada por alguma distribuição de probabilidade teórica (ALVES et al., 2013). Barreto et al. (2015) expõem que o uso de uma função de probabilidade está diretamente relacionado à natureza de seus dados associados, podendo ser estimado a partir de uma série de dados pluviométricos para calcular a probabilidade de ocorrência de chuvas, procedimento importante para a programação de atividades agrícolas e humanas.

Considerando a importância da precipitação para a reposição de água ao solo, assegurando assim, o desenvolvimento das culturas, principalmente, na agricultura de sequeiro, o presente estudo objetiva, realizar uma análise de tendência probabilística da precipitação pluviométrica na região do Submédio do Vale do São Francisco para o período de 2006 a 2021.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização da região

O Rio São Francisco percorre as regiões Sudeste, Centro-oeste e Nordeste do Brasil e abrange uma área de 639.219 km² e extensão de 2.700 km, nasce na Serra da Canastra, Minas Gerais, flui no sentido sul-norte pelos estados da Bahia e Pernambuco e, ao virar para o leste, passa por Alagoas e Sergipe até desaguar no Oceano Atlântico. A sua relevância não está unicamente relacionada a extensão territorial, mas também nos diversos usos da água do rio, principalmente: produção de energia, controle de enchentes, navegação, projetos de integração, irrigação e piscicultura, abastecimento humano e uso turístico da bacia (LONDOÑO-ARTEAGA, 2019).

O trecho submédio da Bacia do Rio São Francisco está localizado no semiárido do Nordeste brasileiro, no oeste do estado de Pernambuco e norte da Bahia, possui uma altitude que varia de 192 a 1271 metros, sendo a média de 400 metros. Tem uma área de aproximadamente 122 mil quilômetros quadrados e abrange um total de 83 municípios, sendo 59 no estado de Pernambuco e 24 localizada na Bahia (ASSIS, 2016).

A caatinga é uma vegetação característica do semiárido da Região Nordeste e ocupa uma área aproximadamente de 844.453 quilômetros quadrados, que corresponde a 11% do território Nacional. O semiárido brasileiro é classificado como espaço propenso à desertificação, conforme os critérios da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (United Nations Convention to Combat Desertification - UNCCD) (BRASIL, 2022; IBGE, 2020).

A maioria da Caatinga apresenta clima semiárido, caracterizado por temperaturas médias elevadas por volta de 25° e 30 °C, a evaporação e evapotranspiração possui altas taxas com valores em aproximadamente de 2.000 mm, e a umidade relativa do ar tem médias de 50% (TABARELLI et al., 2018; CGEE, 2016). A característica do semiárido é a escassez e irregularidade do regime de precipitação na estação chuvosa, que dura de 3 a 5 meses por ano, já a estação seca tem um tempo de variação de 7 a 9 meses. Além de variações da precipitação, existem oscilações nos totais anuais entre anos diferentes para um mesmo local, em média, entre 300 e 1200 mm (CGEE, 2016; ASSIS, 2016).

Em se tratando das cidades de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, as quais estão situadas no Semiárido brasileiro, são exemplos de crescimento agrícola devido ao

desenvolvimento de técnicas de irrigação aplicadas na área próxima ao Rio São Francisco (TEIXEIRA et al., 2018). Miranda (2017) expõe que existem 27 perímetros irrigados no Submédio do São Francisco com tecnologia moderna e de alta produtividade, envolvendo uma área de cerca de 283.000 hectares, e mais perímetros estão sendo implantados, possibilitando a expansão da fruticultura irrigada na região.

2.2 Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall é um método estatístico não paramétrico (MANN, 1945; KENDALL, 1975), recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliar tendências em séries temporais de dados ambientais (BRITO et al., 2022). Este teste não exige que os dados acompanhem qualquer distribuição específica e é utilizado para apontar se uma série temporal tem uma tendência positiva ou negativa (BARROS et al., 2021).

O teste é embasado na correlação entre os valores da série temporal e sua ordem temporal, com a hipótese nula (H_0) de que as observações são independentes e identicamente distribuídas (sem tendência), e a hipótese alternativa de que há uma monotônica tendência (positiva ou negativa). Para séries temporais x_1, x_2, \dots, x_n , o teste de Mann-Kendall para análises estatísticas é representado pela Equação 1 (BARROS et al., 2021).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{ sinal } (X_j - X_i) \quad (1)$$

Sendo, X_i os valores da série, em geral tomados em intervalos de tempo anuais, i e j os índices de tempo e n é o número de elementos da série. O termo sinal ($X_j - X_i$) é definido por Brito et al. (2022) da seguinte forma:

$$\text{ sinal } (X_j - X_i) = \begin{cases} +1 & \text{se } (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (X_j - X_i) = 0 \\ -1 & \text{se } (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Assumindo que os dados são independentes e identicamente distribuídos (hipótese nula), a média da estatística S é zero, $E(S)=0$, e a variância é calculado pela Equação 3 (BARROS et al., 2021):

$$Var[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (3)$$

onde q é o número de grupos contendo valores iguais e t_p o número de observações no p -ésimo grupo. A estatística do teste Z com distribuição normal é calculada a partir do valor S e $Var(S)$:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, S > 0 \\ 0, S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Quando Z possui valor positivo significa que a tendência é crescente, no mesmo tempo que o valor negativo de Z indica tendências de queda. Para o teste, o p -valor (pv) é calculado como:

$$pv = 2 \min(\Phi(Z), 1 - \Phi(Z)),$$

onde $\min(.,.)$ simboliza o mínimo dos dois argumentos e $\Phi(.)$ é a função de distribuição cumulativa da distribuição normal padrão – a hipótese nula é rejeitada se o valor p da estatística padronizada do teste Z for menor que o nível de significância escolhido. Sendo assim, decrescente quando Z for negativo e crescente quando Z for positivo e pv for menor que α , para o nível de significância $\alpha = 0,05$ (BARROS et al., 2021).

Há muitas pesquisas sendo realizadas em torno desse tema, por exemplo, o estudo de Brito et al. (2022), em que analisa a tendência da precipitação para estações pluviométricas na Amazônia Central, os autores identificaram que para o teste de

tendência de Mann-Kendall, os dados anuais de 6 estações entre 1994 e 2017 não foram estatisticamente significativos, apenas na estação C no norte da área de estudo, a tendência foi positiva (0,02), ou seja, a precipitação aumentou.

Junqueira et al. (2020) realizaram um estudo sobre a análise da Variação Sazonal e de Tendências na Precipitação Pluviométrica no Município de Juazeiro-BA, entre os anos de 1980 e 2012, constataram que a análise de tendências pelo método de Mann-Kendall mostrou que a escassez de água na região se agravou ao longo dos anos, com a precipitação média caindo 7,5 mm por ano.

Também, Silva-Júnior, Fonseca-Neto e Cabral (2020) realizaram estudo com a mesma temática. Esses autores analisaram as tendências climáticas de séries de precipitações máximas e totais (mensal e anual), no período de 1961 a 2017, na cidade litorânea Recife-PE; constataram através dos testes de Mann-Kendall e Curvatura de Sen, que apenas para os meses de março e setembro, houve uma tendência negativa e estatisticamente significativa na série temporal da precipitação total.

Baldo et al. (2021), após análise de diversos trabalhos, constataram que independentemente das escalas de tempo e espaço, as tendências positivas e negativas não são consistentes, mas muito pontuais. E, tendo em vista as tendências serem pontuais, os autores expõem a necessidade de realizar uma análise cuidadosa dos dados diários de um determinado lugar, não só considerando a precipitação, mas também o número de dias com precipitação nas mais diversas escalas de análise.

2.3 Distribuição de probabilidade

O uso de modelos probabilísticos na avaliação de prováveis chuvas em um determinado local é importante não apenas no planejamento de atividades agrícolas, pois permite determinar a melhor época de preparo do solo, colheita, semeadura, aplicação de fertilizantes, defensivos agrícolas e a lâmina de irrigação adicional, mas também em outras atividades como construção civil, turismo e transporte (ULIANA et al., 2013; ÁVILA et al., 2009).

2.3.1 Gama

Comumente utilizado para representar dados de precipitação, devido à sua versatilidade na forma de distribuição, o que a torna bastante flexível, sendo frequentemente utilizada para este fim (SILVA, 2021a). Vários estudos indicam que a distribuição Gama é o meio probabilístico mais confiável para determinar os totais mensais de precipitação (PASSOS et al., 2017). A distribuição Gama é dada por sua função de densidade de probabilidade (fdp):

$$fdp_G(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}; x > 0 \quad (5)$$

onde $\alpha > 0$ é o parâmetro de forma, $\beta > 0$ é o parâmetro de escala e Γ é a função Gama. Valores α gradualmente maiores levam a uma redução na assimetria e a um deslocamento do fdp para a direita. Para valores α muito grandes (possivelmente maiores que 50 a 100), a distribuição gama tende a se aproximar da forma da distribuição normal. Sendo α sempre adimensional (SILVA, 2021a).

O efeito do parâmetro de escala β é efetivamente esticar ou comprimir (ou seja, dimensionar) a fdp Gama para a direita ou esquerda, dependendo das magnitudes gerais dos valores de dados modelados. O parâmetro de escala β tem a mesma unidade de medida (mm) que o da variável x (SILVA, 2021a).

2.3.2 Weibull

A distribuição Weibull foi proposta por Weibull (1939) e sua aplicabilidade foi estudada por Weibull (1951). Desde então, tem sido utilizado em estudos de vida e previsão de falhas de equipamentos, ajustando-se bem à distribuição de frequência dos dados de precipitação. A escolha desta distribuição está relacionada à sua flexibilidade e à estimação de apenas dois parâmetros (SILVA, 2021a). A expressão é dada por:

$$fdp_W(x) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}; x > 0 \quad (6)$$

em que $\alpha > 0$ é o parâmetro de forma e $\beta > 0$ é o parâmetro de escala. A forma da distribuição Weibull também é controlada por dois parâmetros iguais à distribuição

Gama, se $\alpha < 1$ produz uma forma de "J" invertido e uma forte assimetria positiva, e se $\alpha = 1$, a distribuição Weibull também se reduz a uma distribuição exponencial (SILVA, 2021a).

2.3.3 Beta

A distribuição Beta tem como característica a flexibilidade, e assume muitas formas diferentes, a depender dos valores especificados de seus parâmetros α e β (SILVA, 2021a). É representada pela expressão:

$$f_{dp_B}(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)(b - a)^{\alpha + \beta + 1}} (x - a)^{\alpha - 1} (b - x)^{\beta - 1}; 0 < x < 1 \quad (7)$$

Em que $\alpha > 0$ e $\beta > 0$. No modelo, os parâmetros α e β definem a forma da distribuição, e os valores a e b representam os valores extremos da distribuição. No formato padrão, $\alpha = 0$ e $\beta = 1$. Em geral, se $\alpha \leq 1$, as probabilidades se concentram perto de zero (tendo como exemplo, $\alpha = 0,25$ e $\beta = 2$ ou $\alpha = 1$ e $\beta = 2$), e em torno de 1 para $\beta \leq 1$. Se ambos os parâmetros forem menores que 1, a distribuição será em forma de U. Tem uma concavidade descendente entre 0 e 1 se para $\alpha > 1$ e $\beta > 1$ (exemplificando, $\alpha = 2$ e $\beta = 4$ ou $\alpha = 10$ e $\beta = 2$). A distribuição é simétrica se $\alpha = \beta$, assimétrica negativa se $\alpha > \beta$ e assimétrica positiva se $\alpha < \beta$ (SILVA, 2021a).

2.3.4 Normal

Segundo Forbes et al. (2011), a distribuição Normal desempenha um papel central na estatística clássica. Essa distribuição foi descrita pela primeira vez em 1733 pelo matemático francês De Moivre, cujo desenvolvimento é muitas vezes referido a Gauss, que aplicou a teoria ao movimento dos corpos celestes. Também conhecida como distribuição gaussiana, seu gráfico é uma curva em forma de sino. Sua importância se deve a vários fatores, incluindo o teorema central do limite (SILVA, 2021a).

Hazen (1914) apresentou um dos primeiros trabalhos sobre a aplicação da distribuição Normal à análise de dados hidrológicos. Markovic (1965) descobriu que a distribuição Normal pode ser usada para ajustar a distribuição dos dados de chuva. Sua

função de densidade de probabilidade (fdp) é representada da seguinte forma (SILVA, 2021a):

$$fdp_N(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

em que $\mu, \sigma \in \mathbb{R}, \sigma > 0$. Quando uma variável tem uma distribuição Normal com média μ e variância σ^2 , geralmente é representada como $X \sim N(\mu, \sigma^2)$. A média de uma variável Normal X é igual ao parâmetro de posição, em torno do qual os valores de X são espalhadas simetricamente. O grau de dispersão da variável X em torno de μ , é dado pelo parâmetro de escala, que é igual a σ^2 (SILVA, 2021a).

2.3.5 Exponencial

Este é um caso especial da distribuição Gama, com $\alpha = 1$. A distribuição Exponencial frequentemente se adequa para dados com forte assimetria, e o histograma tem uma forma de "J" invertido. Uma variável aleatória X tem uma distribuição exponencial, sendo o parâmetro de escala $\beta > 0$ (SILVA, 2021a), é representada pela expressão:

$$fdp_E(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x}{\beta}}; x \geq 0 \quad (9)$$

2.3.6 Método de Máxima Verossimilhança e Teste de Aderência

Na hidrologia, destaca-se o uso do método de máxima verossimilhança, pois é um método na qual as estimativas são obtidas a partir da maximização da função de verossimilhança (SILVA, 2021a). Assim sendo, o método é utilizado para as estimativas dos parâmetros para todas as distribuições probabilísticas supracitadas (SANTIAGO et al., 2021).

Para verificar a adequação da distribuição de probabilidade dos dados, utiliza a aplicação do teste de adesão de Kolmogorov-Smirnov, com probabilidade máxima de erro tipo I de 5% (SANTIAGO et al., 2021). É um teste não paramétrico baseado na diferença máxima entre as funções de probabilidade cumulativa, empírica e teórica, de variáveis aleatórias contínuas, ou seja, a estatística do teste procura a maior diferença absoluta entre o valor empírico e as funções de distribuição cumulativa ajustadas. Todo conjunto de dados real e finito terá variabilidade de amostragem que resulta em um valor diferente de zero, mesmo que a hipótese nula seja verdadeira e a distribuição teórica se adequa muito bem ao modelo (SILVA, 2021a).

2.4 Índice de Anomalia da Chuva (IAC) e Índice de Concentração da Precipitação (ICP)

O índice de anomalia de chuva (IAC) é um método utilizado e propagado no Nordeste brasileiro para caracterizar os períodos de seca e chuvas extremas, e a intensidade variável desses eventos ao longo do tempo e espaço (ASSIS et al., 2015). Araújo et al. (2009a) constataram que o IAC também pode ser utilizado como ferramenta para monitorar o clima de um local, até no caso uma bacia hidrográfica, e através desse monitoramento também pode fazer previsões e diagnósticos da climatologia regional.

Os valores do IAC variam de negativo a positivo, sendo anomalias positivas valores acima da média histórica de precipitação, significando que o ano foi chuvoso e as anomalias negativas são valores abaixo da média histórica, que representam os anos secos (ASSIS et al., 2015). Por isso, e pela simplicidade de execução, o uso do IAC prevalece sobre outros métodos mais complexos em estudos que visam analisar anomalias de precipitação em diferentes partes do mundo (COSTA, 2019).

Utilizando dados completos e consistentes, o cálculo do IAC anual é por meio da aplicação das Equações 10 e 11, desenvolvidas por Van Rooy (1965) e adaptadas por Freitas (2010).

$$IAC = 3 \left[\frac{n - N}{M - N} \right] \text{ Para anomalias positivas.} \quad (10)$$

$$IAC = -3 \left[\frac{n - N}{X - N} \right] \text{ Para anomalias negativas.} \quad (11)$$

Em que:

n: precipitação observada atualmente (mm) (ano em que o IAC foi calculado);

N: precipitação média da série histórica (mm);

M: a média dos dez maiores valores anuais;

X: média dos dez valores anuais mais baixos.

Em relação à classificação IAC para anos secos e úmidos, o regime de precipitação pode ser classificado em consonância com a proposta de Araújo et al. (2009b) (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação das intensidades das anomalias de precipitação anual de acordo com o Índice de Anomalia de Chuva (IAC).

IAC	Classificação
$\geq 4,00$	Extremamente Úmido
2,00 a 3,99	Muito Úmido
0,00 a 1,99	Úmido
-2,00 a -0,01	Seco
-4,00 a -1,99	Muito Seco
$\leq -4,00$	Extremamente Seco

Fonte: Adaptado de Araújo (2009b) e Costa (2019).

O Índice de Concentração da Precipitação (ICP), desenvolvido por Oliver (1980), destina-se a estipular a intensidade de concentração ou a sazonalidade da chuva. O ICP baseia-se na disposição mensal de precipitações, fornecendo informações sobre a variabilidade total da precipitação ao longo de uma série temporal, sendo computado em escala anual e sazonal, quanto maior a concentração da chuva, maior será o valor de ICP (JUNQUEIRA et al., 2020).

Para determinar a concentração e a sazonalidade da precipitação, bem como o índice de concentração de precipitação (ICP), tem-se a expressão:

$$ICP (anual) = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{(\sum_{i=1}^{12} p_i)^2} \quad (12)$$

Em que: p_i é a precipitação mensal no mês i (JUNQUEIRA et al., 2020).

Para nível sazonal, o índice é obtido através da Equação 13, considerando os meses equivalentes às estações da primavera, verão, outono e inverno (DE LUIS et al., 2011).

$$ICP (sazonal) = 25 \times \frac{\sum_{i=1}^3 p_i^2}{(\sum_{i=1}^3 p_i)^2} \quad (13)$$

Conforme descrito por Oliver (1980), valores abaixo de 10 mostram uma distribuição de precipitação mensal homogênea ao longo do ano, enquanto valores entre 11 e 20 indicam sazonalidade na distribuição de precipitação, e para valores acima de 20, indicam zonas climáticas com nítidas variações na precipitação mensal.

O valor mais baixo para o ICP é de 8, o que indica uma excelente regularidade na distribuição da chuva. Do mesmo modo, valores próximos de 16,7 mostram que a precipitação total se concentrou no meio do período e valores de ICP superiores a 25, indicam que o total de precipitação sucedeu em 1/3 do período, isto significa, que no caso do período anual, o ICP alto aponta que a precipitação pluviométrica está concentrada exclusivamente em quatro meses; a utilização desse índice possibilita analisar a variabilidade espacial da precipitação mensal em uma área de estudo demarcada (SIQUEIRA e NERY, 2021).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo envolve o Submédio do São Francisco, que compreende o Polo de Desenvolvimento Petrolina-Juazeiro, pertencentes aos estados de Pernambuco e Bahia, respectivamente, situada às margens do Rio São Francisco. A região de estudo representa a maior concentração urbana do Semiárido brasileiro (JUNQUEIRA et al., 2020).

A cidade de Petrolina-PE (Lat. 9° 23' 39" S; Long. 40° 30' 35" W; Alt. 376 m) possui uma extensão territorial de 4.561,870 km², conta com uma população estimada de 359.372 habitantes. Já a cidade de Juazeiro no estado da Bahia (Lat. 9° 24' 50" S; Long. 40° 30' 10" W; Alt. 368 m), possui um território de 6.721,237 km², com aproximadamente 219.544 habitantes (IBGE, 2021) (Figura 1).

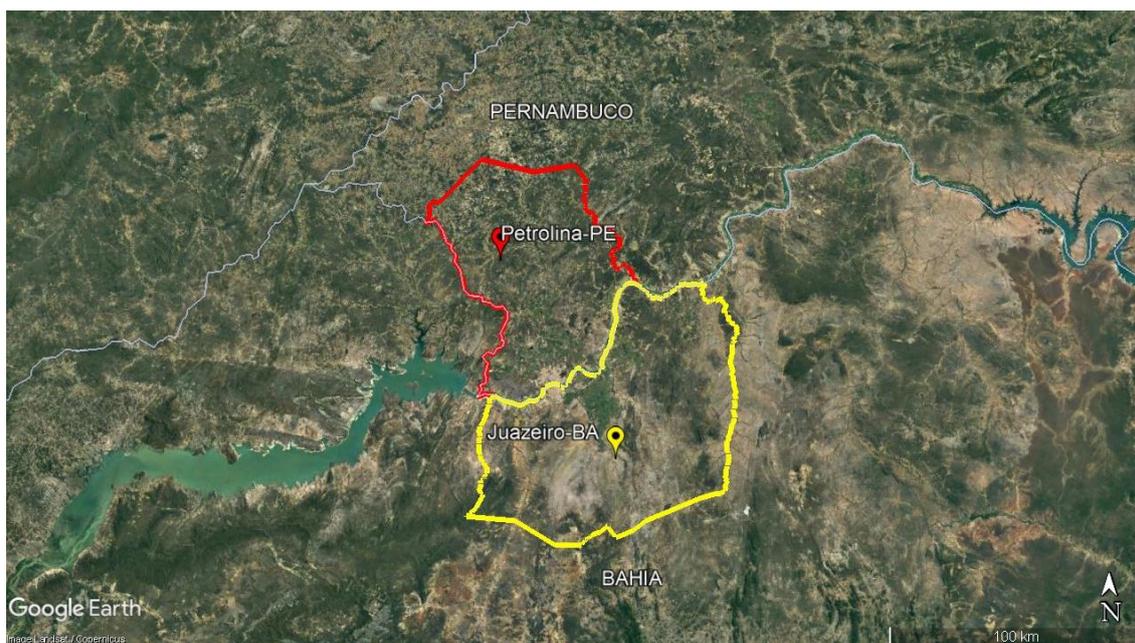


Figura 1. Localização e território das cidades Petrolina - PE e Juazeiro - BA. Fonte: Google Earth. Adaptado: Autora.

A região onde está inserida Petrolina e Juazeiro, apresenta clima do tipo Bswb', semiárido, segundo a classificação climática de Köppen (PASSOS et al., 2010). A região semiárida do Nordeste brasileiro se destaca por alta incidência de radiação solar, elevadas

temperaturas e baixos índices pluviométricos, com distribuições irregulares de chuvas, em média, 500 mm anual de precipitações, concentradas durante três meses (ANGELOTTI et al., 2009; TORRES e MACHADO, 2011).

3.2 Aquisição de Dados Meteorológicos

Para o presente estudo, foram obtidos dados diários de séries temporais de precipitação pluviométrica das estações meteorológicas da Embrapa Semiárido - Bebedouro/Petrolina e Mandacaru/Juazeiro; Universidade do Estado da Bahia *campus* Juazeiro-BA; estações meteorológicas automáticas da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), *campus* de Juazeiro-BA e Petrolina-PE e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referente ao período de 2006 a 2021. Como critério para a escolha das estações, adotou-se a disponibilidade de dados para variável climatológica estudada. Na Tabela 2 verifica-se a localização e as coordenadas geográficas de cada estação e na Figura 2, a distribuição espacial das estações meteorológicas.

Tabela 2. Detalhamento da localização das estações pluviométricas da região do Submédio do Vale do São Francisco utilizadas no presente estudo.

Numeração	Local	Cidade	UF	Latitude	Longitude	Altitude (m)
1	Embrapa Mandacaru	Juazeiro	BA	9°23'32.7"S	40°24'59.2"W	375,5
2	Embrapa Bebedouro	Petrolina	PE	9°08'05.8"S	40°18'28.3"W	365,5
3	Univasf Juazeiro	Juazeiro	BA	9°26'56"S	40°31'27"W	356,0
4	Univasf Petrolina	Petrolina	PE	9°19'29.9"S	40°33'35.9"W	393,0
5	UNEB	Juazeiro	BA	9°25'05.1"S	40°29'05.3"W	366,0
6	INMET	Petrolina	PE	9°23'18.0"S	40°31'23.7"W	372,72

Fonte: Autora.

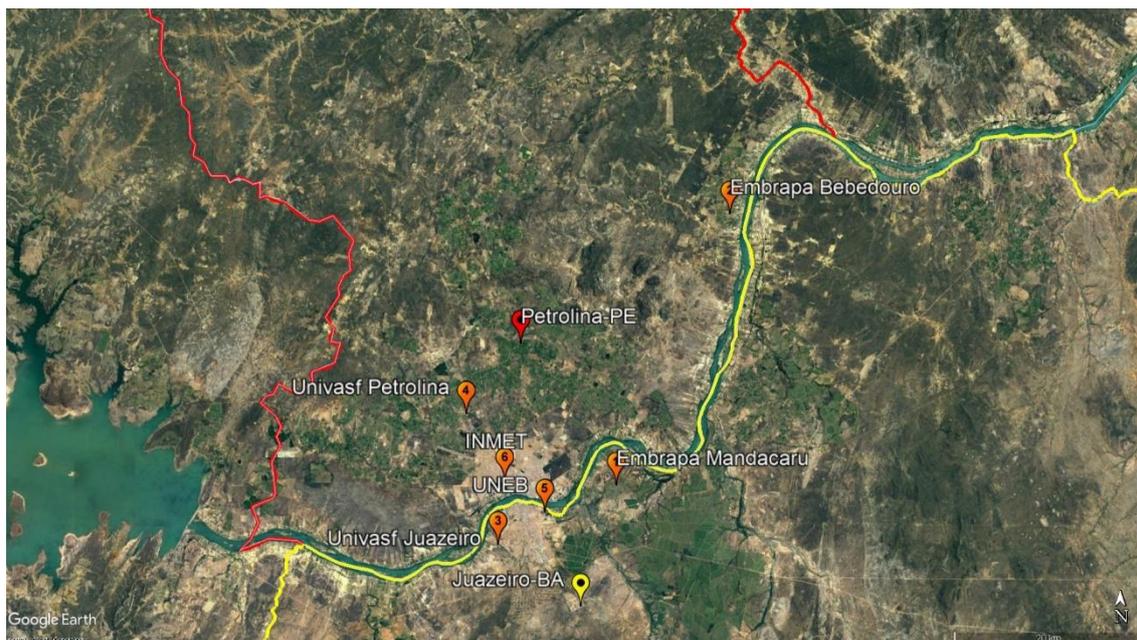


Figura 2. Distribuição espacial das estações meteorológicas localizadas nas cidades Petrolina – PE e Juazeiro - BA. Fonte: Google Earth. Adaptado: Autora.

3.3 Tratamento de dados

De posse dos dados da precipitação pluviométrica, inicialmente, os dados foram organizados, processados e tabulados, utilizando o editor de planilhas eletrônicas Microsoft Excel©. Na análise preliminar, foi realizado cálculos de médias aritmética simples e médias aritmética ponderadas. A média aritmética simples, consiste em somar todos os valores do conjunto de dados e dividir pelo número de dados encontrado desse conjunto. A média ponderada é calculada, multiplicando cada valor do conjunto de dados de precipitação pelo seu peso (quantidade de dias precipitado), dividido pela soma dos pesos. A ausência de dados diários da precipitação para as estações meteorológicas, foram desconsideradas no estudo, haja vista que não há interferência nas análises dos testes estatísticos.

Posteriormente, com os dados das séries de cada posto pluviométrico foi realizado o Teste de Mann-Kendall pela equação abaixo:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sinal}(X_j - X_i) \quad (14)$$

Para a estimativa dos valores de precipitação pluviométrica, foram ajustadas as distribuições de probabilidade: Gama (G), Weibull (W), Beta (B), Normal (N) e Exponencial (E), sendo estimados pelo o Método da Máxima Verossimilhança e para a adequação, aplicou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de probabilidade de erro tipo I.

$$fdp_G(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}; x > 0 \quad (15)$$

$$fdp_W(x) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}; x > 0 \quad (16)$$

$$fdp_B(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)(b-a)^{\alpha+\beta+1}} (x-a)^{\alpha-1}(b-x)^{\beta-1}; 0 < x < 1 \quad (17)$$

$$fdp_N(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (18)$$

$$fdp_E(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x}{\beta}}; x \geq 0 \quad (19)$$

Foram calculados os de índices de anomalia da chuva (IAC) para anomalias positivas e negativas, e índice de concentração da precipitação (ICP) anual e sazonal.

$$IAC = 3 \left[\frac{n-N}{M-N} \right] \text{ Para anomalias positivas.} \quad (20)$$

$$IAC = -3 \left[\frac{n-N}{x-N} \right] \text{ Para anomalias negativas.} \quad (21)$$

$$ICP (anual) = 100 x \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{(\sum_{i=1}^{12} p_i)^2} \quad (22)$$

$$ICP (sazonal) = 25 x \frac{\sum_{i=1}^3 p_i^2}{(\sum_{i=1}^3 p_i)^2} \quad (23)$$

A análise dos dados foi realizada por meio do programa estatístico software Stata®/IC 15.1 (StataCorp LLC, College Station, TX). Como forma de validar os resultados obtidos no estudo, fez-se uma comparação com o regime da precipitação pluviométrica para o ano 2022, para cada estação meteorológica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise exploratória dos dados de precipitação

Na Tabela 3 verifica-se, para cada estação meteorológica, os dados de precipitação acumulada anual, média ponderada anual e média histórica, correspondente ao período de 2006 a 2021.

Tabela 3. Precipitação pluviométrica anual acumulada (mm), média ponderada anual e média histórica para cada estação meteorológica na região do Submédio do Vale do São Francisco. Período 2006-2021.

ANO	Precipitação acumulada (mm)						Média Ponderada
	Embrapa Mandacaru	Embrapa Bebedouro	Univasf Juazeiro	Univasf Petrolina	UNEB	INMET	
2006	471,40	461,77	-	-	76,80*	384,20	394,70
2007	329,10	340,62	109,98**	118,11**	319,29	429,40	288,55
2008	583,90	118,63***	672,57	494,28	680,80	804,60	585,94
2009	768,70	820,92	710,83	781,50	663,40	700,40	740,89
2010	490,90	472,93	444,98	331,29	463,60	289,20	414,88
2011	297,50	350,77	347,48	335,54	204,00	273,80	301,51
2012	243,30	93,21	165,61	182,43	185,60	134,20	167,39
2013	284,20	271,29	233,68	332,74	254,00	257,80	272,29
2014	490,70	194,58	451,85	443,96	542,04	479,00	433,69
2015	269,16	268,22	141,23	234,80	101,60	185,00	199,68
2016	334,77	391,16	576,13	501,47	295,16	364,00	410,55
2017	98,80	122,74	172,29	151,51	99,06	145,40	132,15
2018	349,51	383,80	249,90	298,73	239,28	222,20	288,30
2019	236,97	267,80	333,50	219,34	271,80	247,20	262,77
2020	383,05	593,10	499,85	345,60	374,15	486,60	447,74
2021	430,01	466,80	542,84	519,90	540,50	515,60	502,42
Média Histórica	378,87	351,15	376,85	352,75	331,94	369,91	365,22

(*) Estação iniciou a coleta de dados a partir do mês de agosto. (**) Estação iniciou a coleta de dados a partir do mês de abril. (***) Estação sem registrar cinco meses de dados.

É importante destacar que a estação meteorológica da Uneb começou a ser operada a partir de agosto do ano de 2006, enquanto as estações da Univasf Juazeiro e Petrolina, a partir de abril do ano de 2007, justificando-se os baixos índices de precipitação registrados nessas estações nesses anos. Na Estação de Bebedouro, precisamente no ano de 2008, houve uma perda de cerca cinco meses de dados diários de

precipitação, culminando em um baixo índice de precipitação acumulada nesse ano, 118,63 mm.

Partindo-se da média ponderada anual de cada estação, verifica-se na Tabela 3 que a média histórica para a região e período de estudo foi de 365,22 mm. O ano de 2009 apresentou a precipitação média anual ponderada mais elevada do período estudado, 740,89 mm. Em contrapartida, o ano com baixo índice pluviométrico foi 2017. A média ponderada para esse ano, considerando as estações meteorológicas em estudo, foi de 132,15 mm.

Os valores encontrados no presente estudo corroboram com àqueles encontrados por Lopes et al. (2017), em estudo do balanço hídrico em função de regimes pluviométricos na região de Petrolina-PE. Os autores expõem que a precipitação média anual em Petrolina-PE é de 464,8 mm, compreendendo uma série histórica de 1963 a 2014, com anos muito secos, com total de precipitação inferior a 235,27 mm e anos muito chuvosos, superiores a 791,62 mm. Silva et al. (2017), avaliando variações do índice de anomalia de chuva no semiárido, reportaram que durante o período de estudo, a série atingiu um pico de 748 mm em 2009.

Verifica-se que a menor precipitação acumulada ocorreu no ano de 2012, na estação meteorológicas da Embrapa Bebedouro, 93,12 mm (Tabela 3). Esse ano foi caracterizado pela ocorrência de seca extrema, conforme constatou Farias (2014), em estudo dos índices de seca meteorológicas para a microrregião de Petrolina-PE e Juazeiro-BA. A autora verificou que a média anual da precipitação pluviométrica para Petrolina-PE, nesse ano, foi de 107,2 mm.

4.2 Análise de tendências nas séries temporais de precipitação pluviométrica

Com a aplicação do teste não paramétrico de Mann-Kendall, adotando 5% ($p \leq 0,05$) de nível de significância, para os dados de precipitação pluviométrica para as cidades Petrolina-PE e Juazeiro-BA, correspondente ao período de 2006-2021, observou-se que de modo geral, os dados analisados apresentaram tendências positivas e negativas significantes (Tabela 4).

Tabela 4. Resultados da análise de tendência de Mann-Kendall dos dados diários para a precipitação mensal e anual das estações meteorológicas das cidades de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, no período: 2006-2021.

PARAM. ESTATÍSTICOS		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
EMBRAPA MANDACARU	<i>Tau de Kendall</i>	0,072	-0,028	-0,050	-0,087	-0,109	-0,017	-0,056	-0,075	-0,025	0,026	0,010	0,013	-0,030
	<i>p-valor</i>	0,042	0,442	0,152	0,016	0,004	0,642	0,119	0,039	0,503	0,488	0,786	0,716	0,005
	Tendência*	(+)	(nulo)	(nulo)	(-)	(-)	(nulo)	(nulo)	(-)	(nulo)	(nulo)	(nulo)	(nulo)	(nulo)
EMBRAPA BEBEDOIRO	<i>Tau de Kendall</i>	0,053	0,006	0,014	-0,061	-0,084	0,030	-0,004	-0,102	-0,141	-0,032	-0,029	0,003	-0,024
	<i>p-valor</i>	0,137	0,867	0,690	0,092	0,024	0,414	0,916	0,005	0,000	0,385	0,427	0,936	0,021
	Tendência*	(nulo)	(nulo)	(nulo)	(nulo)	(-)	(nulo)	(nulo)	(-)	(-)	(nulo)	(nulo)	(nulo)	(nulo)
UNIVASF JUAZEIRO	<i>Tau de Kendall</i>	-0,007	-0,005	-0,067	-0,061	-0,054	0,065	-0,003	0,016	-0,007	0,033	0,105	0,010	-0,001
	<i>p-valor</i>	0,862	0,896	0,073	0,096	0,145	0,088	0,947	0,677	0,861	0,375	0,005	0,790	0,900
	Tendência*	(nulo)	(+)	(nulo)	(nulo)									
UNIVASF PETROLINA	<i>Tau de Kendall</i>	-0,002	0,009	-0,035	-0,064	-0,048	0,049	-0,028	0,007	0,014	-0,051	0,120	-0,023	-0,006
	<i>p-valor</i>	0,954	0,828	0,350	0,083	0,193	0,194	0,451	0,856	0,727	0,175	0,001	0,527	0,571
	Tendência*	(nulo)	(+)	(nulo)	(nulo)									
UNEB	<i>Tau de Kendall</i>	0,079	-0,045	-0,031	-0,077	-0,040	-0,034	-0,053	-0,079	-0,008	0,028	0,120	0,013	-0,007
	<i>p-valor</i>	0,030	0,230	0,386	0,036	0,288	0,364	0,152	0,029	0,828	0,433	0,001	0,710	0,536
	Tendência*	(+)	(nulo)	(nulo)	(-)	(nulo)	(nulo)	(nulo)	(-)	(nulo)	(nulo)	(+)	(nulo)	(nulo)
INMET	<i>Tau de Kendall</i>	0,081	-0,064	-0,063	-0,147	-0,047	0,037	0,007	-0,044	-0,001	-0,038	0,027	0,027	-0,025
	<i>p-valor</i>	0,022	0,076	0,072	0,000	0,188	0,310	0,856	0,224	0,982	0,299	0,463	0,451	0,015
	Tendência*	(+)	(nulo)	(nulo)	(-)	(nulo)								

*Tendência com 5% de nível de significância; (+) Tendência positiva; (-) Tendência negativa; (nulo) Hipótese nula, sem tendência.

Verifica-se na Tabela 4, que na escala anual, as seis estações meteorológicas apresentaram tendências negativas de acordo com os valores de tau de Kendall. No entanto, somente para as estações meteorológicas Embrapa Mandacaru, Embrapa Bebedouro e INMET, observou-se tendências negativas significativas, com os valores de tau de Kendall de -0,030, -0,024 e -0,025; e p-valor 0,005, 0,021 e 0,015, respectivamente. Ou seja, ao longo dos anos, a precipitação pluviométrica para a região do Submédio do Vale do São Francisco diminuiu (Tabela 4). É oportuno mencionar que, a hipótese nula para a precipitação anual das estações meteorológicas Univasf Juazeiro, Univasf Petrolina e Uneb, certamente está associada, ao início do funcionamento das estações meteorológicas, conforme pode ser constatado através da precipitação acumulada, apresentada na Tabela 3.

Cabral-Júnior e Lucena (2021), em análises de estatísticas da precipitação e temperatura do ar em ambientes semiáridos, constaram que para a série temporal de precipitação em Petrolina-PE, houve um decréscimo sequencial na média da precipitação a partir do quinquênio de 2000-2004, até a média referente a 2010-2014, que atingiu o menor valor, com 311,2 mm. Esses autores ressaltam ainda que, para Petrolina não houve significância na análise de tendências nas séries temporais, corroborando em parte, com o presente estudo, no que diz respeito à redução da precipitação anual para a região do Submédio do Vale do São Francisco.

Carvalho et al. (2020), em estudo da tendência de precipitação e temperatura no Nordeste do Brasil, verificaram uma tendência de redução do número de dias chuvosos no litoral nordestino; e para a região central nordestina que engloba o Sertão, houve uma redução tanto da precipitação total anual, quanto do número anual de dias chuvosos.

Ainda de acordo com Carvalho et al. (2020), a projeção da tendência para 2047, mostra uma redução da pluviosidade principalmente na parte central da região Nordeste, na área que abrange o Sertão em relação ao atual cenário. Esses resultados mostram mudanças nos padrões de chuva mais concentrada na região do Sertão nordestino, que pode causar a intensificação do déficit hídrico. Segundo Melo et al. (2018), a precipitação total anual diminuiu cerca de 5,6 mm/ano, para uma projeção linear para as próximas três décadas, e a precipitação total diminuiria cerca 170 mm em 30 anos.

De acordo com Ghini et al. (2011), a umidade do ar e a intensidade das precipitações estão intimamente relacionadas à gravidade das doenças das plantas no campo, representando uma séria ameaça à agricultura. Essas variáveis também afetam diretamente o crescimento, morfologia, fisiologia, sobrevivência, reprodução e suscetibilidade das plantas (Tibulo, 2014).

Observa-se ainda na Tabela 4, a ocorrência de tendências positivas e negativas na escala mensal da precipitação pluviométrica. Para todo o período de estudo, com exceção dos meses de janeiro, abril, maio, agosto, setembro e novembro, os demais meses não apresentaram tendências estatisticamente significativas, em que foram aceitas a hipótese nula (p -valor $>0,05$), para todas as estações meteorológicas em estudo.

Em contrapartida, observou-se ainda na Tabela 4, através do teste de Mann-Kendall, que apenas para os meses de janeiro e novembro da série temporal de totais diários precipitados, foi detectada tendência positiva e estatisticamente significativa. É importante destacar que a tendência ascendente significativa no mês de janeiro foi para as estações meteorológicas: Embrapa Mandacaru, Uneb e INMET, com os respectivos valores de tau de Kendall de 0,072, 0,079 e 0,081. Já para o mês de novembro, foi para as estações meteorológicas Univasf Juazeiro, Univasf Petrolina e Uneb, nas quais os valores de tau foram de 0,105, 0,120, e 0,120 (Tabela 4). A condição do regime pluviométrico para o mês de janeiro do ano de 2022, foi em média superior a 87 mm para as seis estações meteorológicas em estudo, comprovando o que foi observado pelo teste de Mann-Kendall, que para o mês de janeiro há um acréscimo significativo do volume precipitado.

O rendimento e a qualidade das lavouras de uva são afetados pelo excesso e pela falta de água. A água é um elemento essencial para o crescimento vegetativo e reprodutivo da videira, bem como para suas funções fisiológicas e bioquímicas (DELOIRE et al., 2005). A precipitação excessiva durante a floração pode levar ao fracasso do amadurecimento dos frutos, à podridão dos frutos e à redução da qualidade (BACK; BRUNA; FELIPETTO, 2014).

Silva et al. (2018), analisando a tendência temporal da precipitação pluviométrica interanual e intra-anual no semiárido Pernambucano, observaram para os meses de novembro a abril, tendência decrescente; entretanto, somente os meses de janeiro e março,

apresentaram valores de p significativos para precipitação pluviométrica, através do teste de Mann-Kendall ao nível de significância de 5%.

Silva (2021b) destaca que os testes de regressão linear, teste de Mann-Kendall e teste do sinal, para o mês de janeiro possui ocorrência significativa de diminuição da chuva na região hidrográfica do Rio São Francisco. Ainda segundo o autor, o mês de novembro apresenta expressivas ocorrências de acréscimo da precipitação na área de estudo, corroborando em parte, com os resultados do presente estudo; entretanto, quanto ao mês de janeiro, o resultado do referido autor difere do estudo presente.

Ainda na Tabela 4, observa-se tendências decrescentes significativas de precipitação mensal nas estações: da Embrapa Mandacaru, tendências para os meses de abril, maio e agosto; Embrapa Bebedouro, tendências nos meses de maio, agosto e setembro; Uneb, nos meses de abril e agosto; e para o Inmet, somente houve uma tendência para o mês de abril. Os resultados encontrados no presente estudo discordam do encontrado por Lima et al. (2019), em que as médias mensais históricas de precipitação em Petrolina-PE, de 2000 a 2017, apresentaram uma tendência de aumento entre os meses de fevereiro a junho, atingindo um pico acentuado entre os meses de abril, maio e junho (cerca de 500 mm).

Zhang et al. (2017) constataram que a precipitação está positivamente correlacionada com a umidade, mas negativamente correlacionada com a velocidade do vento, duração da luz do sol e evaporação. A umidade relativa do ar pode afetar o crescimento da cultura de diversas maneiras, por exemplo, a fotossíntese. Quando os níveis de umidade estão baixos, haverá mais transpiração que levará a déficits de água na planta. Como resultado, os estômatos serão parciais ou totalmente fechados e a entrada de dióxido de carbono é bloqueado. A umidade também pode afetar a polinização de grão de pólen e aumentar a incidência de pragas e doenças.

Conforme Melo et al. (2018), a precipitação é uma variável determinante das condições climáticas no semiárido brasileiro, e a análise de seu comportamento é de grande importância, devido à grande irregularidade apresentada nas escalas espacial e temporal, não apenas sob a abordagem climática, mas também pelas consequências no setor socioeconômico, bem como no conforto da população. Assim, além das

instabilidades ou ausências, há a incerteza do regime de precipitação, seja com adiantamento ou atraso (CGEE, 2016).

Silva et al. (2018) concluíram que em trabalhos futuros em regiões semiáridas, será interessante discutir a expressão de mesoescalas na análise de precipitação, de modo que a análise de valores anuais de precipitação por si só não é suficiente, pois podem mascarar outros processos inerentes a variabilidade anual.

4.3 Análise distribuição de probabilidade da precipitação pluviométrica

Na Tabela 5 são apresentados os p-valores das distribuições de probabilidade Gama, Weibull, Beta, Normal e Exponencial, para o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov a uma probabilidade máxima de erro tipo I de 5%, em cada mês do ano, ajustadas em conjunto nas seis estações pluviométricas para as cidades Petrolina-PE e Juazeiro-BA, correspondente ao período de 2006 a 2021.

Tabela 5. P-valores do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, a uma probabilidade máxima de erro tipo I de 5%, para a precipitação pluviométrica mensal da região do Submédio do Vale do São Francisco. Período 2006-2021.

Mês	Distribuições de probabilidade				
	Gama p-valor	Weibull p-valor	Beta p-valor	Normal p-valor	Exponencial p-valor
Jan	0,308	0,537	0,252	0,000	0,107
Fev	0,987	0,848	0,974	0,070	0,025
Mar	0,731	0,784	0,661	0,001	0,673
Abr	0,366	0,555	0,409	0,052	0,239
Mai	0,298	0,481	0,297	0,000	0,000
Jun	0,512	0,600	0,510	0,017	0,616
Jul	0,161	0,303	0,159	0,001	0,057
Ago	0,248	0,322	0,243	0,000	0,255
Set	0,478	0,724	0,477	0,009	0,141
Out	0,420	0,788	0,395	0,000	0,015
Nov	0,788	0,652	0,811	0,017	0,226
Dez	0,945	0,930	0,921	0,001	0,346

Observa-se que três das cinco distribuições produziram um valor de p capaz de evidenciar a aceitação da hipótese nula testada para todos os meses do ano, ou seja, p-valor foi superior a 0,05. Dentre os quais se destacam a Gama, Weibull e Beta, por representarem de janeiro a dezembro, a aderência ao teste de Kolmogorov-Smirnov, com os maiores valores de p. Por outro lado, a distribuição Normal somente aderiu os meses de fevereiro e abril, enquanto que a Exponencial, com exceção dos meses fevereiro, maio e outubro, os demais meses adequaram-se para os dados de precipitação mensal (Tabela 5).

Silva (2021a), em um estudo comparativo entre ajustes de distribuição de probabilidades em dados de precipitação do Estado de Pernambuco em geral, verificou que as distribuições com menos rejeições durante o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov foram Weibull, Gama e Beta, corroborando com o presente estudo. Já Santos et al. (2018), observando a modelagem probabilística para os valores extremos de precipitação entre os meses de outubro a março, no município de Cacoal (RO), mostraram que as distribuições Lognormal, Gumbel, Gama e Weibull receberam um ajuste satisfatório ao longo do período estudado, por outro lado, a distribuição Exponencial não foi adequada para a modelagem.

Considerando os resultados apresentados, verifica-se que abril é o mês com maior número de aderências em que a hipótese nula foi aceita, considerando-se uma probabilidade máxima de erro tipo I de 5%. Neste mês, as cinco distribuições probabilística estudadas, foi adequada para modelar a precipitação mensal (Tabela 5).

Com relação as distribuições de probabilidade para a maioria dos meses, com exceção de fevereiro, junho, novembro e dezembro, a distribuição de Weibull foi a que mais frequentemente produziu melhores resultados de aderência. Esta distribuição respondeu em comparação as demais distribuições com p-valores mais robustos, dentre aquelas que obtiveram p-valores maiores que 0,05, sendo, por isso, classificada como a mais adequada para estimar precipitação mensal na região do Submédio do Vale do São Francisco (Tabela 5).

Santiago et al. (2017), estudando a precipitação esperada em diferentes níveis de probabilidade, na região de Juazeiro-BA, verificaram para todos os meses, que os dados de precipitação pluviométrica se adequaram bem a distribuição Gama. Silva et al. (2019a) afirmam que os modelos Weibull e Gama apresentaram melhores ajustes para os meses com maior volume de precipitação, com exceção de dezembro, mês em que nenhum do modelo foi ajustado no teste, na cidade de Formoso-MG.

Conforme Silva (2021a), a distribuição Weibull é um caso especial de distribuição generalizada de valores extremos e como tal, modela bem fenômenos extremistas, pois é amplamente utilizada em hidrologia para esse fim. O autor supracitado afirma que o bom ajuste da distribuição Weibull aos dados de precipitação deve-se provavelmente, ao seu modelo matemático, que pode assumir diversas formas e ser bastante assimétrica,

podendo ser positiva ou negativa em relação à distribuição de frequência, sendo capaz de fazer o modelo conduzir efetivamente a redução brusca das frequências de precipitação. Portanto, a utilização dos testes de aderência resultou em valores de p mais elevados, além da falta de evidências suficientes para rejeitá-los, comprovando assim o melhor ajuste da distribuição de Weibull para o presente estudo.

É importante salientar que, mesmo a distribuição Normal se destacando em fevereiro e abril pelo maior p-valor, essa distribuição não é adequada o suficiente em comparação as demais distribuições, uma vez que os p-valores são inferiores as demais distribuições que aderiram ao teste (Tabela 5). O resultado encontrado no presente trabalho difere em partes do encontrados por Silva (2021a), em que a distribuição Normal apresentou o maior valor de p em agosto; essa distribuição teve apenas duas adesões significativas entre as 35 observadas para aquele mês, o que equivale a menos de 6% de adesões com p-valor 0,05, em todo o estado Pernambucano. Albuquerque et al. (2021) verificaram que os dados de probabilidade Lognormal são mais lineares, indicando que essa distribuição é mais adequada para representar os dados do que a distribuição Normal.

Na Tabela 6 são apresentadas as precipitações prováveis mensais para os níveis de probabilidade de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80, 90, 95 e 99% especializadas para a região do Submédio do Vale do São Francisco.

Tabela 6. Precipitação pluviométrica mensal provável (mm) para a região do Submédio do Vale do São Francisco, em diferentes níveis de probabilidade. Período 2006-2021.

Mês	Média histórica	Precipitação Mensal Provável (mm)											
		Nível de probabilidade (%)											
		10	20	30	40	50	60	70	75	80	90	95	99
Jan	53,46	3,62	8,78	15,26	23,32	33,43	46,46	64,12	75,72	90,30	137,78	187,94	312,13
Fev	76,91	20,05	31,89	43,10	54,67	67,29	81,75	99,37	110,13	122,96	161,22	197,88	279,59
Mar	55,75	5,06	11,21	18,42	26,95	37,24	50,05	66,83	77,60	90,89	132,82	175,52	276,78
Abr	59,91	8,90	17,52	26,76	37,01	48,75	62,72	80,26	91,16	104,31	144,13	182,79	269,51
Mai	9,41	0,33	0,99	1,94	3,26	5,06	7,57	11,22	13,76	17,07	28,62	41,84	77,82
Jun	5,01	0,58	1,22	1,96	2,80	3,80	5,03	6,61	7,61	8,83	12,64	16,44	25,27
Jul	5,24	0,44	1,03	1,75	2,62	3,69	5,06	6,88	8,07	9,54	14,29	19,22	31,20
Ago	2,14	0,22	0,51	0,86	1,29	1,82	2,49	3,38	3,97	4,69	7,03	9,45	15,34
Set	1,83	0,22	0,54	0,94	1,43	2,06	2,87	3,98	4,70	5,61	8,59	11,75	19,59
Out	17,79	0,80	2,35	4,61	7,71	11,94	17,82	26,35	32,24	39,93	66,71	97,26	180,10
Nov	28,77	1,55	4,51	8,63	14,02	20,96	30,04	42,34	50,39	60,42	92,40	124,98	200,80
Dez	50,65	3,40	8,49	14,92	22,84	32,65	45,09	61,63	72,31	85,54	127,48	170,24	271,28

Média histórica correspondente ao período de 2006 a 2021.

Esses níveis representam a ocorrência mínima de precipitação. Observa-se que o aumento no nível de probabilidade aumenta a precipitação provável (Tabela 6). O aumento na confiabilidade da estimativa resulta no acréscimo da lâmina mínima a precipitar estimada para a região.

Observando de maneira geral a Tabela 6 verifica-se que a média histórica dos valores de precipitação mensal, ocorreram entre 50% e 60% dos níveis de probabilidade. Sendo assim, a média mensal histórica da precipitação obtida não atingiu o nível mínimo de confiabilidade (75%), para a lâmina precipitável provável, para dimensionar adequadamente um sistema de irrigação, evitando acúmulo de déficit hídrico e redução da produção de culturas agrícolas.

Santiago et al. (2017) verificaram para Juazeiro-BA, que os valores médios de precipitação pluviométrica mensal ocorreram próximo ao nível de 40% de probabilidade. Santiago et al. (2019), em estudo da precipitação provável no município de Afrânio, localizado na mesorregião do Rio São Francisco, observaram que, em geral, os valores médios mensais de precipitação de novembro a abril e de maio a outubro, ficaram próximos dos níveis de 40% e 35% de probabilidade, respectivamente. Os resultados supracitados discordam dos encontrados no presente estudo.

De acordo com Passos et al. (2017), o valor médio da precipitação não deve ser utilizado como parâmetro para o dimensionamento de um sistema de irrigação, pois levaria ao subdimensionamento do sistema em relação ao nível de maior confiabilidade (75%). Portanto, os autores recomendam que para a precipitação mensal provável em um nível de probabilidade de 90%, pode ser usada no projeto de sistemas de irrigação onde a cultura é mais vulnerável à escassez de água.

Por sua vez Santiago et al. (2017), expõe que as melhores épocas para o plantio de sequeiro em Juazeiro-BA são fevereiro e março, pois os períodos de seca são menos prováveis e os períodos de chuva contínua são mais prováveis. Os autores ainda constam que a probabilidade de chuva de maio a outubro é baixa, portanto, o risco de perda de colheita de uvas de alta qualidade em cultivo irrigado é baixo.

Medeiros et al. (2021) expõe que com a interpretação dos dados e do processo climatológico é capaz de estabelecer alternativas visando resolver os problemas de perdas na produção agrícola, principalmente, em culturas de sequeiro, na região de Barbalha-

CE. Com isso, as probabilidades de precipitação prováveis permitem que as populações rurais e urbanas convivam com estratégias de melhor convivência com as estações seca e chuvosa, e assim planejam cenários futuros voltados para a gestão e armazenamento dos recursos hídricos.

A precipitação provável para 75% do nível de probabilidade para o mês de janeiro é de 75,72 mm; desta maneira, espera-se que em média, ocorra no mês de janeiro precipitação igual ou superior a 75,72 mm. Esse dado pode ser comprovado pela precipitação média acumulada das seis estações em estudo para o mês de janeiro do ano de 2022, 87 mm (Tabela 7).

Tabela 7. Precipitação mensal acumulada e média referente ao ano de 2022 para as seis estações meteorológica em estudo.

ANO	MÊS	Precipitação mensal acumulada (mm)						MÉDIA
		Embrapa Mandacaru	Embrapa Bebedouro	Univasf Juazeiro	Univasf Petrolina	UNEB	INMET	
2022	Jan	28,2	99,0	131,3	89,2	124,0	52,4	87,3
2022	Fev	23,6	82,5	68,3	68,2	61,2	49,6	58,9
2022	Mar	82,0	51,4	84,3	47,2	93,0	23,2	63,5
2022	Abr	50,3	42,8	14,7	60,0	23,4	51,4	40,4

Medeiros et al. (2021), observaram que os níveis de probabilidade de 75% e 95%, registraram os maiores valores de precipitação efetiva, pois esses valores estão diretamente relacionados à precipitação provável. Os autores verificaram que ao nível de 75%, a taxa de precipitação para o mês de janeiro foi acima de 200 mm. Os resultados encontrados no trabalho, discordam em partes, no que diz respeito a precipitação provável para o mês de janeiro.

Observando separadamente cada estação meteorológicas, com exceção das estações Embrapa Mandacaru e INMET, os valores acumulados para o mês de janeiro da lâmina precipitada foi a um nível próximo de 80% de probabilidade (Tabela 6). Dessa forma, é importante destacar que para uma mesma região há uma variação de precipitação pluviométrica, que poderá acarretar um subdimensionamento de sistemas de irrigação, o quão distante o produtor está da estação meteorológica.

4.4 Análises do Índice de Anomalia da Chuva (IAC) e Índice de Concentração da Precipitação (ICP)

Na Figura 3 é possível observar os valores positivos e negativos do Índice de Anomalia da Chuva (IAC) para o período de 2006 a 2021 na região do Submédio do Vale do São Francisco. Verifica-se que para as anomalias positivas, os valores calculados do índice variaram de +1,44 a +11,17, indicando a classe de intensidade de úmido a extremamente úmido, que ocorreram em sete anos da série de estudo (Tabela 1).

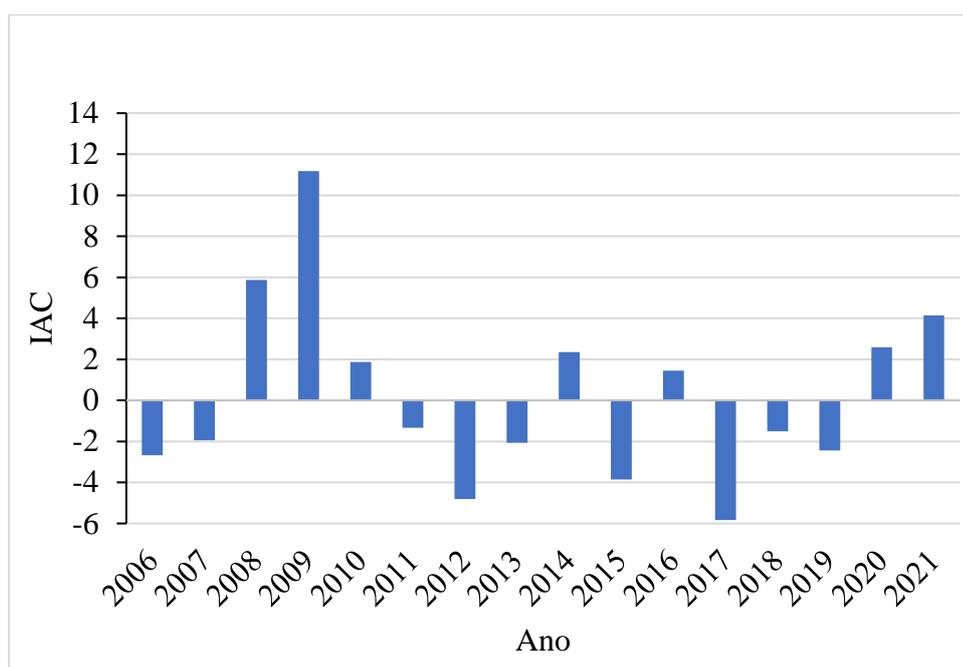


Figura 3. Índice de anomalia de chuva (IAC) na região do Submédio do Vale do São Francisco para o período de 2006 a 2021.

Os anos de 2008, 2009 e 2021 são classificados como extremamente úmido, destacando o ano de 2009, com o maior IAC, +11,17; isso, certamente está relacionado com a ocorrência de fenômenos meteorológicos (Figura 3). Silva et al. (2017), em estudo das variações do índice de anomalia no Semiárido, encontraram que apenas o ano de 2009 foi classificado como extremamente chuvoso, acontecendo com a finalização do fenômeno La Niña moderado (2008), prosseguindo para o El Niño fraco a moderado em 2009. Passos et al. (2017), relatam que vários fenômenos meteorológicos causam alterações no regime de precipitação da região Nordeste do Brasil, bem como da mesorregião leste maranhense, correspondendo a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os fenômenos do tipo El Niño e La Niña.

Em contrapartida, é possível observar na Figura 3 que as anomalias negativas ocorreram em um maior número do que as anomalias positivas, das quais foram nove anos para a série histórica, oscilando de -5,83 a -1,32 do índice. Os anos de 2012 e 2017, são os que mais se destacam para a classificação da intensidade do IAC, classificando como extremamente secos. É possível evidenciar uma constante variação climática ao longo dos anos na região do Submédio do Vale do São Francisco, dessa forma, precisa de mais estudos acerca da caracterização da precipitação para um maior entendimento desse fenômeno.

Segundo Zeri et al. (2018), por consequência da seca extrema em 2012, uma das piores secas da história recente no Nordeste do Brasil. A distribuição irregular das chuvas prejudicou significativamente os aspectos produtivos das leguminosas, pois a circunstância de deficiência hídrica pode afetar as plantas, causando danos em diferentes fases de seu desenvolvimento, como durante a formação das folhas, floração, desenvolvimento radicular e enchimento de grãos.

Silva et al. (2019b), avaliando a evolução espaço temporal da degradação da cobertura vegetal em Petrolina-PE, encontraram mais ocorrência de IAC negativas do que IAC positivas, corroborando com o presente estudo. Por sua vez, Costa et al. (2021), em estudo das anomalias na mesorregião do Sertão do estado de Pernambuco, para período de 1987 a 2017, observaram que nenhum dos municípios apresentaram condições extremas de umidade ou seca, ou seja, valores de IAC superiores a +4 ou abaixo de -4, respectivamente.

Wu et al. (2020) constataram uma associação significativa entre a maior frequência do fenômeno El Niño no Pacífico tropical e o período mais quente no Atlântico Norte, e a duração e intensidade de eventos de seca extrema no Nordeste do Brasil. Esses episódios colaboram para o encadeamento de degradação da superfície, que é caracterizada pela ausência de precipitação e intensa evapotranspiração, o que contribui para o crescimento de vegetação esparsa e o aparecimento de plantas com estruturas simples (VOROVENCII, 2015).

A Figura 4 apresenta os valores do Índice de Concentração da Precipitação (ICP) para o período de 2006 a 2021, na região do Submédio do Vale do São Francisco.

Observa-se que, em geral, não foi constatado nenhum valor inferior a 10% da ICP anual, indicando que para a região há bastante irregularidade na precipitação.

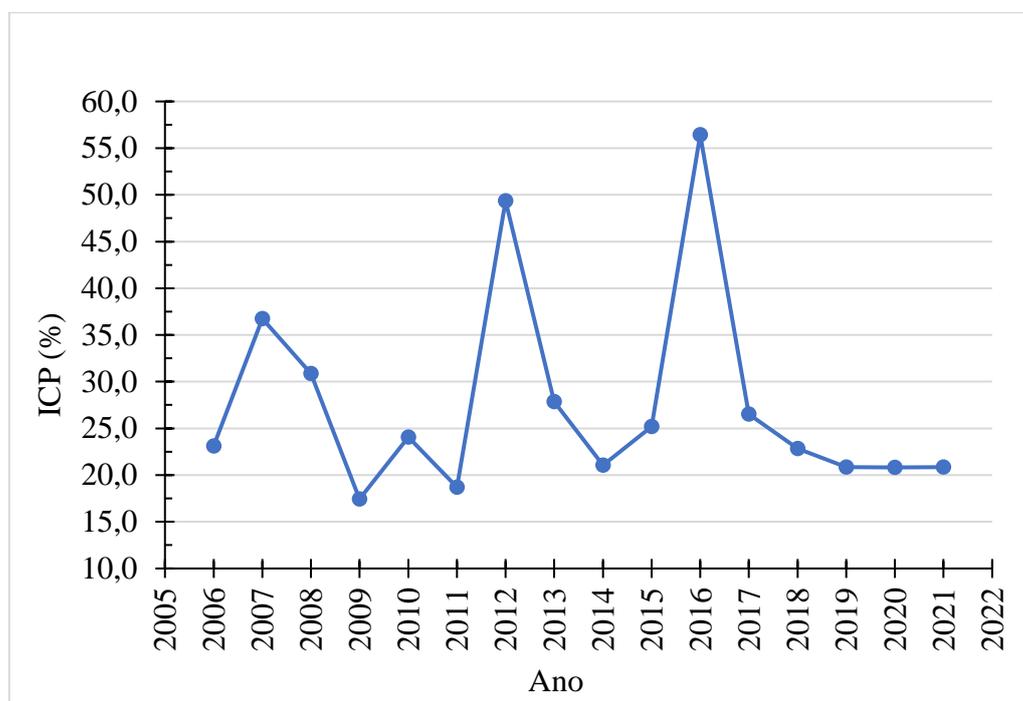


Figura 4. Valores do índice de concentração da precipitação (ICP) para o período de 2006 a 2021, na região do Submédio do Vale do São Francisco.

O ICP anual para o período estudado variou de 17,4% a 56,4%, com a média apresentando o valor de 27,7%. Sendo assim, o valor médio superior a 25%, significa que a precipitação se concentrou em quatro meses do ano (Figura 4). Junqueira et al. (2020), avaliando o ICP anual médio, no município de Juazeiro-BA, encontraram média de 28,48%. Os autores afirmam que as precipitações estão cada vez mais concentradas e anos secos cada vez mais prolongados, corroborando assim com os resultados encontrados no presente estudo. Ndamani e Watanabe (2015) destacam que 19% do ICP anual indica a necessidade de introduzir tecnologias de captação de água para reduzir os problemas socioeconômicos relacionadas à alta frequência de secas.

A menor porcentagem de ICP, 17,4% e 18,7%, foi verificado nos anos de 2009 e 2011, respectivamente; devido aos valores próximo de 16,7% e inferiores a 20%, indicam uma concentração no meio do período e sazonalidade da precipitação (Figura 4). Vale lembrar que o ano de 2009, foi um ano muito chuvoso para a região, com o índice de precipitação total da série histórica, 740,9 mm (Tabela 2), comprovando o que foi

observado no resultado do IAC, que o ano de 2009 foi extremamente chuvoso, conforme pode ser constatado através do índice apresentado na Figura 3.

O Índice de Concentração da Precipitação, para cada estação do ano no período de 2006 a 2021, na região do Submédio do Vale do São Francisco, está representado na Figura 5.

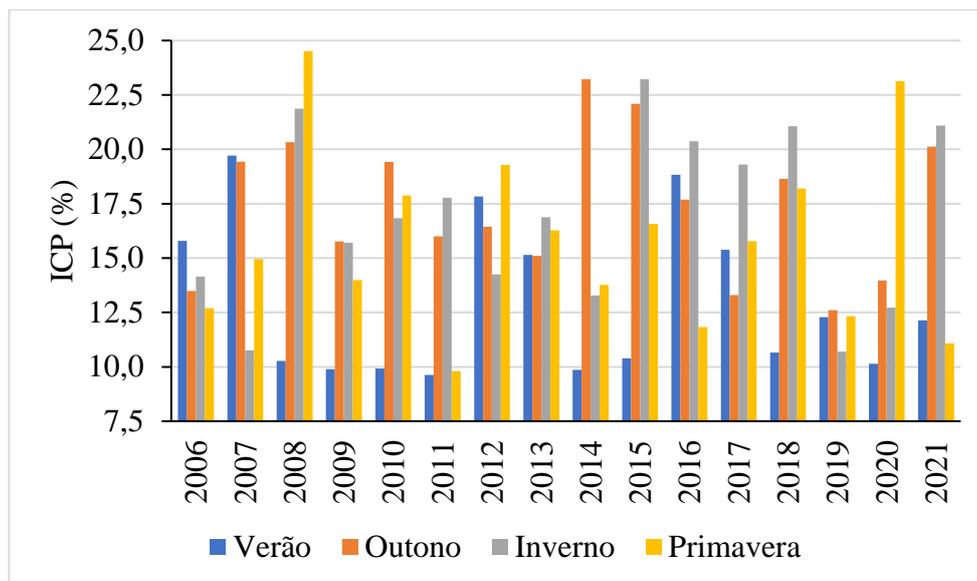


Figura 5. Índice de concentração da precipitação (ICP) sazonal na região do Submédio do Vale do São Francisco. Período 2006-2021.

Verifica-se que para o verão, o ICP sazonal variou de 9,6% a 19,7%, tendo a média 13%. Os anos de 2009 a 2011 e 2014 foram os anos que obtiveram ICP inferior a 10%, indicando assim, uma possível homogeneidade da precipitação nos meses de janeiro, fevereiro e março (Figura 5). Já nos meses outubro, novembro e dezembro, para a estação primavera, o ICP sazonal teve uma oscilação de 9,8% a 24,5%, com média de 15,8%. O menor valor de ICP sazonal ocorreu no ano de 2011, indicando assim uma homogênea precipitação. Junqueira et al. (2020) encontraram resultados semelhantes à do presente estudo, com a média das estações, verão e primavera, em torno de 13,08% e 15,2%, respectivamente.

Na primavera, as chuvas são importantes para o desenvolvimento das plantas, porém, quando as chuvas são excessivas, favorecem o desenvolvimento de doenças fúngicas nas partes aéreas (RIZZOLO, 2022 apud TONIETTO e MANDELLI, 2003). A

alta precipitação durante a floração pode levar ao fracasso dos frutos e durante o amadurecimento pode levar à podridão dos frutos e à redução da qualidade. A precipitação excessiva reduz a taxa fotossintética devido à cobertura de nuvens e aumento do vigor da parte aérea, resultando em menor incidência de radiação no dossel (RIZZOLO, 2022).

Em contrapartida, as estações outono e inverno possuíram médias do ICP sazonal de 17,4% e 16,9%, respectivamente (Figura 5). Os valores médios para cada estação do ano são inferiores à média do ICP anual. Isso significa que para as estações climáticas, a precipitação é distribuída com maior constância comparada ao ano inteiro (JUNQUEIRA et al., 2020).

Estudos em outras partes do mundo demonstram que as tendências do ICP, ao nível anual, mostraram tendências positivas mais significativas do que tendências negativas, sugerindo que nas últimas décadas, a precipitação se tornou mais concentrada, sendo o verão a estação com tendências significativas mais positivas (NÚÑEZ-GONZÁLEZ, 2020).

Além disso, estudar a concentração de precipitação é importante em projetos hidrológicos e outros planos de gestão de recursos hídricos, em que os resultados do estudo do índice de concentração de precipitação fornecem informações úteis para os gestores elaborarem planos adequados para lidar com tempestades e chuvas fortes. Uma vez que as implicações de tal mudança têm forte influência sobre os processos naturais de erosão do solo, inundações, regimes fluviais e recarga de águas subterrâneas e, portanto, servem como uma ferramenta de alerta para inundações e erosão em, por exemplo, comunidades urbanas e rural que são propensos a esses processos hidrológicos (ZAMANI et al., 2018; BOTAI et al., 2018). Dessa forma, torna a gestão agrícola mais econômica, reduzindo o impacto nos ecossistemas locais, apoiando o desenvolvimento de uma agricultura sustentável, garantindo lucros e protegendo o meio ambiente (SOUZA, 2021).

5 CONCLUSÕES

A análise de tendência de Mann-Kendall revelou uma redução da precipitação pluviométrica para o período de 2006 a 2021, na região do Submédio do Vale do São Francisco. Somente os meses de janeiro e novembro apresentam significativo aumento da precipitação pluviométrica.

A distribuição de Weibull foi a que produziu melhores resultados para modelar a precipitação pluviométrica na região do Submédio do Vale do São Francisco. A estimativa dos níveis de probabilidade utilizando a média histórica dos valores de precipitação mensal ficou entre 50% e 60%, desvalorizando o nível recomendado de probabilidade.

A partir do Índice de Anomalia da Chuva (IAC), verifica-se ocorrência de eventos extremamente úmidos e secos na região do Submédio do Vale do São Francisco, dando destaque a maior frequência de anomalias negativas.

O Índice de Concentração da Precipitação (ICP) anual, para a região do Submédio do Vale do São Francisco, revelou que o volume da precipitação está concentrado em quatro meses do ano, destacando-se as estações verão e primavera, com precipitações mais uniformes.

6 REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, C. S.; PEREIRA, T. P.; MATTOS, V. L. D. Análise inferencial das distribuições de probabilidade que melhor se ajustam aos modelos de bielas e tirantes de vigas-paredes. *In: XXIV Encontro Nacional de Modelagem Computacional e XII Encontro de Ciências e Tecnologia de Materiais. Anais [...].* 2021. DOI: 10.29327/154013.24-11.
- ALVES, A. V. P.; DA SILVA SANTOS, G. B.; DE MENEZES FILHO, F. C. M.; SANCHES, L. Análise dos métodos de estimação para os parâmetros das distribuições de Gumbel e GEV em eventos de precipitações máximas na cidade de Cuiabá-MT. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 6, n. 1, 2013.
- ANGELOTTI, F.; SÁ, I. B.; MELO, R. F. (Ed.) **Mudanças climáticas e desertificação no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2009. 295 p.
- ANGELOTTI, F.; SIGNOR, D.; GIONGO, V. Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Experiências e Oportunidades para o Desenvolvimento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 484-495, 2015. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.0.p484-495>
- ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Classificação da precipitação anual e da quadra chuvosa da bacia do rio Paraíba utilizando índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 93-110, 2009a. DOI: doi:10.4136/ambi-agua.105
- ARAÚJO, L. E.; MORAES-NETO, J. M.; SOUZA, F. A. S. Análise climática da bacia do rio Paraíba – Índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v.6, n.3, p.508-523, 2009b.
- ASSIS, J. M. O; SOUZA, W. M.; SOBRAL, M. C. Análise climática da precipitação no submédio da bacia do Rio São Francisco com base no índice de anomalia de chuva. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 36, p. 115-127, 2015.
- ASSIS, Janaina Maria Oliveira de. **Variabilidade do clima e cenários futuros de mudanças climáticas no trecho submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco**. 2016. 187p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil. Recife, 2016.
- ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R. Mapeamento da precipitação mínima provável para o sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 906-915, 2009. Suplemento.
- BACK, Á. J; BRUNA, E. D.; FELIPETTO, J. Tendências nos índices climáticos e agroclimáticos aplicados à videira no Planalto Serrano de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, 2014.

BALDO, M. C.; TOMMASELLI, J. T. G.; KAWAHARA, L. F. Y.; NUMAI, A. A. Tendência da precipitação anual e do número de dias com chuva no município de Alto Piquiri-PR por meio do teste de Mann Kendall. **Formação (Online)**, v. 28, n. 53, p. 885-903, 2021.

BARRETO, H. B. F.; PEREIRA, G. M.; SANTOS, W. O.; FREIRE, S. G. C.; MAIA, P. M. E. Avaliação de funções de probabilidade e relação-intensidade de duração – intensidade de duração – frequência para precipitação extrema em Nepomuceno-MG. **Global Science and Technology**, v. 8, n. 2, p. 118- 127, 2015.

BARROS, V. da S.; GOMES, V. K. I.; SILVA JÚNIOR, I. B. da.; SILVA, A. S. V. da.; SILVA, A. S. A. da.; BEJAN, L. B.; STOSIC, T. Trend analysis in standardized precipitation index in Recife–PE. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 8, p. e52310817458, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i8.17458. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/17458>. Acesso em: 4 jun. 2022.

BOTAI, C. M.; BOTAI, J. O.; ADEOLA, A. M. Spatial distribution of temporal precipitation contrasts in South Africa. **South African Journal of Science**, v. 114, n. 7-8, p. 70-78, 2018.

BRASIL. Ministério Do Meio Ambiente. **Caatinga**. Brasília, DF: Ministério Do Meio Ambiente, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/caatinga>>. Acesso em: 14 jun. 2022.

BRITO, A. P. D.; SILVA, N. C. D.; TOMASELLA, J.; FERREIRA, S. J. F.; MONTEIRO, M. T. F. Anomalia de Chuva e Tendência de Precipitação para Estações Pluviométricas na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778637014521>

CABRAL-JÚNIOR, J. B.; LUCENA, R. L. Análises estatísticas da precipitação e temperatura do ar em ambientes semiáridos. **Revista Entre-Lugar**, v. 13, n. 24, p. 170-191, 2021.

CARVALHO, A. A. D.; MONTENEGRO, A. A. D. A.; SILVA, H. P. D.; LOPES, I.; DE MORAIS, J. E.; SILVA, T. G. Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 15-23, 2020.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. Brasília, DF: 2016. 252 p. Disponível em <<https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/DesertificacaoWeb.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2022.

CHALLINOR, A. J.; WATSON, J.; LOBELL, D. B.; HOWDEN, S. M.; SMITH, D. R.; CHHETRI, N. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. **Natural Climate Change**, v. 4, n. 4, p. 287- 291, 2014.

COSTA, Sidney Anderson Teixeira da. **Análise espaço-temporal da precipitação pluviométrica por Índice de Anomalia de Chuva (IAC) no Sertão de Pernambuco**. 2019. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Unidade

Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, 2019.

COSTA, S. A. T.; BEZERRA, A. C.; ARAÚJO, A. M. Q.; SILVA, M. F.; ALVES, R. M.; SOUZA, L. S. B. Dinâmica espaço-temporal das anomalias de precipitação em uma região semiárida, Nordeste do Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 18, n. 2021, 2021. <https://doi.org/10.21168/rega.v18e14>

CRUZ, C. E.; CAETANO, I. S. H.; MOTA, A. C. V.; FERREIRA, J. J.; DE SOUZA, J. V. F.; VELÁSQUEZ, L. N. M.; DE PAULA, R. S. Caracterização pluviométrica do Quadrilátero Ferrífero na região do Sinclinal Moeda–Minas Gerais. **Além dos Muros da Universidade**, v. 1, n. 1, p. 17-35, 2022.

DE LUIS, M.; GONZALEZ-HIDALGO, J. C.; BRUNETTI, M.; LONGARES, L. A. Precipitation concentration changes in Spain 1946–2005. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1259-1265, 2011.

DELOIRE, A.; OJEDA, H.; ZEBIC, O.; BERNARD, N.; HUNTER, J. J.; CARBONNEAU, A. Influence de l'état hydrique de la vigne sur le style de vin. *Progrès Agricole et Viticole*, v.122, p. 455-462, 2005.

FARIAS, Maysa Porto. **Índices de seca meteorológicas para a microrregião de Petrolina, PE, e Juazeiro, BA**. 2014. 67 p. Monografia (Especialização em Geoambiência e Recursos do Semiárido) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Educação, Campina Grande, 2014.

FORBES, C.; EVANS, M.; HASTINGS, N.; PEACOCK, B. **Statistical distributions**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 4th ed. 2011.

FREITAS, M. A. de S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. **Revista Tecnologia**, [S. l.], v. 19, n. 1, 2010.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. 356 p.

HAZEN, Allen. Storage to be provided in impounding reservoirs for municipal water supply. **Transactions of the American society of civil engineers**, v. 77, p. 1539–1640, 1914.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **População estimada e Território**. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1 de julho de 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/cidades-estados/pe/petrolina.html> > Acesso em: 14 fev. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2020. **Contas de ecossistemas: o uso da terra nos biomas brasileiros: 2000-2018**. Coordenação de

Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Coordenação de Contas Nacionais. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 101 p. Disponível em: < <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101753.pdf>> Acesso em: 15 fev. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Sobre meteorologia**. 2022. Disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/sobre-meteorologia>>. Acesso em: 14 fev. 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2021. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. In: Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. In Press. 2021.

JUNQUEIRA, H. S.; ALMEIRA, L. M. F. de; SOUZA, T. S. de; NASCIMENTO, P. dos S. Análise da Variação Sazonal e de Tendências na Precipitação Pluviométrica no Município de Juazeiro-BA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 6, p. 2641 – 2649. 2020. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p2641-2649>

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

LIMA, M. C. G.; SANTOS, T. E. M.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, C. E. S. D. L.; REIS, J. V.; SOUZA, W. M. Avaliação do padrão hidroclimático e da erosividade no Sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 05, p. 1757-1769, 2019.

LONDOÑO-ARTEAGA, Yuly Vanesa. **Análise do impacto das mudanças climáticas em índices climáticos associados com a variabilidade dos regimes de chuva e vazão na bacia do rio São Francisco**. 2019. 133 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

LOPES, I.; GUIMARÃES, M. J. M.; MELO, J. M. M. Análise da precipitação da estação da embrapa semiárido, projeto bebedouro Pretolina/PE, através da técnica de Quantis. In: Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro. Campina Grande. 2015.

LOPES, I.; GUIMARÃES, M. J. M.; MELO, J. M. M. de; RAMOS, C. M. C. Balanço hídrico em função de regimes pluviométricos na região de Petrolina-PE. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 3, p. 443-457, jul/set. 2017.

MANN, Henry B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica: Journal of the econometric Society**, v.13, n. 3, p.245-259. 1945.

MARKOVIC, Radmilo D. **Probability functions of best fit to distributions of annual precipitation and runoff**. 1965. Tese (Doutorado) Hydrology papers - Colorado State University. Libraries, 1965.

MEDEIROS, R. M. de.; SABOYA, L. M. F.; HOLANDA, R. M. de.; FRANÇA, M. V. de.; CUNHA FILHO, M.; ARAÚJO, W. R. de. Likely precipitation to Barbalha-Ceará, Brazil with use of gama distribution. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10,

n. 17, p. e203101724623, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i17.24623. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/24623>. Acesso em: 1 jul. 2022.

MELO, M. M. M. S.; SANTOS, C. A. C. D.; OLINDA, R. A. D.; SILVA, M. T.; ABRAHÃO, R.; RUIZ-ALVAREZ, O. Trends in temperature and rainfall extremes near the Artificial Sobradinho Lake, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, p. 426-440, 2018.

MIRANDA, Evaristo Eduardo de. Irrigação, tecnologia e “reexistência”: pobreza no Vale do Rio São Francisco. **AgroANALYSIS**, v. 37, n. 1, p. 32 - 34, jan. 2017.

NASUTI, S.; CURI, M. V.; da SILVA, N. M.; de ANDRADE, A. J. P.; IBIAPINA, I.; de SOUZA, C. R.; SAITO, C. H.; Conhecimento Tradicional e Previsões Meteorológicas: Agricultores Familiares e As “Experiências de Inverno” no Semiárido Potiguar. **Revista econômica do Nordeste**, v. 44, p. 383-402, jun. 2013.

NDAMANI, F.; WATANABE, T. Influences of rainfall on crop production and suggestions for adaptation. **International journal of agricultural sciences**, v. 5, n. 1, p. 367-374, jan. 2015.

NÚÑEZ-GONZÁLEZ, Gerardo. Analysis of the trends in precipitation and precipitation concentration in some climatological stations of Mexico from 1960 to 2010. **Natural Hazards**, v. 104, n. 2, p. 1747-1761, 2020. DOI:10.1007/s11069-020-04244-w

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; DELGADO, R. C.; GOIS, G.; LANNES, A.; DIAS, F. O.; SOUZA, J. C.; SOUZA, M. Análise da precipitação e sua relação com sistemas meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 140-149, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4322/loram.2014.030>

OLIVER, John E. Monthly precipitation distribution: a comparative index. **The Professional Geographer**, v. 32, n. 3, p. 300–309, 1980.

PASSOS, O. S.; BASTOS, D. C.; SOUZA, J. da S.; RAMOS, Y. C. Potencialidade do Submédio São Francisco para citricultura. In: SEMINÁRIO POTENCIAL E DESAFIOS DA FRUTICULTURA IRRIGADA NO VALE DO SÃO FRANCISCO, 2010. Petrolina. **Anais...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.

PASSOS, M. L. V.; RAPOSO, A. B.; MENDES, T. J. Estimativa da distribuição da precipitação pluviométrica provável em diferentes níveis de probabilidade de ocorrência. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 1, p. 1106 - 1115, jan/fev. 2017.

PIRES, M. V.; CUNHA, D. A.; REIS, D. I.; COELHO, A. B. Percepção de produtores rurais em relação às mudanças climáticas e estratégias de adaptação no estado de Minas Gerais, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 4, p. 431-440, 2014.

RIZZOLO, Rafaela Gadret. **Ecofisiologia de variedades de videiras resistentes a doenças fúngicas cultivadas em diferentes altitudes do estado de Santa Catarina, Brasil**. 2022. 120 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa

de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Florianópolis, 2022.

SALVIANO, M. F.; GROppo, 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620150003>

SANTOS, R. S.; VIEIRA, P. D.; EVANGELISTA, D. H. R.; OLIVEIRA, L. J. C.; NONATO, D. Caracterização de extremos mensais de precipitação em Cacoal (RO). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, jan/jun, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.55285>

SANTIAGO, E. J. P.; OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; MOURA, M. S. B.; GONÇALVES, I. S. Precipitação esperada, em diferentes níveis de probabilidade, na região de Juazeiro-BA. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 457-464, 2017.

SANTIAGO, E. J. P.; SILVA, L. P.; SILVA, F. G.; SILVA, A. S. A. Precipitação provável para o município de Afrânio-PE em diferentes níveis probabilístico. **Sigmae**, Alfenas, v. 8, n. 2, p. 437-448, 2019.

SANTIAGO, E. J. P.; SILVA, F. G.; SILVA, A. S. A. da.; CANTALICE, J. R. B.; CUNHA FILHO, M.; AGUIAR, J. D. A. Adequação de modelos probabilísticos à evapotranspiração de referência no submédio do vale do rio São Francisco. **IRRIGA**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 144–154, 2021. DOI: 10.15809/irriga.2021v1n1p144-154. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4258>. Acesso em: 24 jun. 2022.

SILVA, A. R.; SANTOS, T. S. DOS; QUEIROZ, D. E. DE; GUSMÃO, M. O.; SILVA, T. G. F. DA. Variações no índice de anomalia de chuva no semiárido. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 377-384, 2017. DOI: 10.24221/jeap.2.4.2017.1420.377-384

SILVA, E. R. A. C.; GALVINCIO, J. D.; NASCIMENTO, K. R. P.; DE SANTANA, S. H. C.; DE 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**, v. 22, jan/jun, 2018.

SILVA, R. G.; PASSOS, A.; AKER, A.; CORDEIRO, V.; ALVES, C. Distribuição da precipitação e ajuste de modelos probabilísticos para Formoso, MG. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.16, n.30, p. 219, 2019a.

SILVA, D. A. O.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A.; SILVA, Ê. F. F.; SILVA, J. L. B.; BEZERRA, A. C. Evolução Espaço-Temporal do Risco de Degradação da Cobertura Vegetal de Petrolina-PE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, p. 89-99, 2019b.

SILVA, Luciano Pereira da. **Comparação entre ajustes de distribuição de probabilidades em dados de precipitação do Estado de Pernambuco**. 2021. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-

Graduação em Biometria e Estatística Aplicada, Recife, 2021a.

SILVA, Mariana Mendes. **Tendências e extremos da pluviosidade na região hidrográfica do Rio São Francisco**. 2021. 134f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021b. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2021.214>.

SILVA-JÚNIOR, M. A. B. da.; FOSECA-NETO, G. C. da.; CABRAL, J. da S. P. Análise estatística para detecção de tendências em séries temporais de temperatura e precipitação no Recife-PE. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 37, n. 1, 2020.

SIQUEIRA, B.; NERY, J. T. Concentração diária e mensal da precipitação pluvial no nordeste do Brasil: uma contribuição dos índices CI e PCI. **Revista Geografar - Curitiba**, v. 16, n. 2, p. 555-570, jul/dez. 2021.

SOUZA, José do Nascimento. **Dinâmica Climática e Agricultura em Poço Verde (SE) entre 2017 e 2020**. 2021. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – UniAGES, Paripiranga, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/17205/1/TCC%20Jos%c3%a9%20-%20ap%c3%b3s%20defesa..pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2022.

STATACORP. Stata Statistical Software. Release 15. College Station, TX: StataCorp LLC, 2017.

TABARELLI, M.; LEAL, I. R.; SCARANO, F. R.; SILVA, J. Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 25-29, 2018.

TEIXEIRA, A. H. de C.; LEIVAS, J. F.; PACHECO, E. P.; GARCON, E. A. M. Monitoramento de indicadores biofísicos no submédio São Francisco com aplicação de geotecnologias. *In*: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 14., 2018, Maceió. **Anais...** Maceió: ABRH, 2018.

TIBULO, Cleiton. **Modelos de séries temporais aplicados a dados de umidade relativa do ar**. 2014. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, RS, 2014.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. Brasil caracterização Climática: clima semiárido. *In*: Introdução a Climatologia. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

TUO, Y.; DUAN, Z.; DISSE, M.; CHIOGNA, G. Evaluation of precipitation input for SWAT modeling in Alpine catchment: A case study in the Adige river basin (Italy). **Science of The Total Environment**, v. 573, p. 66-82, 2016.

ULIANA, E. M.; REIS, E. F.; SILVA, J. G. F.; XAVER, A. C. Precipitação mensal anual provável para o estado do Espírito Santo. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 1, p.139-147, jan/mar. 2013.

VAN ROOY, M. P. A rainfall anomaly index independent of time and space, notes. **Journal: Weather Bureau South Africa** v. 14, p. 43-48, 1965.

VOROVENCII, Iosif. Assessing and Monitoring the risk of Desertification in Dobrogea, Romania, using Landsat data and Decision Tree Classifier. **Journal of Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 204, p. 154-220, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4428-3>

WEIBULL, Wallodi. A statistical theory of the strength of material. **Ingeniors Vetenskapa Acadamiens Handligar**, v. 151, p. 1-45, 1939.

WEIBULL, Wallodi. A statistical distribution function of wide applicability. **Journal of Applied Mechanics**, American Society of Mechanical Engineers, 1951.

WU, H.; ZOU, Y.; ALVES, L. M.; MACAU, E. E. N.; SAMPAIO, G.; MARENGO, J. A. Uncovering episodic influence of oceans on extreme drought events in Northeast Brazil by ordinal partition network approaches. **Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science**, v. 30, n. 5, p. 053104, 2020.

ZAMANI, R.; MIRABBASI, R.; NAZERI, M.; MESHAM, S. G.; AHMADI, F. Spatio-temporal analysis of daily, seasonal and annual precipitation concentration in Jharkhand state, India. **Stochastic environmental research and risk assessment**, v. 32, n. 4, p. 1085-1097, 2018. DOI:10.1007/s00477-017-1447-3

ZHANG, P.; ZHANG, J.; CHEN, M. Economic impacts of climate change on agriculture: The importance of additional climatic variables other than temperature and precipitation. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 83, p. 8–31, mai. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeem.2016.12.001>

ZERI, M. S.; ALVALÁ, R. C.; CARNEIRO, R.; CUNHA-ZERI, G.; COSTA, J. M.; ROSSATO-SPATAFORA, L.; URBANO, D.; MALL-LLOSSERA, M.; MARENGO, J. Tools for communicating agricultural drought over the Brazilian Semiarid using the soil moisture index. **Water**, v. 10, n. 10, e1421, 2018.