



Universidade Federal de Alagoas
Instituto de Ciências Atmosféricas
Curso de Bacharelado em Meteorologia



CHARLA CAMPOS PEREIRA

Identificação de Secas no Estado de Alagoas via Standardized Precipitation Index (SPI)

Maceió, Alagoas

Fevereiro, 2022

CHARLA CAMPOS PEREIRA

Identificação de Secas no Estado de Alagoas via Standardized Precipitation Index (SPI)

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Ciências Atmosféricas – ICAT da Universidade Federal de Alagoas – UFAL como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: **Prof. Dr. José Francisco de Oliveira Júnior**

Maceió, Alagoas

Fevereiro, 2022

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

P436i Pereira, Charla Campos.
Identificação de secas no Estado de Alagoas via Standardized
Precipitation Index (SPI) / Charla Campos Pereira. – 2022.
47 f. : il. color.

Orientador: José Francisco de Oliveira Júnior.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) –
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas.
Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 42-47.

1. Seca. 2. Agricultura. 3. Standardized Precipitation Index - SPI. I.
Título.

CDU: 551.577.38

Folha de Aprovação
CHARLA CAMPOS PEREIRA

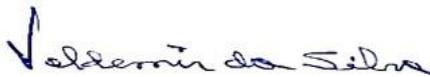
**Identificação de Secas no Estado de Alagoas via Standardized
Precipitation Index (SPI)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Ciências Atmosféricas – ICAT da
Universidade Federal de Alagoas como
requisito parcial à obtenção do grau de
Bacharel em Meteorologia, aprovado em:

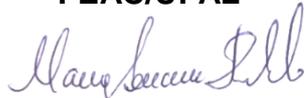
Banca examinadora



Prof. Dr. José Francisco de Oliveira Júnior
ICAT/UFAL (Orientador)



Prof. M.Sc. Valdemir da Silva
FEAC/UFAL



Prof^a. Dr^a. Maria Luciene de Melo
ICAT/UFAL



M.Sc. Marcos Vinícius da Silva
DEA/UFPRPE

Dedico a Deus e aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que foi e tem sido minha força e sustento, pois sem Ele, eu nada seria.

À minha família que sempre me apoiou em tudo e me deu suporte para concluir esta graduação, em especial meu pai Charles Pereira, minha mãe Josefa Pereira e o meu esposo Wevelly Santos. Obrigada pai por ir me levar e buscar no ponto de ônibus todos os dias, obrigada mãe por sacrificar algumas horas do seu dia para preparar o almoço mais cedo para mim.

Aos meus amigos que conheci durante a graduação, em especial minhas amigas Juliana Sousa, Lua Monteiro e Thayná Vila Nova, que fizeram parte de toda minha trajetória, me animando e dando forças todas as vezes que pensei em desistir.

Ao Danilo Siden, Ismael Guidson e Laurizio Alves por sempre se disponibilizarem quando eu tinha alguma dúvida.

Ao meu professor e orientador José Francisco de Oliveira Júnior pelas correções, dedicação e paciência.

Aos professores do Instituto de Ciências Atmosféricas – ICAT que contribuíram para minha formação. Aos professores Valdemir da Silva, Marcos Vinícius da Silva e Maria Luciene de Melo por aceitarem participar da banca examinadora.

Tendo sido, pois, justificados pela fé, temos paz com Deus, por nosso Senhor Jesus Cristo;

Pelo qual também temos entrada pela fé a esta graça, na qual estamos firmes, e nos gloriamos na esperança da glória de Deus.

E não somente isto, mas também nos gloriamos nas tribulações; sabendo que a tribulação produz a paciência,

E a paciência a experiência, e a experiência a esperança.

E a esperança não traz confusão, porquanto o amor de Deus está derramado em nossos corações pelo Espírito Santo que nos foi dado.

Romanos 5:1-5

RESUMO

A seca é um desastre natural causado pela falta de chuvas por um determinado período que varia de um mês a anos. Apesar de alguns estudos sobre a temática seca no Estado, ainda há lacunas a serem preenchidas, principalmente a análise dos impactos na agricultura, causados pela seca nas mesorregiões climáticas de Alagoas (Sertão, Agreste e Litoral Alagoano). Portanto, este estudo avaliou os episódios de secas no Estado de Alagoas no período de 1960-2016, com base no Standardized Precipitation Index (SPI). Dados pluviométricos mensais de 54 estações pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional das Águas (ANA), foram usados, porém, tais dados apresentavam falhas na série temporal e foram preenchidos via método de imputação de dados no ambiente R. Na identificação das categorias de seca via SPI anual (SPI-12) foi relacionado com as fases do modo de variabilidade El Niño-Oscilação Sul (ENOS) via Oceanic Niño Index (ONI), seguido dos efeitos da seca e em duas culturas agrícolas (cana-de-açúcar e mandioca) no Estado. Nos mapas de SPI-12 foi usado o método de interpolação Inverse Distance Weighted (IDW) a partir do Quantum Gis (QGis) versão 3.4.6. Os resultados obtidos mostraram que o SPI-12 é um índice satisfatório para identificação de seca anual no Estado. A fase quente do ENOS (El Niño) contribuiu na intensificação da seca, principalmente no ciclo 2015/2016 na categoria SPI muito seco. Vale destacar que tal ciclo é classificado como El Niño muito forte, segundo ONI. Apesar da diminuição da produção agrícola da cana-de-açúcar e mandioca terem ocorrido em anos de eventos de moderadamente seco a extremamente seco, correlação não é satisfatória, pois houve anos com eventos de SPI negativo e que não influenciou na diminuição da produção agrícola no Estado. Vale destacar a continuidade de estudos baseado no SPI e sua relação com mudanças de uso e ocupação da terra, modo de variabilidade climático – Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e, principalmente comparar o desempenho do SPI com outros índices secas para Estado, por exemplo, Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) e Palmer Drought Severity Index (PDSI), que usam além da chuva outros parâmetros e variáveis climáticas.

Palavras-Chaves: ENOS, índice de seca, produção agrícola, desastre natural.

ABSTRACT

Drought is a natural disaster caused by the lack of rainfall for a certain period ranging from a month to years. Despite some studies on the theme of drought in the state, there are still gaps to be filled, especially an analysis of the impacts on agriculture caused by drought in the climatic mesoregions of Alagoas (Arid Zone, Hinterland e Coast). Therefore, this study evaluated drought episodes in the State of Alagoas in the period 1960-2016, based on the Standardized Precipitation Index (SPI). Monthly rainfall data from 54 stations belonging to the hydrometeorological network of the National Water Agency (ANA) were used however, such data had flaws in the time series and were filled in via the method of imputation of data in the R environment. via annual SPI (SPI-12) was related to the phases of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) mode of variability via the Oceanic Niño Index (ONI), followed by the effects of drought and in two agricultural crops (sugarcane and cassava) in the state. The SPI-12 maps were used using the Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation method from Quantum Gis (QGis) version 3.4.6. The results obtained showed that the SPI-12 is a satisfactory index for the identification of annual drought in the state. The hot phase of ENSO (El Niño) contributed to the intensification of the drought, especially in the 2015/2016 cycle in the very dry SPI category. It is worth noting that this cycle is classified as a very strong El Niño, according to ONI. Although the decrease in agricultural production of sugarcane and cassava occurred in years of moderately dry to extremely dry events, the correlation is not satisfactory, as there were years with negative SPI events, which did not influence the decrease in agricultural production in the year State. It is worth highlighting the continuity of studies based on the SPI and its relationship with changes in land use and occupation, climate variability mode - Pacific Decadal Oscillation (PDO) and, mainly, comparing the performance of the SPI with other drought indices for the State, for example, Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Palmer Drought Severity Index (PDSI), which use other parameters and climatic variables in addition to rainfall.

Keywords: ENSO, drought index, agricultural production, natural disaster.

Lista de Figuras

Figura 1. Localização das 54 estações pluviométricas no Estado de Alagoas e com sua respectiva hipsometria (m).....	23
Figura 2. Distribuição espacial da seca por décadas (1960-2010) e o ano de 2016 via SPI-12 no Estado de Alagoas.....	36
Figura 3. Distribuição temporal do SPI-12 nas cidades de Delmiro Gouveia (a), Arapiraca (b), Maceió (c), Pão de Açúcar (d), Lagoa da Canoa (e) e Porto de Pedras (f)	38
Figura 4. Relação entre as produções agrícolas da cana-de-açúcar (a) e mandioca (b) com o SPI-12 no período de 2009-2016 em Alagoas.	40

Lista de Tabelas

Tabela 1. Classificação do SPI.	16
Tabela 2. Classificação do PDSI.	19
Tabela 3. 54 Estações pluviométricas do estado de Alagoas com Identificador (ID), as coordenadas geográficas (latitude, longitude, °), altitude (m) e os percentuais de falhas (%), respectivamente.	24
Tabela 4. Valores médios do índice ONI, com base em um limite de $\pm 0,5$ °C da TSM do Pacífico Equatorial na região El Niño 3.4, para 3 meses consecutivos de TSM nos anos de El Niño, La Niña e Neutro classificados como quente (vermelho), frio (azul) e neutros (preto) no período de 1960 a 2016.	29
Tabela 5. Contagem e frequência (%) decadal e anual dos eventos de seca no estado de Alagoas, via SPI anual no período de 1960 a 2016.	31
Tabela 6. Fases dos eventos do El Niño - Oscilação Sul (ENOS) seguido de intensidade do evento e anos de ocorrência com base no índice ONI para região 3.4.	33

Lista de Abreviaturas e Siglas

ANA – Agencia Nacional de Águas

CAD – Capacidade de Água no Solo

CCM – Complexo Convectivo de Mesoescala

E – Leste

ETP – Evapotranspiração

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ID – Identificador

N – Norte

NE – Nordeste

NEB – Nordeste do Brasil

OMJ – Oscilação Madden-Julian

PSDI – Palmer Drought Severity Index

S – Sul

SE - Sudeste

SF – Sistemas Frontais

SPI – Standardized Precipitation Index

SPEI – Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

SW – Sudoeste

VCAN – Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

VHI – Vegetation Health Index

W – Oeste

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. Geral	14
2.2. Específicos	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1. Índices de seca.....	14
3.1.1 SPI.....	16
3.1.2 SPEI.....	17
3.1.3 PDSI.....	17
3.2 Seca em Alagoas.....	19
3.3 Seca e produtividade agrícola em Alagoas.....	20
3.4 Chuva em Alagoas.....	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1 Caracterização da Área de Estudo.....	22
4.2 Controle, Tratamento e Organização dos Dados.....	23
4.3 Cálculo do SPI	27
4.4 Método de Interpolação Espacial.....	28
4.5 Fases do ENOS	28
4.6 Produção Agrícola.....	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 Análise espaço-temporal do SPI decadal.....	30
5.2 Análise temporal do SPI anual	37
5.2.1 El Niños Forte e Muito Forte.....	37
5.3 Impacto da Seca na Produção Agrícola	39
6. CONCLUSÕES	41
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

A seca é um fenômeno causado pela falta de chuvas por um determinado período que varia de um mês a anos (FERNANDES et al., 2009; MACEDO et al., 2010). A seca contribui na redução das reservas hídricas existentes, e sua duração varia de acordo com a intensidade do evento (KOBAYAMA et al. 2004; GRIGOLETTO et al., 2016). A seca impacta diretamente nas atividades e sobrevivência humana (WILHITE e GLANTZ, 1987; BYUN e WILHITE, 1999; MCKEE et al., 1993; WILHITE, 2003; FERNANDES et al., 2009).

A seca pode ser classificada em quatro tipos: **i)** seca meteorológica consiste no período de seca comparado com a normal climatológica, sendo utilizada para regiões específicas, quando os valores de chuva ocorrem abaixo de 70% a 75% durante determinado período (PIRES, 2003; FERNANDES et al., 2009; PEDROSA, 2019); **ii)** seca hidrológica está relacionada com a redução nos níveis médios de água em reservatórios, ela geralmente ocorre depois de um longo período de seca meteorológica, com sérias consequências aos centros urbanos, indústrias, nos sistemas de irrigação e na produção de energia elétrica (PIRES, 2003; FERNANDES et al., 2009; PEDROSA, 2019); **iii)** seca agrícola é a junção das secas meteorológica e hidrológica, que por sua vez causa a seca agrícola, sendo relacionada aos impactos na Agricultura, principalmente na disponibilidade de água no solo, que está ligado ao crescimento das plantas (PIRES, 2003; FERNANDES et al., 2009) e **iv)** seca socioeconômica é o resultado dos impactos diretos e indiretos da seca sobre as atividades humanas e produção agrícola (FERNANDES et al., 2009).

As condições meteorológicas e a fisiografia local influenciam diretamente a seca (SILVA et al., 2013). É sabido que os eventos de seca afetam diretamente os habitantes do semiárido nordestino, onde a falta de políticas públicas efetivas leva à sua vulnerabilidade hídrica e, conseqüentemente, ao aumento da vulnerabilidade social. A seca conduz à escassez de energia e água, além de riscos à segurança alimentar da população (SILVA et al., 2013; EAKIN et al., 2014; GONDIM et al., 2017).

As secas severas são frequentes no Nordeste do Brasil (NEB) e o seu impacto na subsistência da população são documentados desde o século XVI. Nas décadas de 1970, 1980 e 1990, eventos frequentes de seca severa ocorreram no NEB e, assim o Governo Federal fez a implantação de planos (Provale – Incentivo à irrigação no Vale do São Francisco, Projeto Padre Cícero – Ampliar o número de reservatórios de água no interior do Nordeste, incentivando a convivência com a seca) para combater os efeitos causados pela seca principalmente no semiárido brasileiro (ALVES, 1953; SUDENE, 2004; ALMEIDA, 2018; MARENGO et al., 2017; CAVALCANTE e SILVA, 2021). Em Alagoas, os Governos estadual e Federal iniciaram a implantação do Canal do Sertão, com objetivo de beneficiar os municípios que sofrem com a escassez hídrica, principalmente os municípios do Sertão e Agreste alagoano (SILVA e FREITAS, 2020).

Anteriormente, Oliveira Júnior et al. (2012) realizaram um estudo sobre a influência da seca em Alagoas com base no SPI e sua relação com os eventos de El Niño – Oscilação Sul (ENOS), os quais concluíram que o SPI homogeneizado (dados sem falhas e devidamente corrigidos) consegue caracterizar a severidade da seca quando comparados aos dados não homogeneizados. Da Silva Lima et al. (2018) avaliaram o SPI-12 na classificação e quantificação de seca e chuva para o Estado de Alagoas e constataram que o SPI é uma ferramenta útil na detecção e monitoramentos das secas e chuvas no Estado. Recentemente, Souza (2021) avaliou a variabilidade das secas no Estado de Alagoas no período 1936–2019 com o uso de dados diários pluviométricos, eles identificaram a partir do SPI-3 (trimestral) apresenta um comportamento plurianual no estado.

Apesar de alguns estudos já terem sido realizados com temática seca no Estado, ainda há lacunas a serem preenchidas, principalmente a análise dos impactos na agricultura, causado pela seca nas mesorregiões de Alagoas. Dessa forma, o estudo se propõe a preencher essa lacuna e outras, em relação à influência das secas em Alagoas com base no SPI anual.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

- **IDENTIFICAR** seca no Estado de Alagoas por meio do SPI.

2.2. Específicos

- **AVALIAR** os impactos do El Niño na intensificação da seca em Alagoas;
- **RELACIONAR** os períodos de seca caracterizados de acordo com as classes de severidade do SPI e o efeito na produção agrícola de cana-de-açúcar e mandioca.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Índices de seca

A seca é definida como falta de água num período entre meses e anos (FERNANDES et al.,2009; MACEDO et al., 2010). Apesar das inúmeras pesquisas, sobre seca, pesquisadores ainda estudam e propõe os índices de secas para quantificar a intensidade e sua duração espaço-temporalmente (HO et al.,2021). Os índices de secas utilizam variáveis meteorológicas, tais como, precipitação pluvial (chuva), evapotranspiração (ETP), temperatura do ar, umidade do solo, escoamento superficial (*runoff*) e outras variáveis como dados de entrada (FERNANDES et al.,2009).

Devido à seca afetar diretamente o consumo de água, a produção agrícola e a produção de energia, impactando negativamente a economia do país, especialmente aqueles considerados emergentes ou em desenvolvimento (MARENGO, 2010; MACHADO FILHO et al., 2016; GOIS et al., 2005, 2020). A seca é diretamente responsável por inúmeros danos socioambientais e socioeconômicos, sendo os mais afetados, de curto e longo prazo, a agricultura e o abastecimento (BLAIN, 2005; SANTOS, 2011; GOIS et al., 2020).

Com base no impacto a seca, ela pode ser considerada como meteorológica, hidrológica, agrícola ou socioeconômica (ZARGAR et al., 2011; HAO e SINGH, 2015; HO et al., 2021). Na detecção da seca meteorológica, o índice mais utilizado na literatura científica, que somente utiliza a chuva é denominado de Índice de Precipitação Padronizado (no inglês, *Standardized Precipitation Index* - SPI) - (McKee et al., 1993, 1995). Outros índices que se destacam são o Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado (no inglês, *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index* - SPEI) - (Beguería et al., 2014) e Índice de Severidade de Seca de Palmer (no inglês, *Palmer Drought Severity Index* - PDSI) - (PALMER, 1965), ambos os índices, além da chuva, também inclui os efeitos da ET e da temperatura do ar (MISHRA e SINGH, 2010; ZARGAR et al., 2011).

A seca hidrológica é descrita como a escassez da água da superfície e subterrânea em escala de dias, semanas, meses ou anos (VAN LOON, 2015; FREITAS, 2021). Enquanto a seca agrícola está associada à seca meteorológica e hidrológica, visto que há variações na quantidade de água no solo, irá impactar no desenvolvimento das plantas (PIRES, 2003; FERNANDES et al., 2009; SILVEIRA, 2016). A seca socioeconômica é o impacto diretamente nas atividades humanas, pois a seca interfere em diversos serviços, tais como: energia elétrica, alimentos, entre outros, de forma direta ou indireta também na produção agrícola (FERNANDES et al., 2009).

Com base em uma série de dados meteorológicos históricos, a seca pode ser diagnosticada por meio de índices quantitativos de seca (SPI, SPEI, PDSI e outros) e análises estatísticas. Esses índices utilizam equações empíricas para diagnosticar a pontualidade ou as estações seca ou chuvosa da região. O uso de índices para quantificar a seca é necessário para determinar a intensidade, duração e frequência de tais anomalias (FERNANDES et al., 2009).

3.1.1 SPI

Desenvolvido por McKee et al. (1993, 1995) o SPI tem como objetivo quantificar, padronizar e comparar a seca, em multiescalas temporais (1, 3, 6, 12 e 24 meses) e espaciais. A principal vantagem do SPI é que utiliza apenas da chuva mensal como dado de entrada no cálculo do índice (SILVEIRA, 2016). O SPI possui uma desvantagem, pois necessita de uma série de dados de no mínimo 30 anos (FERNANDES et al., 2009). O SPI varia de menor ou igual a -2 para extremamente seco, a maior ou igual a 2 para extremamente úmido, conforme a **Tabela 1** - (FERNANDES et al., 2009, SILVEIRA, 2016).

Tabela 1. Classificação dos períodos secos e úmidos do SPI, segundo McKEE et al. (1993, 1995).

Valores de SPI	Classificação
$\geq 2,0$	Extremamente úmido
1,50 a 1,99	Muito úmido
1,00 a 1,49	Moderadamente úmido
0,99 a -0,99	Próximo ao normal
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco
-1,50 a -1,99	Muito seco
≤ -2	Extremamente Seco

O SPI é um dos índices mais utilizados no monitoramento de seca no NEB por ter uma grande aceitação no meio científico (CARMO, 2018). A utilização do SPI foi consolidada pela pesquisa de Canamary (2015), a qual avaliou a aplicação de alguns índices de secas para o semiárido brasileiro, que engloba os nove estados do NEB (Maranhão, Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Ceará) e também o estado de Minas Gerais pertencente a região sudeste do Brasil. Carmo e Lima (2020) em sua pesquisa, utilizaram o índice SPI para avaliar a dinâmica espaço-temporal de secas no NEB e a influência das forçantes climáticas de larga escala relacionadas à TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico. Brito et al. (2018), em sua pesquisa, fizeram a utilização do SPI, onde usaram o SPI de 12 meses e o Índice de Saúde e Vegetação (no inglês, *Vegetation*

Health Index – VHI) para avaliar os eventos de seca ocorridos entre 1981 e 2016, com ênfase na seca atual (de 2011 a 2016), na região do semiárido nordestino, o qual os resultados mostram que a seca mais severa e prolongada ocorreu no período de 2011–2016.

3.1.2 SPEI

O SPEI parte do mesmo princípio do SPI, pois utiliza a chuva mensal, seguido da temperatura e da ETP para o seu cálculo. No entanto, há uma diferença entre esses elementos meteorológicos de entrada para cálculo do índice em uma região, sendo determinado por meio do balanço hidrológico climatológico (DUBREUIL et al., 2019; GOZZO et al., 2021; HARSÁNYI et al., 2021). O SPEI evita questões que estão ligadas ao SPI, como o ajuste para períodos de precipitação zero, entretanto, por ser um índice consideravelmente recente, necessitando de testes mais rigorosos de sua metodologia e suposições antes de obter uma aceitação (STAGGE et al., 2015)

Carmo (2018) verificou que tanto o SPI como o SPEI apresentou similaridade na identificação de secas históricas que ocorreram no NEB. Azevedo et al. (2019) utilizaram o SPEI para análise de padrões de seca na bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açú no estado do Rio Grande do Norte, onde constatou que o índice apresenta simplicidade e característica multiescalar para quantificar períodos úmidos e secos. Canamary (2015), em “Avaliação de Índices para fins de Monitoramento e Previsão de Secas no Nordeste Setentrional” conclui a capacidade do SPEI na identificação de todas as secas históricas utilizadas em sua pesquisa, a qual apresentou maior desempenho ao do SPI.

3.1.3 PDSI

Segundo Palmer (1965), o PDSI é um índice de umidade para solos homogêneos (quando todos os pontos dentro dela tiverem as mesmas características geotécnicas sua massa), sendo desenvolvido para ser um índice agrícola com objetivo de medir a perda e a demanda de umidade do solo, seguido na identificação e estimativa da severidade da seca, baseado no balanço hídrico do solo. O modelo de Palmer utiliza valores de chuva diária, ETP e a capacidade de água no solo (CAD) a fim de permitir comparações espaciais e temporais. O PSDI varia entre -0,4 a +4,0 (Tabela 2), de modo que uma seca extrema (-4,0) tenha o

mesmo significado em termos de déficit de umidade, para o qual geralmente é utilizado um cálculo mensal (ALLEY, 1984, SILVEIRA, 2016).

Tabela 2. Classificação dos períodos secos e úmidos do PDSI, segundo Palmer (1965). .

Valores do PDSI	Classificação
≥4,00	Extremamente úmido
3,00 a 3,99	Umidade alta
2,00 a 2,99	Umidade moderada
1,00 a 1,99	Umidade baixa
0,50 a 0,99	Umidade inicial
0,49 a -0,49	Normal
-0,50 a -0,99	Seca inicial
-1,00 a -1,99	Seca suave
-2,00 a -2,99	Seca moderada
-3,00 a -3,99	Seca severa
≤-4,00	Seca extrema

Carmo e Lima (2013), em seu estudo sobre a variabilidade espaço-tempo de índice de seca para o NEB, utilizou o PDSI entre os demais índices, onde constatou que, assim como SPI, representa bem as secas do NEB.

3.2 Seca em Alagoas

A seca em Alagoas tem se intensificado nos últimos anos. Os índices pluviométricos apresentam características abaixo da média nas últimas décadas, juntamente com escassez da chuva, tornando difícil a vida e a economia da população que habita principalmente as mesorregiões do Agreste e Sertão alagoano (LOPES et al., 2017). É sabido que Alagoas sofre constantemente com a ocorrência de seca, porém, se comparado com outros estados do NEB, os impactos são menores, assemelhando-se apenas os impactos socioeconômicos (GOIS et al., 2005; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2012; LYRA et al., 2017; OCSTA et al., 2020).

Com o intuito de reduzir os impactos das secas em Alagoas, o Canal do Sertão foi solução prática, com a finalidade de corrigir os problemas sociais principalmente no semiárido alagoano (SILVA e FREITAS, 2020). Sabe-se que além da seca, o estado de Alagoas também é afetado por inundações periódicas e eventos extremos de chuva, principalmente no século passado (1914,1941, 1960, 1964, 1988, 1989, 2000), e recentemente em Alagoas e Pernambuco, em 2010 (SILVA et al. 2010, LYRA et al., 2017).

Lopes et al. (2017), fizeram um estudo sobre os Impactos da seca 2010-2016 em Alagoas, de acordo com o estudo, o fenômeno foi considerado o mais grave dos últimos 50 anos, apresentando impactos negativos na agricultura (cana-de-açúcar) e na pecuária, em todas as mesorregiões do estado.

3.3 Seca e produtividade agrícola em Alagoas

A seca afeta todos os sistemas socioeconômicos e ambientais, ela gera muitos prejuízos, principalmente a agricultura (FERNANDES et al.,2009, HARSÁNYI et al., 2021). Os impactos da seca podem ser direto ou indireto, as diminuições da produção agrícola, diminuição dos níveis das águas, aumento de números de incêndios, da cotação e mortalidade dos gados é uns dos efeitos diretos. Os efeitos indiretos da seca incluem preços de alimentos altamente instáveis, que podem ser exacerbados pelos efeitos de mercado no setor agrícola (HARSÁNYI et al., 2021).

A chuva é uma das variáveis que compõem o clima, interfere no resultado da produção de culturas, sendo assim, a seca, devido à baixa disponibilidade de umidade no solo, tornando insuficiente o abastecimento de águas para reposição de perdas das culturas. (PEREIRA et al., 2012; SILVEIRA, 2016). No intuito de ajudar os agricultores, o índice de severidade de seca tem sido utilizado para avaliar e monitorar possíveis sistemas de seca em escala espaço-tempo, prever o rendimento da safra e o zoneamento agrícola (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2012). O entendimento das condições climáticas é de suma importância para um país como o Brasil, onde a agricultura é umas das maiores fontes socioeconômica (SILVEIRA, 2016).

3.4 Chuva em Alagoas

Devido a sua localização geográfica, o estado de Alagoas apresenta características climáticas irregulares na chuva e também pouca variação na sazonalidade da radiação solar, do fotoperíodo e temperatura do ar (T_{ar}), a alta incidência solar anual e de ETP se deve a sua proximidade da linha do equador (BARROS et al., 2012; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021). Estudos apontam que os menores índices pluviométricos do estado estão relacionados com o El Niño, e a circulação geral atmosférica e oceânica em grande escala sobre os trópicos (MOLION; BERNARDO, 2002, BARROS et al., 2012; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021).

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) destaca-se entre os principais produtores de chuva em Alagoas, juntamente com os Sistemas Frontais (SF), que é alimentado pela umidade do Atlântico Sul e que define a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), seguido dos Distúrbios de Ondas de Leste, que são aglomerados de nuvens que cruzam o Atlântico de leste a oeste, e ventos alísios de nordeste (NE) e sudeste (SE), mas também são afetados por sistemas de mesoescala, tais como, os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) e as circulações de brisas marítimas e terrestres, vale-montanha e lagunas que afetam todas as sub-regiões, e juntamente com topografia e pequenas células convectivas que constituem fenômenos em microescala (MOLION e BERNARDO, 2002; BARROS et al., 2012; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021).

Os sistemas meteorológicos também influenciam o regime de chuva no estado, tais sistemas caracterizam a convecção em escala sinótica, os quais interagem entre si, igualmente os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), que são os causadores de chuva a primavera, verão e outono austral e a Oscilação Madden-Julian (OMJ) - (KOUSKY e ALONSO GAN, 1981; KOUSKY e KAYANO, 1994; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021).

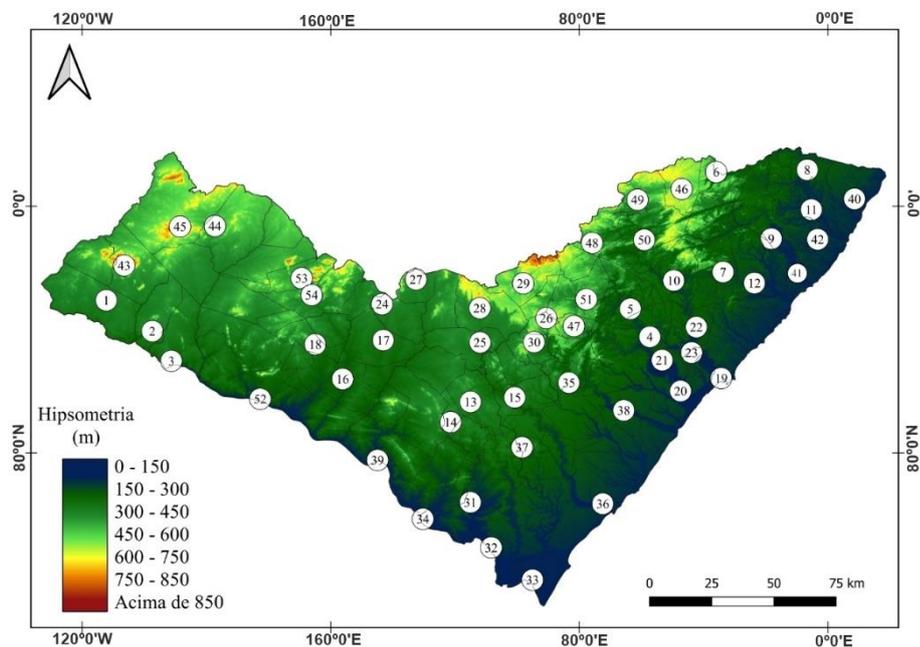
Nas últimas décadas, Alagoas passou por frequentes enchentes que destruíram casas, cobriram cidades, destruíram patrimônios públicos e privados e mudaram vidas, segundo registros da defesa civil. A ocorrência de cheia no estado era a cada vinte anos, com o passar do tempo, esse tempo reduziu para dez anos (SOUZA, 2014).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo

Alagoas é o 2º menor estado do Brasil, com uma área total de 27.830,656 km² (IBGE, 2020). Alagoas está localizada no Nordeste do Brasil (NEB), entre os paralelos 8°48'12" e 10°29'12" de latitude Sul (S) e entre os meridianos 35°09'36" e 38°13'54" de longitude a oeste (W) de Greenwich. Faz fronteira com o Oceano Atlântico a leste (E), Sergipe ao S, Pernambuco ao norte (N) e W e Bahia a sudoeste (SW) – (BARROS *et al.*, 2012). Atualmente, possui três mesorregiões climáticas (Leste, Agreste e Sertão Alagoano) – (SOUZA *et al.*, 2021). A hipsometria e a localização das 54 estações pluviométricas são apresentadas na **Figura 1**.

Figura 1. Localização das 54 estações pluviométricas no Estado de Alagoas e com sua respectiva hipsometria (m).



Alagoas não apresenta altas oscilações com relação à temperatura média do ar, no Leste Alagoano, oscila entre 23°C e 28°C, e no Sertão, entre 17°C e 33°C. De acordo com a classificação de Köppen, toda a metade oriental do estado possui clima do tipo “As”, ou seja, tropical e quente, com chuva entre 1000 a 1500 mm (BARROS et al., 2012). No estado de Alagoas encontram-se os biomas Caatinga nas regiões sertanejas e oeste do estado e a Mata Atlântica próximo ao ambiente costeiro e zona da mata (MOURA, 2006; CORREIA FILHO et al., 2019).

4.2 Controle, Tratamento e Organização dos Dados

Nesse estudo foram utilizados dados pluviométricos referentes a 54 estações localizadas no estado de Alagoas (Tabela 3) conforme distribuição espacial da **Figura 1**, pertencentes à rede hidrometeorológica da ANA – Agência Nacional das Águas (ANA, 2020), obtidos via portal eletrônico denominado HidroWeb no seguinte endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>. O período de estudo corresponde de 1960 a 2016.

Tabela 3. 54 Estações pluviométricas do estado de Alagoas com Identificador (ID), as coordenadas geográficas (latitude, longitude, °), altitude (m) e os percentuais de falhas (%), respectivamente.

ID	Municípios	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Falhas (%)
43	Água Branca	-9,28	-37,90	510	56,14
35	Anadia	-9,68	-36,58	140	50,88
13	Arapiraca	-9,80	-36,61	247	48,68
4	Atalaia	-9,50	-36,02	54	0,73
16	Batalha	-9,66	-37,12	120	63,60
24	Cacimbinhas	-9,40	-37,00	300	40,35
44	Canapi	-9,18	-37,43	280	43,86
5	Capela	-9,43	-36,08	34	49,42
6	Colônia Leopoldina	-8,91	-35,71	166	65,35
36	Coruripe	-10,12	-36,28	10	54,39
1	Delmiro Gouveia	-9,39	-37,99	256	0,00

Continuação.

7	Flexeiras	-9,28	-35,71	70	49,12
46	Ibateguara	-8,98	-35,93	505	63,01
25	Igaci	-9,55	-36,63	240	67,54
31	Igreja Nova	-10,11	-36,65	17	39,62
8	Jacuípe	-8,84	-35,44	0	50,88
37	Junqueiro	-9,93	-36,48	120	50,88
14	Lagoa da Canoa	-9,82	-36,50	235	34,06
15	Limoeiro de Anadia	-9,74	-36,50	150	33,77
19	Maceió	-9,66	-35,71	43	4,82
17	Major Isidoro	-9,53	-36,98	217	45,61
26	Mar Vermelho	-9,45	-36,38	620	40,79
40	Maragogi	-9,00	-35,23	5	44,74
20	Marechal Deodoro	-9,71	-35,89	0	53,95
45	Mata Grande	-9,12	-37,72	633	35,09
9	Matriz de Camaragibe	-9,16	-35,51	16	49,12
27	Minador do Negrão	-9,31	-36,86	395	52,92
10	Murici	-9,31	-35,94	82	5,26
18	Olho D'água das Flores	-9,53	-37,28	289	52,78
2	Olho D'água do Casado	-9,51	-37,85	209	49,92
28	Palmeira dos Índios	-9,40	-36,65	320	3,65
52	Pão de Açúcar	-9,74	-37,44	45	4,09
41	Passo de Camaragibe	-9,23	-35,48	90	34,36
32	Penedo	-10,28	-36,55	28	0,44
33	Piaçabuçu	-10,40	-36,42	10	45,61
21	Pilar	-9,63	-35,96	131	66,67
47	Pindoba	-9,45	-36,20	190	76,32
3	Piranhas	-9,62	-37,75	110	0,00
53	Poço das Trincheiras	-9,21	-37,28	255	47,37
11	Porto Calvo	-9,04	-35,40	54	35,82
42	Porto de Pedras	-9,18	-35,43	14	14,33
34	Porto Real do Colégio	-10,18	-36,83	30	39,18

29	Quebrangulo	-9,30	-36,47	411	14,91
-----------	-------------	-------	--------	-----	-------

Continuação.

22	Rio Largo	-9,48	-35,83	62	44,74
54	Santana do Ipanema	-9,37	-37,24	250	0,29
48	Santana do Mundaú	-9,16	-36,21	221	5,41
49	São José da Laje	-9,00	-36,05	250	12,87
12	São Luiz do Quitunde	-9,33	-35,55	4	52,19
38	São Miguel dos Campos	-9,78	-36,10	12	54,39
23	Satuba	-9,58	-35,81	20	41,67
30	Tanque D'Arca	-9,53	-36,43	280	49,12
39	Traipu	-9,96	-36,98	40	31,58
50	União dos Palmares	-9,15	-36,03	155	0,29
51	Viçosa	-9,37	-36,24	300	47,37

A série temporal pluviométrica possuía diversas falhas e, portanto, foi usada a técnica de imputação. A imputação de dados adotada no estudo baseou-se na técnica sugerida por Harrel (2001), em que os percentuais (%) de dados ausentes devem seguir os seguintes critérios:

- i) Percentual $\leq 0,05$: A imputação única ou análise somente dos dados completos;
- ii) Percentual entre 0,05 e 0,15: Uso da imputação múltipla;
- iii) Percentual $\geq 0,15$: A imputação múltipla é indicada na maior parte dos casos.

Após a contabilização das falhas, aplicou-se a imputação dos dados de chuva via pacote “mtsd”, a partir do critério ii. O método de imputação de dados consiste em uma função genérica, onde o conjunto de dados é transformado por meio da função spline, que suaviza a série temporal. Tais procedimentos foram realizados nas seguintes etapas: acionar a biblioteca (1), interação de dados (2), extração de dados de imputação (3) e imputação (4), tabela de dados imputados (5) e saída dos dados imputados (6), conforme descrito a seguir:

library(mtsdi) (1)

A=a; B=a; C=a; D=n = 1 ..., n (2)

```
(f <- ~CHUVA_1+CHUVA_2+CHUVA_3) (3)
```

```
D=mnimput(f,dados4,eps=1e-3,ts=TRUE,  
method="spline",sp.control=list(df=c(A,B,C)))
```

```
predict(D) (4)
```

```
P4=data.frame(predict(D)) (5)
```

```
write.xlsx(P4,"DADOS-1960-2016.xlsx",col.names=TRUE) (6)
```

Em que, library = pacote usado; a = número de interações para a chuva (mm) mensal; f = função empírica da variável chuva mensal (mm); method = método de imputação usando a spline.

A validação do método de imputação aplicada aos dados pluviométricos encontra-se em Gois et al. (2019); Souza et al. (2020) e Costa et al. (2020).

4.3 Cálculo do SPI

A formulação SPI é baseada na densidade e função de probabilidade Gamma (Eq. (1)) que é calculada a cada mês, onde α é o parâmetro de forma ($\alpha > 0$), β é o parâmetro de escala ($\beta > 0$) que é determinado usando o método de máxima verossimilhança; x é a quantidade de chuva que pode variar de acordo com α e β .

Os valores atribuídos são normalizados e transformados em uma distribuição normal (ou seja, média zero e variância um) - (McKee et al., 1993). O cálculo do SPI usa apenas valores de chuva (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2012; LYRA et al., 2017) e categoriza um evento de seca quando o SPI apresenta valores negativos contínuos ou quando o SPI é positivo e o evento de seca termina (McKee et al., 1993). Mais detalhes sobre as formulações matemáticas e os procedimentos estatísticos usados no cálculo do SPI podem ser encontrados em McKee et al. (1993).

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

em que, $\Gamma(\alpha)$ é a função gama.

Após o cálculo, o SPI foi categorizado de acordo com a Tabela 2 e analisado na escala anual (SPI-12). Para a análise do SPI, o pacote 'SCI' da biblioteca de software R versão 4.0.3 (R Core Team, 2020) foi usado. No estudo, apenas o SPI-12

é avaliado para identificar os períodos de seca e chuva nas escalas anual e decadal durante a série de 56 anos, bem como sua relação com o modo de variabilidade climática El Niño-Oscilação Sul (ENOS).

4.4 Método de Interpolação Espacial

O procedimento de interpolação e o geoprocessamento dos dados do SPI foi realizado no software Quantum GIS (QGIS) versão 3.4.6 (QGIS, 2019). O método de interpolação foi Inverse Distance Weighted (IDW) (SHEPARD, 1968). Para o cálculo da interpolação do valor de um ponto via o método do IDW, utiliza-se a Eq. 2:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (2)$$

em que, $Z(x)$ é o valor do ponto que se deseja interpolar; n é o número de pontos próximos utilizados na interpolação do ponto x ; $Z(x_i)$ é o valor do ponto x_i ; e ω_i é o peso do valor de x_i sobre o ponto x .

Para a determinação de ω_i utiliza-se a Eq. 3:

$$\omega_i = \frac{1}{h(x, x_i)^p} \quad (3)$$

em que, $h(x, x_i)$ é a distância entre o ponto x e o ponto x_i ; e p é o parâmetro de potência.

Parâmetros de potência maiores evidenciam pontos mais próximos, o que torna o resultado menos suave. Parâmetros de potência menores evidenciam pontos mais afastados, o que torna o resultado mais suavizado, porém menos preciso (EL-SHEIMY et al., 2005).

4.5 Fases do ENOS

No estudo foi usado o Índice de Niño Oceânico (no inglês, *Oceanic Niño Index* - ONI). O ONI é usado para identificar os eventos de El Niño (fase quente), La Niña (fase fria) e Neutra do ENOS no oceano Pacífico Tropical. Para cada evento categorizado como fraco, moderado, forte ou muito forte, o ONI deve ter um valor igual ou maior que o limite por pelo menos 3 períodos consecutivos de 3 meses da Temperatura Superficial do Mar (TSM) superior a 0,5°C (NOAA, 2021). Vale

destacar que o uso da região 3.4 é comum no Brasil (TERASSI et al., 2018) e, principalmente no NEB (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2012; LYRA et al., 2017).

Tabela 4. Valores médios do índice ONI, com base em um limite de $\pm 0,5$ °C da TSM do Pacífico Equatorial na região El Niño 3.4, para 3 meses consecutivos de TSM nos anos de El Niño, La Niña e Neutro classificados como quente (vermelho), frio (azul) e neutros (preto) no período de 1960 a 2016.

Anos	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1960	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1
1961	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
1962	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4
1963	-0.4	-0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3
1964	1.1	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
1965	-0.6	-0.3	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.2	1.5	1.9	2.0	2.0	1.7
1966	1.4	1.2	1.0	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3
1967	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2	0.0	0.0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4
1968	-0.6	-0.7	-0.6	-0.4	0.0	0.3	0.6	0.5	0.4	0.5	0.7	1.0
1969	1.1	1.1	0.9	0.8	0.6	0.4	0.4	0.5	0.8	0.9	0.8	0.6
1970	0.5	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.7	-0.9	-1.1
1971	-1.4	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-1.0	-0.9
1972	-0.7	-0.4	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	2.1	2.1
1973	1.8	1.2	0.5	-0.1	-0.5	-0.9	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7	-1.9	-2.0
1974	-1.8	-1.6	-1.2	-1.0	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8	-0.6
1975	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.4	-1.6	-1.7
1976	-1.6	-1.2	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	0.8
1977	0.7	0.6	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8
1978	0.7	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0.0
1979	0.0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
1980	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.0
1981	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1
1982	0.0	0.1	0.2	0.5	0.7	0.7	0.8	1.1	1.6	2.0	2.2	2.2
1983	2.2	1.9	1.5	1.3	1.1	0.7	0.3	-0.1	-0.5	-0.8	-1.0	-0.9
1984	-0.6	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-1.0	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4
1986	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.2	1.1	0.9	1.0	1.2	1.5	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.9	-1.3	-1.3	-1.1	-1.2	-1.5	-1.8	-1.8
1989	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1

Continuação.

1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0	1.1
1995	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.0	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	0.9
2007	0.7	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.1	-1.3	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.5	-1.3	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.8	-0.6	-0.3	0.0	0.3	0.5	0.6	0.7	1.0	1.4	1.6
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.1	-1.0
2012	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7
2015	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6

Fonte: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

4.6 Produção Agrícola

Os dados da produção agrícola foram obtidos através do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Foram escolhidas as culturas de Cana-de-açúcar e da Mandioca, por serem umas das maiores produções do estado de Alagoas, as tais, são culturas não permanentes. Os dados estão disponíveis no site a partir do ano de 2009.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise espaço-temporal do SPI decadal

A análise espacial do SPI-12, nas décadas de 1960, 1970, 1980, 1990, 2000 e no período de 2010 a 2016 no estado de Alagoas (**Tabela 5**) registrou 617 eventos de seca nas categorias moderadamente a extremamente seco, segundo o SPI (**Tabela 1**). Vale ressaltar que os maiores registros ocorreram a década de 2000 (295 eventos, 47,81%), no período de 2010 a 2016 (206 eventos, 33,39%) e na década de 1960 (103 eventos, 16,69%), respectivamente. Estudos anteriores mostram que isso se deve à ocorrência de El Niño ou do Dipolo do Atlântico, atualmente denominado de Gradiente Interhemisférico da Temperatura da Superfície do Mar do Atlântico (GITSMA) – (MACHADO et al., 2014; LYRA et al., 2017), ou atuação de ambos os modos de variabilidade climática, que por sua vez são responsáveis pela seca no NEB (MARENGO et al., 2017; COSTA et al., 2021).

Destaque para a seca no ciclo 2011-12, que se deve a um evento de La Niña, que por sua vez favoreceu a migração para o norte da ZCIT (RODRIGUES e McPhaden 2014, MARENGO et al., 2017), principal sistema meteorológico responsável pela chuva no NEB (MOLION e BERNARDO, 2002; LYRA et al., 2014). Na década de 1990 (13 eventos, 2,11%), houve os menores registros de seca no estado, as exceções, foram às décadas de 1970 e 1980 quando nenhum evento foi registrado.

Tabela 5. Contagem e frequência (%) decadal e anual dos eventos de seca no estado de Alagoas, via SPI anual no período de 1960 a 2016.

Categorias	1960	1970	1980	1990	2000	10-16	Total
Moderadamente Seco	93	0	0	11	198	141	443
Muito seco	10	0	0	2	80	58	150
Extremamente Seco	0	0	0	0	17	7	24
Total	103	0	0	13	295	206	617
Moderadamente Seco (%)	15,07	0	0	1,78	32,09	22,85	71,80
Muito seco (%)	1,62	0	0	0,32	12,97	9,40	24,31
Extremamente Seco (%)	0	0	0	0	2,76	1,13	3,89
Total (%)	16,69	0	0	2,11	47,81	33,39	100
Próximo ao Normal	433	398	148	430	245	172	1826
Total (%)	23,71	21,80	8,11	23,55	13,42	9,42	100
Moderadamente Úmido	4	109	380	80	0	0	573
Muito úmido	0	30	111	15	0	0	156
Extremamente Úmido	0	3	12	2	0	0	17

Total	4	142	503	97	0	0	746
Moderadamente Úmido (%)	0,54	14,61	50,94	10,72	0	0	76,81
Muito Úmido (%)	0	4,02	14,88	2,01	0	0	20,91
Extremamente úmido (%)	0	0,40	1,61	0,27	0	0	2,28
Total (%)	0,54	19,03	67,43	13	0	0	100

Em geral, em Alagoas foram contabilizados 443 eventos de seca moderada (71,80%), 150 eventos na categoria muito seco (24,31%) e 24 eventos na categoria seca extrema (3,89%) no período de 56 anos a partir do SPI-12. Quanto à ocorrência de eventos na categoria próximos ao normal, as décadas que se destacaram foram 1960 (433 eventos, 23,71%), 1990 (430 eventos, 23,55%), 1980 (398 eventos, 21,80%) e no ano de 2000 (245 eventos, 13,42%).

A contagem e a frequência do SPI-12 para eventos moderadamente úmidos a extremamente úmidos apontou situação contrária, em relação às categorias moderadamente seco a extremamente seco (**Tabela 5**). As décadas de 1960, 1970, 1980, 1990, 2000 e no período de 2010 a 2016 registraram 746 eventos nas três categorias úmidas segundo SPI - (**Tabela 1**). As décadas de 1980 (503 eventos, 67,43%) e 1970 (142 eventos, 19,03%) registraram as maiores frequências e contagem de eventos úmidos. Vale destacar os maiores períodos chuvosos com base no SPI-12, sendo diretamente associada aos eventos de La Niña moderada e forte nas respectivas décadas (**Tabela 6**). Destaque para o ano de 2000 e o período de 2010 a 2016 com nenhum evento sendo registrado e destaque para década de 1960 (4 eventos, 0,54%) com a menor contagem e frequências do Estado. Em Alagoas foram registrados 573 eventos (76,81%) na categoria moderadamente úmido, 156 eventos (20,91%) na categoria muito úmido e 17 eventos (2,28%) classificados como extremamente úmido, categorizado como de El Niño moderado, seguido de forte e neutros (**Tabela 6**).

Tabela 6. Fases dos eventos do El Niño - Oscilação Sul (ENOS) seguido de intensidade do evento e anos de ocorrência com base no índice ONI para região 3.4.

Eventos	Intensidade	Anos
<i>El Niño</i>	Muito Forte	1982-1983, 1997-1998, 2015-2016
	Forte	1965-1966, 1972-1973, 1987-1988, 1991-1992
	Moderado	1963-1964, 1968-1969, 1986-1987, 1994-1995, 2002-2003, 2009-2010
	Fraco	1969-1970, 1976-1977, 1977-1978, 1979-1980, 2004-2005, 2006-2007, 2014-2015

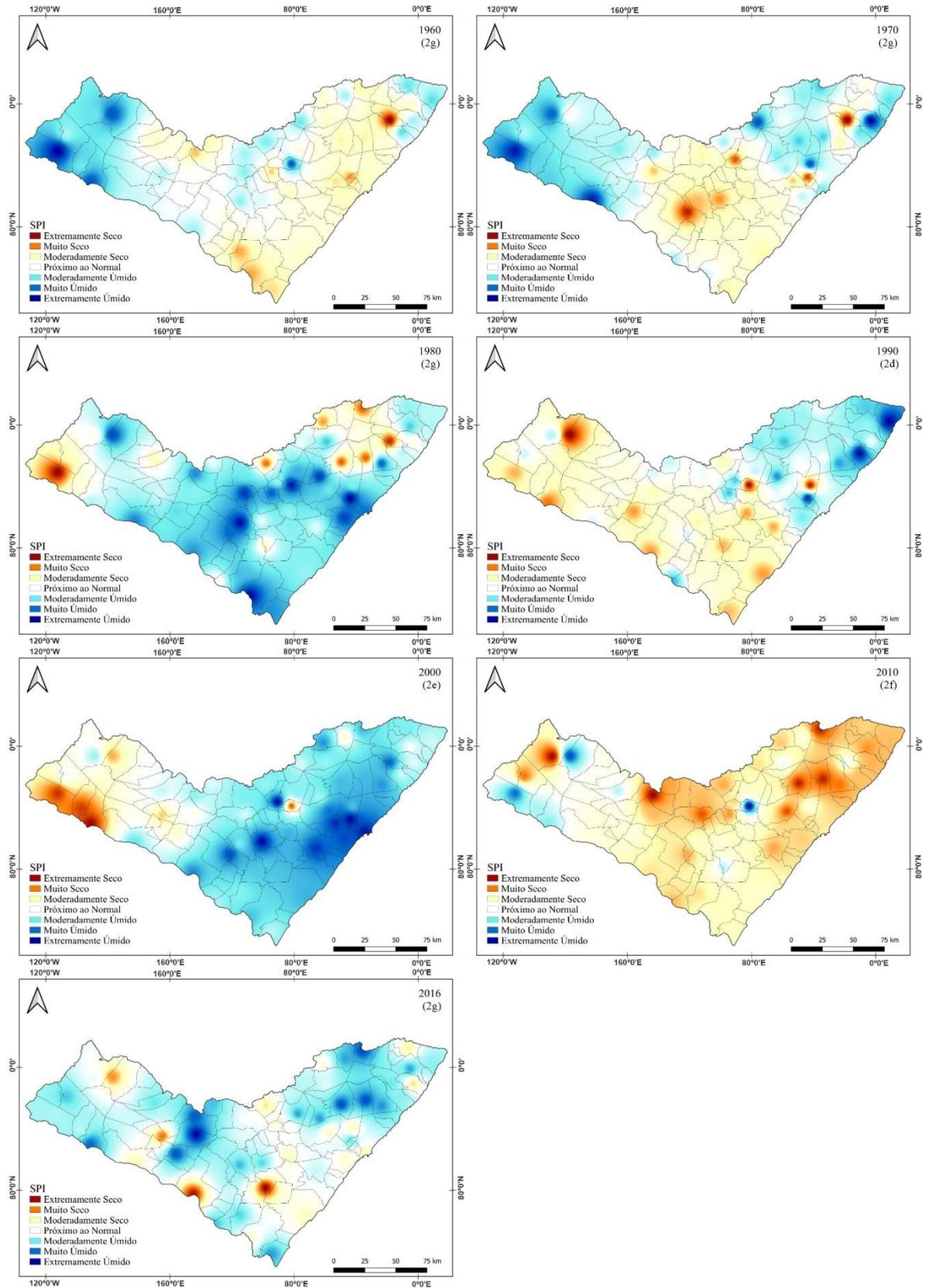
Continuação.

<i>La Niña</i>	Forte	1973-1974, 1975-1976, 1998-1999, 1999-2000, 2007-2008, 2010-2011
	Moderada	1970-1971, 1995-1996, 2011-2012
	Fraca	1964-1965, 1971-1972, 1974-1975, 1983-1984, 1984-1985, 2000-2001, 2005-2006, 2008-2009, 2016

A Figura 2 mostra a análise espacial do SPI-12 para as décadas de 1960, 1970, 1980, 1990, 2000, 2010 e 2016. Com base na distribuição espacial do SPI-12 verifica-se que a década de 1960 (**Figuras 2a**), os eventos categorizados como moderadamente úmido, muito úmido e extremamente úmido, ocorreram nas porções SW, S, N e E do Estado de Alagoas. O município de Delmiro Gouveia (ID 1), localizado na mesorregião Sertão, foi categorizado com evento extremamente úmido.

Na década de 1970 (**Figura 2a**) apresenta características semelhantes a década de 1960, porém, o município de Porto de Pedras (ID 42), localizado na mesorregião Leste Alagoano (Figura 2b) também apresentou evento extremamente úmido. Entretanto, os municípios de Canapi (ID 44), Piranhas (ID 3) e Pão de Açúcar (ID 52) – (**Tabela 3**), localizados na mesorregião Sertão, foram categorizados como muito úmido. Os demais municípios das mesorregiões supracitadas apresentaram os eventos na categoria moderadamente úmido. O município de Matriz de Camaragibe (ID 9), localizado na mesorregião Leste Alagoano, ocorreu evento de seca extrema em ambas as décadas de 1960 e 1970. A ocorrência de eventos categorizados como moderadamente seco nos municípios Lagoa da Canoa (ID 14), Mar Vermelho (ID 26) e Satuba (ID 23), localizados nas mesorregiões Agreste e Leste Alagoano (**Figura 2b**).

Figura 2. Distribuição espacial da seca por décadas (1960-2010) e o ao de 2016 via SPI-12 no Estado de Alagoas.



O ano de 1980 (**Figura 2c**) apresentou eventos moderadamente úmido na parte central do estado, entre as mesorregiões Agreste e Leste alagoano, e alguns eventos muito úmido, no Sertão no município de Canapi (ID 44), no Agreste nos municípios de Igaci (ID 25), Arapiraca (ID 13), Tanque D'Arca (ID 30) e Mar Vermelho (ID 26), no Leste alagoano nos municípios de Capela (ID 5), Rio Largo (ID 22), Marechal Deodoro (ID 20) e Penedo (ID 32). No Leste alagoano os municípios de Colônia Leopoldina (ID 6), Matriz do Camaragibe (ID 9), Flexeiras (ID 7) e Murici (ID 10) apresentaram evento muito seco, o município de Delmiro Gouveia (ID 1), localizado na mesorregião Sertão, sendo categorizado com evento extremamente seco.

O ano de 1990 (**Figura 2d**) a porção E apresenta eventos moderadamente úmido, muito úmido nos municípios de Passo de Camaragibe (ID 41) e extremamente úmido em Maragogi (ID 40). Eventos extremamente no município de Canapi (ID 44), Pindoba (ID 47) e Rio Largo (ID 22).

O ano de 2000 (**Figura 2e**) apresentou eventos moderadamente úmido em quase toda faixa do Agreste e Leste alagoano, com alguns eventos muito úmido nessa mesma região nos municípios de Lagoa da Canoa (ID 14), Limoeiro de Anadia (ID 15), Mar Vermelho (ID 26), Maceió (ID 19), Rio Largo (ID 22), Pilar (ID 21) e São Miguel dos Campos (ID 38), observa-se no meio desses eventos úmidos um evento muito seco em destaque no município de Pindoba (ID 47), ocorreu também eventos muito seco e extremamente seco nos municípios de Delmiro Gouveia (ID 1), Olho D'água do Casado (ID 2) e Piranhas (ID 3) pertencentes a mesorregião do sertão.

No ano de 2010 (**Figura 2f**), é possível observar uma situação de eventos quase que completamente inverso ao ano de 2000 (**Figura 2e**), onde a faixa do Agreste e Leste alagoano apresenta eventos de moderadamente seco a extremamente seco, destaque de eventos extremos para os municípios de Cacimbinhas (ID 24), Colônia Leopoldina (ID 6), Flexeiras (ID 7), Murici (ID 10) e Atalaia (ID 4), o município de Pindoba (ID 47) destacando-se nos meios de eventos de seca, com evento muito úmido. Eventos moderadamente úmido também são

observados nos municípios de Delmiro Gouveia (ID 1), Olho D'água do Casado (ID 2), Piranhas (ID 3) e Canapi (ID 44).

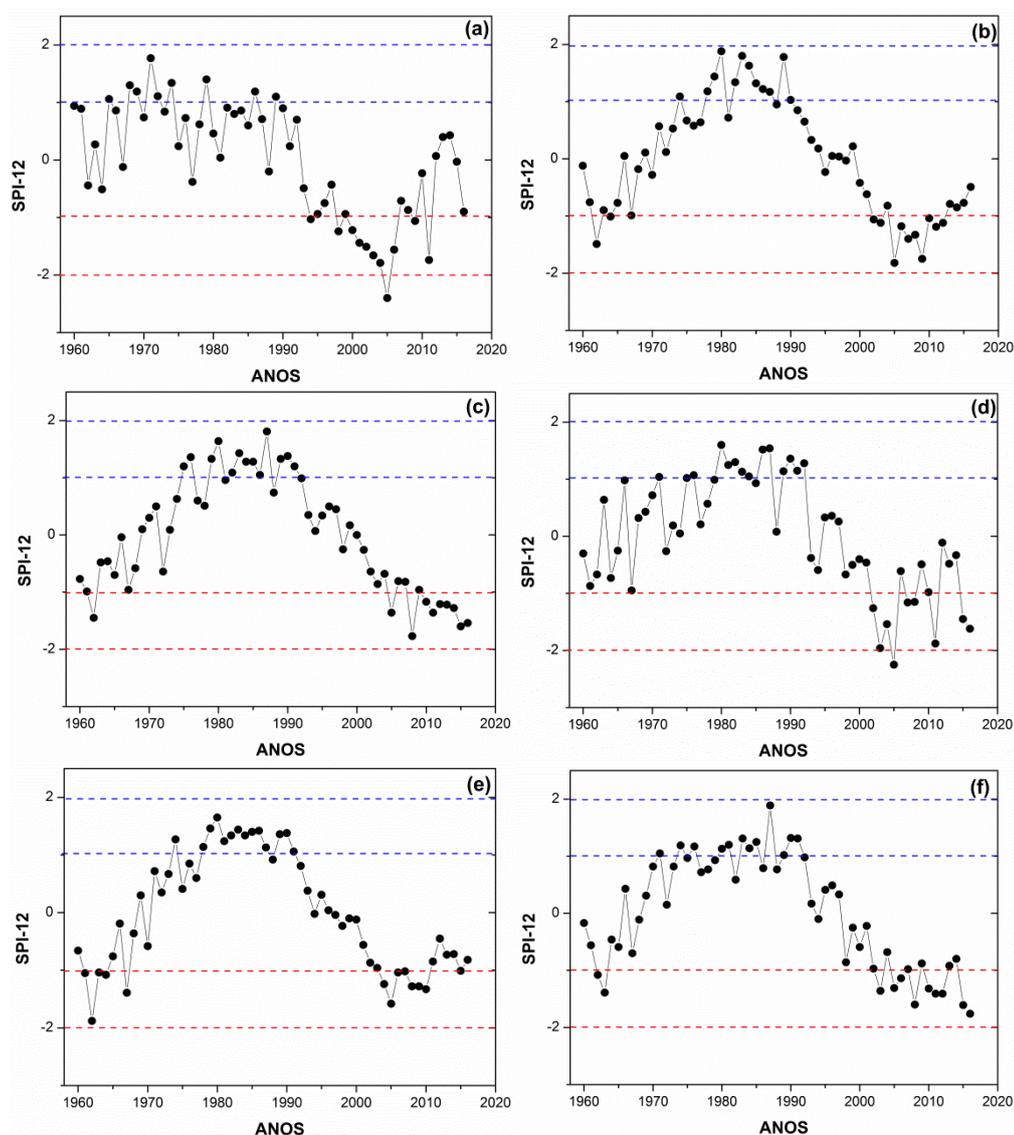
No ano de 2016 (**Figura 2g**), nota-se a ocorrência de eventos moderadamente úmido disperso entre o estado, principalmente na faixa N do Leste alagoano e W do Sertão, eventos extremamente seco nos municípios de Traipu (ID 39) e Junqueiro (ID 37).

5.2 Análise temporal do SPI anual

5.2.1 El Niños Forte e Muito Forte

De acordo com a **Tabela 6** os anos que ocorreram El Niño na categoria forte, foram os anos de 1965-1966, 1972-1973, 1987-1988 e 1991-1992. É sabido que o El Niño interfere e acentua a seca no NEB (ARAÚJO COSTA, 2014). Para essa análise foram escolhidos três municípios (Delmiro Gouveia, Arapiraca e Maceió) de cada mesorregião do estado, Sertão (**Figura 3a**) Agreste (**Figura 3b**) e Leste (**Figura 3c**) como demonstração da análise feita para os anos de El Niño Forte. Como observa-se nas figuras, em todas as mesorregiões do estado, nos anos de El Niño Forte não houve de acordo com o SPI eventos em nenhuma categoria de seca, pelo contrário, apresentou períodos úmidos, estudos mostram a influência do VCAN na formação de chuvas no nordeste no ano de 1987. No estudo de Lyra et al. (2017) onde fala sobre a variabilidade das chuvas sobre Alagoas sob influência de anomalias de TSM, os períodos com maior ocorrência de SPI positivo (1963-1967, 1973-1977 e 1983-1987) foram anos onde ocorreram eventos do AITG negativo simultaneamente. Tabela (1996) fez um estudo sobre número de vórtices ciclônicos em altos níveis que atuaram sobre o NEB, no período de 1987 a 1995, onde concluiu que os meses de dez-jan-fev apresentam maior frequência com cerca de 6,8 vórtices nesses 3 meses. Já De Araújo et al. (2009) cita que a atuação da La Niña, influenciou a chuva em todo ano de 1987.

Figura 3. Distribuição temporal do SPI-12 nas cidades de Delmiro Gouveia (a), Arapiraca (b), Maceió (c), Pão de Açúcar (d), Lagoa da Canoa (e) e Porto de Pedras (f), linhas vermelhas eventos de SPI quente, linhas azuis eventos de SPI úmido.

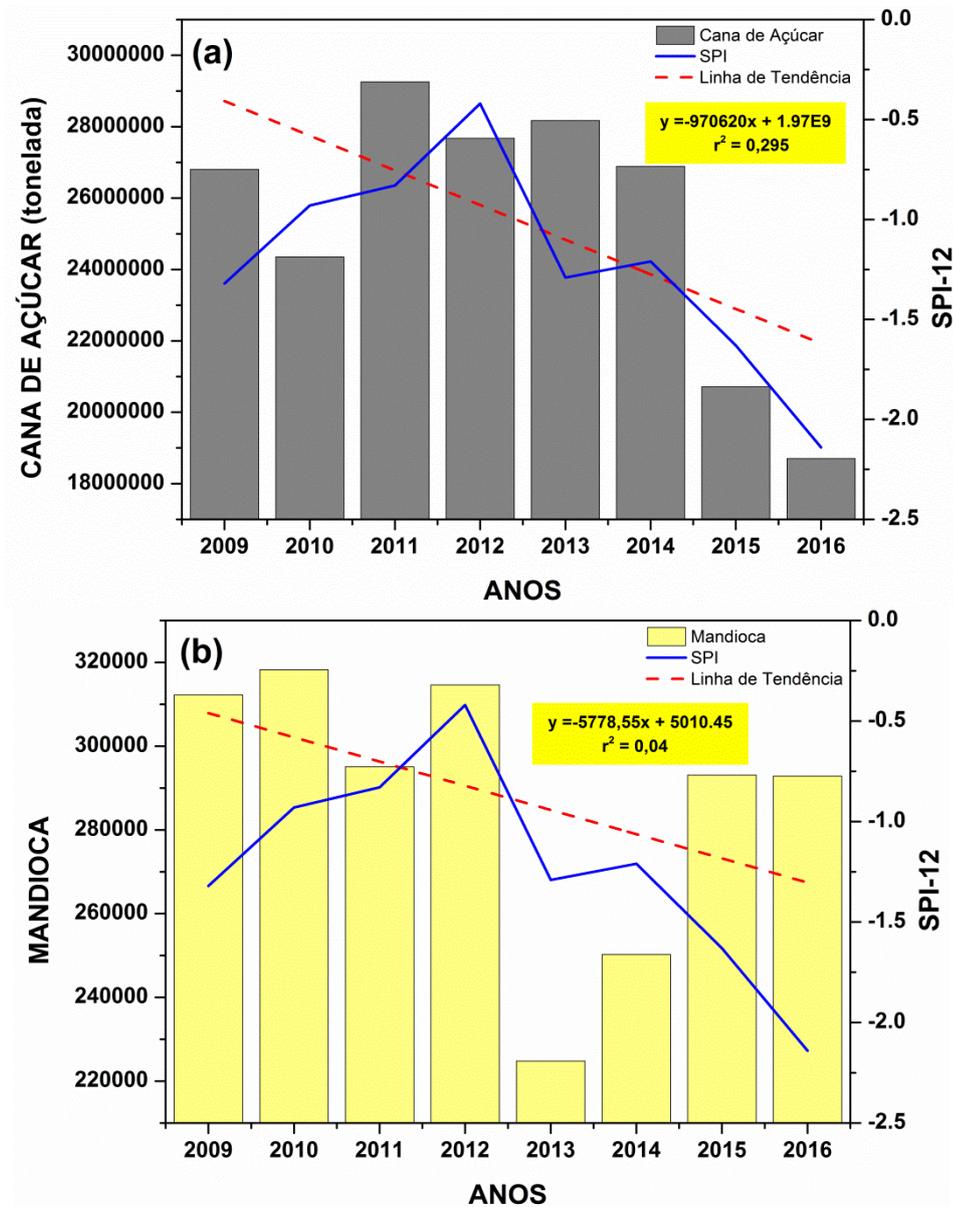


Os anos de ocorrência de El Niño Muito Forte foram nos anos de 1982-1983, 1997-1998, 2015-2016 (**Tabela 6**). Para a análise da relação dos eventos de seca com a ocorrência de El Niño Muito Forte a partir das mesorregiões Sertão (**Figura 3d**) Agreste (**Figura 3e**) e Leste (**Figura 3f**), em todas as mesorregiões nos anos de 1982-83 e 1997-98 foram anos muito úmido e próximo ao normal, respectivamente. Nos anos de 2015-2016 no sertão e Leste apresentou evento de SPI na categoria muito seco e o Agreste evento de SPI próximo ao normal. Em todas as mesorregiões os anos de 2015 e 2016 apresentaram SPI muito seco. Tendo uma relação com a ocorrência do El Niño muito forte nos respectivos anos.

5.3 Impacto da Seca na Produção Agrícola

A variação na produção da cana-de-açúcar e mandioca no período de 2009 a 2016 em Alagoas apresentou uma tendência decrescente em ambas (**Figuras 4a e b**), sendo confirmada pelos baixos valores do coeficiente de determinação (r^2), com valores de 0,29 e 0,04, respectivamente. Eventos de SPI-12 em categorias variadas ocorreram, no entanto, não se registrou diminuição significativa na produção da cana-de-açúcar no estado, por exemplo, nos anos de 2009, 2013 e 2014. Entretanto, 2015 e 2016 foram considerados como anos muito seco e extremamente seco vai SPI-12 e, assim houve queda da produção de 8542667 e 10555891 t, respectivamente. Na produção de Mandioca, nos anos de 2009, 2015 e 2016 também não registrou queda na produção, mesmo com eventos de SPI-12 em categorias variadas. Entretanto, no ciclo 2013/2014 foram anos categorizados como moderadamente seco, e apresentaram uma queda na produção de 87444 e 61982 t, respectivamente.

Figura 4. Relação entre as produções agrícolas da cana-de-açúcar (a) e mandioca (b) com o SPI-12 no período de 2009-2016 em Alagoas.



6. CONCLUSÕES

A identificação da seca com base no SPI é adequada para o Estado de Alagoas, devido a sua simplicidade, pois necessita apenas da variável chuva. A seca em Alagoas foi marcante nas décadas de 1960 (16,69%), no período de 2010 a 2016 (33,39%) e, principalmente, na década 2000 (47,81%), respectivamente. A exceção é década de 1990 (13 eventos, 2,11%), e destaque para 1970 e 1980 sem nenhum evento de registrado via SPI-12. Tal variabilidade decadal pode estar diretamente ligada a influência das fases da ODP, não explorado no estudo, que por sua vez intensificam os eventos de ENOS. Não se pode descartar a influência das mudanças de uso e ocupação da terra, principalmente nas mesorregiões do Agreste (agricultura) e Litoral Alagoano (urbanização).

A fase quente do ENOS, o El Niño, é o principal mecanismo climático responsável pela ocorrência de seca em Alagoas, sendo destacadas em estudos anteriores e comprovadas nesse estudo, principalmente as categorias muito forte e forte do El Niño, segundo ONI na região 3.4, com registros de secas severas em algumas mesorregiões de Alagoas. Destaque para diminuição na produção da cana-de-açúcar em anos com eventos de SPI muito seco (2015) e extremamente seco (2016). A exceção é a produção da mandioca, apenas no ano de 2013, ano com evento de SPI moderadamente seco. Vale ressaltar que houve anos com eventos de SPI-12 negativos que não influenciou nas produções das culturas avaliadas no estudo.

Vale destacar a continuidade de estudos baseado no SPI e sua relação com mudanças de uso e ocupação da terra, modo de variabilidade climático – ODP e, principalmente, comparar o desempenho do SPI com outros índices secas para Estado, por exemplo, SPEI e PDSI, que usam além da chuva outros parâmetros e variáveis climáticas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, A. C. D. (2018). O nexos entre migrações, clima e proteção social: o caso do Submédio São Francisco.
- Alves, J. (1953). *História das secas (séculos XVII a XIX)* (Vol. 1, No. 23). Edições do Instituto do Ceará.
- Barros, A. H. C., de ARAUJO FILHO, J. C., Da Silva, A. B., & Santiago, G. A. C. F. (2012). Climatologia do estado de Alagoas. *Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)*.
- Beguiría, S., Vicente-Serrano, S. M., Reig, F., & Latorre, B. (2014). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International journal of climatology*, 34(10), 3001-3023.
- Blain, G. C., & Brunini, O. (2005). Avaliação e adaptação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) e do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) às condições climáticas do Estado de São Paulo. *Bragantia*, 64, 695-705.
- Brito, S. S. B., Cunha, A. P. M., Cunningham, C. C., Alvalá, R. C., Marengo, J. A., & Carvalho, M. A. (2018). Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. *International Journal of Climatology*, 38(2), 517-529.
- Byun, H. R., & Wilhite, D. A. (1999). Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of climate*, 12(9), 2747-2756.
- Canamary, E. A. (2015). Avaliação de índices para fins de monitoramento e previsão de secas no nordeste setentrional.
- Carmo, M. V. N. S. D., & Lima, C. H. R. (2020). Caracterização Espaço-Temporal das Secas no Nordeste a partir da Análise do índice SPI. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 35, 233-242.
- Carmo, M. V. N. S. D. (2018). Análise e previsão estatística do Índice de Precipitação Padronizada (SPI) para o Nordeste do Brasil.
- Carmo, M. V. N. S., & Lima, C. H. R. (2013). VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE ÍNDICES DE SECA PARA O NORDESTE DO BRASIL.
- Correia Filho, W. L. F.; Oliveira Júnior, J. F.; santiago, D. B. ; terassi, P. M. B. ; teodoro, P. E. ; GOIS, G. ; blanco, C. J. C. ; souza, P. H. A. ; costa, M. ; santos, P. J.(2019) . Rainfall variability in the Brazilian northeast biomes and their interactions with meteorological systems and ENSO via CHLSA product. *Big Earth Data*, v. 3, p. 315-337.

- Costa, M. D. S., Oliveira-Júnior, J. F. D., Santos, P. J. D., Correia Filho, W. L. F., Gois, G. D., Blanco, C. J. C., ... & Jardim, A. M. D. R. F. (2021). Rainfall extremes and drought in Northeast Brazil and its relationship with El Niño–Southern Oscillation. *International Journal of Climatology*, 41, E2111-E2135.
- Da Silva Cavalcante, I. B., & da Silva, D. F. (2021). Período de retorno de eventos extremos em Alagoas e suas causas climáticas. *Revista Mineira de Recursos Hídricos*, 2.
- Da Silva Lima, M. J., da Silva Cavalcante, I. B., da Silva Mendonça, H., de Souza Neto, P. F., da Silva, S. D., Amorim, D. D. O. C., & Da Silva, D. F. (2018). CLASSIFICAÇÃO, QUANTIFICAÇÃO E OCORRÊNCIA DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NAS TRÊS MESORREGIÕES DO ESTADO DE ALAGOAS (BR). *Ciência e Sustentabilidade*, 4(2), 151-172.
- De Araújo Costa, J. (2014). O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil.
- De Araújo, L. E., de Moraes Neto, J. M., & de Sousa, F. D. A. S. (2009). 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*, 4(3), 93-110.
- De Azevedo, P. V., Silva, M. T., de Oliveira Serrão, E. A., Santos, K. S., de Lima, S. L., & da Silva Margalho, E. ANÁLISE DE PADRÕES DE SECA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRANHAS-AÇÚ NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE.
- De Gois, G., de Oliveira-Júnior, J. F., de Souza, R. F. D. P., Freitas, W. K., de Bodas Terassi, P. M., & Sobral, B. S. (2020). VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA E A APLICAÇÃO DO ÍNDICE SPI NA REGIÃO DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL-RIO DE JANEIRO. *Revista Brasileira de Climatologia*, 27.
- De Gois, G., de Freitas, W. K., de Bodas Terassi, P. M., de Oliveira-Júnior, J. F., & Portz, A. (2019). Variabilidade Anual e Mensal da Chuva e da Temperatura do ar no Município de Resende, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Climatologia*, 24.
- De Gois, G. D., Souza, J. D., Silva, P. D., & Oliveira Júnior, J. F. (2005). Caracterização da desertificação no estado de Alagoas utilizando variáveis climáticas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20(3), 301-314.
- Carmo, M. V. N. S., & Lima, C. H. R. (2013). VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE ÍNDICES DE SECA PARA O NORDESTE DO BRASIL.
- Dubreuil, V., Fante, K. P., Planchon, O., & Sant'anna Neto, J. L. (2019). Climate change evidence in Brazil from Köppen's climate annual types frequency. *International Journal of Climatology*, 39(3), 1446-1456.
- Eakin, H. C., Lemos, M. C., & Nelson, D. R. (2014). Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation. *Global Environmental Change*, 27, 1-8.

- El-Sheimy, N.; valeo, C.; Habib, A. (2005). Digital Terrain Modeling: Acquisition, Manipulation, and Applications. Boston/EUA. Artech House, 270 p.
- Fernandes, D. S., Heinemann, A. B., da Paz, R. L., Amorim, A. D. O., & Cardoso, A. S. (2009). Índices para a quantificação da seca. *Embrapa Arroz e Feijão- Documentos (INFOTECA-E)*.
- Freitas, V. V. (2021). Avaliação do TVDI (Temperature Vegetation Dryness Index) como índice para estimar estresse hídrico na Região Nordeste do Brasil (2014-2020).
- Gozzo, L. F., Palma, D. S., de Souza Custódio, M., & Drumond, A. (2021). PADRÕES CLIMATOLÓGICOS ASSOCIADOS A EVENTOS DE SECA NO LESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Revista Brasileira de Climatologia*, 28.
- Grigoletto, J. C., Cabral, A. R., Bonfim, C. V., Rohlf, D. B., Silva, E. L., Queiroz, F. B. D., ... & Magalhães, T. D. B. (2016). Gestão das ações do setor saúde em situações de seca e estiagem. *Ciência & Saúde Coletiva*, 21, 709-718.
- Hao, Z., & Singh, V. P. (2015). Drought characterization from a multivariate perspective: A review. *Journal of Hydrology*, 527, 668-678.
- Harsányi, E., Bashir, B., Alsilibe, F., Alsafadi, K., Alsalman, A., Széles, A., ... & Mohammed, S. (2021). Impact of agricultural drought on sunflower production across Hungary. *Atmosphere*, 12(10), 1339.
- Ho, S., Tian, L., Disse, M., & Tuo, Y. (2021). A new approach to quantify propagation time from meteorological to hydrological drought. *Journal of Hydrology*, 603, 127056.
- Kobiyama, M., Checchia, T., Silva, R. V., Schröder, P. H., Grando, Â., & Reginatto, G. M. P. (2004). Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. *Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais*, 1, 834-846.
- Kousky, V. E., & Kayano, M. T. (1994). Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. *Journal of Climate*, 7(7), 1131-1143.
- Kousky, V. E., & Alonso Gan, M. (1981). Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus*, 33(6), 538-551.
- Lopes, P. L., Falcão, N. M., & Andrade, E. D. L. (2017). Impactos da seca 2010-2016 em Alagoas. *Parcerias Estratégicas*, 22(44), 201-212.
- Lyra, G. B., Oliveira-Júnior, J. F., Gois, G., Cunha-Zeri, G., & Zeri, M. (2017). Rainfall variability over Alagoas under the influences of SST anomalies. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 129(2), 157-171.
- Macedo, M. J. H., de Souza Guedes, R. V., de Sousa, F. D. A. S., & da Cunha Dantas, F. R. (2010). Análise do índice padronizado de precipitação para o estado da Paraíba, Brasil. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 5(1), 204-214.

- Machado Filho, H., Moraes, C., Bennati, P., RODRIGUES, R. D. A., Guilles, M., Rocha, P., ... & Vasconcelos, I. (2016). Mudança do clima e os impactos na agricultura familiar no Norte e Nordeste do Brasil. *Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Machado, J. P., Justino, F., & Pezzi, L. P. (2014). Efeitos do aumento da tensão de cisalhamento do vento no clima do Hemisfério Sul obtido do modelo acoplado SPEEDO. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29, 597-612.
- Marengo, J. A., Alves, L. M., Alvala, R., Cunha, A. P., Brito, S., & Moraes, O. L. (2017). Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90, 1973-1985.
- Marengo, J. A., Torres, R. R., & Alves, L. M. (2017). Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, 129(3), 1189-1200.
- Marengo, J. A. (2010). Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. *Parcerias estratégicas*, 13(27), 149-176.
- McKee, T. B. (1995). Drought monitoring with multiple time scales. In *Proceedings of 9th Conference on Applied Climatology, Boston, 1995*.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2), 202-216.
- Molion, L. C. B., & Bernardo, S. D. O. (2002). Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 17(1), 1-10.
- Moura, F. D. B. P. (2006). *A Mata Atlântica em Alagoas*. Maceió: EDUFAL.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2021. Disponível em: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml. Acesso em 23 de novembro de 2021.
- Oliveira-Junior, J. F. D. O., Lyra, G. B., Góis, G., Brito, T. T., & Moura, N. D. S. H. D. (2012). Análise de homogeneidade de séries pluviométricas para determinação do índice de seca IPP no estado de Alagoas. *Floresta e Ambiente*, 19(1), 101-112.
- Oliveira-Júnior, J. F., Correia Filho, W. L. F., de Barros Santiago, D., de Gois, G., da Silva Costa, M., da Silva Junior, C. A., ... & Freire, F. M. (2021). Rainfall in Brazilian Northeast via in situ data and CHELSA product: mapping, trends, and socio-environmental implications. **Environmental Monitoring and Assessment**, 193(5), 1-19.

- Palmer, W. C. (1965). *Meteorological drought* (Vol. 30). US Department of Commerce, Weather Bureau.
- Pereira, E. R. R., de Freitas, J. C., de Andrade, A. R. S., de Macedo, M. L. A., & da Silva Neto, M. F. (2012). Variabilidade do número de dias de chuva no estado de Alagoas. *Applied Research & Agrotechnology*, 5(1), 7-26.
- Pires, V. (2003). Frequência e Intensidade de Fenómenos meteorológicos extremos associados a precipitação. *Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Ciências e Engenharia da Terra, Lisboa*.
- Rodrigues, R. R., & McPhaden, M. J. (2014). Why did the 2011–2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast?. *Geophysical Research Letters*, 41(3), 1012-1018.
- Santos, M. S. (2011). *Caracterização espaço-temporal de secas utilizando ondaletas e o Standardized Precipitation Index: uma aplicação para a parcela mineira da bacia Rio São Francisco* (Tese de Doutorado).
- Shepard, D. (1968). Proceedings of the 1968 23rd ACM National conference.
- Silva, W. M. M., & de Freitas Silva, P. R. (2020). DO TERRITÓRIO DA SECA À TERRITORIALIZAÇÃO DO CANAL DO SERTÃO EM ALAGOAS. *Geo UERJ*, (36), 28890.
- Silva, V. M. D. A., Patrício, M. D. C. M., Ribeiro, V. H. D. A., & De Medeiros, R. M. (2013). O desastre seca no Nordeste Brasileiro. *POLÊM! CA*, 12(2), 284-293.
- Silva, D. F. D., Sousa, F. D. A. S. D., & Kayano, M. T. (2010). Escalas temporais da variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Mundaú. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25, 324-332.
- Silveira, S. C. R. D. (2016). *Índices de seca agrícola e meteorológica para algumas localidades no estado do Rio Grande do Sul* (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pelotas).
- Souza, E. O.; Costa, M. S.; Oliveira Júnior, J. F.; Gois, G.; Mariano, G. L.; Costa, C. E. S.; Correia Filho, W. L. F.; Santiago, D. B. (2021). *Estimativa e Espacialização da Erosividade em Mesorregiões Climáticas no Estado de Alagoas*. *REVISTA BRASILEIRA DE METEOROLOGIA*, v. 35, p. 769-783.
- Souza, J. F. S. D. (2021). Análise da variabilidade de secas no estado de Alagoas no período 1936-2019 utilizando o índice de precipitação padronizada e a transformada contínua em ondaleta.
- Souza, N. Com histórico de cheias em Alagoas, estado aprendeu a recomeçar do zero. Disponível em: <http://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2014/06/com-historico-de-cheias-em-alagoas-estado-aprendeu-recomecar-do-zero.html>. Acesso em: 5 de janeiro de 2022.

- Stagge, J. H., Tallaksen, L. M., Gudmundsson, L., Van Loon, A. F., & Stahl, K. (2015). Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology*, 35(13), 4027-4040.
- Tabela, A. (1996). Vórtices ciclônicos da alta troposfera que atuam sobre a região nordeste do Brasil.
- Terassi, P. M. B., Oliveira Júnior, J. F. D., Góis, G. D., & Galvani, E. (2018). Variabilidade do índice de precipitação padronizada na região norte do estado do paraná associada aos eventos de el niño-oscilação sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33, 11-25.
- Van Loon, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(4), 359-392.
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., & Khan, F. I. (2011). A review of drought indices. *Environmental Reviews*, 19(NA), 333-349.
- Pedrosa, J. P. D. C. (2019). Sistema regional de monitoramento de seca.
- Pereira, E. R. R., de Freitas, J. C., de Andrade, A. R. S., de Macedo, M. L. A., & da Silva Neto, M. F. (2012). Variabilidade do número de dias de chuva no estado de Alagoas. *Applied Research & Agrotechnology*, 5(1), 7-26.
- QGIS - Quantum Geographic Information System (2019). Quantum GIS Geographic Information System. v. 3.4.6. Open Source Geospatial Foundation Project.
- Wilhite, D. A. Drought. In: Holton, J. R.; Pyle, J. A.; Curry, J. A. (Ed.). (2003). Encyclopedia of atmospheric sciences. New York: Elsevier, p. 650-658.
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*, 10(3), 111-120.
- Willeke, G.; Hosking, J. R. M.; Wallis, J. R.; Guttman, N. B. (1994). The National Drought Atlas. Fort Belvoir: U. S. Army Corps of Engineers. (Institute for Water Resources Report 94-NDS-4).