

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Geisse Kelly Nery Costa

**A PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NOS MESES DE JUNHO E
JULHO NOS SERTÕES DA PARAÍBA E SEUS IMPACTOS
AMBIENTAIS**

Campina Grande, Março de 2024.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA



DISSERTAÇÃO

A PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NOS MESES DE JUNHO E JULHO NOS SERTÕES DA PARAÍBA E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

Geisse Kelly Nery Costa
Mestranda

José Ivaldo Barbosa de Brito
Orientador

Campina Grande – PB
Março/2024

GEISSE KELLY NERY COSTA

**A PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NOS MESES DE JUNHO E JULHO NOS SERTÕES DA
PARAÍBA E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Subárea: Climatologia

Orientador: Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito

**Campina Grande – PB
Março/2024**

C837p

Costa, Geisse Kelly Nery.

A precipitação pluvial nos meses de junho e julho nos sertões da Paraíba e seus impactos ambientais / Geisse Kelly Nery Costa – Campina Grande, 2024.

55 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.

"Orientação: Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito."

Referências.

1. Climatologia Regional. 2. Precipitação Pluvial. 3. Regiões Homogêneas. 4. Índices de Vegetação. 5. Sistemas Atmosféricos. I. Brito, José Ivaldo Barbosa de. II. Título.

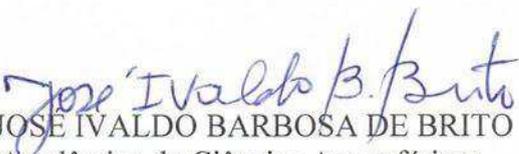
CDU 551.58(043)

GEISSE KELLY NERY COSTA

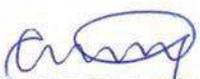
A PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NOS MESES DE JUNHO E JULHO NOS SERTÕES
DA PARAÍBA E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 07/03/2024

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Profa. Dra. CELIA CAMPOS BRAGA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Dra. CARMEM TEREZINHA BECKER
Agência Executiva de Gestão das Águas
Estado da Paraíba

“Quando o Senhor Deus fez a terra e os céus, ainda não tinha brotado nenhum arbusto no campo, e nenhuma planta havia germinado, porque o Senhor Deus ainda não tinha feito chover sobre a terra”.

GÊNESES 2:4,5

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, que foi minha fonte de força, fé e determinação para concretização de mais um sonho.

Agradeço imensamente aos meus familiares pelo suporte prestado durante todo o meu percurso acadêmico, em especial ao meu esposo, Maciel Costa, por nunca medir esforços em me ajudar e compreender as minhas ausências. Amo vocês incondicionalmente.

Aos meus filhos de estimação, Luna e León, por me acompanharem pelas várias madrugadas de estudos.

À minha amiga, Mônica Paulino, que está comigo desde à graduação, tornando mais leve e feliz minha jornada acadêmica. Obrigada por me proporcionar momentos únicos e incríveis, principalmente nesses dois anos, de muita luta e dedicação.

Aos professores do programa de pós-graduação em Meteorologia por todos os ensinamentos, paciência, ajuda nas dúvidas, conselhos. E também a todos os funcionários, em especial Arilene, sempre muito solícita e atenciosa.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo e financiamento dessa pesquisa.

E por fim, ao meu querido orientador, José Ivaldo Barbosa de Brito, por ser tão atencioso e compreensivo. Sou grata pelas suas orientações durante esses dois anos, foram essenciais para realização deste e de outros trabalhos. Ao senhor, minha eterna gratidão.

RESUMO

A precipitação pluvial apresenta-se como fator determinante no estudo do clima de uma região tropical, podendo afetar toda forma de sobrevivência terrestre, principalmente nas áreas semiáridas, como a região Nordeste do Brasil. Neste contexto, esta pesquisa objetivou analisar os efeitos da precipitação pluvial no período de pós-estação chuvosa (junho - julho) (P-EC) para as regiões homogêneas Sertão e Alto Sertão do Estado da Paraíba, levando em consideração a dinâmica da vegetação local. Para tanto, foram utilizadas séries anuais de precipitação de um total de 73 postos pluviométricos deste Estado que compreende 29 anos (1994 – 2022) de dados de climatologia regional. A distribuição anual de precipitação na região oeste da Paraíba apresentou alta variabilidade espaço-temporal reafirmando a dependência dos sistemas atmosféricos. A partir da análise dos coeficientes de correlação de Pearson para os totais anuais da estação chuvosa (fevereiro - maio) (EC), e da P-EC, é possível afirmar que a precipitação da pós-estação é independente da precipitação da estação chuvosa, desencadeando o estudo de possíveis contribuições da precipitação desse período para o meio vegetal. Portanto, investigou-se a capacidade das precipitações de junho-julho, em modificar a paisagem vegetal de todo Sertão. Para tanto, utilizaram-se composições mensais do IVDN, referentes aos meses de julho, agosto e setembro, obtidas a partir do sensor MODIS/Terra para o período de 2000 até 2022. Este estudo entre os padrões de precipitação e IVDN deu-se através da análise do coeficiente de correlação de Person (r) e do acompanhamento gráfico das curvas da variabilidade interanual dos índices desvios padronizados. Verificou-se que o vigor da vegetação é extremamente dependente da precipitação que ocorre na EC, e que as chuvas da P-EC não têm a capacidade de incrementar um vigor vegetativo mais intenso, exceto nos anos em que tanto as chuvas da EC como da P-EC estão acima da média. Neste caso, a vegetação continua verde, porém menos vigorosa a depender do tipo de cobertura.

Palavras-chave: precipitação pluvial; regiões homogêneas; índices de vegetação; sistemas atmosféricos.

ABSTRACT

The Rainfall is a determining factor in the study of the climate of a tropical region, and can affect all forms of terrestrial survival, especially in semi-arid areas, such as the Northeast region of Brazil. In this context, this research aimed to analyze the effects of rainfall in the post-rainy season period (June - July) (P-EC) for the homogeneous Sertão and Alto Sertão regions of the State of Paraíba, taking into account the dynamics of local vegetation . To this end, annual precipitation series from a total of 73 rainfall stations in this State were used, comprising 29 years (1994 – 2022) of regional climatology data. The annual distribution of precipitation in the western region of Paraíba showed high spatio-temporal variability, reaffirming the dependence on atmospheric systems. From the analysis of the Pearson correlation coefficients for the annual totals of the rainy season (February - May) (EC), and the P-EC, it is possible to affirm that the post-season precipitation is independent of the rainy season precipitation, triggering the study of possible contributions of precipitation from this period to the plant environment. Therefore, the capacity of June-July precipitation to modify the vegetation landscape of the entire Sertão was investigated. To this end, monthly compositions of the IVDN were used, referring to the months of July, August and September, obtained from the MODIS/Terra sensor for the period from 2000 to 2022. This study between precipitation patterns and IVDN was carried out through the analysis of Person's correlation coefficient (r) and the graphical monitoring of the interannual variability curves of the standardized devivo indices. It was found that the vegetation vigor is extremely dependent on the precipitation that occurs in the EC, and that the P-EC rains do not have the capacity to increase a more intense vegetative vigor, except in years in which both the EC and the EC rains P-EC are above average. In this case, the vegetation remains green, but less vigorous depending on the type of coverage.

Key words: rainfall; homogeneous regions; vegetation indices; atmospheric systems.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos Específicos	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. Variabilidade da Precipitação na Paraíba	14
2.2. Relação da Precipitação com o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1. Localização da Área de Estudo	21
3.2. Dados	23
3.3. Metodologia	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Climatologia da precipitação do Sertão e Alto Sertão	27
4.2 Relação da Precipitação da P-EC das Regiões do Sertão e Alto Sertão com a da Região do Litoral no Mesmo Período	33
4.3 Relação da precipitação da P-EC das Regiões Sertão e Alto Sertão com o ENOS	35
4.4 Relação da precipitação da P-EC das Regiões Sertão e Alto Sertão com a OMJ	36
4.5 Precipitação da EC e da P-EC da Regiões Sertão e Alto Sertão e o Índice de Vegetação.....	40
5. CONCLUSÕES.....	48
6. REFERÊNCIAS.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localização do Estado da Paraíba com delimitação das regiões homogêneas de precipitação	22
Figura 2.	Desvios padronizados da precipitação da estação chuvosa e da pós estação para as regiões do Sertão e Alto Sertão da Paraíba no período de 1994 a 2022	29
Figura 3.	Precipitação acumulada anual da estação chuvosa e pós estação para as regiões do Sertão e Alto Sertão paraibano	32
Figura 4.	Variabilidade interanual da precipitação de junho-julho, representada pelos índices de desvio padronizado, (a) Sertão e Litoral e (b) Alto Sertão e Litoral	34
Figura 5.	Regiões dos Niños. Fonte: CPC/NOAA.....	36
Figura 6.	Índices da OMJ dos quatro anos dos junho-julhos mais chuvosos (secos) no Sertão da Paraíba	39
Figura 7.	Índice desvio padronizado do IVDN-julho e dos índices desvio padronizado das precipitações da estação chuvosa e pós estação para das regiões do Sertão e Alto Sertão da Paraíba	42
Figura 8.	Índice desvio padronizado do IVDN-agosto e dos índices desvio padronizado das precipitações da estação chuvosa e pós estação para das regiões do Sertão e Alto Sertão da Paraíba	44
Figura 9.	Índice desvio padronizado do IVDN-setembro e dos índices desvio padronizado das precipitações da estação chuvosa e pós estação para das regiões do Sertão e Alto Sertão da Paraíba.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Precipitação média mensal (mm/mês) das região pluviometricamente homogêneas Sertão e Alto Sertão para o período de 1994 a 2022.....	28
Tabela 2.	Coeficientes de correlação para a precipitação da EC de todo Sertão da Paraíba e o ENOS de novembro-janeiro (NDJ) ao ENOS de fevereiro-maio (FMA).....	36
Tabela 3.	Coeficiente de Correlação entre a precipitação da EC e P-EC e os IVDN de julho, agosto e setembro das regiões do Sertão e Alto Sertão.....	40

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
AS	América do Sul
DOLs	Distúrbios Ondulatórios de Leste
EC	Estação Chuvosa
ENOS	El Niño Oscilação Sul
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
HS	Hemisfério Sul
ICT	Índice de Condição Térmica
ICV	Índice de Condição da vegetação
ISV	Índice de Saúde da Vegetação
IVT	Infravermelho Térmico
IVDN	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NEB	Nordeste Brasileiro
NIR	Infravermelho Próximo
OMJ	Oscilação de Madden-Julian
P-EC	Pós-estação Chuvosa
SATVeg	Sistema de Análise Temporal da Vegetação
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
TST	Temperatura da Superfície da Terra
VIS	Espectro Eletromagnético Visível
VCANs	Vortices Ciclônicos dos Altos Níveis Troposféricos
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

1. INTRODUÇÃO

A precipitação pode ocorrer de maneiras variadas a partir de processos físicos, caracterizando-a em chuva, granizo, neve, neblina, geada ou orvalho e pode ser definida como um dos fenômenos meteorológicos naturais mais importantes para a existência humana. A quantidade e periodicidade do tipo de precipitação em determinadas regiões variam de acordo com diversos fatores naturais. Informações a respeito de pluviosidade são fundamentais na constituição do clima de uma região, atuando, sobretudo, na umidade do ar, balanço de água no solo e na temperatura. Sendo a variável meteorológica com maior ligação com o balanço hídrico, possibilitando determinar o excesso ou escassez de chuvas de uma região (SILVA et al., 2007).

Conhecer e quantificar a variabilidade de precipitação pluvial é de grande relevância para controle de eventos extremos, uma vez que esta afeta diretamente o desenvolvimento socioeconômico e ambiental de uma determinada região. Além disso, a pluviosidade apresenta-se como fator determinante no estudo da climatologia de uma região, que quando sofre alterações generalizadas, pode afetar toda forma de sobrevivência terrestre, principalmente em áreas semiáridas, como a região Nordeste do Brasil (NEB). Neste contexto, de acordo com Moura e Shukla (1981), o NEB deveria ter uma semelhança na distribuição pluviométrica com as regiões próximas ao Equador, porém, a precipitação média anual da região é bem menor que a precipitação média equatorial. Essa variabilidade interanual da distribuição espacial e temporal no regime de precipitação está diretamente ligada às mudanças nas configurações de circulação de grande escala, e com a interação oceano-atmosfera no Pacífico e no Atlântico.

Por outro lado, Uvo (1989) descreveu que os anos de seca no NEB estão ligados ao retorno da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para suas posições mais ao norte em fins de março e anos chuvosos, à permanência dela em suas posições mais ao sul durante os meses de abril e maio de tal forma, que para prever a qualidade da estação chuvosa, seria necessário prever quando a ZCIT iniciaria seu retorno para o norte. Durante o período de seca no norte do NEB, quando a ZCIT tendenciosamente se posiciona ao norte, é possível verificar anomalias negativas de Temperatura da Superfície do Mar - TSM no

Atlântico Sul.

Ressalta-se que, no NEB, a precipitação é considerada uma das variáveis climáticas mais significativas no desenvolvimento agrícola. O estudo e caracterização da distribuição de chuvas são indispensáveis no cultivo e manejo de safras para obtenção de rendimentos satisfatórios de uma população que já é afetada pela escassez e irregularidade de chuvas na região. Além disso, alguns estudos apontam que a grande variabilidade nos ciclos de chuvas acarretam mudanças irreversíveis nos ecossistemas de todo o planeta, uma vez que as variações climáticas estão intrinsecamente relacionadas aos aspectos de precipitação.

Por apresentar intensa variabilidade de precipitação combinada com elevadas taxas de evaporação, a biodiversidade dessa localidade tende a adaptar-se às altas temperaturas e falta de água, características do bioma da Caatinga, que predomina exclusivamente no Brasil. A temperatura média anual desse bioma oscila entre 25°C e 30°C, favorecendo um clima quente e região seca durante quase todo o ano, consolida com um solo raso e pedregoso, pobre em matéria orgânica e relativamente fértil (Sales e Ramos 2000; Silva et al., 2008; Barros et al., 2012).

Apesar da capacidade adaptativa das inúmeras espécies da fauna e flora pertencentes a Caatinga, estudos recentes como o de Siepielski et al. (2017) mostram que a mudança climática pode causar alterações generalizadas nos regimes de seleção, mudando as trajetórias evolutivas em escala global. Em concordância com isto Korell et al. (2021) enfatizaram que os ecossistemas secos são particularmente sensíveis a mudanças projetadas na precipitação, que tem implicações importantes para sua conservação e manejo.

Becker et al. (2011) relata que devido a grande variabilidade espacial e temporal da precipitação no estado a Paraíba, o mesmo torna-se em um excelente laboratório para estudos de eventos meteorológicos e climatológicos da região Nordeste como um todo, bem como os efeitos desta variabilidade no meio ambiente local. Também é oportuno descrever que o controle climático exercido por fenômenos de grande escala já é de amplo conhecimento pela comunidade científica e de fundamental importância para a avaliação da qualidade dos períodos chuvosos. Assim como, os efeitos da variabilidade interanual da precipitação do período chuvoso na dinâmica da vegetação

regional. Entretanto, as consequências da variabilidade da precipitação do período pós-estação chuvosa na dinâmica da vegetação local, não se verifica na literatura.

Neste contexto, a presente pesquisa objetiva estudar os efeitos da variabilidade interanual da precipitação pós-estação chuvosa (junho a julho) das regiões pluviometricamente homogêneas do Sertão e Alto Sertão da Paraíba na dinâmica da vegetação regional. É salutar informar que estas regiões apresentam uma área de aproximadamente 25000 m² e compreende todo oeste do Estado da Paraíba.

1.1 Objetivo Geral

Analisar os efeitos da precipitação pluvial dos meses de junho e julho na dinâmica da vegetação local das regiões do Sertão e Alto Sertão da Paraíba, bem como possíveis influências do El Niño Oscilação Sul (ENOS) e da oscilação de Madden e Julian (OMJ) nas chuvas destes meses.

1.1.2. Objetivos específicos

- Verificar possíveis relações das precipitações de junho e julho das regiões do Sertão-Alto Sertão e do Litoral da Paraíba.
- Examinar se as precipitações da estação chuvosa e pós estação no Sertão e Alto Sertão da Paraíba estão correlacionadas.
- Averiguar se até mesmo após o período chuvoso, os sistemas de grande escala oceânico-atmosfera: anomalias de TSM do Pacífico Equatorial é capaz de influenciar a variabilidade interanual da precipitação (junho e julho) nos sertões da Paraíba.
- Avaliar possível influência da OMJ na precipitação de junho-julho dos sertões da Paraíba.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Variabilidade da precipitação na Paraíba

O NEB tem sido objeto de estudos relacionados à variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial, provenientes da ação de fenômenos de grande escala que interagem causando anomalias atmosféricas. A variação temporal da precipitação é nítida quando se observa que os valores obtidos durante longos períodos não indicam nenhum tipo de regularidade (Tavares Diniz, 2013). Com relação a variação espacial é importante salientar, que Becker et al. (2011) descreveram que a Paraíba está entre os Estados que apresentam maior variabilidade espacial no regime de chuvas, pois apresenta totais médios anuais que variam de valores em torno dos 300 mm em áreas do Cariri/Curimataú paraibano a superiores a 1500 mm na faixa litorânea, distante aproximadamente 150 quilômetros. Neste contexto, Araújo (2003) informa que as regiões do Agreste/Brejo/Litoral do Estado apresentam valores anuais acima de 1083,4 mm/ano, em média, seguido da região do Sertão/Alto Sertão, com valores iguais a 821,9 mm/ano e por fim a região do Cariri/Curimataú, com valores médios em torno de 516,1 mm/ano. Destacam-se com maiores quantidades de precipitação as regiões do Agreste, Brejo e Litoral pela ação do Oceano Atlântico, que influencia diretamente a ação da ZCIT, na penetração das ondas de leste, nos sistemas de brisa marítima/terrestre, favorecendo as chuvas nestas regiões (Ferreira e Melo, 2005). As regiões do Sertão e Alto Sertão são favorecidas pela atuação da ZCIT e recebem grande parte do volume de chuvas advindas desse sistema e por Vórtices Ciclônicos dos Altos Níveis Troposféricos (VCANs), que atuam principalmente nos meses de dezembro a abril, podendo se estender até o mês de maio, e atuar também em toda a extensão do Estado da Paraíba (Kousky e Gan, 1981; Uvo, 1989). Enquanto, nas regiões do Cariri e Curimataú, o volume de chuvas é bem menor em comparação as demais regiões pluviométricas, devido ao Planalto da Borborema, formação geológica de altitude elevada que acaba dificultando o transporte de umidade trazido do Oceano Atlântico, pelos ventos de leste e avance para o interior do Estado, onde estas regiões estão localizadas.

Molion e Bernardo (2002) enfatizaram que a ZCIT e os VCANs são

responsáveis por aproximadamente 80% da totalidade de chuvas entre os meses de fevereiro e maio, abrangendo grande parte do centro-oeste do Estado da Paraíba. Enquanto, informações da AESA (Agência Executiva de Gestões das Águas do Estado da Paraíba) (AESA, 2016), descreve que o período chuvoso de abril a julho conta com a atuação dos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), que influenciam na precipitação do setor leste do Estado e contribuem com aproximadamente 70% do total precipitado entre os meses de abril e julho para esse setor.

Nobre e Melo (2001) estudaram a variabilidade intrasazonal da precipitação no NEB, durante os anos de 1998 e 2000, e observaram a ocorrência de períodos de chuva intensa, contrastados com períodos de estiagem. O estudo aponta que a variabilidade temporal das chuvas nestes três anos, resultou de interações entre circulações atmosféricas de escala planetária como o El Niño, e o dipolo do atlântico e oscilações atmosféricas. O El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno oceânico atmosférico caracterizado pelo aquecimento das águas superficiais do oceano Pacífico tropical, nas regiões denominadas de El Niño 3 (5°N-5°S, 150°-90°W) e 4 (5°N-5°S, 160°-150°W), perdurando por pelo menos cinco meses entre o verão e outono do Hemisfério Sul (HS). Enquanto a La Niña consiste no resfriamento das águas do oceano Pacífico, e assim como o fenômeno descrito anteriormente, sua ocorrência gera variabilidade nos padrões de temperatura e precipitação em todo planeta, ou seja, o El Niño consiste em uma anomalia positiva com o aquecimento da superfície do Pacífico Equatorial acima da média, em contrapartida, a La Niña apresenta uma anomalia negativa de temperatura abaixo da média.

Ainda nesta assertiva, Kane (1989) estudando esta relação de grandes cheias ou grandes secas para o NEB, identificou 29 anos de El Niño, em 137 anos analisados (1849-1985), desses 29 anos apenas 12 foram associados à secas na região. Segundo a pesquisa de Kane (2001) o El Niño influencia a ocorrência de chuvas no NEB em torno de 40%, pois as condições do gradiente meridional de anomalia de TSM no Atlântico Tropical são altamente influenciadores nessa região. Embora haja pesquisa que mostra a relação dos anos de atuação do El Niño com as secas e/ou menores índices de chuvas, outros estudos apontam que este fenômeno oceânico pode está associado aos

dois eventos, como, por exemplo, o trabalho de Alves & Repelli (1992) que descreve que a chuva é influenciada por outros sistemas atmosféricos e/ou pela combinação das condições oceânicas do Atlântico Tropical.

Almeida & Medeiros (2017) mostraram em seu estudo sobre o regime pluvial para as mesorregiões paraibanas do Sertão e Borborema, que os anos com chuvas acima ou abaixo da média coincidiram com os anos de ocorrência do El Niño como também, na ausência do mesmo. Corroborando com os estudos de Kane (2001) e Alves & Repelli (1992) que afirmam que a quantidade de chuvas no NEB é fortemente influenciada pelo Oceano Atlântico e que o El Niño/La Niña tem cerca de 40% dessa totalidade. Na ausência da atuação desses fenômenos oceânicos, quando não há anomalias significativas (maior que $-0,5^{\circ}$ e menor que $0,5^{\circ}\text{C}$) na TSM do Pacífico Equatorial e o gradiente de anomalia de TSM no Atlântico Tropical é negativo (positivo), a probabilidade de se ter um ano normal, chuvoso e seco também é alta (Ferreira e Melo, 2005).

Outro resultado significativo do trabalho de Nobre e Melo (2001) foi a observação do acoplamento dinâmico entre baixos e altos níveis na troposfera, com a passagem dos pulsos das oscilações intrasazonais sobre o NEB. Nessa conjuntura, a periodicidade dos episódios secos e chuvosos observada sobre o Nordeste durante o período 1998-2000 sugere que estes possam ter sido modulados pela atuação de oscilações de Madden-Julian (1972), também conhecidas por oscilações 30-60 dias.

Além dos diversos sistemas meteorológicos que influenciam o Brasil durante o período chuvoso, as zonas de convergência, as frentes frias e os fenômenos de grande escala, como o El Niño Oscilação Sul (ENOS), um fenômeno de grande relevância nos estudos da pluviometria é a Oscilação de Madden-Julian (OMJ). Esta oscilação se dá na forma de uma célula de convecção tropical que viaja de oeste para leste na faixa equatorial num período de 30 a 60 dias, alterando as áreas de movimentos ascendentes e subsidentes, o que acaba favorecendo ou desfavorecendo a formação de chuvas no Brasil, sobretudo, nas regiões Norte e Nordeste, acarretando também variações nas demais regiões do País. Estudos e análises

observacionais publicadas nas últimas duas décadas demonstraram que a OMJ funciona como o modo climático dominante da variabilidade atmosférica e convecção tropical do globo na escala intrasazonal (Madden e Julian, 1994).

A OMJ subdivide-se em duas fases: uma de intensa atividade convectiva, caracterizada por divergência em altos níveis nas áreas convectivamente ativas como a Indonésia, África e América do Sul (AS), onde a velocidade de propagação é mais lenta e a amplitude da oscilação se intensifica. A outra fase caracteriza-se por uma supressão de convecção, onde o distúrbio desloca-se mais rapidamente sobre área de fraca intensidade convectiva, tais como o Oceano Pacífico Central-Leste, Oceano Atlântico (VON STORCH et al., 1988; GUALDI et al., 1997).

Kayano e Kousky (1999) investigaram a evolução da OMJ durante o verão no Hemisfério Sul (HS) a partir de dados de reanálise no período de 1979 a 1995 e concluíram que esta oscilação apresenta fortes variabilidades regionais, indicando a interação dessa oscilação com a atividade convectiva tropical, em particular do nordeste da AS. Assim sendo, em concordância com Repelli et al. (1998) a OMJ tem impacto no sistema convectivo do Nordeste brasileiro, podendo influir diretamente gerando condições para ativar a convecção e iniciar precipitação na região durante um período de 5 a 15 dias, mesmo durante um ano em que as condições de grande escala não são muito favoráveis para que a precipitação seja acima da média sobre o NEB.

Se por um lado, os totais anuais de precipitação, ao longo de todo estado da Paraíba, apresentam grande variabilidade interanual decorrentes da interação de fenômenos oceânicos e atmosféricos, como descritos nos parágrafos anteriores. Por outro lado, de acordo com Borges (2017), as temperaturas médias anuais ficam em torno de 23°C e 30°C e são quase constantes para todas as regiões e apresentam pequena variabilidade interanual, condição que favorece o aumento da evaporação das águas de rios, lagos e da própria superfície vegetada. Neste contexto, Ab'Sáber (1999) e Paiva e Cavalcanti (2011) descreveram que mesmo no período chuvoso, o solo raso e pedregoso não consegue armazenar a água e a temperatura elevada intensifica a evapotranspiração. Este processo pode ser definido como a transferência da

água em estado de vapor para a atmosfera através da evaporação da água de rios, lagos e da transpiração das plantas.

2.2. Relação da Precipitação com o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

A Caatinga é a vegetação que predomina no Nordeste Brasileiro especificamente no contexto do clima semiárido. É o único bioma que não se estende dos limites territoriais do Brasil, segundo (IBGE, 2004) a área da Caatinga é de 844.453 Km², o que corresponde a 11% do território nacional. Esse bioma apresenta condições climáticas rigorosas, temperaturas elevadas, ventos fortes e secos, que contribuem com a aridez das paisagens.

Os episódios de seca são uma característica recorrente do clima semiárido gerando grandes impactos para a sociedade local. Os estudos de Dai (2012) apontam que a intensificação da evaporação corrobora para elevações nos índices de temperatura e, conseqüentemente, alterações nos regimes de precipitação, contribuindo para um aumento generalizado da severidade da seca. Nos últimos anos, as observações espaciais têm contribuído de maneira significativa para análise e entendimento do contexto climático, permitindo o monitoramento e recuperação de dados de precipitação, evapotranspiração, umidade do solo, índices de vegetação, entre outros.

As informações dos parâmetros climáticos são coletadas por sensores posicionados em áreas estratégicas para recolher imagens e dados sobre a superfície terrestre a partir da radiação eletromagnética. O IVDN (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) consiste em um índice de vegetação obtido através de imagens e visa contabilizar a condição da vegetação a partir da energia absorvida e refletida pela planta em concordância com a energia solar que atinge a mesma, ou seja, mede a quantidade de reflectância das folhas das plantas, e através disso é possível analisar alguns parâmetros da vegetação como nutrição, sanidade, déficits hídricos, entre outros. Gonçalves et al. (2021) afirmam que este índice apresenta como vantagens a facilidade de processamento e obtenção dos dados, e pode ser utilizado para realizar o acompanhamento das alterações sazonais no ciclo de vida das plantas.

Os valores de IVDN variam entre -1 e 1, onde valores negativos representam as áreas de corpos hídricos, nuvens e sombra. Valores positivos e mais próximos do zero correspondem às áreas de solo sem cobertura vegetal e valores mais próximos de 1 estão relacionados com a presença de vegetação em pleno vigor. Em situações de seca, ocorre uma diminuição da pigmentação verde, levando assim, a um aumento do VIS e uma diminuição do IVT (Santos, 2020). Nessa conjuntura, o solo e a vegetação local são de extrema relevância para avaliar as condições climáticas de cada região, uma vez que o balanço radiativo está intrinsecamente relacionado aos mesmos.

De acordo com Bento et al. (2018), o ISV (Índice de Saúde da Vegetação) leva em consideração as características do ecossistema em termos de flutuações entre os valores de máximos e mínimos de IVDN. Este é estimado a partir da soma ponderada das contribuições do ICV (Índice de Condição da Vegetação), que incorpora informações sobre as porções do espectro eletromagnético visível (VIS) e infravermelho próximo (NIR) e o ICT (Índice de Condição Térmica) que baseia-se no infravermelho térmico (IVT). O componente ICV é comumente estimado usando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e visa contabilizar o estresse hídrico da vegetação; o ICT, por sua vez, é usado para avaliar o estresse térmico da vegetação e é estimado com base na temperatura de brilho da parte superior da atmosfera ou na Temperatura da Superfície da Terra (TST).

Os estudos de Braga et al. (2003) dos padrões médios mensais do IVDN e da precipitação pluvial em todas as regiões homogêneas no Nordeste, indicam uma forte dependência do IVDN com relação às variações da precipitação. Sendo assim, os níveis de IVDN são maiores em regiões que apresentam maior taxa de precipitação e, analogamente, menores nas regiões com menores quantidades de chuvas. À medida que as chuvas vão diminuindo, durante os meses do ano, os valores de IVDN decrescem em função da resposta da cobertura ao estresse hídrico, nas diferentes regiões homogêneas.

Neste sentido, o IVDN é um dos índices mais utilizados na identificação das alterações na cobertura vegetal principalmente por apresentar alta sensibilidade tanto para a vegetação esparsa quanto para a vegetação mais densa. A assinatura espectral da vegetação verde e sadia mostra evidente contraste entre a região do visível, principalmente na banda do vermelho, e do

infravermelho próximo. Quanto maior for este contraste, de maneira geral, maior o vigor da vegetação (MOREIRA, 2012; SHIMABUKURO et al., 1999).

De acordo com Ponzoni (2002), a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto fundamenta-se na investigação do comportamento espectral de determinada área da superfície terrestre, onde uma dada cobertura vegetal assume um determinado produto, fruto de um processo complexo que pode implicar em diversos parâmetros e fatores ambientais. Assim, o sensoriamento remoto apresenta-se como uma importante ferramenta para estudo dos recursos naturais, proporcionando informações confiáveis e atuais, além disso, pode subsidiar a identificação de áreas em processo de degradação, desmatamento, escassez de água, identificação de culturas, mitigação de eventos extremos, entre outros, promovendo a gestão e o monitoramento ambiental.

Nesta perspectiva, diante da gama de recursos que o sensoriamento remoto pode proporcionar, existe uma vasta literatura que faz uso dessa tecnologia para estudar o comportamento da vegetação com relação ao regime pluviométrico de determinada região. Braga et al. (2003) utilizaram séries temporais do IVDN para determinar o tempo de resposta da vegetação às precipitações na região Nordeste do Brasil. A utilização de IVDN mostrou ser um bom indicativo para avaliação da dinâmica da cobertura vegetal, no estudo de Aires (2018), onde esses dados foram aplicados para avaliar a influência da modificação temporal e espacial da cobertura vegetal no regime de vazões na bacia do rio Manhuaçu, MG. De acordo com os estudos de Ferreira et al. (2012) sobre a dinâmica da vegetação na região de Petrolina- PE, os índices IVDN apresentaram resultados mais significativos para o período seco. Tramontina et al. (2019) utilizaram de séries temporais de índices de vegetação (IVDN e EVI) do sensor MODIS para detecção de limiares de desmatamento no bioma Mata Atlântica no Rio Grande do Sul, onde a metodologia proposta se mostrou bastante significativa. Estes mesmos autores, chamam a atenção para a utilização de imagens orbitais advindas do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), que para o caso de estudos dos ecossistemas terrestres, mostra-se como importante fonte de dados temporais, devido a periodicidade de aquisição e ao recobrimento de grandes áreas da superfície terrestre.

Uma ferramenta que têm subsidiado os estudos e apoiado às atividades de monitoramento agrícola e ambiental, é o Sistema de Análise Temporal da

Vegetação (SATVeg), uma plataforma web, destinada à observação e análise de perfis de IVDN e EVI, derivados de imagens de satélite geradas pelo sensor MODIS, para toda América do Sul, disponibilizadas publicamente pela Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica (NASA) a partir do ano 2000.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da área de Estudo

O Estado da Paraíba está inserido entre os paralelos $6^{\circ}02'12''$ e $8^{\circ}19'18''$ S, e entre os meridianos de $34^{\circ}45'54''$ e $38^{\circ}45'45''$ W, limita-se ao leste com o Oceano Atlântico, ao norte com o Rio Grande do Norte, ao oeste com o Ceará e ao sul com Pernambuco, apresenta uma área em torno de 56.500 km^2 (IBGE, 2022).

Possui um clima semiárido e subúmido seco, na parte centro-oeste do Estado, que compreende as regiões Alto Sertão, Sertão, Cariri/Curimataú e Agreste, e clima subúmido e úmido no leste do estado, que corresponde as regiões Brejo e Litoral (Figura 1). Contudo, as áreas de estudo são as regiões do Sertão e Alto Sertão, que abrangem uma área de aproximadamente 25.000 km^2 (Figura 1).

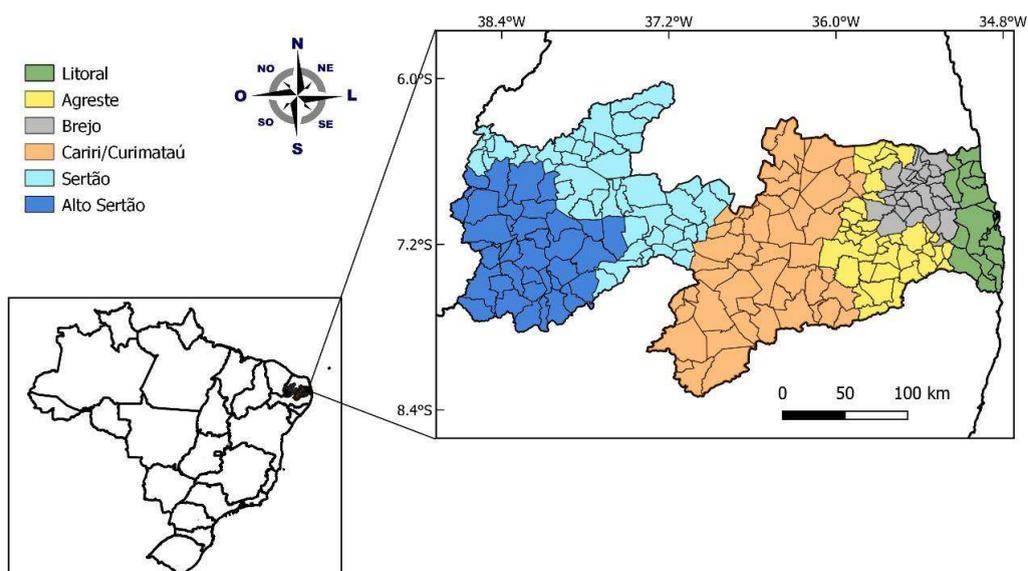


Figura 1: Localização do Estado da Paraíba com delimitação das regiões homogêneas de precipitação. **Fonte:** Brito e Braga, 2005. Adaptado pela autora.

O Estado da Paraíba, é influenciado fortemente pelos sistemas atmosféricos que atuam sobre o NEB, que são resultado da junção de diferentes escalas, entre elas está a Zona de convergência Intertropical (ZCIT), considerado o sistema mais importante gerador de precipitação sobre essa região (Reboita et al., 2012).

De acordo com a divisão geográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), vigente entre 1989 e 2017, o Sertão Paraibano era considerado uma mesorregião, composta pelas microrregiões de Cajazeiras, Catolé do Rocha, Itaporanga, Patos, Piancó, Serra do Teixeira e Sousa. No ano de 2017, as mesorregiões e microrregiões antes definidas foram extinguidas pelo instituto, criando uma nova divisão regional brasileira, onde estas foram denominadas de regiões geográficas intermediárias e imediatas. Segundo este novo quadro, o Sertão Paraibano passou a corresponder, parcialmente, as regiões intermediárias de Patos e Sousa-Cajazeiras. Porém neste trabalho, considera-se as regiões de climatologia homogênea definidas por Brito e Braga (2005), e adaptadas pela AESA (Becker et al., 2011) com enfoque principal para as regiões do Sertão e Alto Sertão.

A cobertura vegetal inserida nessas regiões são determinadas por fatores como baixo índice pluviométrico, temperaturas elevadas durante a estação seca, principalmente por provocar aridez e incapacitação do solo que é na maior parte predominantemente raso e pedregoso, inviabilizando a absorção da água.

Na região do Sertão, os climas semiárido, quente seco, e semi-úmido predominam nas áreas de serras e depressões, com chuvas de verão, e temperaturas médias anuais superiores a 24°C. O período chuvoso ocorre entre os meses de janeiro a maio decorrente, principalmente, da atuação da ZCIT. Em concordância, a região do Alto Sertão caracteriza-se por temperaturas médias elevadas, apresenta maior volume precipitável também entre os meses de janeiro até maio, e sua época de estiagens se estende de agosto a dezembro. O clima dessa localidade é megatermico do tipo tropical úmido (Francisco e Djail, 2017).

3.2. Dados

Os dados pluviométricos utilizados na pesquisa correspondem as séries mensais de precipitação no período de 1994 a 2022 fornecidos pela AESA, com o intuito de analisar os efeitos da variabilidade interanual da precipitação pós-estação chuvosa (junho a julho) das regiões pluviometricamente homogêneas do Sertão e Alto Sertão da Paraíba.

Para a escolha dos postos pluviométricos utilizados na presente pesquisa foram analisados os dados de todos os postos disponibilizados pela AESA. Ressalta-se, que em 2022 completou-se 29 anos de atuação da AESA na coleta de dados na Paraíba, contudo, nem todos os postos contêm todo este período de dados. Portanto, avaliou-se que, a Organização Meteorológica Mundial (OMM), considera que para estudos climatológicos é aceitável até 30% de falhas para os dados de temperatura, desde que as falhas não sejam consecutivas, como não há registros referentes a ausência de dados de precipitação, escolheu-se, neste estudo, trabalhar com aproximadamente a metade deste total, ou seja, foram utilizados os postos com no máximo de 17% de falta de dados em toda a série. Após este procedimento foram escolhidos para a região do Sertão 35 postos pluviométricos, enquanto, para o Alto Sertão foram escolhidos 38 postos, todos para o período de 29 anos, de janeiro de 1994 a dezembro de 2022.

Os dados para análises do ENOS e OMJ foram extraídos da base de dados do CPC/NOAA. A investigação das condições do índice IVDN, foram obtidos através da plataforma de Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg) desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

3.3. Metodologia

Uma vez escolhidos os postos foram determinadas as precipitações mensais dos 29 anos para cada região, Sertão e Alto Sertão, por exemplo, para o mês de janeiro de 1994 somou-se a precipitação de todos os postos do Sertão, que tinham dados de precipitação, e dividiu-se a soma pelo número de postos, resultando na precipitação de janeiro de 1994 para a região do Sertão, e, assim sucessivamente para os demais meses e anos. Metodologia semelhante foi

utilizada para o Alto Sertão. Com isso obteve-se o conjunto de dados mensais de cada ano para ambas as regiões.

Em seguida, foram calculadas as médias climatológicas de cada mês. A partir das médias mensais, determinou-se o período mais chuvoso de cada região, que foi de janeiro a maio para o Sertão e o Alto Sertão, caracterizando a Estação Chuvosa (EC).

Para verificar se os anos mais chuvosos e mais secos, de junho-julho, são decorrentes da expansão no tempo das chuvas acima ou abaixo da média observadas no período chuvoso, foram feitas as correlações entre os desvios padronizados de precipitação do período chuvoso versus o da pós-estação. Foram utilizados os desvios padronizados porque a precipitação no período chuvoso é superior a precipitação do período de junho-julho. Evidentemente, que a correlação será a mesma se feita o total de precipitação ou com os desvios padronizados. Contudo, para a representação gráfica o uso dos totais de precipitação torna-se inconveniente. Em seguida, para encontrar a relação existente entre a EC, P-EC e IVDN, utilizou-se os indicadores estatísticos:

Média climatológica

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Desvio Padrão

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Índice Desvio padronizado

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S} \quad (3)$$

Coefficiente de Correlação de Pearson

$$r = \frac{cov(x_i, y_i)}{\sqrt{var(x_i) \cdot var(y_i)}} \quad (4)$$

Em que \bar{x} é a média climatológica da variável x_i ; n é o número de dados, no caso específico de anos. S é o desvio padrão da variável x_i ; z_i é o desvio padronizado da variável x_i ; $cov(x_i, y_i)$ é a covariância das variáveis x_i e y_i , por exemplo, x_i é a precipitação do período chuvoso ocorrida no ano i e y_i é a precipitação acumulada de junho-julho do ano i ; $var(x_i)$ e $var(y_i)$ são as variâncias das variáveis x_i e y_i respectivamente.

Uma vez calculado o coeficiente de correlação, em geral, se faz necessário realizar um teste estatístico para verificar se o coeficiente de correlação é

significativo, para tanto, um dos testes mais utilizado é o t-Student, que é dado por:

$$t_{calculado} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (5)$$

em que $n-2$ é o grau de liberdade para o valor de t . Se o valor de t_c é superior ao valor de t para o nível de significância α , a correlação obtida é estatisticamente sigficativa ao nível de α . (Huang e Paes, 2009; Menezes et al., 2008).

A segunda parte desta pesquisa objetiva analisar a dinâmica da cobertura vegetal para um período pouco inferior em relação ao período analisado para precipitação, de 2000 a 2022, contabilizando vinte e dois anos de climatologia para as regiões do Sertão e Alto Sertão. Pretende-se verificar a relação da dinâmica da cobertura vegetal com o regime de chuvas, e avaliar a influência da modificação temporal e espacial sofrida pela área vegetada de acordo com a pós-estação chuvosa (P-EC). Para isto, utilizou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) obtido através da plataforma de Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg) desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Como os valores de IVDN apresentam alta sensibilidade em relação aos índices pluviométricos, e considera-se que, para estudo de resposta da vegetação derivada da precipitação, haja um período de resposta de aproximadamente de um a três meses após o período das chuvas para melhorar a diferenciação e verificação de impactos sobre a área vegetada. Este intervalo de tempo também é considerado como critério para obtenção de um número razoável de imagens para vizualização e análise da área de interesse.

Neste sentido, considerou-se para este trabalho os meses de julho, agosto e setembro, período correspondente ao trimestre posterior, P-EC (junho-julho), que recai sobre os Sertões da Paraíba.

Os valores de IVDN são disponibilizados em composições máximas de 16 dias, com resolução espacial de aproximadamente 250m. Consideramos o índice de vegetação do produto MOD13Q1, IVDN. A partir deste índice, foram obtidas as séries temporais mensais do período compreendido de julho à setembro do

ano de 2000 até 2022, todas extraídas por meio da ferramenta Web SATVeg.

A fim de minimizar os efeitos dos ruídos das séries temporais oriundos de influências atmosféricas, presença de nuvens, e da geometria de aquisição da imagem no momento da passagem dos satélites, os dados foram obtidos com pré-filtragem, que de acordo com a plataforma, corresponde a aplicação de um método simples, baseado em interpolação bi-linear, para a eliminação de valores não válidos (No Data) e de valores classificados com a presença de nuvem e de neve pelos dados de qualidade do pixel.

Após a obtenção das séries temporais, os valores do IVDN para as regiões do Alto Sertão e Sertão, respectivamente. Foram estimados a partir dos valores mensais obtidos referentes aos meses de julho à setembro, com início no ano de 2000 e término no ano de 2022.

Inicialmente, criou-se uma planilha na qual foi calculada a média de duas maneiras: a média ponderada pela representatividade da área de cada município, que se dá através da divisão da área do município pela área da região de estudo e em seguida, multiplica-se o IVDN do município pelo valor de representatividade do município e soma-se todos os valores. E a média aritmética direta, que consiste na soma do IVDN de cada município pelo quociente do número de municípios em questão. Comparando os valores obtidos das médias ponderada e aritmética é perceptível que os valores são praticamente os mesmos e por este motivo não há necessidade de se fazer a média ponderada para as regiões, logo calculou-se apenas a média aritmética.

As relações foram estimadas da mesma forma em que analisou-se a climatologia da precipitação. Calculou-se o coeficiente de correlação linear dos valores de IVDN do mês de julho com a EC e a P-EC das duas regiões estudadas. Em seguida foi feito cálculo semelhante para o IVDN do mês de agosto. Repetiu-se o mesmo procedimento para analisar a relação do índice com a precipitação do mês de setembro. A partir do teste t-Student, observou-se a significância estatística do coeficiente de correlação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Climatologia da precipitação do Sertão e Alto Sertão

Na tabela 1 é mostrada a média climatológica da precipitação mensal das regiões pluviometricamente homogêneas Sertão e Alto Sertão, no período de 1994 a 2022. Na literatura (Uvo e Nobre, 1989; Uvo, 1989; Ferreira e Melo, 2005), em geral, citam que a quadra chuvosa do semiárido norte do NEB, que inclui o oeste da Paraíba é de fevereiro a maio. Contudo, como mostrado na tabela 1, verifica-se que, de acordo com as precipitações médias mensais, no período de 1994 a 2022 a quadra chuvosa é de janeiro a abril, sendo maio, em média o quinto mês mais chuvoso.

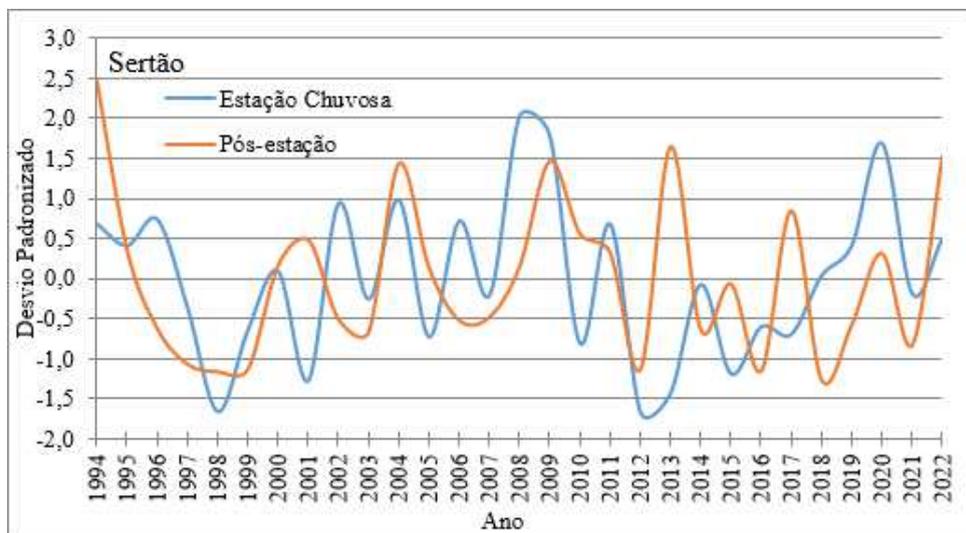
O favorecimento das chuvas no mês de janeiro justifica-se pela atuação dos VCANs, responsáveis pela produção de precipitação entre os meses iniciais do ano para estas regiões (Ferreira e Melo, 2005). Além disso, observa-se um grande aumento da precipitação de dezembro para janeiro e um grande decaimento de maio para junho. Portanto, no presente trabalho o período chuvoso no Sertão e Alto Sertão da Paraíba, denominando de estação chuvosa (EC), é tomado como sendo de janeiro a maio, e o período junho-julho como pós-estação chuvosa (P-EC).

Tabela 1. Precipitação média mensal (mm/mês) das regiões pluviometricamente homogêneas Sertão e Alto Sertão para o período de 1994 a 2022.

Mês	Sertão	Alto Sertão
Janeiro	99,3	137,7
Fevereiro	119,0	150,4
Março	177,5	205,9
Abril	153,1	151,3
Maio	87,7	84,0
Junho	32,1	31,4
Julho	18,7	16,6
Agosto	6,7	5,4
Setembro	1,8	2,0
Outubro	6,5	13,0
Novembro	14,4	22,8
Dezembro	31,2	46,7
Total	748,1	867,1

Fonte: Autora (2023)

Na Figura 2 são mostrados os desvios padronizados anuais de 1994 a 2022 dos totais de precipitação da EC e P-EC. Para a região do Sertão neste período de estudo, a precipitação pluvial apresentou uma acentuada variabilidade interanual, onde a precipitação da EC correspondeu a aproximadamente 85% do total médio anual. O período em questão apresentou média de 636,5 mm para a EC e 50,8 mm para a P-EC. O maior total anual registrado foi no ano de 2008 e o menor registro foi no ano de 2012, para EC, estes resultados procederam devido à atuação da La Niña e do gradiente meridional de anomalia de TSM no Atlântico Tropical, respectivamente. Contudo, é importante ressaltar, que, em geral, nos períodos de La Niña há uma tendência da precipitação do Semiárido Setentrional do Nordeste apresentar precipitação superior a média climatológica (Ferreira e Melo, 2005), porém nem sempre anos de ocorrência de La Niña apresentam precipitação superior a média climatológica (Repelli e Alves, 1992).



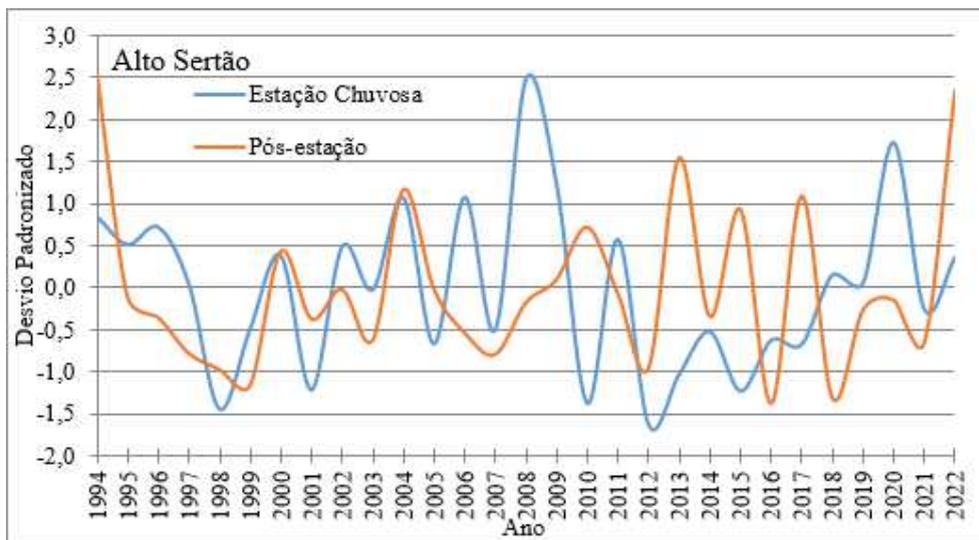


Figura 2. Desvios padronizados da precipitação da estação chuvosa e da pós estação para as regiões do Sertão e Alto Sertão da Paraíba no período de 1994 a 2022.

Observa-se ainda que, ao longo da série analisada, os anos que registraram os maiores índices durante a EC foram 2002, 2004, 2008, 2009 e 2020. Quanto a P-EC, os maiores valores foram observados nos anos de 1994, 2004, 2009, 2013 e 2022. Ainda com relação a P-EC da região do Sertão é possível observar que o ano de maior incidência de chuvas foi o ano de 1994 e o menor registro foi no ano de 2018.

Os anos de 2008 e 2009 apresentaram valores bem acima da média anual. Para o ano de 2012 o acúmulo de chuva da região do Sertão foi o menor registrado durante a EC com um valor de 280,3 mm, ficando abaixo do total precipitado do ano de 1998 de 281,5 mm, que se destacou por um ano de seca severa na região, fortemente influenciada pela atuação do El Niño. Vale enfatizar que no ano de 2013 a P-EC apresentou um valor equivalente ao dobro da média climatológica, em contrapartida, a EC para este mesmo ano teve um acúmulo de chuvas em torno de 50% do total climatológico da EC, decorrente do gradiente meridional de anomalia de TSM no Atlântico Tropical positivo, uma vez que as condições no Pacífico Equatorial estavam neutras. Entretanto, de acordo com as chuvas observadas na P-EC, ainda se faz necessário realizar uma investigação para saber que mecanismos foram os produtores da precipitação, pois o gradiente meridional continuava positivo e as condições no Pacífico continuavam neutras.

A região do Alto Sertão também apresentou a EC de janeiro a maio e

registrou um total médio climatológico de 729,3 mm, que representa 84% do total médio anual, repetindo as características das precipitações verificadas nessa época do ano, no Sertão. Enquanto, o total médio climatológico precipitado na P-EC (junho-julho) é de apenas 48,0 mm. Desta forma verifica-se que o total da EC do Alto Sertão é superior ao do Sertão, enquanto, o da P-EC é inferior. Isto é decorrente da atuação dos sistemas meteorológicos produtores de chuvas.

Os VCANs com atuação no início do ano e com intensidade mais ao oeste, são definidos como sistemas fechados de baixa pressão, de escala sinótica, que se formam na alta troposfera (Gan e Kousky, 1982). O acoplamento dos Ventos Alísios na formação de um VCAN ocasiona o deslocamento da umidade e favorece tempestades em boa parte do Nordeste, sobretudo nas bordas do VCAN. Nobre e Shukla (1996) verificaram que, a intensidade dos Alísios de sudeste combinada com as anomalias de TSM no norte/sul do Equador culminam em um deslocamento norte/sul da ZCIT e isso provoca tanto aumento quanto diminuição de precipitação no Nordeste Setentrional. Os DOLs são fortemente correlacionados com o período chuvoso, com atuação no meio do ano e, principalmente, na costa leste do NEB, com penetração mais para o interior em alguns anos, como, por exemplo, 2022, decorrente da atuação da La Niña e gradiente de anomalia de TSM no Atlântico Tropical Negativo. A frequência anual da ocorrência desses fenômenos está comumente associada aos eventos de El Niño e La Niña, sendo mais (menos) frequentes durante a ocorrência de La Niña (El Niño) (Coutinho e Fisch 2007; Kouadio, et al., 2013; Gomes et al., 2019; Silva et al., 2021).

É notável que em alguns anos, como, por exemplo, 2004 tanto a estação chuvosa como a pós estação das chuvas, apresentaram desvios padronizados positivos, em ambas regiões Sertão e Alto Sertão (Figura 2), enquanto, outros anos observa-se valores invertidos, como, por exemplo, 2013, em que verifica-se desvio negativo na estação e positivo na pós estação. Neste contexto, os coeficientes de correlação de Pearson para os totais de precipitação da estação chuvosa e da pós estação foram $r = 0,29$ para o Sertão e $r = 0,13$ para o Alto Sertão, cujos valores apresentam $t_c = 1,66$ e $t_c = 0,72$, ou seja, a correlação não é estatisticamente significativa, até mesmo com um nível de significância de α

= 0,1, que é extremamente baixo. Logo, é possível afirmar que a precipitação da estação chuvosa e da pós estação do Sertão e Alto Sertão da Paraíba não estão correlacionadas, ou seja, a precipitação da pós estação é independente da precipitação da estação. Portanto, é salutar pesquisar possíveis contribuições da precipitação que ocorre no período de junho a julho para o meio ambiente do Sertão e Alto Sertão da Paraíba.

Por outro lado, o coeficiente de correlação entre a precipitação da pós estação do Sertão e de junho-julho da região do litoral foi de $r = 0,67$, equanto, a da pós estação do Alto Sertão e junho-julho do Litoral foi de 0,70, ambos coeficientes são estatisticamente significativos a probabilidade de 99%. Portanto, em geral, a precipitação que ocorre de junho a julho no Sertão e Alto Sertão da Paraíba são decorrentes de sistemas meteorológicos que produzem precipitação no Litoral da Paraíba.

Entretanto, observou-se que os sistemas produtores de precipitação durante a estação chuvosa, bem como aqueles da pós-estação chuvosa do Alto Sertão e Sertão são os mesmos, como, por exemplo, a Figura 3, demonstra a da variabilidade interanual anual da precipitação durante o quinteto chuvoso (estação chuvosa), assim como, para o período da pós-estação chuvosa (junho – julho) para as duas regiões estudadas, Sertão e Alto Sertão.

Observa-se variabilidades semelhantes ao longo de toda série, tanto para o período da EC, cuja relação apresentou valor significativo de $r = 0,96$ enfatizando uma forte convergência nos totais precipitáveis para estas regiões. Como para o período da P-EC, cuja correlação foi de 0,89, resultado também muito elevado, o que demonstra que os sistemas produtores de precipitação na P-EC no Sertão e Alto Sertão são os mesmos.

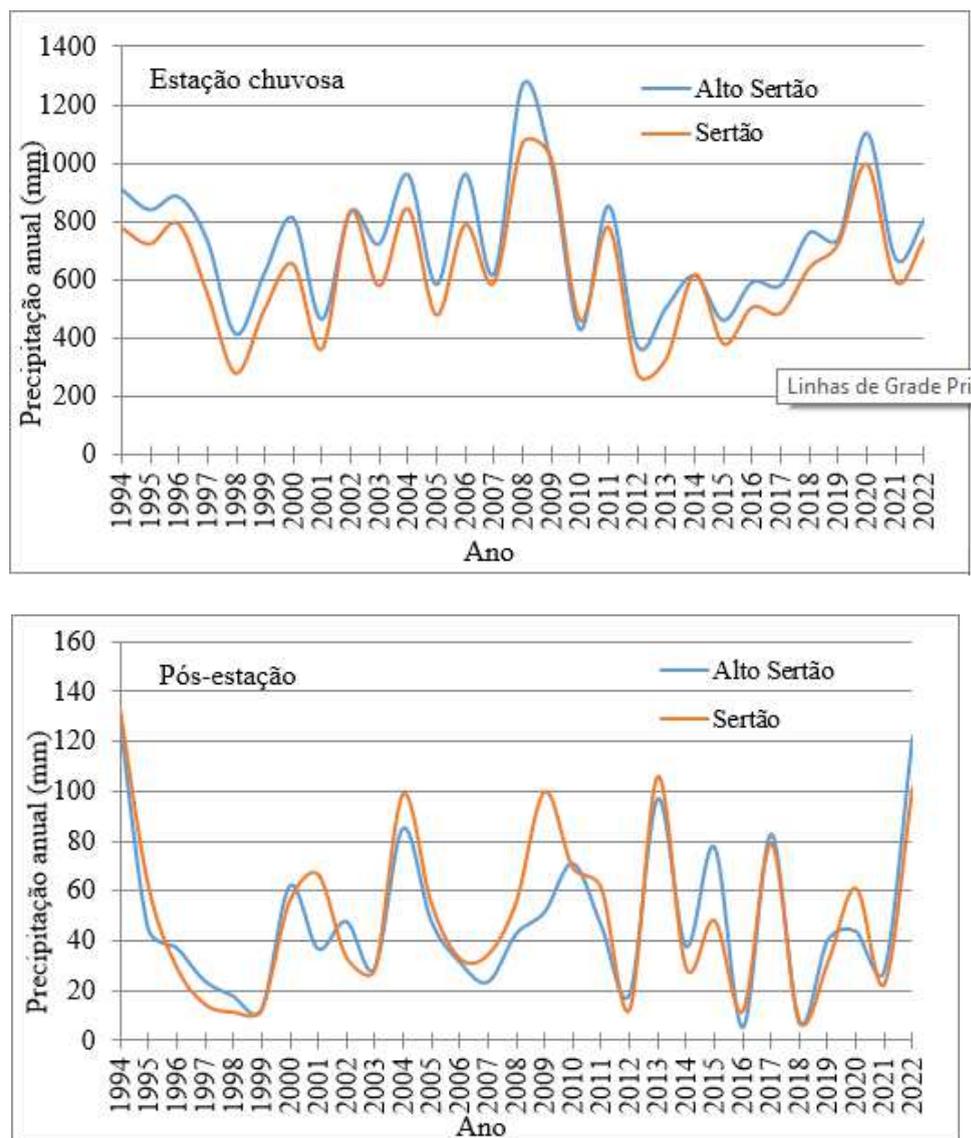


Figura 3. Precipitação acumulada anual da estação chuvosa (EC) e pós estação (P-EC) para as regiões do Sertão e Alto Sertão paraibano.

Considerando os 29 anos investigados, observou-se que os anos de 2008 e 2009 foram extremamente chuvosos em ambas as regiões e também em ambas as estações (EC e P-EC). Esse período coincidiu com o termino do fenômeno de La Niña moderado no ano de 2008 seguida da fase de El Niño fraco a moderado em 2009. É notório ainda, uma sazonalidade bem definida nos índices precipitáveis, onde a região do Alto Sertão aparece com acúmulos anuais maiores que a região do Sertão.

É perceptível um comportamento similar na P-EC, onde os índices precipitáveis são equivalentes durante a distribuição, apresentando certa homogeneidade. Para esses dois meses, como já informado, houve uma

correlação de $r = 0,89$ entre as variáveis. Destacam-se maiores dispersões nos anos de 2001, 2004, 2009, 2015 e 2020.

Verificou-se que os sistemas produtores de chuvas no Sertão e Alto Sertão, durante a EC são diferentes daqueles produtores de chuvas na P-EC. Portanto, é conveniente investigar se os sistemas produtores de precipitação durante a EC e P-EC no Sertão e Alto Sertão também são capazes de produzir chuvas em outras regiões da Paraíba. Evidentemente, que outros pesquisadores, como por exemplo, Ferreira e Melo (2005) e Becker et al. (2011) já demonstraram que as chuvas de janeiro e fevereiro em toda Paraíba, em geral, são decorrentes dos VCANs, e as de março a maio, em geral, são provenientes da ZCIT. Além disso, Costa (2018) descreveu que os principais sistemas produtores de chuvas no litoral da Paraíba nos meses de junho a agosto são os DOLs. Assim sendo, é salutar verificar a relação da precipitação da região do litoral e das regiões do Sertão e Alto Sertão da Paraíba.

4.2. Relação da Precipitação da P-EC das Regiões do Sertão e Alto Sertão com a da Região do Litoral no Mesmo Período

A Figura 4 mostra a variabilidade interanual da precipitação dos meses de junho e julho das regiões do Sertão e Litoral (Figura 4a) e das regiões Alto Sertão e Litoral (Figura 4b). Observa-se algumas concordâncias, como, por exemplo, nos anos com precipitação superior a média, como 1994, 2004 e 2022, e nos anos com precipitação abaixo da média, como 1999, 2014, 2016, 2018 e 2021. Contudo, também são observados discrepâncias como 2003, 2012 e 2019 com chuvas acima da média no Litoral, nos meses de junho-julho, e precipitação abaixo da média no Sertão e Alto Sertão, no mesmo período, bem como nos anos de 2001 e 2010, nos quais ocorreram chuvas acima da média no Sertão e Alto Sertão e abaixo da média no litoral (Figura 4a,b). Portanto, devido a esta configuração da variabilidade interanual da precipitação de junho-julho das regiões do Sertão, Alto Sertão e Litoral, observou-se correlação de $r = 0,67$ entre Sertão e Litoral e $r = 0,7$, que são correlações relativamente elevadas, com p-valor inferior a 0,01 (significância estatística de 99%).

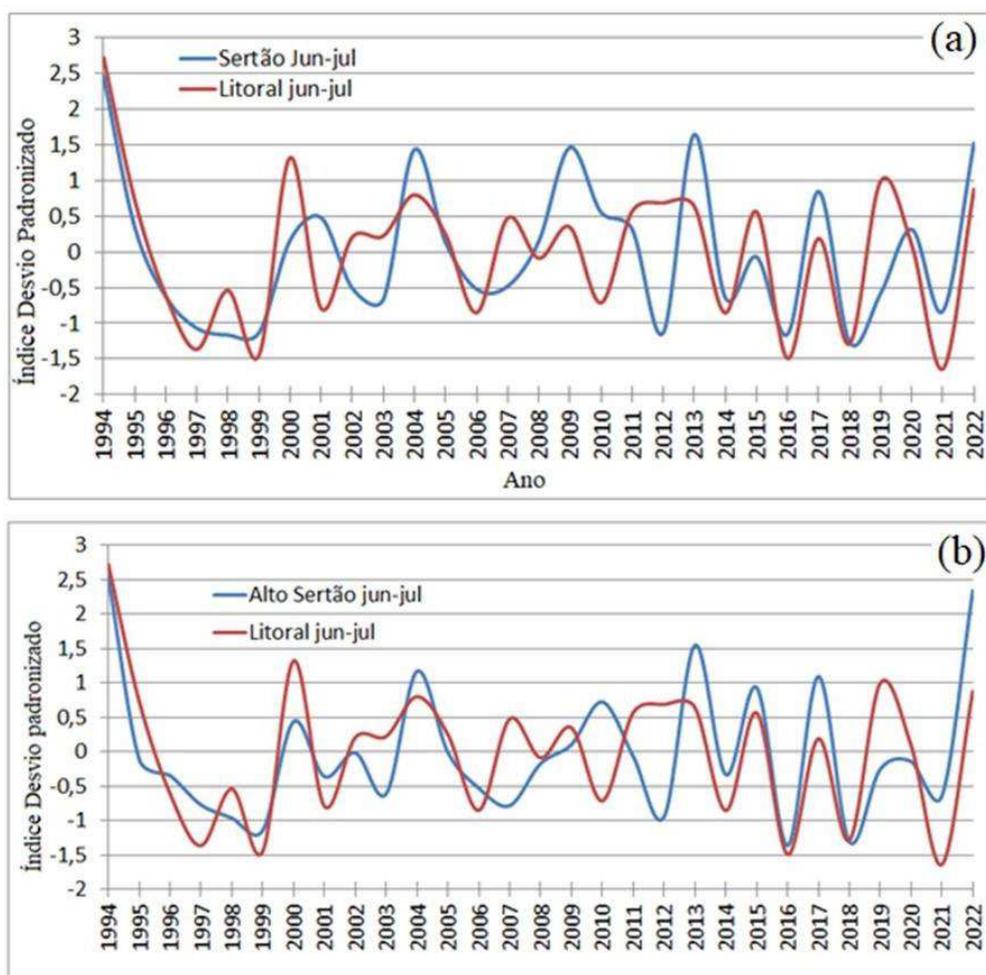


Figura 4. Variabilidade interanual da precipitação de junho-julho, representada pelos índices de desvio padronizado, (a) Sertão e Litoral e (b) Alto Sertão e Litoral.

Estes resultados mostram que, em geral, os sistemas produtores de precipitação nos meses de junho e julho no Litoral, também são capazes de produzir chuvas no Sertão e Alto Sertão. Contudo, como já mencionado na literatura científica, os principais sistemas produtores de chuvas no leste da Paraíba, durante os meses de inverno, são os DOLs (Ferreira e Melo, 2005; Becker et al., 2011; Costa, 2018). É, portanto, correto afirmar que os DOLs também são capazes de produzir chuvas no Sertão e Alto Sertão da Paraíba, contribuindo na modulação e distribuição temporal da pluviometria sobre a região.

4.3. Relação da precipitação da P-EC das Regiões Sertão e Alto Sertão com o ENOS

Várias pesquisas apontam que a modulação exercida pelos modos climáticos de grande escala dominantes desencadeiam interações acopladas entre o oceano e a atmosfera. O ciclo do El Niño/Oscilação Sul (ENOS) sobre o Oceano Pacífico (Trenberth, 1997); e o Dipolo do Atlântico Tropical, afetam diretamente o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que por sua vez, influencia na distribuição das chuvas sobre o Nordeste (Nobre e Shukla, 1996; Souza et al., 1998; Souza et al., 2000). Alguns estudos, como, por exemplo Mollion e Bernardo (2002), Menezes et al. (2008) e Nobre et al. (2013) apontam, que o ENOS em concordância com a circulação geral da atmosfera seriam os responsáveis pela ocorrência de baixos totais pluviométricos no NEB, e principalmente no Estado da Paraíba. Contudo, estes estudos estão centrados na precipitação da estação chuvosa, porém uma dúvida deve ser respondida, se estes fenômenos de grande escala, a exemplo do ENOS, também são capazes de influenciar o total de precipitação do período pós-estação chuvosa.

Neste contexto, a tabela 2 mostra o coeficiente de correlação entre a precipitação do Sertão da Paraíba (regiões do Sertão e Alto Sertão) durante a EC e a P-EC, bem como o valor do teste t-Student para coeficiente de correlação, sendo o valor calculado com os valores críticos, conforme o nível de significância e o grau de liberdade. Observa-se que para o período da EC o total de precipitação da estação apresenta correlação com significância estatística com a ocorrência de El Niño/La Niña durante o período de janeiro a abril (Tabela 2), ou seja, a variabilidade interanual da precipitação da estação chuvosa no Sertão e Alto Sertão da Paraíba apresenta uma certa dependência do ENOS, porém não se trata de uma dependência absoluta como mostra os valores do coeficiente de correlação. Por outro lado, a correlação entre o total de precipitação da P-EC chuvosa e a ocorrência de El Niño/La Niña não apresentou valores estatisticamente significativos, sendo que o maior coeficiente de correlação observado, que foi de -0,33, verificou-se entre a precipitação da P-EC e o ENOS do período de março a maio (Tabela 2), valor este estatisticamente não significativo, uma vez que o $t_{\text{calculado}}$, para o coeficiente de correlação -0,33 e grau de liberdade 11 é inferior ao $t_{\text{crítico}}$, até mesmo para 95% de confiança estatística. Portanto, a variabilidade interanual

da precipitação da P-EC do Sertão e Alto Sertão da Paraíba independente da ocorrência de El Niño ou de La Niña, de acordo do os valores do Niño 3.4, cuja localização no Pacífico Equatorial é mostrada na Figura 5.

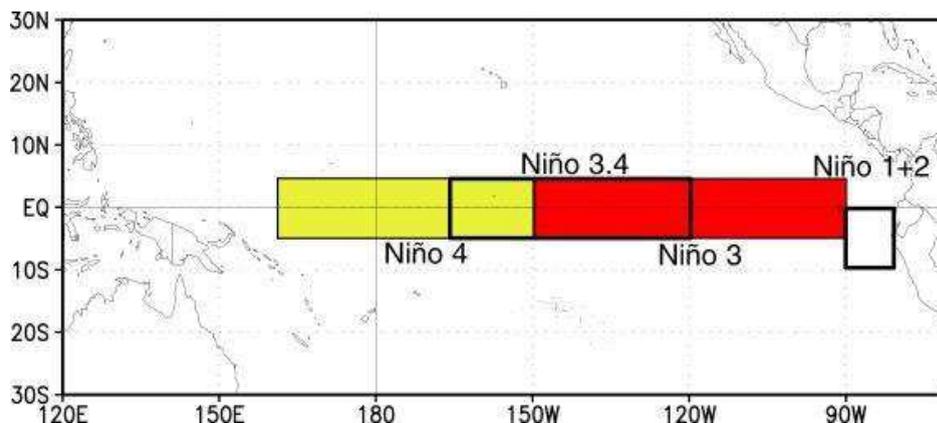


Figura 5. Regiões dos Niños. Fonte: CPC/NOAA

Tabela 2. Coeficientes de correlação para a precipitação da EC de todo Sertão da Paraíba e o ENOS de novembro-janeiro (NDJ) ao ENOS de fevereiro - abril (FMA), com o seu respectivo $t_{\text{calculado}}$ de acordo com o grau de liberdade, bem como os coeficientes de correlação para a precipitação da P-EC de todo Sertão da Paraíba e o ENOS fevereiro-abril (FMA) ao ENOS maio-julho (MJJ), com o seu respectivo $t_{\text{calculado}}$, também é mostrado o $t_{\text{crítico}}$ para 99% e 95%, conforme o grau de liberdade, do teste t de student. O ENOS é referente ao Niño 3.4.

Precipitação EC				
	ENOS – NDJ	ENOS – DJF	ENOS – JFM	ENOS - FMA
$r_{\text{correlação}}$	-0,17	-0,48	-0,54	-0,54
$t_{\text{calculado}}$	0,82	2,78	3,17	3,00
$t_{\text{crítico 99\%}}$	3,12	3,15	3,15	3,25
$t_{\text{crítico 95\%}}$	2,40	2,41	2,41	2,47
Precipitação P-EC				
	ENOS -FMA	ENOS -MAM	ENOS - AMJ	ENOS - MJJ
$r_{\text{correlação}}$	-0,21	-0,33	-0,32	-0,27
$t_{\text{calculado}}$	0,85	1,18	1,03	0,85
$t_{\text{crítico 99\%}}$	3,25	3,49	3,69	3,69
$t_{\text{crítico 95\%}}$	2,47	2,59	2,68	2,68

Fonte: Autora (2023)

É oportuno mencionar que os dados do ENOS, referente a região do Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°W-170°W), foram obtidos no site do CPC/NOAA (https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ON)

[I_v5.php](#)). Para os cálculos dos coeficientes de correlação foram considerados apenas os períodos que ocorreram El Niño (anomalia de TSM superior a $0,5^{\circ}\text{C}$) e La Niña (anomalia de TSM inferior a $-0,5^{\circ}\text{C}$).

4.4. Relação da precipitação da P-EC das Regiões Sertão e Alto Sertão com a OMJ

A oscilação de 30-60 dias ou Oscilação de Madden- Julian (OMJ), como atualmente é mais conhecida, é definida como um mecanismo do tipo onda atmosférica tropical (Madden e Julian, 1971). Como citado anteriormente, esta oscilação intrasazonal se dá na forma de uma célula de convecção tropical e viaja de oeste para leste na faixa equatorial como uma onda atmosférica tropical, cujo ciclo completo ao redor do globo apresenta duração de aproximadamente 30 a 60 dias (Madden e Julian, 1994).

No que se refere à variabilidade climática intrasazonal, em particular para o NEB, a OMJ pode influir diretamente gerando condições de precipitação durante um período de 5 a 15 dias, independentemente do favorecimento das condições de grande escala. Durante o verão de 1998 em que as condições de grande escala não favoreciam a precipitação acima da média, devido à presença do El Niño, mostrou-se que houve precipitação em praticamente todo o Nordeste devido ao sinal positivo da OMJ (Repelli et al., 1998; Nobre e Melo 2001).

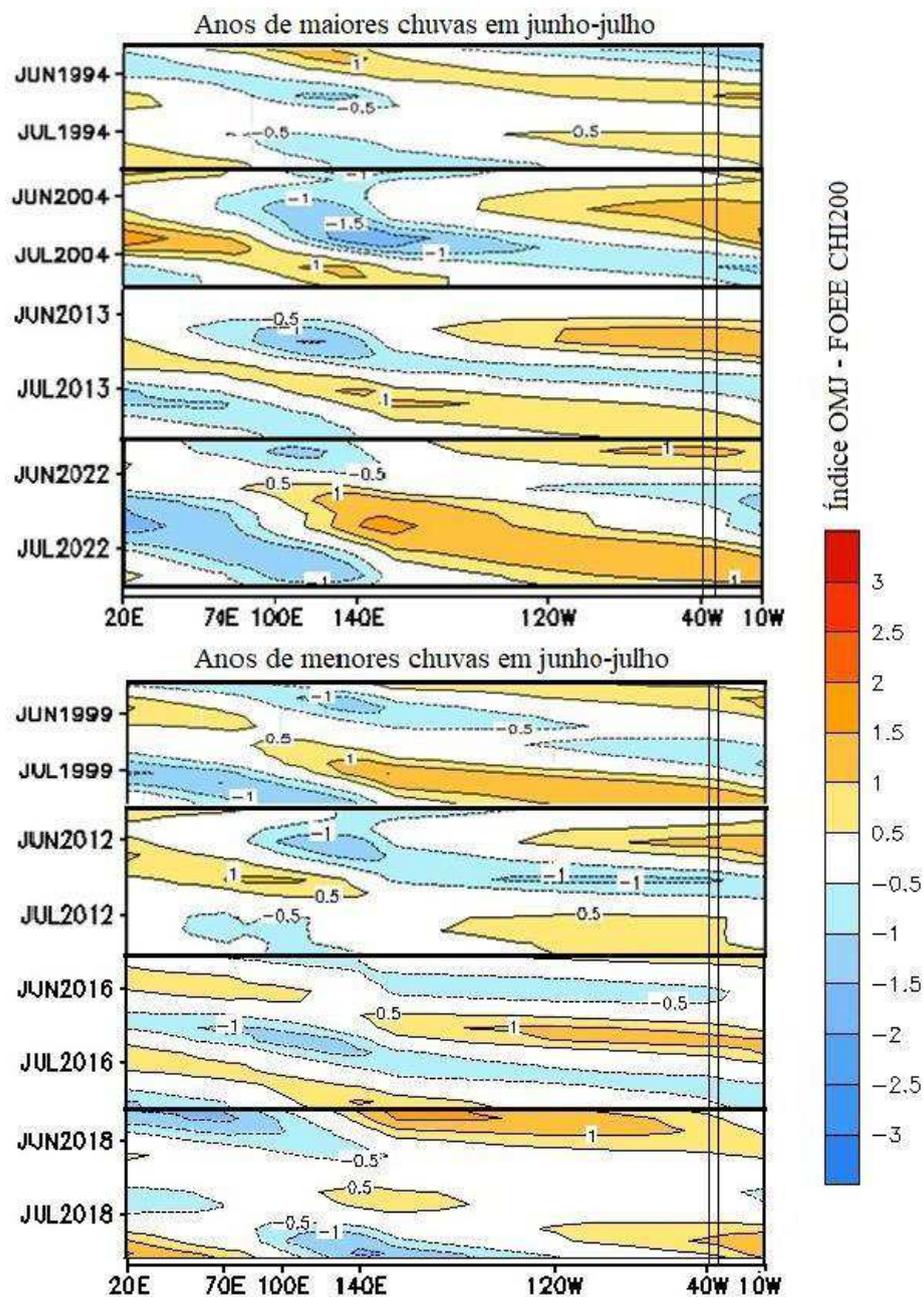
Souza e Ambrizzi (2006), estudaram a ocorrência de eventos intrasazonais sobre o leste da Amazônia e Nordeste do Brasil, durante um período de 15 anos (1987-2001), e identificaram a OMJ como sendo o principal mecanismo de escala global capaz de induzir variações significativas na precipitação para essas duas regiões. Nessa mesma pesquisa, observou-se que a intensificação da precipitação sobre essas regiões sucedeu durante o estabelecimento de uma banda de convecção profunda e quase estacionária, desencadeada pela ocorrência simultânea da ZCIT e um padrão semelhante à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que foram dinamicamente incorporados na propagação de o centro convectivo ativo do OMJ sobre a América do Sul tropical e o Oceano Atlântico (Valadão, 2015).

Embora seja de conhecimento da comunidade científica que a OMJ influi diretamente na modulação da variação espaço-temporal da precipitação na região Nordeste do Brasil (Kousky e Kayano, 1994), não há registros de estudos sobre as possíveis relações da OMJ com as chuvas que ocorrem em junho-julho no Sertão e Alto Sertão da Paraíba. Ressalta-se, que nos primeiros estudos sobre a OMJ como, por exemplo, Madden e Julian (1994), Kousky e Kayano (1994), Repelli et al. (1998) e Nobre e Melo (2001) descreviam que a OMJ era mais atuante no período de novembro a abril. Contudo, estudos mais recentes como Wheeler e Hendon (2004), descreveram a atuação da OMJ em todos as estações do ano.

Para investigar possíveis influências da OMJ na precipitação de junho-julho, em todo Sertão da Paraíba, foram escolhidos os quatros anos com os maiores totais de precipitação em junho-julho, no período de 1994 a 2022, que foram 1994, 2004, 2013 e 2022, e os quatros anos com os menores, que foram 1999, 2012, 2016 e 2018. Para tanto, analisou-se o comportamento do OMJ nos meses de junho e julho destes anos.

A Figura 6 mostra os índices da OMJ dos meses dos quatro anos dos junho-julhos mais chuvosos no Sertão da Paraíba, bem como dos quatro anos dos junho-julhos mais secos. A cor azulada (avermelhada) representa a convecção aprimorada (suprimida). O Sertão da Paraíba, encontra-se entre os meridianos de $38,8^{\circ}\text{W}$ e $36,7^{\circ}\text{W}$, ou seja, ao leste de 40°W , como identificado na Figura 6. Observa-se que em junho-julho de 1994 existe uma tendência da OMJ tentar suprimir a convecção próximo de 40°W , enquanto, em 2018 a configuração é de neutralidade. Nos demais anos, tanto nos anos mais chuvosos como nos mais secos, as configurações, relacionadas ao aumento e diminuição da convecção, do índice de OMJ próximo ao meridiano de 40°W são semelhantes. Portanto, pode-se concluir que o sinal da OMJ nos meses de junho e julho não é capaz de incrementar a convecção no Sertão e Alto Sertão da Paraíba, bem como também não tem a capacidade de suprimir a convecção e anos de precipitação mais intensa.

Figura 6. Média corrida de três pentadas da Função Ortogonal Empírica Estendida (FOEE) aplicada às anomalias do potencial de velocidade pentadal 200-hPa (CHI200), mostrando os índices OMJ, a cor azulada (avermelhada) representa a convecção aprimorada (suprimida), e o eixo x rotula os centros (20°E, 70°E, 100°E, 140°E, 120°W, 40°W e 10°W) da convecção.



(Fonte: Adaptado do CPC/NOAA).

<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/mjo.shtml>

4.5 Precipitação da EC e da P-EC da Regiões Sertão e Alto Sertão e o Índice de Vegetação

Na tabela 3 são mostrados os coeficiente de correlação entre a precipitação da EC e da P-EC das regiões Sertão e Alto Sertão com o IVDN dos meses de julho, agosto e setembro das mesmas regiões. Observa-se que as correlações da precipitação da EC com IVDN dos três meses são elevadas e estatisticamente significante ao nível de 99%, principalmente, o IVDN de setembro da região do Alto Sertão. Com relação as chuvas da P-EC verificou-se correlação estatisticamente significativa ao nível de 99% apenas com IVDN de julho do região do Sertão, e ao nível de 95% com o IVDN de agosto do Sertão e de julho do Alto Sertão (Tabela 3). Isto mostra que o vigor da vegetação, principalmente do mês de setembro, é mais dependente das chuvas da EC do que das chuvas da P-EC. Este é um resultado interessante, pois mostra que as chuvas da EC tem a capacidade de produzir efeito na vegetação de quatro a seis meses a frente. Ressalta-se, que Souza et al. (2022), Braga et al. (2003) descreveram que a resposta do IVDN tem início de um a dois meses do evento de precipitação, contudo esses pesquisadores não apresentaram a duração no tempo em que esta resposta persiste.

Tabela 3. Coeficiente de Correlação entre a precipitação da EC e P-EC e os IVDN de julho, agosto e setembro das regiões do Sertão e Alto Sertão, quando o $t_{\text{calculado}}$ é superior ao $t_{\text{crítico}}$ significa que a correlação é estatisticamente significativa.

Sertão	EC	P-EC	Alto Sertão	EC	P-EC
IVDN julho	0,78	0,58	IVDN julho	0,75	0,41
IVDN agosto	0,82	0,45	IVDN agosto	0,82	0,27
IVDN setembro	0,80	0,32	IVDN setembro	0,85	0,14
$t_{\text{calculado}}$ julho	8,20	3,66	$t_{\text{calculado}}$ julho	7,82	2,25
$t_{\text{calculado}}$ agosto	10,63	2,36	$t_{\text{calculado}}$ agosto	11,71	1,34
$t_{\text{calculado}}$ setembro	9,25	1,47	$t_{\text{calculado}}$ setembro	13,87	0,64
$t_{\text{crítico}}$ 99%	3,14	3,14	$t_{\text{crítico}}$ 99%	3,14	3,14
$T_{\text{crítico}}$ 95%	2,21	2,21	$t_{\text{crítico}}$ 95%	2,21	2,21

Fonte: Autora (2023)

Por outro lado, verificou-se que a dependência do IVDN da precipitação da P-EC é apenas marginal (Tabela 3). Também é possível observar que o coeficiente de correlação da precipitação da EC com o IVDN do Sertão e do Alto Sertão são muito semelhantes, enquanto, para as chuvas da P-EC, no Sertão ainda é observado correlação estatisticamente significativa, no Alto Sertão isto praticamente não é observado. Possivelmente, seja decorrente do fato da precipitação da P-EC da região do Sertão ser superior a P-EC da região do Alto Sertão, uma vez que o Sertão está mais próximas das regiões da Paraíba com período chuvoso de abril a julho.

A seguir, é apresentada uma análise conjunta da precipitação levando em consideração as precipitações da EC e da P-EC, bem como, o índice de vegetação - IVDN por ano de aquisição do produto MOD13Q1, e a identificação de períodos homogêneos de IVDN para os meses de Julho, Agosto e Setembro, que marcam o trimestre posterior a P-EC da região dos Sertões da Paraíba. De acordo com os estudos de Braga et al. (2003) a vegetação demora de 30 a 60 dias para responder as variações do regime de precipitação pluvial.

A Figura 7 mostra os índices desvios padronizados (equação 3) da precipitação da EC e da P-EC e do IVDN-julho para o Sertão e Alto Sertão da Paraíba. Observa-se, que, em geral, a curva do índice da EC acompanha com mais detalhe a curva do IVDN-julho. Entretanto, é possível que em alguns anos, como, por exemplo, 2013 e 2017, em que a queda do IVDN não foi mais acentuada devido ao aumento da precipitação da P-EC, tanto para o Sertão como para o Alto Sertão. De certa forma estes resultados concordam com os de Braga et al. (2003) e Souza et al. (2022), que afirmam que a resposta do IVDN aos eventos de precipitação ocorrem de um a três meses futuro.

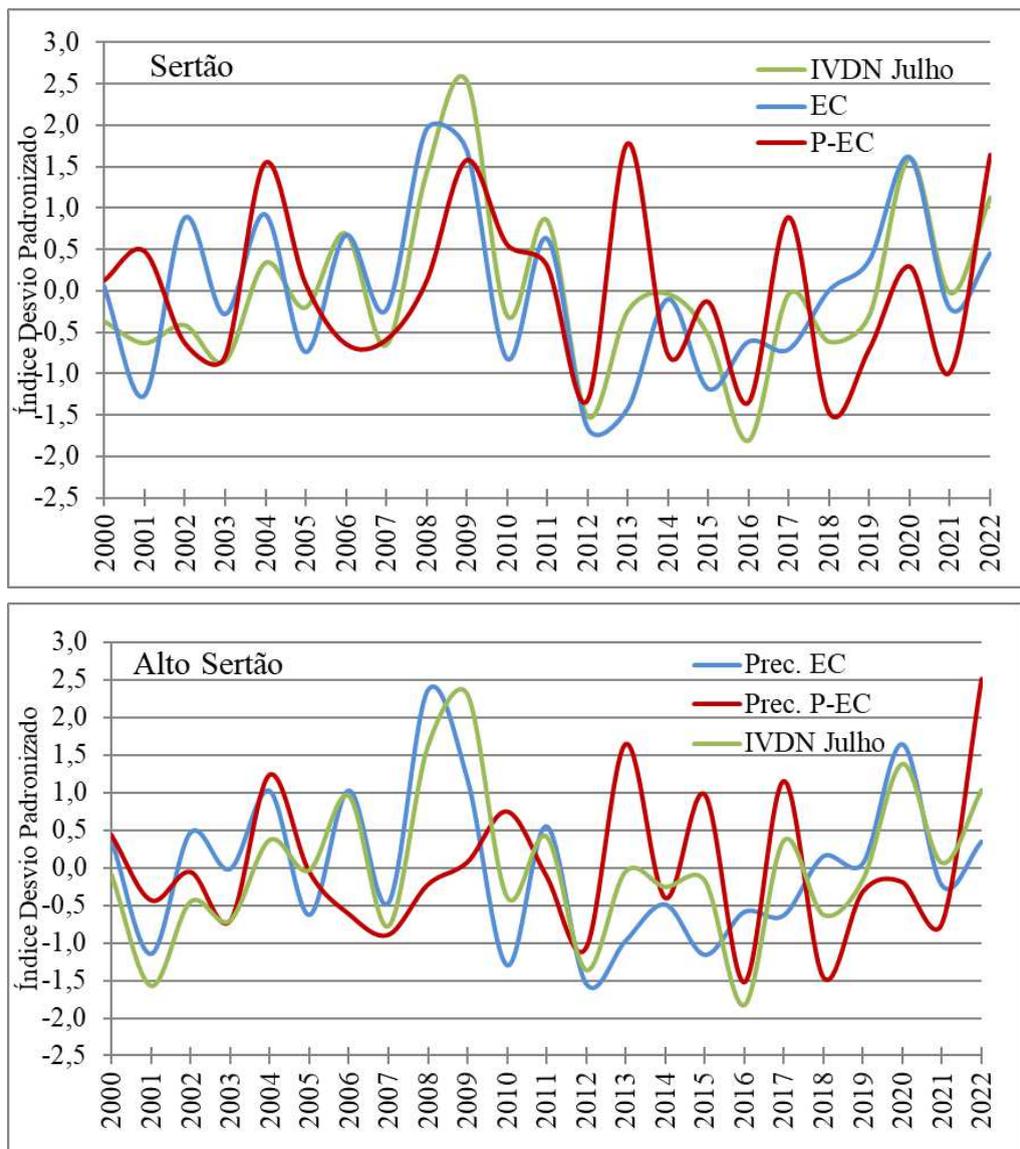


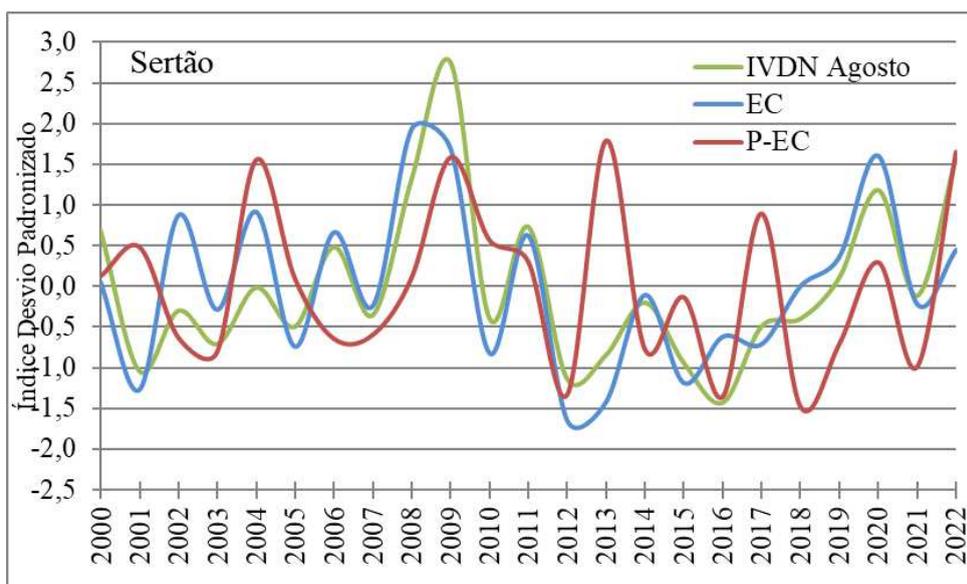
Figura 7. Índice desvio padronizado do IVDN-julho e dos índices desvio padronizado das precipitações da estação chuvosa e pós estação para das regiões do Sertão e Alto Sertão da Paraíba.

As séries demonstraram a relação direta da sazonalidade climática com a sazonalidade da vegetação, acompanhadas de um padrão senoidal, onde os picos mais altos coincidiram com a EC na maior parte dos anos. É notório algumas perturbações mais evidentes sobre essa correlação como é o caso dos anos de 2006 até 2012, e dos anos de 2019 até 2022. Isso evidencia que a variação dos valores do índice de vegetação IVDN acompanhou a pluviosidade acumulada, demonstrando a relação deste índice com a quantidade pluviométrica.

Em contrapartida, é possível verificar que nos anos em que o índice de vegetação não está atrelado ao período de precipitação da EC, comumente, está

associado à precipitação da P-EC. Essa configuração pode ser observada nos anos de 2003 a 2005, e nos anos de 2012 até 2018. Os picos mais altos de IVDN são derivados da EC e concentram-se nos anos de 2006, 2009, 2011 e 2020. O menor valor de IVDN registrado para esta série foi no ano de 2016 com uma média anual de 0,33, o menor índice calculado para este mês desde 2001. No ano de 2017 o índice de vegetação esteve acima do acumulado de chuvas da EC, acompanhando a crescente da P-EC, que foi superior.

A Figura 8, apresenta as séries temporais do índice desvio padronizado (equação 3) do IVDN para o mês de Agosto e dos índices desvios padronizados das precipitações (equação 3) da EC e da P-EC compreendendo o período de 2000 até 2022 para a regiões do Sertão e Alto Sertão. Assim como para o IVDN do mês de julho a variabilidade interanual do IVDN-agosto é mais concordante com a curva da variabilidade interanual do EC do que com a da P-EC. Entretanto, semelhante a julho, no ano de 2013, as chuvas da P-EC foram relevantes para um decaimento menos acentuado do IVDN, fato este não observado para o ano de 2017, como verificado em julho.



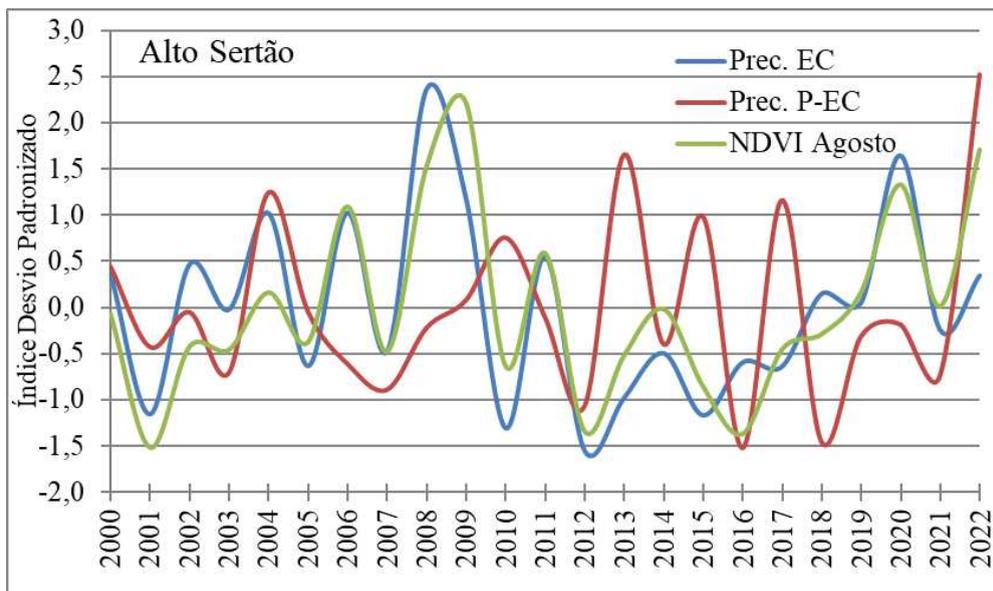


Figura 8. Índice desvio padronizado da IVDN-agosto e dos índices desvio padronizado das precipitações da estação chuvosa e pós estação para das regiões do Sertão e Alto Sertão da Paraíba.

Ainda na Figura 8, observa-se que de um modo geral os maiores índices de desvio padronizado do IVDN, em agosto, ocorreram nos anos em que tanto a EC como a P-EC apresentaram índices positivos elevados, como os anos de 2009 e 2022, principalmente, no Sertão.

Em concordância com o mês anterior, observa-se que, os intervalos maiores e menores de precipitação também correspondem aos intervalos maiores e menores de IVDN. Nota-se, ainda, que similar ao que aconteceu no mês anterior, entre os anos de 2000 e 2004, a vegetação apresentou pouca variação nos valores de IVDN em relação ao regime de chuvas da região.

Neste mês, a precipitação acumulada oriunda da EC esteve durante os anos de 2004, 2005, e de 2010 até 2015 com desvios inferiores ao da P-EC. Neste período, ocorreu a pior seca do século no semiárido brasileiro, dentre os diversos impactos, destacou-se a ausência de vegetação, baixa fertilidade e, conseqüentemente, a intensificação da desertificação (SILVA et al., 2009; BURITI; BARBOSA, 2018). Este comportamento se altera no ano de 2016, decorrente de uma anomalia negativa de precipitação da P-EC, e no ano seguinte já volta a ter um crescente no acumulado precipitado para o mês de agosto. Observou-se ainda que, o IVDN esteve, na maior totalidade dos anos, acompanhando a EC mesmo quando esta apresentou índices menores que a P-

EC. Os picos mais altos de IVDN são derivados da EC e concentram-se nos anos de 2006, 2009, 2011, 2020 e 2022.

Finalmente, a Figura 9, apresenta os valores dos índices desvios padronizados (equação 3) do IVDN do mês de setembro, da EC e da P-EC das regiões do Sertão e Alto Sertão da Paraíba, no período de 2000 a 2022. Observa-se que a curva da variabilidade interanual do IVDN-setembro acompanha muito bem a curva da precipitação da EC e apresenta-se relativamente bastante diferente da curva da P-EC, exceto nos anos em que as curvas da EC e da P-EC são concordantes. Ressalta-se que estes resultados estão de acordo com os coeficientes de correlação obtidos para estes índices (Tabela 3). Portanto, após o cálculo da correlação este tipo de configuração já era esperado.

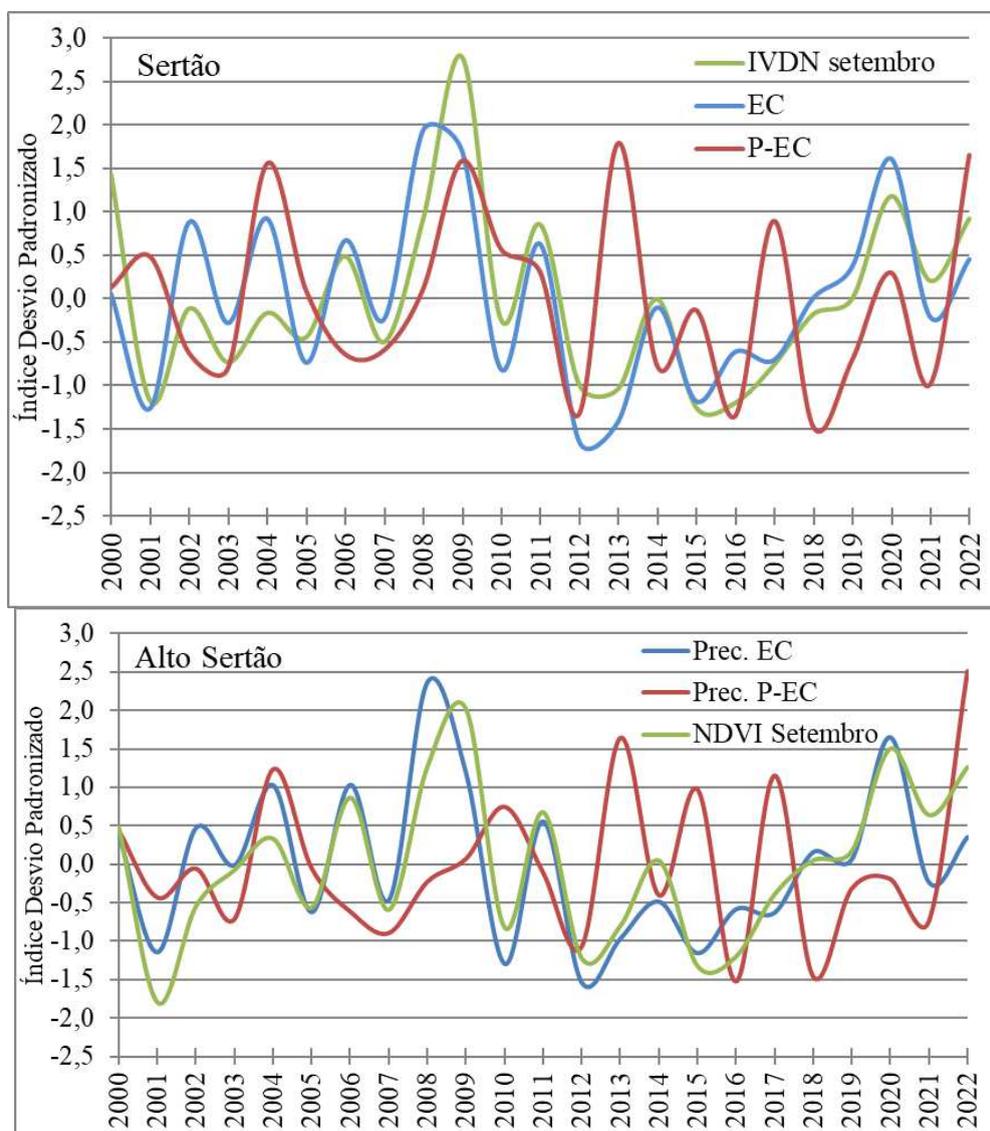


Figura 9. Índice desvio padronizado da IVDN-setembro e dos índices desvio padronizado das precipitações da estação chuvosa e pós estação para das regiões do Sertão e Alto Sertão da Paraíba.

É relevante destacar que setembro encontra-se a seis meses do centro temporal da EC e a quatro meses do final da EC. Entretanto, o vigor da vegetação em setembro é altamente dependente das chuvas da EC, até mesmo em ano, como, por exemplo, 2013 em que a precipitação da P-EC foi superior a 100 mm, mas com a precipitação da EC bem abaixo da média climatológica, as chuvas da P-EC não foram suficiente para elevar o IVDN de setembro. Contudo, nos anos em que ocorrem precipitação acima da média durante a EC, e o solo ainda se encontra com reserva hídrica, as chuvas elevadas na P-EC incrementam o IVDN de setembro, mas elas por si só não são incapazes deste incremento, necessitando das chuvas da EC. Portanto, conclui-se que as chuvas da P-EC apresenta apenas um efeito marginal no vigor da vegetação no mês de setembro no Sertão e Alto Sertão da Paraíba.

O mês de Setembro apresenta características similares aos meses anteriores em relação as sazonalidades de precipitação e índice da vegetação. Em contrapartida, por ser o mês mais distante de todo o período estudado, o IVDN se manteve abaixo da média, atingindo valores inferiores a 0,3.

Quando comparados os IVDNs do período seco com o período chuvoso nos anos em que o índice atingiu os valores de máximo, percebe-se que no período chuvoso, os valores de IVDN são mais elevados, ou seja, mais próximos de 1, indicando maior desenvolvimento e densidade da vegetação durante o período com maiores índices pluviométricos. Essa configuração se manteve durante todo o trimestre analisado (julho, agosto, setembro). O IVDN médio da região homogênea do Alto Sertão variou entre 0,26 e 0,38 e foram os valores mínimos encontrados durante o trimestre estudado.

Vale ressaltar que, as chuvas do Alto Sertão apesar de receber influência da ZCIT são fortemente determinadas pelos Vórtices Ciclônicos (Silva, 2004), e os valores da precipitação para a P-EC não são superiores quando comparados a precipitação da EC. Os anos de 2008 e 2009 apresentaram os picos mais elevados durante esse período, o que era previsível, pois foram também os anos de maior acúmulo de chuvas para as duas regiões enfatizadas

nesse trabalho, Sertão e Alto Sertão.

Analisando quantitativamente os padrões médios mensais de IVDN e da precipitação pluvial para esta região homogênea, considerando a EC e a P-EC nota-se a dependência do IVDN com o regime de chuvas do Alto Sertão, caracterizando a linearidade da relação IVDN x precipitação. Lucas e Schuler (2007) encontraram resultados semelhantes. Analisando o índice da vegetação no litoral do Pernambuco, no período que coincide e no período anterior a safra da cana-de-açúcar. Os resultados apontaram a variação do IVDN para anos com maior ou menor índices de chuva nessas áreas do NEB.

A variabilidade média trimestral (julho-agosto-setembro) aponta que os valores de IVDN são mais elevados durante o período chuvoso quando a vegetação está em seu pleno estágio de desenvolvimento e que a partir do mês de julho o IVDN decresce em função da diminuição das chuvas na região. Estes resultados corroboram com os estudos de Braga (2003) e Almeida (1997), onde evidenciam que a resposta da vegetação ocorre com defasagem de um a dois meses após o maior acúmulo de chuvas, e independentemente das condições climáticas, a vegetação responde igualmente a precipitação pluvial.

5. CONCLUSÕES

As precipitações que ocorrem de junho a julho no Sertão e Alto Sertão da Paraíba, em geral, são de sistemas de tempo independente das que ocorrem durante o período de janeiro a maio, e estação chuvosa com precipitação acima (abaixo) da média climatológica não significa pós estação com precipitação acima (abaixo) da média climatológica.

Os sistemas de tempos responsáveis pelas precipitações observadas na região do Litoral da Paraíba, no período de junho a julho, em geral, são os mesmos que produzem precipitações nos meses de junho e julho no Sertão e Alto Sertão da Paraíba.

As precipitações que ocorrem nos meses de junho e julho no Sertão e Alto Sertão da Paraíba, em geral, são independentes da atuação dos fenômenos El Niño ou La Niña. A OMJ não tem capacidade para incrementar a precipitação de junho e julho no Sertão e Alto Sertão da Paraíba. Portanto, pode-se concluir que as chuvas de junho e julho na Paraíba praticamente independem da atuação do ENOS e da OMJ.

A partir da análise do índice de vegetação – IVDN obtido de produtos do sensor MODIS/Terra, no que tange a variabilidade interanual, o comportamento da vegetação é mais constante no período mais seco, diferentemente do que ocorre no período chuvoso. Além disso, os valores quantificados do trimestre posterior a P-EC revelaram menor exuberância da vegetação, em relação ao período chuvoso, principalmente durante o mês de setembro (90 dias após a EC).

O vigor da vegetação no Sertão e Alto Sertão da Paraíba é altamente dependente da precipitação da estação chuvosa. A importância da precipitação da P-EC no vigor da vegetação é apenas marginal, e é mais acentuada no mês de julho e praticamente nula em setembro, exceto quanto se tem junho-julho com precipitação acima da média, após uma EC como chuvas, também, acima da média.

Sugere-se investigar a relação da precipitação da P-EC no Alto Sertão e Sertão da Paraíba com as condições de TSM, pressão ao nível médio do mar e vento próximo da superfície no Atlântico Tropical, principalmente ao sul do equador.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AB'SÁBER, A. N. Dossiê Nordeste Seco. Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida. **Estudos Avançados**, v. 13, n. 36, p. 7-59, 1999. (Doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-40141999000200002>).

Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA. 2023. Site <http://www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em maio de 2023.

AIRES, U. R. V. Utilização de NDVI para análise da influência da modificação da cobertura vegetal no regime de vazões. **Dissertação de Mestrado (Engenharia Agrícola)** - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2018.

ARAÚJO, L. E.; BECKER, C. T.; PONTES, A. L. Periodicidade da precipitação pluviométrica no estado da Paraíba. In: **XIII Congresso Brasileiro De Agrometeorologia**, 2003, Rio Grande do Sul. Anais II. Santa Maria: RS, p. 947 – 948, 2003.

ALVES, J. M. B. REPELLI, C. A. A variabilidade pluviométrica no setor norte do Nordeste e os eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.7, n.2, p.583-592, 1992.

ALMEIDA, H. A; MEDEIROS, E. A. Variability in rainfall patterns in two mesoregions of Paraíba and relationship whit the El Niño Southern Oscillation phenomenon. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 3, p. 177 – 185, 2017.

BARROS, A. H. C.; ARAÚJO FILHO, J. C. de; SILVA, A. B. da; SANTIAGO. G. A. C. F. Climatologia do Estado de Alagoas. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n. 211. Recife: Embrapa Solos, 2012. 32p.

BECKER, C.T.; MELO, M. M. M. S.; COSTA, M. N. M.; RIBEIRO, R. E. P. Caracterização Climática das Regiões Pluviometricamente Homogêneas do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, p. 286-299, 2011.

BENTO, V.A.; GOUVEIA, C.M.; CÂMARA, C.C.; TRIGO, I.F. A climatological assessment of drought impact on vegetation health index. **Agricultural And Forest Meteorology**, Lisboa-Portugal, p. 286 – 295, 2018.

BORGES, C. K. Estudo do comportamento dos fluxos de calor e massa no bioma Caatinga na região semiárida da Paraíba. 2017. 113f. Tese (Doutorado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

BURITI, C. O.; BARBOSA, H. A. Um século de secas: por que as políticas hídricas não transformaram o Semiárido brasileiro? Lisboa-Portugal: Chiado Editorial, 2018. 454 p. Disponível em: <https://www.letrasambientais.com.br/sobre-livro>. Acesso em: 22 fev. 2024.

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

BRITO, J. I. B., BRAGA, C. C. Chuvas no Estado da Paraíba em 2004. Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia. v.29, n.1, p.27-32, 2005.

COSTA, M. N. M. Validação dos dados de reanálise e aplicação no estudo da estrutura da atmosfera sobre o estado da Paraíba: Estudo de Casos. Tese (Doutorado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, 2018, 164p.

COSTA, W. L. B.; BRAGA, C. C.; ALCANTARA, C. R.; COSTA, A. S. Phenological Dynamics of Vegetation Using the Enhanced Vegetation Index (EVI) in Regions of Bahia State. **JOURNAL OF HYPERSPECTRAL REMOTE SENSING**, v. 7, p. 399-407, 2017.

COUTINHO, E.C.; FISCH, G. Distúrbios ondulatórios de leste (DOLs) na região do centro de lançamento de Alcântara-MA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 2, p. 193-203, 2007.

DANTAS, M. P.; BRAGA, C. C.; SOUSA, E. P.; BARBIERI, L. F. P.; VILAR, R. A. A. Temporal analysis of rainfall and vegetation index using satellite images in Pernambuco State. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 6, p. 99-107, 2016.

DAI, A. Increasing drought under global warming in observations and models. **Nat. Clim. Change** 3, 52–58, 2012. <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate1633>.

FRANCISCO, P.R.M.; MEDEIROS, R.M.; SANTOS, D. Oscilações pluviométricas dentre os regimes diferenciados de precipitação no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.9, nº.6, p. 360 - 371, 2015.

FRANCISCO, P.R.M.; SANTOS, D. Climatologia do Estado da Paraíba. – Campina Grande: EDUFPG, 2017. ISBN 978-85-8001-197-5.

FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 15-28, 2005.

FERREIRA, J. M. S.; FERREIRA, H. S.; SILVA, H. A.; SANTOS, A, M.; GALVÍNCIO, J. D. Análise EspaçoTemporal da Dinâmica da Vegetação de Caatinga no Município de Petrolina - PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.5, n.4, p.904-922, 2012.

GAN, M.A; KOUSKY, V.E. Estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil. São José dos Campos, INPE,. (INPE -2579-PRE/227). 1982.

GONÇALVES, S.T.N.; JÚNIOR, F.C.V.; SAKAMOLO, M.S.; SILVEIRA, C.S.; MARTINS, E.S.P.R. Índices e Metodologias de Monitoramento de Secas: Uma Revisão. **Revista Brasileira De Meteorologia**, v. 36, p. 495-511, 2021.

GOMES, H.B.; AMBRIZZI, T.; DA SILVA, B.F.P.; HODGES, K.; DIAS, P.L.S. et al. Climatology of easterly wave disturbances over the tropical South Atlantic. *Climate Dynamics*, v. 53, n. 3-4, p. 1393-1411, 2019.

GUALDI S., NAVARRA A., von STORCH H. Tropical intraseasonal oscillation appearing in operational analysis and in a family of general circulation models. *J. Atmos. Sci.*, v. 54, p.1185–1202, 1997.

HUANG, G.; PAES, A.T. Posso usar o teste t de Student quando preciso comparar três ou mais grupos? *Einstein: Educ. Contin. Em Saúde*, v. 7, n. 2, p. 63-64, 2009.

KANE, R. P. Relationship between the southern oscillation/El Niño and rainfall in some tropical and midlatitude regions. *Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet Sci.)*, v.3, p.223-235, 1989.

KOUSKY, V.; KAYANO, M. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. *Journal of Climate*, 1994, 1131-1143, 1994.

KAYANO, M. T.; KOUSKY, V. E. Intraseasonal (30–60 day) variability in the global tropics: Principal modes and their evolution. *Tellus*, 51A, 373–386, 1999.

KORELL, L.; AUGÉ, H.; CHASE, J.M.; HARPOLE, W.S.; KNIGHT, T.M. Responses of plant diversity to precipitation change are strongest at local spatial scales and in drylands. **Nature Communications**, p.1-7, 2021.

KOUADIO, Y.K.; MACHADO, L.A.; SERVAIN, J.; Tropical atlantic hurricanes, easterly waves, and west african mesoscale convective systems. **Advances in Meteorology**, v. 2010, 2010.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclones vórtices in the tropical South Atlantic. *Tellus*, v. 33, p. 538–551, 1981.

LUCAS, A.A.; SCHULER, C.A.B. Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata Atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 6, p. 607-614, 2007.

MADDEN, R.A.; JULIAN, P.R. Description of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. **J. Atmos. Sci.**, 28: 702-708, 1971.

MADDEN, R.; JULIAN, P. R. Description of global scale circulation cells in the tropics with a 40- 50 day period. *J. Atmos. Sci.*, 29, 1109-1123, 1972.

MADDEN, R.A.; JULIAN, P.R. Observations of the 40-50 day tropical oscillation – A review. *Mon. Wea. Rev.*, 122(5): 814-837, 1994.

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

MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, p.1-10. 2002.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 4. ed. Viçosa: Editora Viçosa, 422 p., 2012.

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

NOBRE, P.; MELO, A.B. C. de Variabilidade Climática Intrasazonal Sobre o Nordeste do Brasil em 1998-2000. Disponível em: http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/artigos/artigo_variabilidade_d ez01.pdf. Acesso em: 15 de Maio de 2023.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of Sea Surface Temperatures, wind Stress, and Rainfall over the Tropical Atlantic and South American. **Journal of Climate**, v. 9, n. 10, p. 2464- 2479. 1996

NOBRE, P.; SIQUEIRA, L. S. P.; ALMEIDA, R. A. F.; et al. Climate simulation and change in the Brazilian Climate Model. *Journal of Climate*, v. 26, p. 6716–6732, 2013.

PAIVA, S. C.; CAVALCANTI, E. P. Fluxos de Calor Latente e Sensível à Superfície em Caatinga: Estudo Observacional e de Simulação com o BRAMS no Início do Período de Secas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, p. 677-691, 2011. (<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/232704/26711>).

PONZONI, F. J. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica. São José dos Campos: INPE, 2002 8-8p, 2002.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; PORFÍRIO, R.; ROCHA, D. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul O Sol como Fonte de Energia. *Terra e Didática*, v. 8, p. 34–50, 2012.

REPELLI, C.A.; SOUZA, E.B.; QUADRO, M.F.L.; ALVES, J.M.B.; SAKAMOTO, M.S. O episódio de chuvas intensas no NEB no final de março/1997: influências da oscilação de 30-60 dias. *Rev. Bras. Met.*, 13(1): 09-18, 1998.

SALES, M. C. L.; RAMOS, V. M. Caracterização ambiental das áreas sob influência do reservatório de Bocaina (PI) com base na compartimentação geomorfológica. In: *Carta CEPRO*, Teresina, v.18, n.1, p.149-161, 2000.

SATVeg. Sistema de Análise Temporal da Vegetação. Disponível em: https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/pages/home.html?faces_redirect=true&includeViewParams=true. Acesso em: 10 de Dezembro de 2023.

SIEPIELSKI, A.M.; MORRISSEY, M.B.; BUORO, M.; CARLSON, S.M.; CARUSO, C.M.; CLEGG, S.M.; COULSON, T.; DIBATTISTA, J.; GOTANDA, K.M.; FRANCIS, C.D.; HEREFORD, J.; KINGSOLVER, J.G.; AUGUSTINE, K.E.; KRUK, L.E.B.; MARTIN, R.A.; SHELDON, B.C.; SLETVOLD, N.; SVENSSON, E.I.; WADE, M.J.; MACCOLL, A.D.C. Precipitation drives global variation in natural selection. *Science* 355, p. 959–962, 2017.

SILVA, M. C. L. Uso da Técnica dos Quantis para Monitoramento do Clima do Estado da Paraíba. Campina Grande, 2004, 33p. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Meteorologia – Universidade Federal de Campina Grande.

SILVA, J. C.; HELDWEIN, A. B.; MARTINS, F. B.; TRENTIN, G.; GRIMM, E. L. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 67-72, 2007.

SILVA, A. M.; COSTA; D. L. C. R.; LINS, C. J. C. Precipitações no Nordeste Brasileiro: tendências de variação e possíveis implicações na agricultura. *Anais. Semana do Meio Ambiente*, 5, 2008 - Recife, PE.

SILVA, N. P. N. et. al. Dinâmica espaço-temporal da vegetação no semi-árido de Pernambuco. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, 195-205. 2009.

SILVA, A. S.; SILVA, E. M.; JÚNIOR, J. B. V. L.; SALES, D. C.; MOURA, I.J.M.; ALVES, J. M. B. Distúrbios Ondulatórios de Leste no Nordeste Brasileiro: Um Estudo de Caso Utilizando Modelagem Numérica de Mesoescala. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.36, (suplemento), 637-649, 2021. <https://doi.org/10.1590/0102-77863630033>.

SOUZA, B. S. ; COSTA, W. L. B. ; BRAGA, C. C. ; Silva, M. T ; SILVA, E. A. . Response of the EVI Vegetation Index to precipitation anomalies in the State of Paraíba. **Journal Of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 12, p. 10-19, 2022.

SOUZA, E. B. de; ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. A influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico na estação chuvosa do semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 277-283, 1998.

SOUZA E. B.; NOBRE, P. Uma revisão sobre o Padrão de Dipolo no Oceano Atlântico Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 13(1): 31-44, 1998.

SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; TOTA, J.; PEZZI, L.; FISCH, G.; NOBRE, C. On the Influences of the El niño, La niña and Atlantic Dipole Pattern on the Amazonian Rainfall During 1960-1998. *Acta Amazônica* 30 (2); 305-318. 2000.

SOUZA, E. B. de; AMBRIZZI, T. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden-Julian oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 26, p. 1759-1776, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.1331>. Acesso em: 02 fev. 2024.

SHIMABUKURO, Y. E.; YI, J. L. R.; DUARTE, V. Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do estado do Mato Grosso através de imagens NOAA-AVHRR. 1. ed. são José dos Campos: INPE, 1999, 45 p.

TAVARES DINIZ, J. M. Variabilidade da precipitação e do número de dias com chuvas de duas cidades distintas da Paraíba. *Holos*, V. 3, P. 171–180, 2013. Doi: 10.15628/Holos.2013.1291. Disponível Em: <https://Www2.Ifrn.Edu.Br/Ojs/Index.Php/Holos/Article/View/1291>. Acesso Em: 15 Maio. 2023. chuvas no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

TRENBERTH, K. E. The definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.78, p.2771-2777, 1997.

TRAMONTINA, J.; KUPLICH, T. M.; SALDANHA, D. L.; ALBA, E.; MARCHESAN, J.; PEREIRA, R. S. Séries temporais de índices de vegetação do sensor MODIS para detecção de limiares de desmatamento no Bioma Mata Atlântica. **XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE, Santos-SP, Brasil, 2019.

UVO, C.B. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro. 99p. (INPE-4887-TDL/378). **Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. São José dos Campos, Agosto 1989.

VALADÃO, C. E. A. Impacts of the Madden-Julian oscillation on intraseasonal precipitation over northeast Brazil. 2015. 85f. Tese (Doutorado em Ciências Climáticas) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

Von STORCH, H.; BRUNS, T.; FISCHER-BRUNS, I.; HASSELMANN, K. Principal Oscillation Pattern Analysis of the 30 to 60 day oscillation in a General Circulation Model equatorial troposphere. *J.Geophys.* v. 93, n. D9, p. 11,022 - 11,036, 1988.

WHEELER, M.; HENDON, H. An All-Season Real-Time Multivariate MJO Index: Development of an Index for Monitoring and Prediction. *Monthly Weather Review*, v. 132, p. 1917-1932, 2004.