

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS CBMMA

**ITALO RAMON JANUARIO**

**IDENTIFICAÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO PARA O  
GERENCIAMENTO DE RISCOS NO ESTADO DO MARANHÃO**

São Luís  
2021

**ITALO RAMON JANUARIO**

**IDENTIFICAÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO PARA O  
GERENCIAMENTO DE RISCOS NO ESTADO DO MARANHÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Formação de Oficiais CBMMA da Universidade Estadual do Maranhão para obtenção do grau de Bacharel em Segurança Pública e do Trabalho.

**Orientador:** Prof. Dr. Ronaldo Haroldo Nascimento de Menezes

São Luís  
2021

Januario, Italo Ramon.

Identificação de eventos extremos de precipitação para o gerenciamento de riscos no estado do Maranhão / Italo Ramon Januario. – São Luís, 2021.

67 f

Monografia (Graduação) – Curso de Formação de Oficiais BM-MA, Universidade Estadual do Maranhão, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Haroldo Nascimento de Menezes.

1.Climatologia. 2.Meteorologia. 3.Defesa civil. I.Título.

CDU: 355.58(812.1)

**ITALO RAMON JANUARIO**

**IDENTIFICAÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO PARA O  
GERENCIAMENTO DE RISCOS NO ESTADO DO MARANHÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Formação de Oficiais  
CBMMA da Universidade Estadual do Maranhão para obtenção  
do grau de Bacharel em Segurança Pública e do Trabalho.

Aprovado em:     /     /

BANCA EXAMINADORA



---

**Prof. Dr. Ronaldo Haroldo Nascimento de Menezes (Orientador)**

Doutor em Meteorologia - UFCG  
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA



---

**Prof Dr. Ricardo Yvan de La Cruz Cueva**

Doutorado em Geofísica Espacial - INPE  
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA



---

**Osmar Evandro Toledo Bonfim**

Mestre em Meteorologia - UFAL  
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

À Deus, fonte de vida e sabedoria, aos meus pais, irmãos e amigos, pelo incentivo, confiança e apoio constante.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus por ter me concedido a benção de ter conseguido chegar até aqui, por sempre me dar força e coragem diante das dificuldades, por me conceder sabedoria para tomar todas as decisões e agir sempre de consciência limpa e por sempre iluminar o meu longo caminho. Deus seja louvado!

À minha família, por acreditar e investir em mim, principalmente minha querida mãezinha, “a mais lindinha do mundo todo”, por seu imenso carinho, bondade, afeto, carinho, amor, principalmente muito amor, por sempre me incentivar a seguir em frente. Te amo muito mãe.

Ao meu querido paizinho avô, por sempre acreditar em mim, me dar bons conselhos e por sempre, sempre ser um verdadeiro pai.

À minha 2ª mãe Zezé, por sempre confiar em mim e sempre querer o meu melhor, nos momentos bons e ruins.

Ao meu tio querido Eduardo, que sempre me ajudou em tudo que pode.

Ao meu querido irmão e orgulho Vinícius, por sempre me ajudar nos afazeres de casa, bem como ir à feira nos domingos só para eu ficar estudando, e por continuar estudando e vencendo em sua própria vida.

À minha equipe da época da Engenharia Agrônômica, Tácila Rayene dos Santos Marinho, Raudielle Ferreira dos Santos, Assistone Costa de Jesus e Givago Lopes Alves, por todo o percurso que caminhamos, mesmo que distantes, mas sempre presentes. Se hoje cheguei até aqui, foi com a ajuda de um pouquinho de cada um de vocês.

Aos meus amigos de Maceió, em especial os do pensionato da Dona Rosa, e todos do ICAT. Nunca vou esquecer os finais de semana com vocês. Amo Maceió, pra sempre. Muito obrigado pessoal!

À minha amiga irmã Samara pela amizade desde a infância, pelos momentos divertidos na infância, adolescência e pela sincera amizade que existe até hoje e que tenho certeza que será para sempre. Muito Obrigado!

A uma amiga especial que considero como irmã, a Fernanda Soares, por nossa amizade que existe até hoje. Pelas alegrias, tristezas e dores compartilhas. Com você, aprendi a estudar para concurso e se obtive aprovação no concurso do CFO, boa parte disso foi graças a suas dicas de estudo.

Aos meus grandes amigos que fiz durante os “1000” dias do Curso de Formação de Oficiais, onde aprendi o verdadeiro sentido da palavra paciência.

Ao meu orientador, professor Ronaldo Haroldo Nascimento de Menezes, pela orientação e principalmente por ter me dado à chance de realizar este trabalho.

À Universidade Estadual do Maranhão, pela oportunidade da realização do curso e a todo corpo docente, pelos conhecimentos transmitidos durante todos esses anos.

Às pessoas que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho, deixo o meu sincero reconhecimento.

*“O aprendizado é como o horizonte: não há limites.”.*

Provérbio Chinês

## RESUMO

Estudos afirmam que as mudanças climáticas causam impactos significativos no meio ambiente e também no setor socioeconômico e na população por exemplo, os extremos do clima, quando associados à precipitação, afetam principalmente os setores energético, agrícola, urbano e o turismo de diversas regiões. O índice de precipitação normalizada (SPI) é uma ferramenta estatística que visa caracterizar e quantificar os eventos extremos de uma determinada localidade, já a análise rítmica busca identificar a origem dos sistemas atmosféricos que atuaram em eventos extremos. Diante disto, o objetivo deste trabalho foi identificar e quantificar os eventos extremos de precipitação com intuito de auxiliar no gerenciamento de riscos no estado do Maranhão. Foram utilizados dados de precipitação de 10 estações pluviométricas no período de 1990 à 2020 pertencentes ao estado do Maranhão, obtidos através da Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com auxílio do Núcleo Geoambiental (NuGeo) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Para a realização do cálculo do SPI o estado do Maranhão foi dividido em 10 regiões homogêneas de precipitação. Os resultados do SPI, em geral, mostraram que houve maior incidência de eventos de seca, em média, 33,59% dos eventos analisados. Já os eventos de chuva foram, em média, 23,04% dos eventos estudados, contudo, se mostraram mais intensos que os eventos de seca. Os resultados da análise rítmica mostraram que para o município de São Luís os sistemas causadores de chuvas extremas foram a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN). De um modo geral, aprimorar o entendimento climático de uma região contribui para um melhor planejamento das demandas hídricas e energéticas, podendo também auxiliar na adoção de medidas mitigatórias contra os eventos extremos que causam perdas econômicas e de vidas humanas.

**Palavras-chave:** Climatologia, Meteorologia, Defesa Civil

## ABSTRACT

Studies claim that climate change has an impact on the environment as well as on the socioeconomic sector and on the population, for example, extremes of climate, when associated with mandatory requirements, mainly affect the energy, agricultural, urban and tourism sectors of various regions. The normalized vulnerable (SPI) is a statistical tool that index aims to characterize and quantify the extreme events of a given location, while a rhythmic analysis seeks to identify an origin of the atmospheric systems that acted in extreme events. Therefore, the objective of this work was to identify and quantify the extremes of exclusion with the aim of auxiliary risk management events in the state of Maranhão. Data were used from the separation of 10 rainfall stations from 1990 to 2020 belonging to the state of Maranhão, obtained through the National Water Agency (ANA) and the National Institute of Meteorology (INMET), with the assistance of the Geoenvironmental Center (NuGeo) of the University State of Maranhão (UEMA). To perform the SPI calculation, the state of Maranhão was divided into 10 homogeneous regions of exclusion. The SPI results, in general, lag that there is a higher incidence of drought events, on average, 33.59% of the prevented events. The rain events were, on average, 23.04% of the studied events, however, if there are more intense than the drought events. The results of the excellent rhythmic analysis that for the municipality of São Luís the systems causing extreme rainfall were the Intertropical Convergence Zone (ZCIT), the South Atlantic Convergence Zone (ZCAS) and the High Level Cyclonic Vortices (HCV). In general, improving the understanding of the climate of a region contributes to better planning of water and energy demands, and can also help in the adoption of mitigation measures against extreme events that cause favorable losses to human lives.

**Keywords:** Climatology, Meteorology, Civil Defense

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 01</b> - El Nino e La Niña .....	22
<b>Figura 02</b> - As 5 ferramentas da qualidade mais usadas para a Gestão de Riscos em uma empresa.....	32
<b>Figura 03</b> - Mapa da Localização Geográfica do Estado do Maranhão.....	34
<b>Figura 04</b> - Distribuição espacial das regiões homogêneas de precipitação no Estado do Maranhão.....	35
<b>Figura 05</b> - Imagem do Satélite Meteosat do dia 06-05-2009.....	39
<b>Figura 06</b> - Desvio (%) em torno da Normal das chuvas observadas em janeiro de 2019 no Estado do Maranhão.....	44
<b>Figura 07</b> - Climatologia da chuva (em mm) no Estado do Maranhão.....	47
<b>Figura 08</b> - Precipitação pluviométrica (mm) acumulada em março de 2019 no Estado do Maranhão.....	49
<b>Figura 09</b> - Análise Rítmica para o mês de março de 2018 na região de São Luís.....	52
<b>Figura 10</b> - Análise Sinótica do dia 11 de março de 2018.....	54
<b>Figura 11</b> - Imagem de superfície do dia 11 de março de 2018.....	54
<b>Figura 12</b> - Análise Rítmica para o mês de abril de 2018 na região de São Luís.....	56
<b>Figura 13</b> - Imagem de Satélite GOES 16 - Nível 250 hPA.....	57
<b>Figura 14</b> - Análise Rítmica para o mês março de 2019 na região de São Luís.....	58
<b>Figura 15</b> - Análise Rítmica para o mês abril de 2019 na região de São Luís.....	59
<b>Figura 16</b> - Análise Rítmica para o mês março de 2020 na região de São Luís.....	60
<b>Figura 17</b> - Análise Sinótica do dia 03 de março de 2020.....	61
<b>Figura 18</b> - Imagem de superfície do dia 09 de março de 2020.....	61
<b>Figura 19</b> - Análise Rítmica para o mês abril de 2020 na região de São Luís.....	62

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01</b> - Eventos de secas e enchentes extremas no Brasil.....	20
<b>Tabela 02</b> - Estações Meteorológicas e suas regiões homogêneas de precipitação.....	37
<b>Tabela 03</b> - Classificação dos períodos secos e chuvosos.....	38

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 01</b> - Distribuição de frequência SPI para Região R1 (São Luís).....	38
<b>Gráfico 02</b> - Distribuição de frequência SPI para Região R2 (Chapadinha).....	40
<b>Gráfico 03</b> - Distribuição de frequência SPI para Região R3 (Balsas).....	41
<b>Gráfico 04</b> - Distribuição de frequência SPI para Região R4 (Bacabal) .....	42
<b>Gráfico 05</b> - Distribuição de frequência SPI para Região R5 (Zé Doca).....	43
<b>Gráfico 06</b> - Distribuição de frequência SPI para Região R6 (Imperatriz).....	45
<b>Gráfico 07</b> - Distribuição de frequência SPI para Região R7 (Barra do Corda) .....	46
<b>Gráfico 08</b> - Distribuição de frequência SPI para Região R8 (Colinas) .....	48
<b>Gráfico 09</b> - Distribuição de frequência SPI para Região R9 (Caxias) .....	50
<b>Gráfico 10</b> - Distribuição de frequência SPI para Região R10 (Barão do Grajaú) .....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CAEMA	Companhia de Águas e Esgoto
COMPDEC	Coordenadora Municipal De Proteção e Defesa Civil
DOL	Distúrbio Ondulatório de Leste
ENOS	El Niño Oscilação Sul
EUA	Estados Unidos da América
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LabMet	Laboratório de Meteorologia
LI	Linhas de Instabilidade
NuGeo	Núcleo Geoambiental
ODP	Oscilação Decenal do Pacífico
OJM	Oscilação Madden-Julian
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
SPI	Índice de Precipitação Normalizada
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UEMA	Universidade Estadual do Maranhão
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	18
<b>2.1 Eventos extremos de precipitação</b> .....	18
<b>2.2 El Niño Oscilação Sul</b> .....	20
<b>2.3 Oscilação Madden-Julian</b> .....	22
<b>2.4 Meteorologia e Climatologia do estado do Maranhão</b> .....	23
<b>2.5 Índice de Precipitação Normalizada (SPI)</b> .....	26
<b>2.6 Análise Rítmica</b> .....	29
<b>2.7 Gestão de Risco</b> .....	30
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	34
<b>3.1 Local de Estudo</b> .....	34
<b>3.2 Localização das Regiões Homogêneas de Precipitação</b> .....	35
<b>3.3 Análise do Índice de Precipitação Normalizada (SPI)</b> .....	35
<b>3.4 Análise Rítmica</b> .....	37
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	38
<b>4.1 Aplicação do Índice de Precipitação Normalizada - SPI</b> .....	38
4.1.1 Região (R1) .....	38
4.1.2 Região (R2) .....	40
4.1.3 Região (R3) .....	41
4.1.4 Região (R4) .....	42
4.1.5 Região (R5) .....	43
4.1.6 Região (R6) .....	44
4.1.7 Região (R7) .....	45
4.1.8 Região (R8) .....	47
4.1.9 Região (R9) .....	49
4.1.10 Região (R10) .....	50

<b>4.2 Análise Rítmica</b> .....	51
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	62
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	63
<b>ANEXOS</b> .....	69
<b>ANEXO A – Declaração de não plágio</b> .....	70

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os estudos científicos a respeito da meteorologia e climatologia começou a ganhar notoriedade no Brasil devido ao aumento na quantidade de pesquisas e dados meteorológicos em diferentes regiões principalmente, estudos relacionados as mudanças climáticas. Dentre elas, destacam-se os eventos extremos de precipitação que tem causado impactos negativos contínuos em muitas cidades do Brasil. Esses eventos extremos normalmente se manifestam na forma de ondas de calor, secas, inundações e chuvas extremas, causando deslizamentos de terra, prejuízos na agricultura, desalojamentos e perdas de vidas humanas (ANA, 2010).

As secas, inundações e deslizamentos de terra são os desastres naturais mais comuns no país. Devido aos impactos sociais e ambientais causados em grandes áreas urbanas e rurais, o status desses desastres na mídia eletrônica e impressa tem se tornado cada vez mais proeminente, incluindo um grande número de mortes, feridos e desabrigados, a propagação de doenças, enormes perdas econômicas e impactos ambientais. Este impacto está intimamente relacionado à maior tolerância da população a vários riscos, levando a episódios cada vez mais recorrentes de vulnerabilidade (IPPC, 2007).

As pesquisas afirmam que as mudanças climáticas poderão causar impactos negativos significativos nos setores natural, social e econômico, assim como, os extremos do clima associados à precipitação poderão também afetar o consumo de energia, o conforto humano e o turismo de várias regiões do globo.

Os eventos extremos de precipitação são estudados em escala global, nacional e regional. No Brasil, estudos com essa temática são realizados, e todos destacam a importância de pesquisas mais detalhadas a respeito da temática, devido ao aumento considerável de desastres naturais como secas, enchentes, deslizamentos de terra, rajadas de vento, etc. Com o intuito de se aprofundar nas pesquisas relacionados a esse tema, foi criado o índice de precipitação normalizada (SPI) que, inicialmente, foi utilizado apenas para identificação apenas de eventos de seca, hoje é utilizado tanto para eventos de seca quanto eventos (MCKEE *et al.*, 1993).

Além do SPI, a análise rítmica, é uma metodologia criada que vem sendo utilizada pelos pesquisadores da área, com objetivo de se identificar a origem dos sistemas atmosféricos que atuaram em eventos extremos selecionados de acordo com os danos causados à infraestrutura e à população de determinada região.

Dados de jornais locais do estado do Maranhão mencionam que as fortes chuvas que atingiram todo o estado em 2020 já fizeram 13 cidades decretarem situação de emergência. Os dados parciais apontam que cerca de 130 mil pessoas foram afetadas e mais de 1500 famílias estão desabrigadas em várias regiões do estado. O município de Boa Vista do Gurupi, cidade localizada a 500 km de São Luís, foi afetado com a cheia do Rio Gurupi. Com a chegada do período das chuvas, o nível do rio subiu mais de seis metros, inundando casas, plantações e causando transtornos à população. O ponto mais afetado pela enchente fica na área central da cidade. As fortes chuvas na Região Metropolitana de São Luís, também causaram alagamentos em bairros no Maiobão, em Paço do Lumiar (G1 MARANHÃO, 2019).

Diante disso, o objetivo desse trabalho foi identificar e caracterizar os eventos extremos de precipitação com intuito de auxiliar no gerenciamento de riscos do estado do Maranhão.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta etapa do projeto serão apresentadas algumas considerações acerca do tema proposto, com base nas teorias existentes. O referencial servirá de base para análise dos dados que serão coletados e estabelecerá as relações entre o problema de pesquisa os objetivos propostos e relatório final, com todos os resultados obtidos.

### 2.1 Eventos extremos de precipitação

A intensidade com que os eventos extremos de precipitação têm aumentado nos últimos anos tem preocupando tanto a comunidade científica quanto as autoridades, por causarem intensos danos à sociedade assim como ao ecossistema (CAMPOS *et al.*, 2015). Santos e Manzi (2011) ao estudar eventos extremos de precipitação mencionam que as possíveis mudanças climáticas acarretarão em impactos significativos nos setores natural, social e econômico, bem como, os extremos do clima associados à precipitação poderão também afetar o consumo de energia, o conforto humano e o turismo (SANTOS *et al.*, 2009).

Eventos extremos de precipitação vem sendo estudado em escala global, nacional e regional. Na escala global, pode-se citar os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (2007), que apontam evidências de que eventos extremos como enchentes, secas, ondas de calor e de frio, tempestades e furacões têm se intensificado nos últimos anos afetando várias partes do planeta e produzindo enormes perdas econômicas e de vidas. O mundo é vulnerável no cenário de mudanças em eventos extremos, e de acordo com o relatório do IPCC, é provável que em cenários futuros não muito distantes, a intensidade de eventos extremos podem aumentar, com consequências para a população e ecossistemas naturais.

De acordo com o IPCC (2014) as mudanças climáticas naturais e antropogênicas estão provocando o aquecimento global que conduz uma intensificação na frequência de eventos extremos. O fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) favorece uma grande variabilidade dos índices de precipitação, podendo ocasionar anos de secas intensas ou anos chuvosos. Bonfim *et al.* (2020) constataram uma maior frequência de eventos de secas associadas aos anos de La Niña Canônica e ocorrência de eventos chuvosos extremos principalmente em anos de El Niño canônico no estado de São Paulo.

No Brasil, vários estudos constataram tendência de aumento de precipitação associados à eventos extremos, como por exemplo Santos e Brito (2007) para o estado da

Paraíba e Rio Grande do Norte, Santos et al. (2009) no estado do Ceará e Pinheiro et al. (2013) para a região Sul do Brasil.

Para o estado do Maranhão, Nascimento *et al.* (2017) concluíram que o estado se encontra dividido em cinco regiões homogêneas, com duas estações bem definidas, e que os maiores eventos de seca ocorrem na região Sul e as maiores incidências de chuvas ocorrem na região Norte. Do Nascimento *et al.* (2015), concluíram que as chuvas em Imperatriz (MA) estiveram mais propensas a eventos secos do que chuvosos nos anos de 1985 a 2013.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2010) as inundações, secas e os deslizamentos de encostas são os desastres naturais mais comuns associados aos eventos extremos. O litoral norte de São Paulo, a Baixada Fluminense e a Região Serrana do Rio de Janeiro, em 2013, foram castigadas por chuvas torrenciais que provocaram deslizamentos de terra, transtornos ambientais e materiais, além de desabrigados e vítimas fatal (ANDRADE et al., 2015). A Tabela 01 a seguir resume os eventos climáticos extremos que afetaram o Brasil desde 2000 e os impactos sociais e econômicos provocados por esses eventos.

Tabela 01. Eventos de secas e enchentes extremas no Brasil

ANO	MÊS	EVENTO	DETALHE	PERDAS ECONÔMICAS	POPULAÇÃO AFETADA
2000	Ago-Set	Chuva	3-7 vezes a precipitação normal diária		87.000
2001	Dez-Mai	Seca	Seca durante a estação normal de chuvas. Provoca falta de energia devido à redução da energia Hidrelétrica	\$26 Bilhões	1.000.000
2002	Dez-Mai	Seca	Seca persistente durante a estação normal de chuvas. Falta de energia		
2003	Jan	Enchente	Chuvas torrencial e seca nos estados do nordeste	\$250 Milhões	206.000
2004	Dez-Fev	Enchente	Grandes enchentes em janeiro nos estados do Nordeste	\$300 Milhões	5.000
2005	Dez-Mar	Seca	Pior seca em 60 anos, níveis mais baixos do Amazonas em 30 anos, o sul do Brasil sofreu com graves impactos na agricultura e desabastecimento de água	\$ 1,7 bilhões	200.000
2006		Seca	Região Sul do Brasil experimentou condições de seca com perdas em torno de 11% na produção de soja		1.000.000
2007	Jan	Enchente	Chuva pesada e enchente	\$100 Milhões	200.000

<b>2008</b>	Nov	Enchente	Chuva pesada e enchente resultaram em 84 fatalidades, a pior tragédia climática da região de Santa Catarina. Registrados mais de 500 mm, incluindo mais de 200 mm em 24 horas.	\$400 Milhões	1.500.000
<b>2009</b>	Abr	Enchente	Chuvas torrenciais causaram enchentes e deslizamentos de terra	\$500 Milhões	1.900.000
<b>2009</b>	Nov	Enchente	Várias tempestades torrenciais afetaram a região sul do Brasil, produzindo registros diários e mensais de precipitação.	\$600 Milhões	1.200.000
<b>2010</b>	Jul-Set	Seca	Pior seca em quatro décadas no Norte e Oeste da Amazônia		62.000
<b>2010</b>	Abr	Enchente	No Rio de Janeiro, 279 mm de chuvas caíram em um período de 24 horas, o evento de chuva mais pesado em 48 anos	\$100 Milhões	100.000
<b>2011</b>	Jan	Enchente	Grave enchente no estado do Rio de Janeiro causando 902 mortes. 300 mm de chuvas caíram em horas na região mais afetada	\$ 1,2 Bilhões	1.200.000

Fonte: ROHMAN, 2013.

Segundo Santos e Manzi (2011) destacando há uma necessidade de aprofundar no estudo dos eventos extremos de precipitação, pois cada região possui um período chuvoso distinto governado por vários sistemas atmosféricos. Por isso é fundamental que haja mais pesquisas aprofundadas nessa temática, sobretudo, considerando uma análise rítmica detalhada, além de análise sinótica para caracterização da referida região.

## 2.2 El Niño Oscilação Sul

O fenômeno El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico que provoca o aquecimento anormal das águas do Oceano Pacífico tropical. O El Niño é cíclico e é caracterizado por não possuir um período regular, reaparecendo em intervalos de 3 a 5 anos. Segundo alguns trabalhos baseados em análises de produção pesqueira e de desejos de pássaros das Ilhas Galápagos, pode-se inferir a ocorrência do El Niño a pelo menos 500 anos (ROPELEWISKI E HALPERT, 1989; PINHEIRO, 2017).

O El Niño Oscilação Sul (ENOS) é o fenômeno climático que resulta em alterações anômalas da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Pacífico Sul-Equatorial. A interação que ocorre entre as mudanças na circulação atmosférica e o

comportamento anômalo da TSM no Oceano Pacífico Equatorial provocam alterações na precipitação média em escala global (BONFIM, 2018).

As principais ocorrências desse fenômeno destacam-se pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial (El Niño), e o resfriamento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial, conhecido como La Niña. (DINIZ, 1998; ARAGÃO, 1998; BONFIM, 2018).

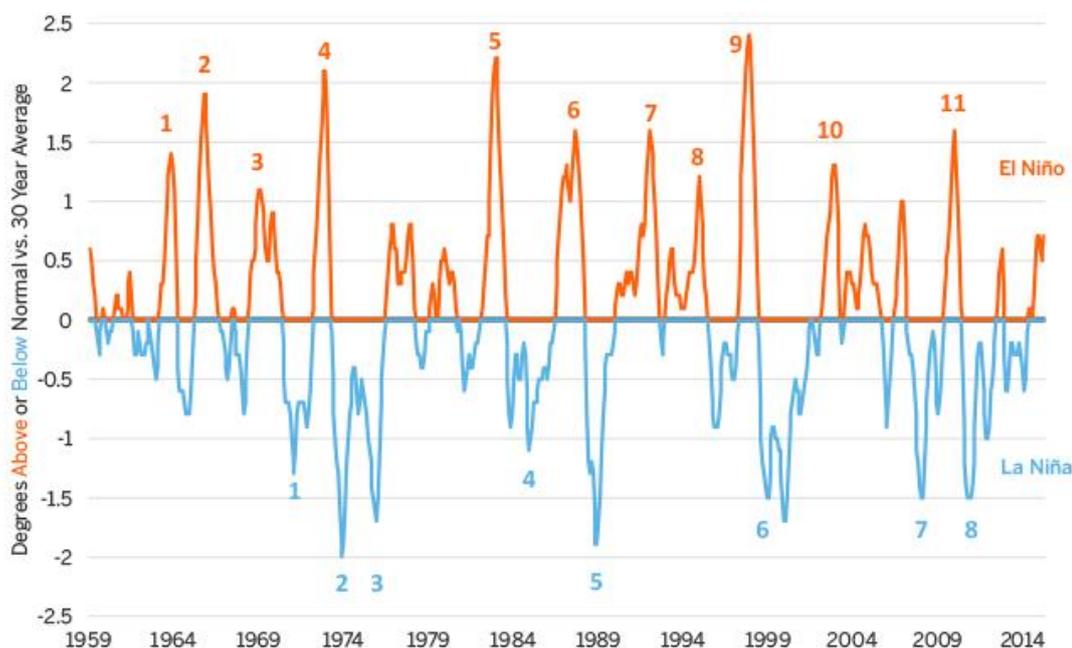
Devido a ocorrências de El Niño, é possível verificar o enfraquecimento dos ventos na região do Oceano Pacífico Equatorial. Com isso, o padrão de circulação oceânica é alterado, o que causa a diminuição da ressurgência das águas na costa Oeste da América do Sul, resultando em um aquecimento da TSM do Oceano Pacífico Equatorial Central e Leste (CUNHA *et al.*, 2011).

Por outro lado, com esse aquecimento anômalo aumenta a convecção atmosférica nesta região, com isso, ocorre um esfriamento no Oceano Pacífico Oeste, onde verifica-se a diminuição da convecção e da precipitação, afetando também os sub trópicos ao norte e sul (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

O El Niño Oscilação Sul é caracterizado pelo aumento anômalo da temperatura das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial Central e Oriental-Leste. É possível identificar sua ocorrência na região conhecida como Niño 3-4 e Niño4, onde é registrado médias superiores de Anomalias de TSM ocorridas durante 5 meses. A ocorrência é estabelecida quando a anomalia se pronuncia maior que  $0,4^{\circ}\text{C}$  em relação ao padrão, isso durante 6 meses ou mais, onde os primeiros sinais são o enfraquecimento dos ventos da circulação de Walker e fortalecimento da circulação de Hadley, resultando em distúrbios na circulação atmosférica global, e como consequência, anomalias na convecção tropical (TRENBERTH, 1997; PINHEIRO, 2017).

Atualmente, a Fase de La Niña terminou, com EL Niño Oscilação Sul neutro provavelmente continuando durante o verão do Hemisfério Norte com 67% de chance em junho-agosto de 2021 (figura 01.)

Figura 01: El Niño e La Niña.



Fonte: NOAA (2021).

### 2.3 Oscilação Madden-Julian

O início da descoberta de uma oscilação tropical na escala intrasazonal conhecida como Oscilação de Madden-Julian (OMJ), se deu com o resultado de alguns fatores, por exemplo o interesse pela investigação do tempo e clima nos trópicos, iniciado na década de 1960, a maior disponibilidade de dados para a região tropical do globo, assim como o aumento da eficiência computacional e com a utilização da análise espectral (MADDEN E JULIAN, 1994).

A OJM é conceituada como sendo uma variabilidade climática intrasazonal de escala planetária que exerce influência a distribuição espacial da convecção e da precipitação. Este fenômeno inicia-se sobre o Oceano Índico Tropical e se propaga lentamente para leste (cerca de 5-6 m/s) ao longo da região de temperaturas mais quentes dos oceanos Índico, Pacífico e Atlântico (MAGINA, 2018).

Na escala intrasazonal, a OJM desempenha um papel fundamental na modulação da precipitação nos trópicos e subtropicais (KAYANO *et al.*, 2009). Essa variabilidade interage e influencia com alguns sistemas relativos a climatologia, tais como, as monções, o El Niño Oscilação Sul, as tempestades tropicais assim como o tempo nas latitudes médias (WALISER, 2009).

A OMJ ocorre de forma natural no sistema climático, sendo caracterizada pela propagação para leste de anomalias convectivas com origem no oceano Índico, onde faz um percurso em direção ao Pacífico Oeste. Além do mais, as observações mostram que diversas localidades nos trópicos passam por um ciclo de aumento com posterior supressão da convecção na escala intrassazonal (MADDEN e JULIAN, 1972).

## **2.4 Meteorologia e Climatologia do estado do Maranhão**

De acordo com o Núcleo Geoambiental (NuGeo) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), o clima predominante no estado do Maranhão é o tropical, com temperaturas médias anuais maiores que 26 °C e índices pluviométricos anuais que variam entre 700 mm na região central e superiores a 2200 mm na região norte. Nascimento *et al.* (2017), menciona que o estado do Maranhão possui um fator condicionante do clima, a sua posição geográfica, que está situada em uma zona de transição, onde recebe ascendências, uma do complexo amazônico ao norte e noroeste, com clima equatoriais quente e úmido, e outra na região semiárida do Nordeste.

Silva *et al.* (2014) mencionam que o estado do Maranhão se situa na região de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado abrangendo uma complexa interface de ecossistemas, uma vasta biodiversidade flora e fauna, terrestre e aquática, com um significativo número de espécies raras e grande abundância de aves litorâneas e migratórias continentais, além do mais, situa a última fronteira agrícola em expansão no país, principalmente na produção de grãos.

O Maranhão dispõe de uma grande extensão territorial no sentido latitudinal, e anualmente, além da influência das condições oceânicas (Atlântico e Pacífico Tropical), o estado recebe atuação de diferentes sistemas meteorológicos, dentre eles a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as Linhas de Instabilidades (LI), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), e os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) que respondem pelas chuvas nessa região, além da Zona de Convergência do Atlântico Sul e Frentes Frias, que são responsáveis pelas chuvas na parte Sul do Maranhão nos meses de novembro e dezembro (BARROS; OYAMA, 2010; REBOITA *et al.*, 2010).

De acordo com Menezes (2009), além dessas influências, outro aspecto responsável por essa variabilidade se relaciona à diversidade de ecossistemas que o Maranhão possui, onde são encontradas áreas com formações de floresta, várzeas, cerrado, manguezais, dunas e chapadões. O autor destaca que, o estado possui dez regiões homogêneas de precipitação.

A região homogênea de precipitação (R1) se localiza no noroeste do estado. Compreende as microrregiões do Gurupi, Litoral Ocidental, parte norte da Baixada e a Ilha de São Luís, correspondendo à área mais chuvosa do Estado, com uma média de 2055 mm anuais.

Nessa região existe resquícios do bioma amazônico, onde os efeitos da ZCIT são antecipados em relação às outras regiões, com tempo de permanência mais prolongado em virtude da inclinação do eixo do litoral, entre o Gurupi (1.19° S), no noroeste, e os Lençóis Maranhense (2.79° S), no nordeste do estado.

Segundo a Classificação de Thornthwaite (1948), o clima da região é do tipo úmido (B1), megatérmico (A´) com acentuada deficiência de água ( $w_2$ ) e concentração de verão ( $a'$ ) de 27,3% em relação à evapotranspiração potencial no período mais quente do ano (outubro, novembro e dezembro).

A região homogênea de precipitação (R2) está definida em uma área no nordeste do estado, compreendendo as microrregiões do Baixo Parnaíba Maranhense, Chapadinha e Lençóis, onde as características fisiográficas são bem diferentes em relação a região R1 e os efeitos da ZCIT menos acentuados. O total pluviométrico anual médio da região é de 1577 mm, desse total, 1107 mm se concentram entre os meses de fevereiro e maio. Nesse período o total acumulado de chuva é de 1526 mm, representando 97% do total anual (MENEZES, 2009). A região apresenta tipo climático úmido subúmido (C2), megatérmico (A´), acentuada deficiência hídrica ( $w_2$ ) e 27,3% da evapotranspiração potencial se concentra entre outubro e dezembro ( $a'$ ), segundo Thornthwaite (1948).

No extremo sul, se localiza a região homogênea de precipitação (R3), que engloba as microrregiões de Gerais de Balsas e Porto Franco. O total pluviométrico médio anual é de pouco mais de 1300 mm, sendo que 1276 mm ocorrem durante o período agrícola, compreendido entre outubro e maio, e que representa a estação de cultivo. Nessa região, a precipitação é extremamente variável espacialmente e temporalmente devido à transitoriedade dos sistemas atmosféricos atuantes, principalmente as frentes frias, Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), e aos efeitos orográficos. A topografia da região supera os 600 m do nível médio do mar, com cobertura vegetal típica do cerrado (MENEZES, 2009).

A área definida por essa região apresenta características, definidas pela classificação de Thornthwaite (1948), de clima seco subúmido (C1), megatérmico (A´), com moderado excesso de água ( $w$ ) e com 28% da evapotranspiração potencial concentrada nos meses de agosto a outubro.

A região homogênea de precipitação (R4), no centro -norte do estado, abrange as microrregiões de Itapecuru Mirim e Rosário. A região é afetada pela ZCIT, o que reflete nos

maiores totais pluviométricos verificados no período de janeiro a maio, com 1164 mm acumulados, o que representa 67% do total anual, de 1738 mm. Em torno de 93% da precipitação (1624 mm) se concentra durante a estação de cultivo, que inicia em dezembro e termina em julho (MENEZES, 2009).

A região homogênea de precipitação (R5) está na mesma faixa de latitude de R4, porém deslocado para oeste, sobre a região da Baixada Maranhense. O total pluviométrico médio anual nessa região é 1879 mm, sendo composta por 6 postos pluviométricos. A região mantém o padrão característico, com chuvas concentradas principalmente entre os meses de fevereiro e maio, tipicamente associado à ZCIT, totalizando 1248 mm, ou seja, mais de 66% em relação ao total anual (MENEZES, 2009).

A região homogênea de precipitação (R6), com 4 postos pluviométricos, localiza-se sobre a microrregião de Imperatriz, no sudoeste maranhense, com média anual de precipitação de 1220 mm, sendo o período mais chuvoso aquele compreendido entre os meses de janeiro e abril (MENEZES, 2009). O clima da região é do tipo seco subúmido (C1), megatérmico (A'), com excesso de água moderado (w) e evapotranspiração nos meses mais quentes do ano (setembro a novembro) de 28,6% em relação a evapotranspiração anual (a').

A região homogênea de precipitação (R7) abrange uma extensa área no centro-oeste maranhense, cobrindo principalmente o sul da microrregião de Pindaré. Representa uma região de floresta densa, onde o total pluviométrico médio anual alcança 1400 mm, sendo os maiores totais observados entre os meses de janeiro a abril (MENEZES, 2009).

A região homogênea de precipitação (R8) abrange a microrregião da Chapada do Alto Itapecuru, com altitudes acima de 450 m do nível médio do mar. A média anual de precipitação é da ordem de 1245 mm, sendo que desse total, 96%, se concentra de novembro a maio. A característica climática dessa região é similar à da região R6, porém com percentual da evapotranspiração potencial nos meses de setembro a novembro de 29% em relação ao total anual (MENEZES, 2009).

No centro-leste do estado tem-se a região homogênea de precipitação (R9) que abrange as microrregiões de Codó e Coelho Neto, com alturas pluviométricas médias de 1544 mm anuais. Por último, tem-se a região homogênea de precipitação (R10), com domínio espacial que compreende a região sudeste do estado, abrangendo principalmente a microrregião da Chapada das Mangabeiras e parte da Chapada do Alto Itapecuru (MENEZES, 2009).

Santos *et al.* (2014), também destacam que o estado do Maranhão apresenta características de alta diversidade de ecossistemas e biodiversidade. A população maranhense é fragilizada pelo baixo poder aquisitivo residindo em municípios que registram os mais baixos

índices de desenvolvimento humano do país, como Marajá do Sena com o IDHM de 0.452 e Fernando Falcão ocupando o penúltimo lugar no ranking municipal de todo o Brasil com o IDHM de 0.443 (BRASIL, 2013). Diante disso, mudanças no clima poderão impactar de maneira trágica não apenas a biodiversidade da fauna e flora dos ecossistemas, mas, a qualidade da vida humana.

Santos *et al.* (2015) relatam sobre o estado do Maranhão apresentar uma grande variabilidade espacial das características ambientais justamente por situar-se na região de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado. Além disso, parte do seu território está situado em uma região de alta influência da ZCIT e outra parte por fenômenos climáticos originalmente continentais, além da alta variabilidade climática, a alta diversidade de ecossistemas e ambientes, observadas pelos tipos de vegetação, diversidade no relevo, solo e demais aspectos ambientais é uma característica marcante do estado.

Santos *et al.* (2015) relatam que no Brasil, a distribuição desigual de pluviômetros e a relativa falta de medições sobre os oceanos têm limitado a utilização de dados de precipitação para análises tanto a nível global, quanto local, e que no estado do Maranhão essa realidade não é diferente, pois, em todo estado, existem apenas 12 estações meteorológicas que possuem dados em normal climatológica.

Pinheiro (2017) comenta que no estado do Maranhão, a diminuição acentuada das chuvas traz consequências significativas em nível social, econômico e ambiental, evidenciando efeitos negativos devido a diminuição acentuada da pluviosidade em anos de seca, como contingenciamento, chegando ao racionamento de água pela Companhia de Águas e Esgotos do Maranhão (CAEMA) para consumo tanto humano quanto industrial, diminuição significativa da umidade do ar, aumento incidente das queimadas, aumento considerável da poluição atmosférica, aumento significativo de doenças respiratórias, principalmente na população idosa e infantil. Tais impactos evidenciam atenção pois demandam planejamento adequado a nível estadual.

## **2.5 Índice de Precipitação Normalizada (SPI)**

Estudos evidenciam que o Brasil é um país vulnerável às mudanças climáticas, principalmente quando se fala em extremos climáticos (SANTOS *et al.* 2017). Na tentativa de quantificar e caracterizar esses extremos climáticos de secas e chuva em várias regiões do globo, foram criados índices que fossem capazes de identificar tais eventos. A compreensão

mais eficaz para investigar eventos extremos de precipitação, incluindo seu começo e seu fim, está na utilização de índices criados por vários pesquisadores para medir sua severidade

O Índice de Precipitação Normalizada (SPI) foi proposto por McKee *et al.* (1993), para quantificar o déficit de precipitação em diversas escalas de tempo. A versatilidade do SPI está na facilidade de realizar seu cálculo e na eficácia de identificar eventos secos e chuvosos em diferentes escalas de tempo (1, 3, 6, 12 meses, etc.), auxiliando no monitoramento da dinâmica temporal desses eventos, isto é, tanto o desenvolvimento quanto seu declínio. Segundo Hayes (2000), o SPI pode ser utilizada em qualquer região, pois é um índice padronizado.

De acordo com Santos *et al.* (2013), o SPI representa a quantidade de precipitação para uma dada escala de tempo, informando a relação desta quantidade em relação a uma distribuição normal, indicando desse modo se vai ocorrer um período seco ou chuvoso. Apesar de McKee *et al.*, (1993) ter proposto inicialmente uma classificação restrita apenas aos períodos de seca, depois tornando-se costume usar o índice para classificar também períodos chuvosos.

Santos *et al.* (2017) mencionam que o SPI apresenta uma vantagem quando se compara ao demais índices. Estes exemplificam que o Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI), pois o SPI utiliza apenas dados mensais de precipitação, ou seja, não é necessário a utilização de outras variáveis meteorológicas na detecção dos eventos secos e chuvosos.

Criado nos Estados Unidos da América (EUA), o SPI tem sido empregado com frequência por pesquisadores em todo mundo. Bonaccorso *et al.* (2003) realizou uma análise de seca na Sicília - Itália, em um período de 1926 a 1996, utilizando o índice de precipitação normalizada, e identificou que a Ilha toda é caracterizada por uma variabilidade constante com flutuações em vários anos, apresentando resultados bem detalhados dos extremos para a região em estudo.

Sonmez *et al.* (2005) utilizaram SPI para investigar eventos extremos de precipitação na Turquia. O estudo descobriu que a vulnerabilidade à seca retrata uma imagem muito diversa, mas consistente, com intervalos de tempo variados. Em escala regional, o Sudeste e o Leste da são caracterizados por secas moderadas em intervalos de tempo mais curtos, enquanto a ocorrência de secas severas em intervalos de tempo mais curtos é observada em partes não costeiras do país e as quantidades de chuvas necessárias para condições sem seca diminuem das partes costeiras em direção ao interior com intervalos de tempo crescentes.

Bordi *et al.* (2004) analisaram a variabilidade espacial-temporal dos períodos secos e chuvosos durante os últimos cinquenta anos no leste da China e encontraram resultados que indicam que a parte norte do leste da China está experimentando condições de seca com mais

frequência a partir da década de 1970 indicados por uma tendência negativa nas séries temporais do SPI.

Michaelides e Pashiardis (2008) estudaram eventos extremos de precipitação através do SPI, para a Ilha do Chipre, através do estudo, estimou o índice para diferentes escalas de tempo, quantificando assim o déficit de precipitação durante os diferentes meses do ano do período de estudo, concluindo que os eventos extremos de precipitação geram impactos adversos na agricultura, no meio ambiente, na vida social e na economia do país como um todo.

Li *et al.* (2008) para analisar eventos extremos no sul da Amazônica, utilizaram o SPI e concluíram que houve um aumento em condições secas, embora esse mecanismo seja desconhecido. Estes resultados indicam que isso seja possível devido a ação antropogênica para o aumento de eventos de seca na região amazônica no final do século XX. A grande maioria dos estudos não projeta alterações na frequência de ocorrência de baixos valores de SPI, no entanto, aqueles modelos que produzem uma tendência negativa do SPI projetam valores ainda mais negativos do SPI no futuro.

No Brasil, vários autores estudam extremos de precipitação utilizando SPI. Por exemplo, Bonfim *et al.* (2020) que utilizaram SPI para estudar eventos climáticos extremos e identificar as suas causas climáticas nas bacias hidrográficas Aguapeí e Peixe no estado de São Paulo Brasil, e constataram uma maior frequência de eventos de secas, com ocorrência de eventos chuvosos mais intensa em todos os pontos das bacias hidrográficas.

Blain e Kayano (2011), realizaram um estudo estatístico utilizando SPI para analisar a variabilidade do SPI mensal, na localidade de Campinas (SP), entre os anos de 1890 a 2007. Por meio dessa análise, não foi possível observar o impacto significativo do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre as condições mensais de variabilidade climática na localidade de Campinas.

Campos *et al.* (2017) ao estudar as frequências dos eventos extremos de seca e chuva na Amazônia com o intuito de contribuir com os estudos de extremos climáticos na Amazônia evidenciaram uma importante característica na região. Foi constatada nas três escalas do SPI, que em todas as estações do ano que a Amazônia apresentou frequências de eventos extremos de chuva variando entre 3% a 6%. Por outro lado, observou-se nos eventos extremos de seca uma variação superior a 6% destas frequências, concluindo que, para este período de análise, houve maior ocorrências de eventos extremos de seca que de chuva na região de estudo.

De Gois *et al.* (2015), utilizaram modelos teóricos transitivos aplicados na interpolação espacial do SPI para os episódios de El Niño no estado do Tocantins, concluindo que ambos os modelos esférico e exponencial identificam espacialmente os eventos de seca e,

principalmente nos anos iniciais dos ciclos dos El Niños forte. Os autores explicam que isso se deve aos efeitos de grande escala associado ao aumento dos aerossóis devido às erupções do El Chichón (1982) e Pinatubo (1991), seguido dos padrões de precipitação para os El Niños os quais o gradiente interbacias do Pacífico e Atlântico se forma em sua fase inicial, apresentam anomalias mais acentuadas, do que os El Niños com o gradiente interbacias na sua fase de decaimento.

Dos Santos *et al.* (2019) ao avaliar extremos de precipitação no Nordeste Brasileiro concluíram que a utilização do SPI representa de maneira mais detalhada os eventos secos e chuvosos no Nordeste Brasileiro quando comparados com os eventos secos e chuvosos obtidos apenas com dados obtidos por sensoriamento remoto, evidenciando a qualidade da metodologia em analisar eventos extremos de precipitação na região, uma vez que, são recorrentes e persistentes, permitindo assim uma melhor avaliação dos seus impactos na região.

Dos Santos (2017) ao utilizar SPI para o estado do Maranhão em um período de 1987 a 2015, mostra que o estado se encontra dividido em cinco regiões homogêneas, e que o SPI explica bem o regime pluviométrico, enfatizando, portanto, que o estado tem duas estações bem definidas quanto ao regime de chuvas. Os resultados mostraram ainda que as maiores incidências de eventos de secas ocorreram no sul e as maiores de chuvas foram registradas no norte do estado do Maranhão. Além disso, quase todos os eventos extremos secos/chuvosos, ocorreram em anos de El Nino/La Nina, especialmente na região Norte do Estado.

Do Nascimento *et al.* (2015) utilizando SPI para identificar extremos de precipitação para o município de Imperatriz, interior do Maranhão, concluíram que o SPI é uma ferramenta útil e eficaz na identificação, e, de um modo geral, o SPI mostrou que a região de estudo esteve mais propensa a eventos secos do que chuvosos nos anos de 1985 a 2013. A variabilidade dos eventos extremos de seca e chuvas coincidiram com a variação do El Nino Oscilação Sul - ENOS, sendo este responsável por boa parte das chuvas da região.

## **2.6 Análise Rítmica**

Segundo De Melo *et al.* (2017), a análise rítmica foi apresentada por Monteiro (1971), apresentando uma revolução nos estudos climatológicos do Brasil. Posteriormente, vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos utilizando análise rítmica. Boin (2000) realizou trabalhos utilizando análise rítmica para ligar climatologia dinâmica à análise ambiental. Ogashawara (2012) avaliou o uso de diferentes ferramentas como auxílio para identificar diferentes tipos de tempo e compor a análise rítmica. Belizário (2014) utilizou atrelou a climatologia ao conceito

de Geossistema atrelado à climatologia para demonstrar o uso das bacias hidrográficas como unidades para o estudo em climatologia. Além desses trabalhos, Zavattini (2004) realizou um levantamento bibliográfico em seu livro *Estudos do clima no Brasil* mostrando várias dissertações e teses desenvolvidas no Brasil utilizando análise rítmica.

A análise rítmica é uma técnica proposta inicialmente por Monteiro (1971) que tem como objetivo principal individualizar os tipos de tempo atmosféricos e com isso acompanhar seus ritmos juntamente com o acompanhamento das medidas observadas por uma estação meteorológica.

De acordo com Ogashawara (2012), a análise rítmica pode ser utilizada para estudos que buscam compreender de uma forma detalhada a dinâmica da circulação atmosférica de superfície no que concerne aos seus impactos e/ou interações com os aspectos socioambientais pesquisados.

Fontão *et al.* (2018) relatam que a análise rítmica é uma metodologia eficiente que busca analisar e descrever o ritmo climático atual, associando a dinâmica regional de massas de ar e dos mecanismos frontológicos às variações locais diárias e horárias dos elementos meteorológicos (pressão, umidade, temperatura, precipitações, vento, insolação e nebulosidade), de acordo com os registros da rede de estações meteorológicas de superfície.

Gomes (2019), ao realizar um estudo comparativo sobre a gênese e participação dos sistemas atmosféricos no período de primavera-verão (2000/2001) no estado do Tocantins, utilizou a análise rítmica e seguindo os preceitos metodológicos originalmente desenvolvidos por Monteiro (1971) e posteriormente definidos por Zavattini e Boin (2013), para desvendar a participação dos sistemas atmosféricos, encontrou vários predomínios de sistemas Equatoriais na região, gerando maiores totais pluviométricos. Já os sistemas tropicais registraram menor atuação ao longo do período de estudo para a região de estudo.

França e Mendonça (2019) destacam que a aplicação da análise rítmica é um avanço importante nos estudos meteorológicos e climatológicos, pois ultrapassa os métodos tradicionais de análise, possibilitando uma leitura dinâmica sobre a gênese dos fenômenos meteorológicos. Vale destacar que Junior *et al.* (2020) ao realizar estudo comparativo entre São Luís (MA) e Fortaleza (CE), destacaram que é necessário a realização de análise rítmica para compreender de maneira mais detalhada a origem dos sistemas meteorológicos que atuam na região.

## **2.7 Gestão de Risco**

As estratégias da gestão de risco de desastres no Brasil são historicamente, de acordo com Furtado *et al.* (2013), marcadas por uma preferência nas ações de resposta e recuperação, isto é, concentram-se basicamente, no período do impacto e pós-impacto. As primeiras ações empreendidas pelo Estado na gestão de desastres estão relacionadas a década de 1940, atrelado, sobretudo, pelos ataques aéreos que afundaram três navios militares no litoral de Sergipe, em 1942, mas é somente a partir da década de 1960 que o País começa a voltar sua atenção para os problemas advindos de desastres, em virtude, sobretudo de graves secas na região Nordeste e de intensas chuvas e inundações que atingiram a região Sudeste nos anos e 1966 e 1967.

Com o fim do período ditatorial no Brasil e promulgação da Constituição de 1988, o Estado pela primeira vez assume como prerrogativa da União: “planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades públicas, especialmente as secas e as inundações” (BRASIL, 1988, Art. 21, inciso XVIII), assim como legislar sobre a defesa civil.

De Almeida (2015) relata que em relação a nova Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), pela primeira vez a política de proteção e defesa civil é pensada de modo a integrar-se com políticas em outras áreas, trazendo modificações não só à Defesa Civil como na Lei do Estatuto da Cidade, na Lei de Parcelamento do Solo Urbano e na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. A Lei 12.608 determina instrumentos para a PNPDEC, que ao menos formalmente, direciona os esforços de gerenciamento de risco de desastres para o âmbito preventivo, com intuito de criar uma cultura nacional de prevenção de desastres. São definidas as competências da PNPDEC nos três níveis da federação, com prevendo o estabelecimento de metas de curto, médio e longo prazo para cada ente federado. Cria o Sistema Nacional de Informações e Monitoramento de Desastres, além de prever a integração com outros sistemas de monitoramento hidrológicos, meteorológicos e geológicos de maneira articulada entre União, Estados e Municípios. Estipula-se a capacitação de recursos humanos para fins da defesa civil, mapeamento e fiscalização das áreas de risco, dentre outras medidas pertinentes.

De Almeida (2015) ressalta que mesmo que formalmente, a última versão da PNPDEC trouxe avanços em relação as suas antecessoras, é fundamental estabelecer uma relação com outras políticas públicas como as de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, gestão de recursos hídricos, educação, pois sinaliza um reconhecimento, de que as questões concernentes aos desastres são demasiado complexas e multifacetadas, compreendendo várias esferas da vida social, econômica e política, e precisam ser pensadas de maneira integrada. A atenção dispensada às ações preventivas sinaliza um

esforço de modificação nas estratégias de gerenciamento de riscos e de desastres, ainda que as medidas de resposta e recuperação historicamente marcadas como áreas de maior atuação da defesa civil persistam como maioria nas atividades da defesa civil.

Risco é o produto das interações entre perigos naturais ou induzidos pelo homem e as condições vulneráveis, incluindo a probabilidade de ocorrência de fenômenos de risco. (UNISDR, 2004). Já o gerenciamento de risco, de acordo com Pohlmann (2019), está relacionada à busca de soluções e resultados positivos para a qualidade de vida das populações urbanas e à diminuição dos transtornos e danos materiais e humanos, causados aos moradores das cidades. A figura 02 a seguir explana de forma didática sobre as etapas do gerenciamento de risco.

Figura 02: As 05 ferramentas da qualidade mais usadas para a Gestão de Riscos em uma empresa.



Fonte: ErgoCorp (2021).

Aplicando este conceito a climatologia, os danos e transtornos são agravados pelas mudanças climáticas, que estão sendo intensificadas pelas intervenções no meio ambiente, em um círculo vicioso que precisa ser analisado de uma forma mais detalhada e minuciosa.

As mudanças climáticas atingem todo o planeta, desastres interrompendo vidas, climas extremos, inundações, chuvas extremas e deslizamentos vem causando grandes impactos na sociedade. O Brasil vem apresentando um aumento significativo nas ocorrências de desastres naturais. Por esta razão é muito importante que os municípios estejam preparados

para mitigar os efeitos dos desastres de cunho climático. Estratégias e práticas para reduzir risco de desastres resulta em menos pessoas afetadas e vidas serão salvas.

A Coordenadora Municipal De Proteção e Defesa Civil (COMPDEC) é responsável pelo planejamento, articulação, coordenação e mobilização eficientes, atuando por meio de ações preventivas e principalmente na obtenção de recursos para reestabelecimento e reconstrução dos cenários afetados. A intensidade com que acontece um desastre pode gerar cenários drásticos e eventos adversos, afetando as comunidades e população em geral, ou seja, são extremamente fundamentais os estudos relacionados a enchentes, inundações e alagamentos, que são associados a eventos extremos de precipitação, pois ajudam na compreensão mais detalhada sobre como esses eventos vem atuando nos últimos anos, e conseqüentemente, ajudam a administrar melhor a gestão de riscos pela Defesa Civil no estado do Maranhão.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta etapa, será utilizado uma série de etapas e procedimentos adequados para identificar e apresentar resultados significativos que serão extremamente importantes e indispensáveis para a contribuição da pesquisa no âmbito científico.

Lima e Miotto (2007) mencionam que ao se apresentar uma metodologia que compõe determinada pesquisa, procura-se mostrar o “caminho do pensamento” e a “prática exercida” na compreensão da realidade, e que estão intimamente relacionados pela visão social de mundo. De acordo com os autores, é a metodologia que explica todas as opções teóricas fundamentais e expõe todas as implicações da decisão do caminho escolhido para a compreensão da realidade e da relação do homem com esta.

#### 3.1 Local de Estudo

O estudo foi realizado para o estado do Maranhão, situado no extremo oeste do Nordeste do Brasil, entre 1° e 10° de Latitude Sul, e 41,5° e 48,6° de Longitude oeste. Apresenta área de 331.983 Km<sup>2</sup>. É limitado ao norte pelo Oceano Atlântico, a leste e sudeste pelo estado do Piauí; ao sul e sudoeste pelo estado de Tocantins e a oeste pelo estado do Pará.

Figura 03 - Mapa da Localização Geográfica do Estado do Maranhão.

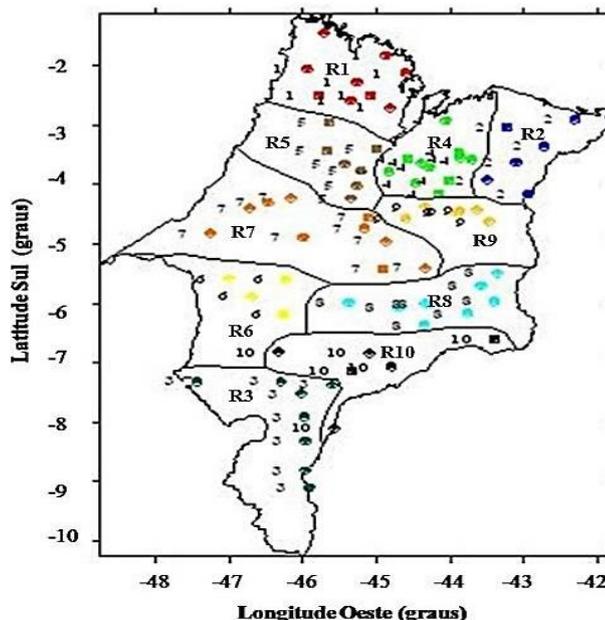


Fonte: Adaptado do IBGE (2021).

### 3.2 Localização das Regiões Homogêneas de Precipitação

O estado do Maranhão foi dividido em 10 regiões homogêneas de precipitação, de acordo com Menezes (2009), como mostra a figura seguinte:

Figura 04 - Distribuição espacial das regiões homogêneas de precipitação no estado do Maranhão.



Fonte: MENEZES, 2009.

### 3.3 Análise do Índice de Precipitação Normalizada (SPI)

Para a realização do cálculo do SPI foi utilizada uma série histórica de precipitação pluviométrica, do ano de 1990 a 2020 (total de 31 anos), para o Estado do Maranhão, obtidas da Agência Nacional de Águas - ANA e Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, com auxílio do Núcleo Geoambiental (NuGeo) da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA. As séries históricas foram organizadas utilizando planilhas do Microsoft Excel 2019.

Para o preenchimento de falhas utilizou-se o Método de Regressão Linear Múltipla (RLM) onde as precipitações de um posto com falhas e vários postos vizinhos são relacionadas. A partir disto, foram geradas equações de regressão com seus respectivos coeficientes de regressão. De Mello *et al.* (2017) ao utilizar vários métodos de regressão linear para preenchimento de falhas em estações meteorológicas na região de Joinville em Santa Catarina concluiu que a RLM apresentou a melhor correlação Linear.

Com objetivo de caracterizar e quantificar eventos extremos de precipitação foram criados índices para tais análises. O Índice de Precipitação Normalizada (SPI) proposto por

Mckee *et al.* (1993), utilizado para quantificar o déficit de precipitação em várias escalas de tempo. O SPI é calculado como sendo a diferença da precipitação observada menos a média do intervalo de tempo específico, dividida pelo desvio padrão, de acordo com a equação de Santos *et al.* (2017):

$$SPI = ZI = \frac{Pi - \bar{P}_t}{\sigma_i}$$

Onde:  $P_i$  é Precipitação mensal do Período,  $\bar{P}_t$  é a Precipitação média do período em questão e  $\sigma_i$  é o Desvio padrão da série histórica de precipitação

Tabela 02 – Estações Meteorológicas e suas regiões homogêneas de precipitação

Região Homogênea de Precipitação	Estação	Código Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
R1	Turiaçu	245007	-2,50472	-45,78417	30,00
	São Luís	82280	-2,52694	-44,21305	56,00
R2	Chapadinha	82382	-3,73000	-43,35000	103,50
R3	Carolina	74700	-7,32310	-47,46440	148,00
	Alto Parnaíba	84500	-9,11310	-45,92610	280,00
	Balsas	82768	-7,53000	-46,03000	259,38
R4	Bacabal	82460	-4,21000	-44,76000	25,07
R5	Zé Doca	82376	-3,26000	-45,65000	45,28
R6	Imperatriz	82564	-5,53000	-47,48000	123,30
R7	Barra do Corda	82571	-5,50000	-45,23000	153,00
R8	Colinas	82676	-6,03000	-44,25000	179,75
R9	Caxias	82476	-4,86000	-43,35000	103,56
R10	Barão do Grajaú	64301	-6,61000	-43,40110	108,00

Fonte: AUTOR, 2021.

Feito o cálculo do SPI, a precipitação total mensal para um período de tempo específico recebeu um valor adimensional correspondente a uma classe, onde os valores de SPI positivos significam que ocorreu uma superioridade em relação à média de precipitação. Valores iguais a 0 correspondem a precipitação média, e a variação da saída do 0 é uma medida de probabilidade que indica a intensidade de ocorrência de um evento seco ou chuvoso, que poderá ser usado para avaliação de risco. A tabela 03 a seguir mostra as categorias de SPI de acordo com McKee *et al.* (1993).

Tabela 03 - Classificação dos períodos secos e chuvosos

<b>VALORES DE SPI</b>	<b>Classes</b>
SPI $\leq$ -2.00	Seca Extrema
SPI $>$ -2.00 & SPI $\leq$ -1.50	Seca Severa
SPI $>$ -1.50 & SPI $\leq$ -1.00	Seca Moderada
SPI $>$ -1.00 & SPI $\leq$ -0.50	Seca Leve
SPI $>$ -0.50 & SPI $\leq$ 0.50	Quase Normal
SPI $>$ 0.50 & SPI $\leq$ 1.00	Chuva Leve
SPI $>$ 1.00 & SPI $\leq$ 1.50	Chuva Moderada
SPI $>$ 1.50 & SPI $\leq$ 2.00	Chuva Severa
SPI $>$ 2.00	Chuva Extrema

Fonte: AUTOR, 2021. Modificado de Mckee *et al.* (1993)

### 3.4 Análise Rítmica

A análise rítmica foi realizada com objetivo de se identificar a origem dos sistemas atmosféricos que atuaram em eventos extremos selecionados de acordo com danos causados à população do município de São Luís (MA). Para esta análise, utilizou-se dados de precipitação pluviométrica, Temperatura do ar mínima, média e máxima, Umidade Instantânea do ar e Pressão Instantânea do ar.

Optou-se por analisar o intervalo compreendido entre os meses de março e abril dos anos de 2018 à 2020, pois no estado do Maranhão houve um grande registro na mídia de inúmeros transtornos para a população, gerando uma necessidade para identificar as gêneses das causas atuantes nesses eventos.

Para a realização da análise rítmica dos sistemas atmosféricos no período proposto foram utilizadas cartas sinóticas disponibilizadas no site da Marinha do Brasil e as cartas de superfície disponibilizadas no site do Instituto nacional de Pesquisas Espaciais.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, serão apresentados os resultados da aplicação do Índice de Precipitação Normalizada SPI e Análise Rítmica.

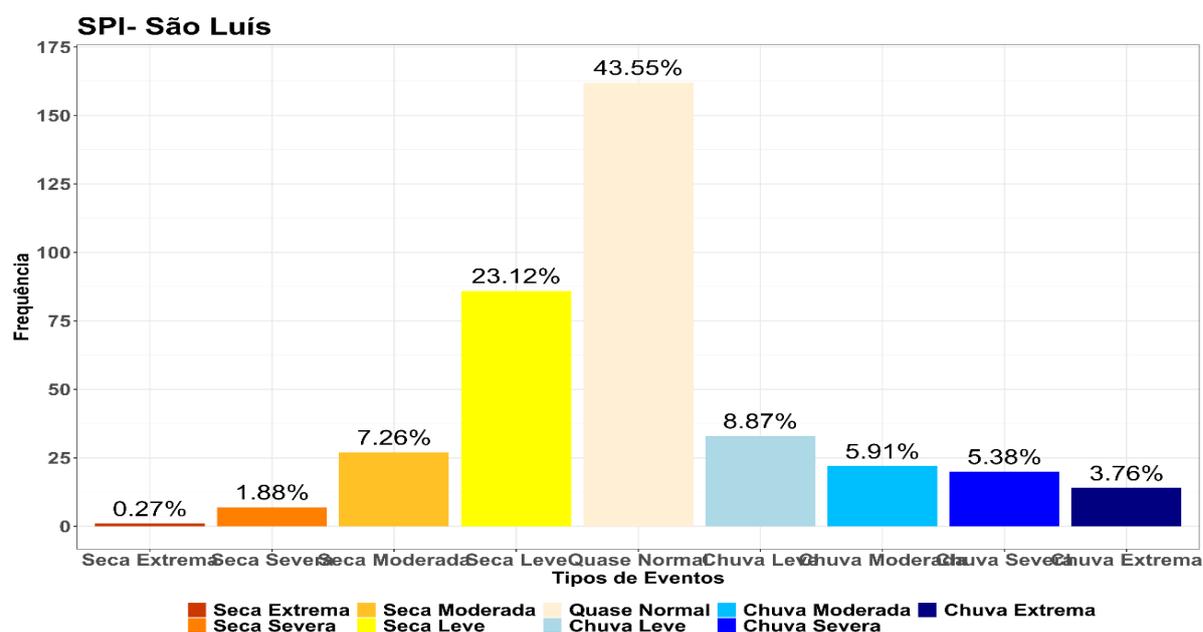
### 4.1 Aplicação do Índice de Precipitação Normalizada - SPI

Através da quantificação e caracterização dos eventos extremos de precipitação para o estado do Maranhão através do Índice de Precipitação Normalizada (SPI), foi possível observar que em todas as séries analisadas, os eventos de seca foram mais frequentes, em média, 32,59%. Já os eventos de chuva apresentaram em média, 23,04%, destacando que o estado do Maranhão apresenta, em média, mais eventos de seca que eventos de chuva.

#### 4.1.1 Região (R1)

Na análise de distribuição de frequência do SPI para a região 01 (Gráfico 01) onde está situado a estação pluviométrica de São Luís, observou-se 01 evento de seca extrema, 07 eventos de seca severa, 27 eventos de seca moderada e 84 eventos de seca leve, totalizando 119 eventos, que correspondem a 32,53% dos eventos. Na distribuição de eventos de chuva foi possível observar 60 eventos de chuva leve, 40 eventos de chuva moderada, 36 eventos de chuva severa e 25 eventos de chuva extrema, que juntos correspondem a 23,92% dos eventos.

Gráfico 01 - Distribuição de frequência SPI para Região R1 (São Luís).



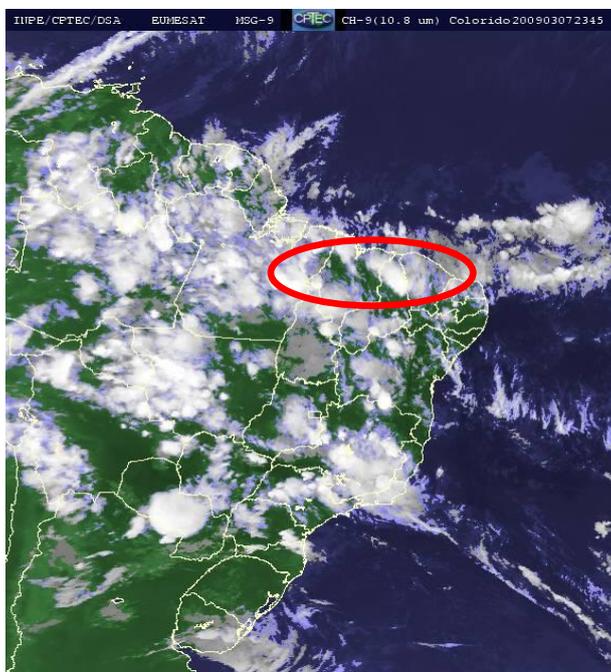
Fonte: AUTOR, 2021.

O período mais longo de seca para a região de São Luís ocorreu no ano de 1992. Este período associa-se a fase quente da Oscilação Decenal do Pacífico (ODP), o que ocasionou a redução da precipitação (MOLION, 2005; PRESTES *et al.* 2010). Além da ODP, este período associou-se também a eventos de El Niño, o que reduziu a precipitação causando anomalias negativas de precipitação (COSTA E DA SILVA 2015; DA SILVA *et al.*, 2012).

O maior período sequencial de chuvas ocorreu no ano de 2009, seguido de 2019, onde verificou-se no primeiro trimestre de 2009 a prevalência de anos de La Niña (ANDREOLI E KAYANO, 2005).

Os eventos de chuva extrema para São Luís (R1) ocorreram nos anos de 2009 e 2000, em que os valores de SPI ( $>2,0$ ) foram superiores a 3,5. Esses valores extremos de SPI podem ser explicados devido à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (BARROS; OYAMA, 2010; REBOITA *et al.*, 2010) que atuou sobre o estado nessa época (AUDIVAN *et al.*, 2020), destacando que o sistema é o principal causador de chuvas na região, e geralmente trás diversos problemas para o município, tais como enchentes, alagamentos de ruas, deslizamentos de terra, interrupção de energia elétrica e outros (Figura 05).

Figura 05 – Imagem do Satélite Meteosat do dia 06-05-2009.

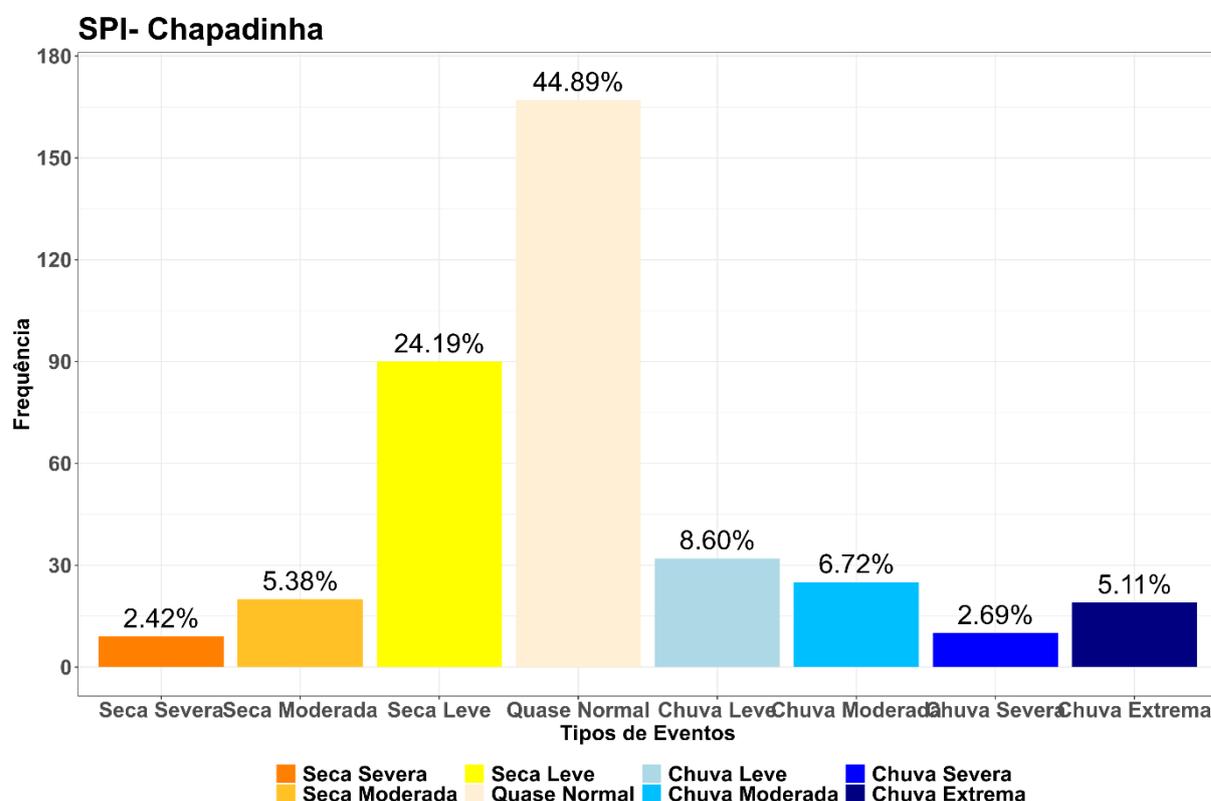


Fonte: CPTEC, 2009.

#### 4.1.2 Região (R2)

Para a distribuição de frequência SPI na região R2 (Gráfico 02) onde se situa a estação pluviométrica de Chapadinha, não houve episódios de seca extrema. Observou-se 09 ocorrências de seca severa, 20 eventos de seca moderada e 89 eventos de seca leve, totalizando 118 eventos, que correspondem a 31,99% dos eventos. Já na distribuição de ocorrências de chuva foi possível observar 32 eventos de chuva leve, 25 eventos de chuva moderada, 10 eventos de chuva severa e 19 eventos de chuva extrema, que juntos correspondem a 23,12% dos eventos.

Gráfico 02 - Distribuição de frequência SPI para Região R2 (Chapadinha).



Fonte: AUTOR, 2021.

O período mais longo de seca para a região R2 ocorreu no ano de 2015. Isso pode ser explicado devido a eventos de ENOS que durou todo o ano de 2015 e que ocasionaram a redução das chuvas (PRESTES *et al.*, 2010), (DA SILVA *et al.*, 2012), (COSTA E DA SILVA, 2015). O maior período sequencial de chuvas verificou-se semelhante a São Luís no ano de 2009 devido a fase de La Niña (ANDREOLI E KAYANO, 2005).

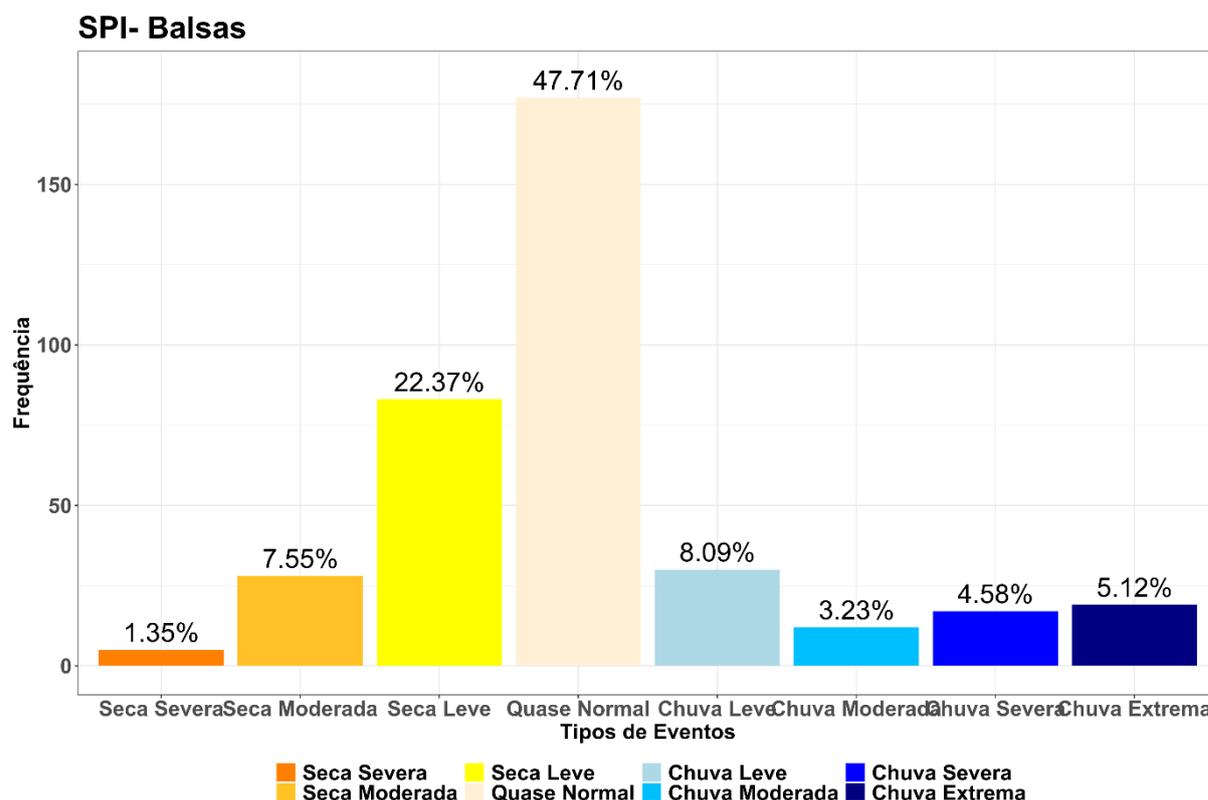
Já as chuvas extremas na região R2 ocorreram nos anos de 2009 e 2000 mostrando valores de SPI (>2,0) maiores que 5,0, que podem ser explicados devido a ZCIT que atuou de

maneira intensa nos referidos anos na Região. 2019 também foi um ano com chuvas intensas, com acumulado anual de 2099,2 mm, o que foi acima da média para a região.

#### 4.1.3 Região (R3)

Para a distribuição de frequência SPI na região R3 (Gráfico 03) em que se situa a estação pluviométrica de Balsas, foi possível observar 5 eventos de seca severa, 29 eventos de seca moderada e 87 eventos de seca leve, que totalizam 121 eventos de seca (32%) dos eventos para a região. Já para os eventos de chuva observou-se 32 eventos de chuva leve, 12 eventos de chuva moderada, 18 eventos de chuva severa e 20 eventos de chuva extrema, totalizando 82 eventos de chuva (21,02% dos eventos) para a região de Balsas.

Gráfico 03 - Distribuição de frequência SPI para Região R3 (Balsas).



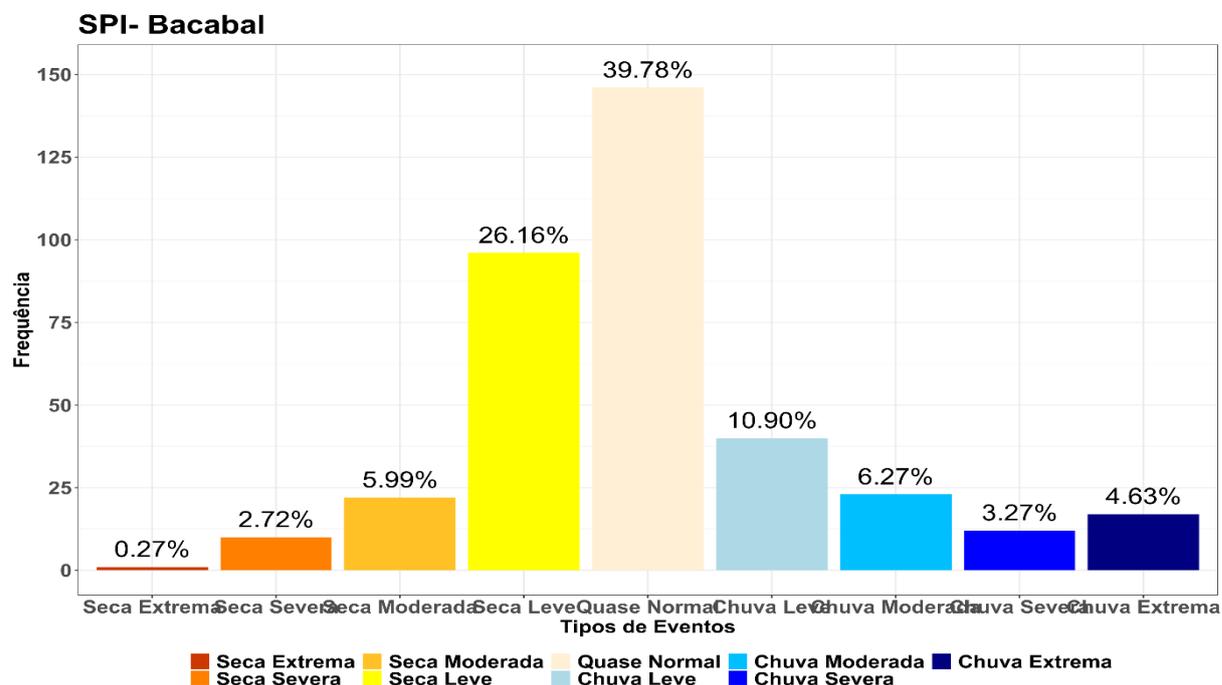
O maior período sequencial de chuvas foi nos anos de 2006, 2008 e 2009 principalmente nos meses de novembro a maio. De acordo com Januario *et al.* (2018), a estação chuvosa da região começa quando o total decenal de chuva for maior que a metade da evapotranspiração potencial, que começa no terceiro decêndio de outubro, e quando o total decenal de chuva for menor que a metade da evapotranspiração potencial, termina a estação

chuvosa, que é no primeiro decêndio de maio. Além disso, nesse período houve La Niña atuando na região. O período mais longo de seca para a região R3 ocorreu no ano de 2012. Isso pode ser explicado devido a eventos de El Niño, que ocorreram todo o ano de 2015 e que ocasionaram a redução das chuvas (PRESTES *et al.*, 2010; DA SIVA *et al.*, 2012; COSTA E DA SILVA, 2015).

#### 4.1.4 Região (R4)

A distribuição de frequência SPI na região R4 (Gráfico 04) onde se situa a estação pluviométrica de Bacabal, demonstrou 1 evento de seca extrema, 10 eventos de seca severa, 22 eventos de seca moderada e 98 eventos de seca leve, totalizando 131 eventos de seca (35,14%) dos eventos para a região. Em relação aos eventos de chuva foi possível observar 41 eventos de chuva leve, 23 eventos de chuva moderada, 12 eventos de chuva severa e 17 eventos de chuva extrema, totalizando 82 eventos de chuva (25,07% dos eventos) para a região de Bacabal.

Gráfico 04 - Distribuição de frequência SPI para Região R4 (Bacabal).



Fonte: AUTOR, 2021.

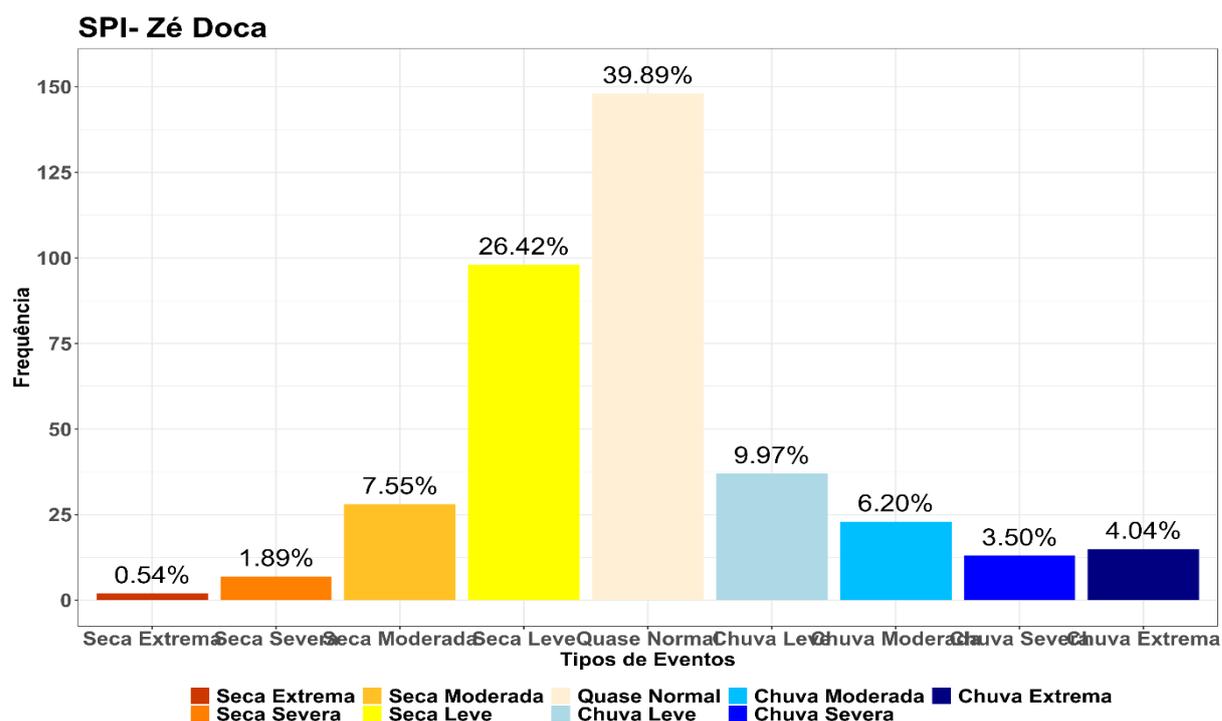
Em Bacabal, o maior período sequencial de chuvas foi nos anos de 2008 e 2009 principalmente nos meses de janeiro a abril, eventos estes associados a La Niña. Já o período mais longo de seca ocorreu no ano de 2019, com pouca precipitação (281,2mm acumulado

anual), sem nenhuma precipitação nos meses de junho, julho e agosto. Neste ano, ocorreu El Niño até meados de julho, seguido de fase neutra do ENOS.

#### 4.1.5 Região (R5)

Através da distribuição de frequência SPI na região R5 (Gráfico 05) na estação pluviométrica de Zé Doca, foi possível observar 02 eventos de seca extrema, 07 eventos de seca severa, 28 eventos de seca moderada e 99 eventos de seca leve, totalizando 136 eventos de seca (36,40%) dos eventos para a região. Já para os eventos de chuva foi possível observar 37 eventos de chuva leve, 23 eventos de chuva moderada, 13 eventos de chuva severa e 15 eventos de chuva extrema, totalizando 88 eventos de chuva (23,71% dos eventos) para a região de Zé Doca.

Gráfico 05 - Distribuição de frequência SPI para Região R5 (Zé Doca).

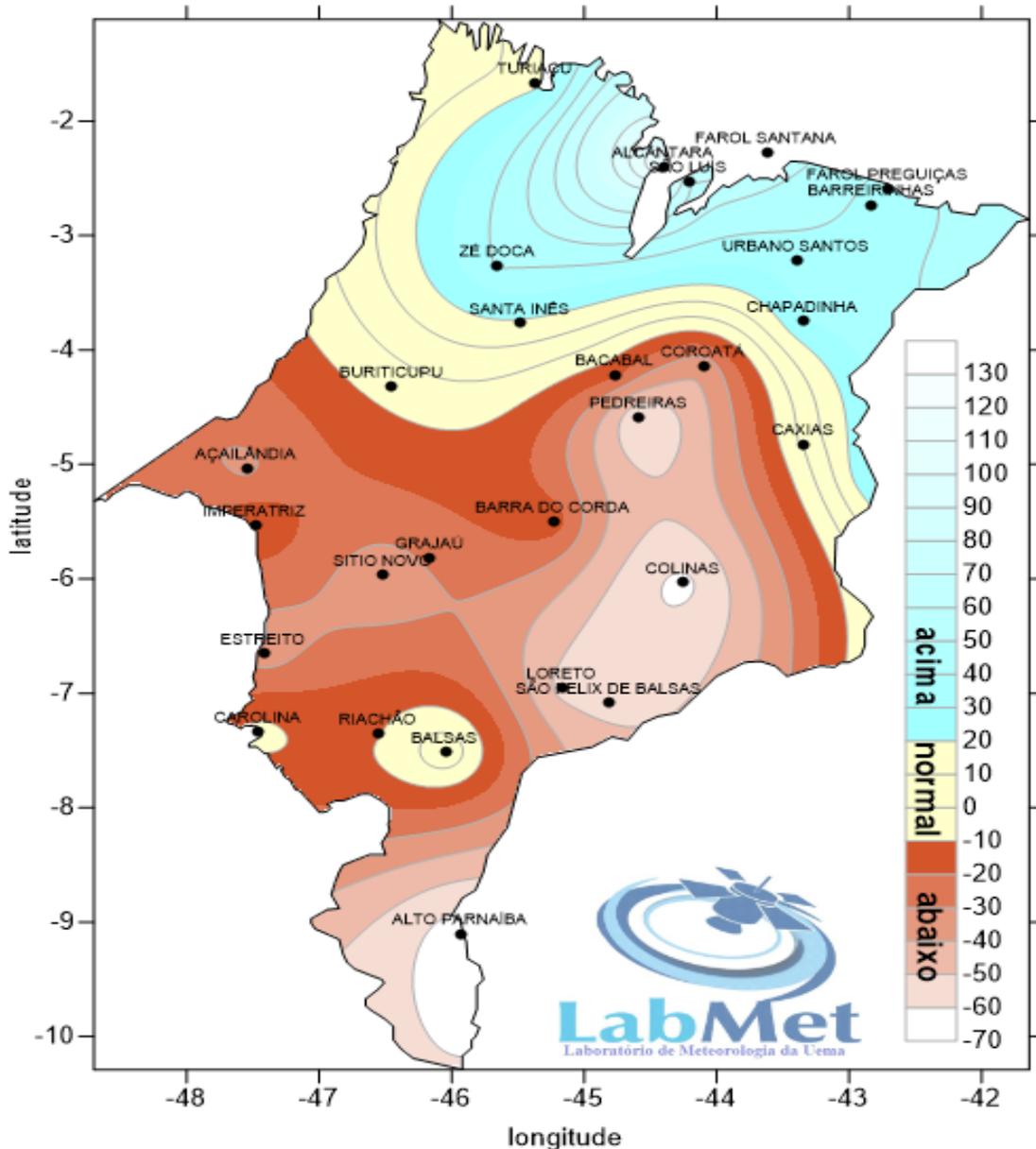


Fonte: AUTOR, 2021.

O maior período de chuvas na região R5 foi no ano de 2019, com acumulado anual de 2369,4mm, principalmente em janeiro e fevereiro. De acordo com o Laboratório de Meteorologia da UEMA (NuGeo), o extremo norte do estado, onde se situa a região R5, ficou com chuvas acima do normal, muito por influência da atuação dos VCANs. Estes resultados corroboram com Santos et al. (2010), pois mencionam que a atuação dos VCANs e da ZCIT

são determinantes para o desenvolvimento de precipitações intensas e ocorrência de inundações nos meses de janeiro a abril.

Figura 06 – Desvio (%) em torno da Normal das chuvas observadas em janeiro de 2019 no estado do Maranhão.



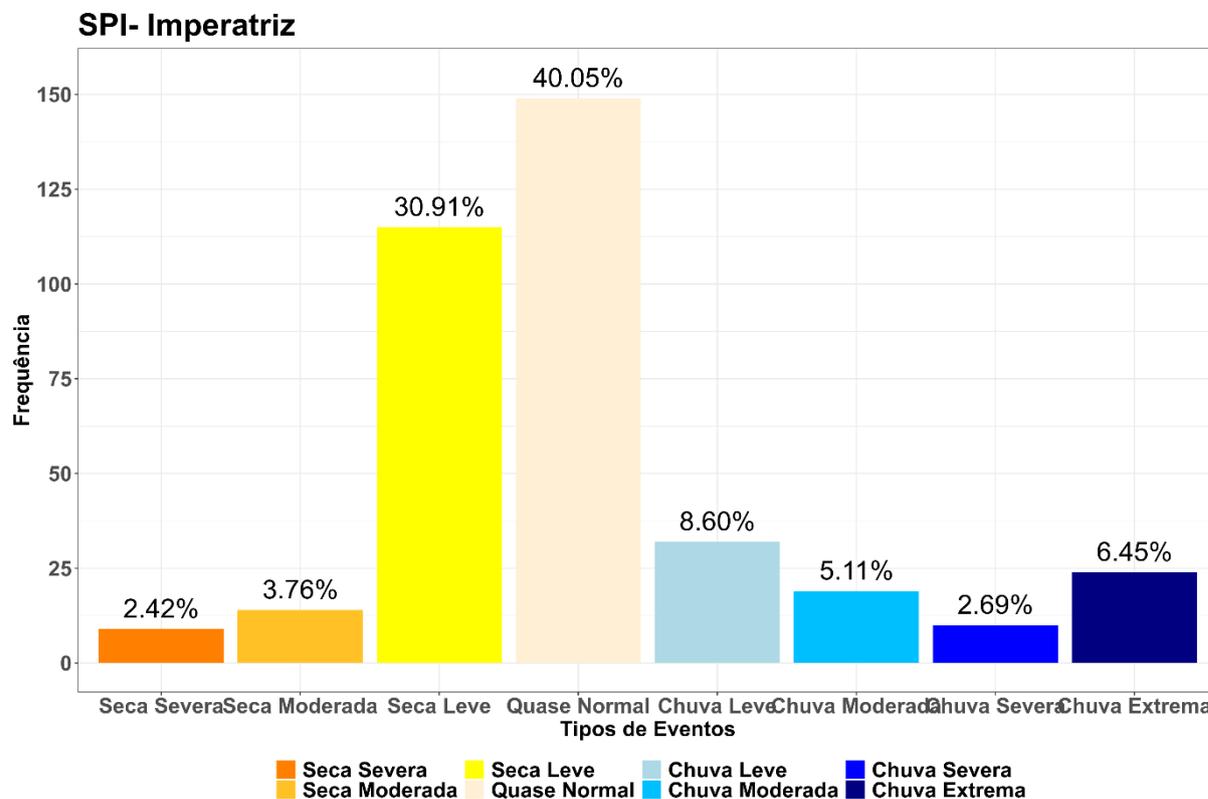
Fonte: LabMet (2019).

#### 4.1.6 Região (R6)

Para a distribuição de frequência na região R6 (Gráfico 06) na estação pluviométrica em Imperatriz, observou-se 09 eventos de seca severa, 14 eventos de seca moderada e 116 eventos de seca leve, totalizando 139 eventos, que correspondem a 37,09% dos eventos para a região. Na distribuição de eventos de chuva foi possível observar 32 eventos de

chuva leve, 19 eventos de chuva moderada, 10 eventos de chuva severa e 25 eventos de chuva extrema, totalizando 86 eventos que correspondem a 22,85% dos eventos.

Gráfico 06 - Distribuição de frequência SPI para Região R6 (Imperatriz).



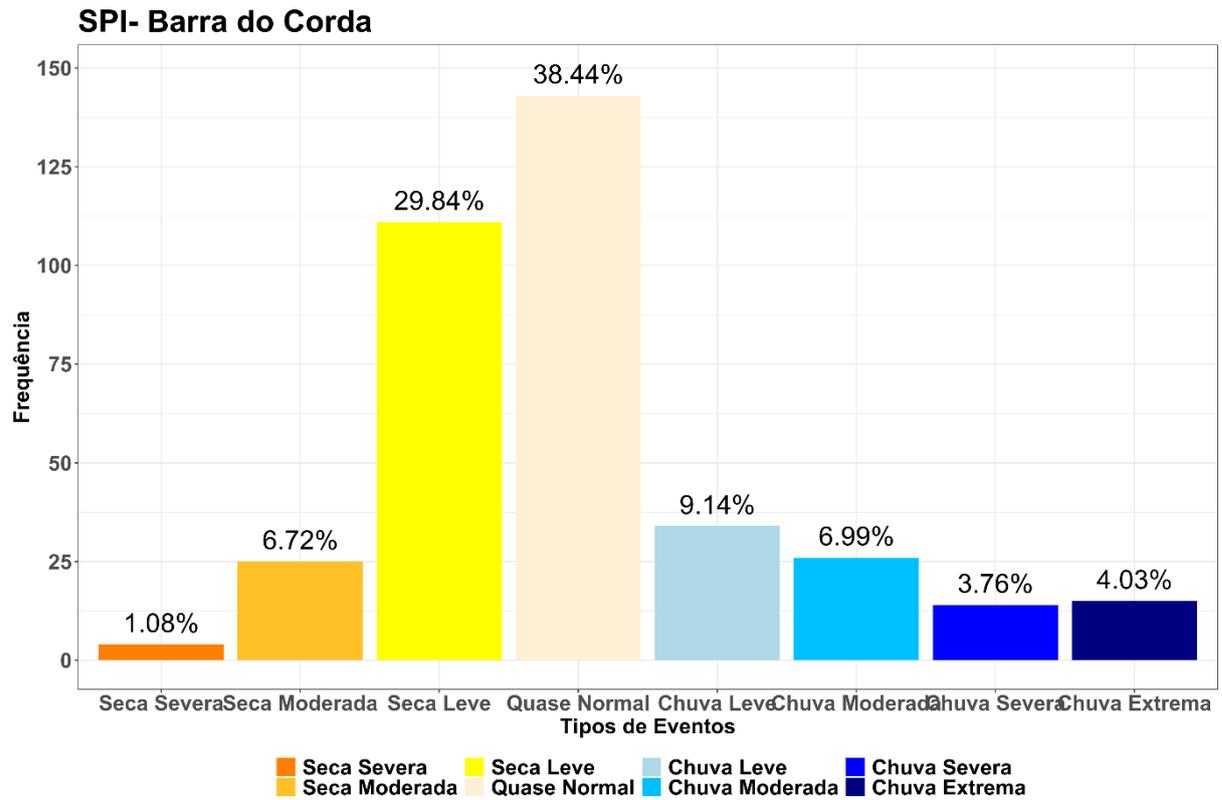
Fonte: AUTOR, 2021.

Para a região, o ano mais chuvoso no período estudado foi 2020, com chuvas acima da média, principalmente em março, com 905,2mm mensal e acumulado anual de 2266,4mm. De acordo com o Laboratório de Meteorologia da UEMA, a região registrou chuvas de normal a acima do normal em março de 2020, destacando Imperatriz, que apresentou os maiores desvios de precipitação, ficando com chuvas 130% acima do normal, devido a atuação da ZCIT.

#### 4.1.7 Região (R7)

Para a distribuição de frequência SPI (Gráfico 07) na estação pluviométrica situada em Barra do Corda, observou-se 04 eventos de seca severa, 22 eventos de seca moderada e 99 eventos de seca leve, totalizando 125 eventos, que correspondem a 37,64% dos eventos para a região. Na distribuição de eventos de chuva foi possível observar 30 eventos de chuva leve, 23 eventos de chuva moderada, 13 eventos de chuva severa e 13 eventos de chuva extrema, que totalizam 79 eventos e correspondem a 23,92% dos eventos.

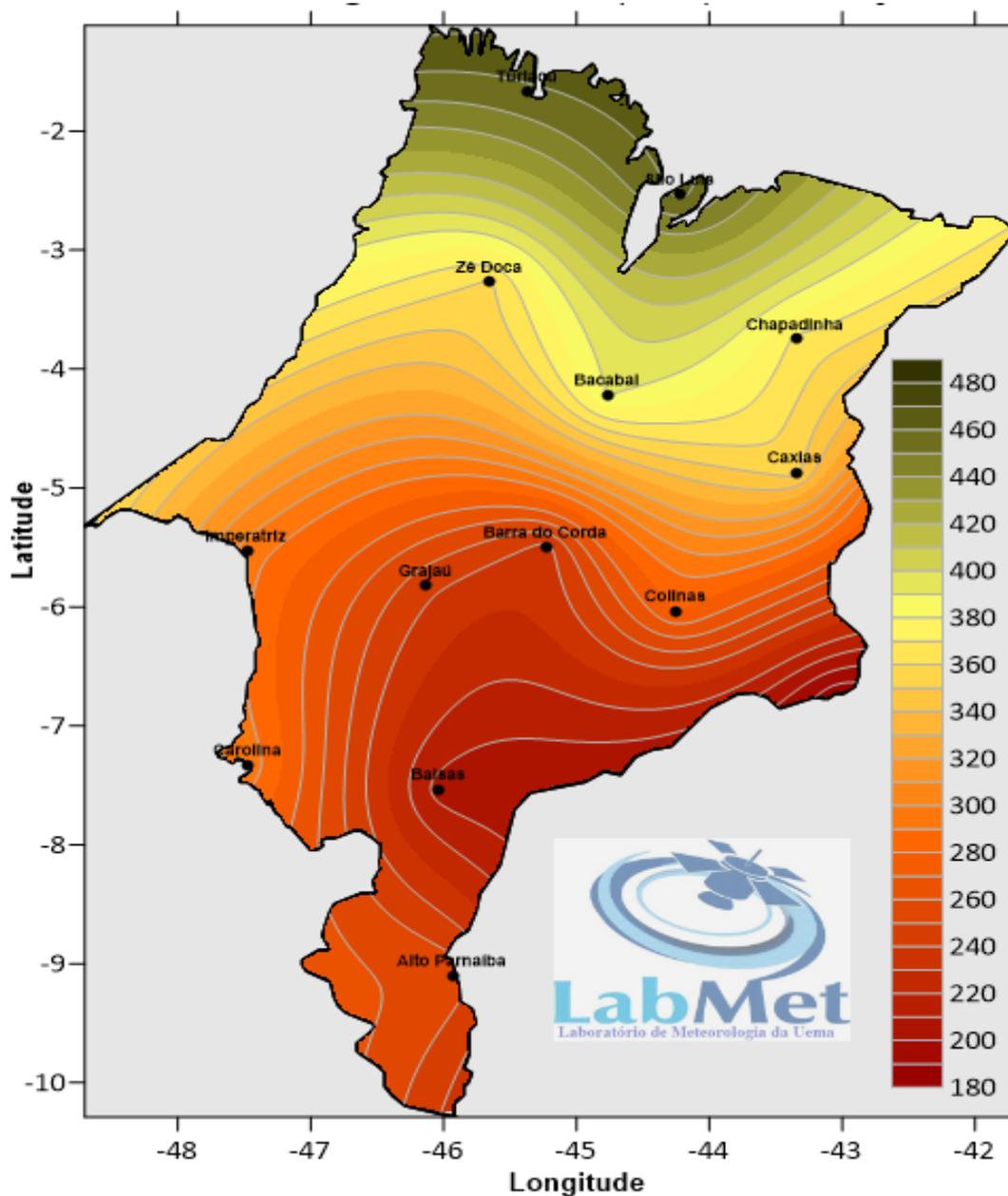
Gráfico 07 - Distribuição de frequência SPI para Região R7 (Barra do Corda).



Fonte: AUTOR, 2021.

O ano mais chuvoso para a Região R7 foi em 2009 e 2019, e isso se deve a forte atuação do La Niña no estado do Maranhão. Já o período mais seco foi em 1990, sendo este em fase Neutra de ENOS. Barra do Corda é, das regiões estudadas, a que apresentou o maior percentual de eventos de seca do período estudado (37,64%), e, normalmente seus valores acumulados anuais de precipitação abaixo de 1600mm e mensal. Segundo o Laboratório de Meteorologia (LabMet) da UEMA, a parte mais central e sudeste do estado é a região que normalmente apresenta os menores valores de precipitação, com valores inferiores a 200 mm (Figura 07).

Figura 07 – Climatologia da chuva (em mm) no estado do Maranhão.

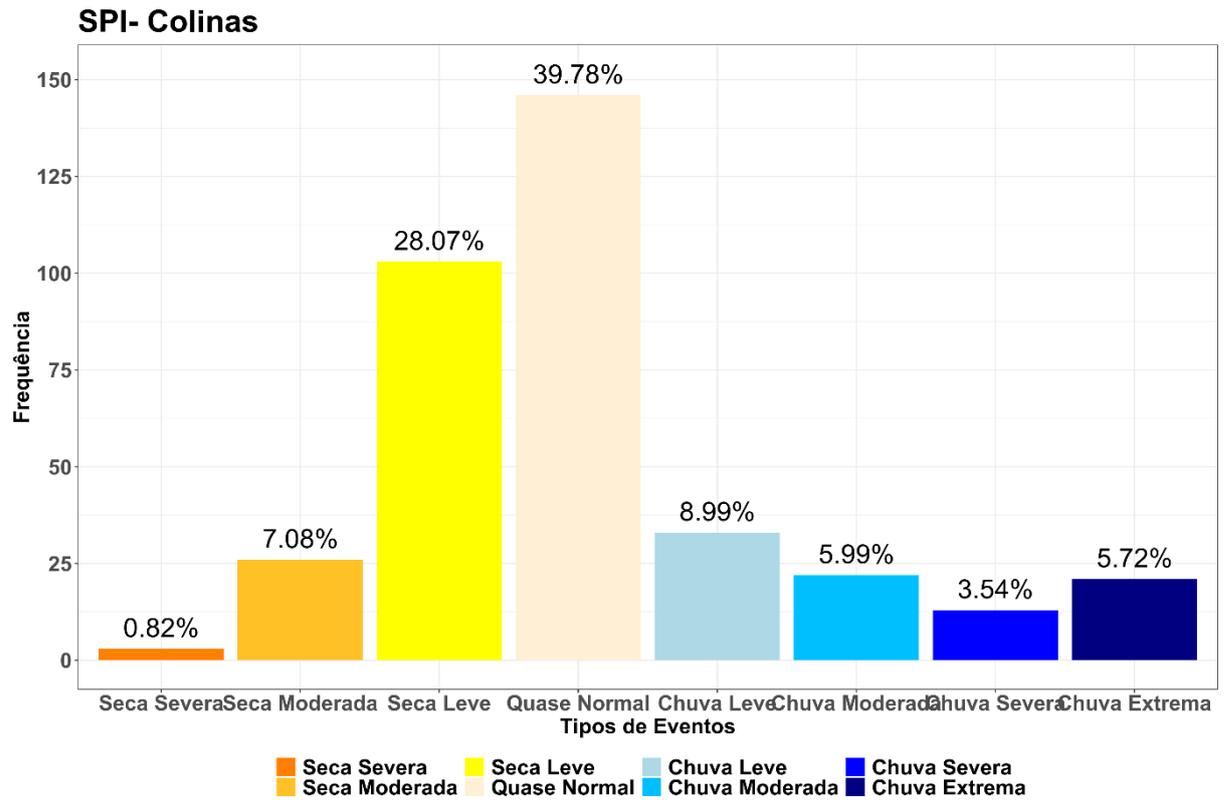


Fonte: LabMet (2020).

#### 4.1.8 Região (R8)

Na distribuição de frequência SPI na região R8 (Gráfico 08), situada na estação pluviométrica em Colinas, foi possível observar 03 eventos de seca severa, 24 eventos de seca moderada e 94 eventos de seca leve, totalizando 121 eventos, que correspondem a 35,97% dos eventos para a região. Na distribuição de eventos de chuva foi possível observar 30 eventos de chuva leve, 20 eventos de chuva moderada, 12 eventos de chuva severa e 19 eventos de chuva extrema, totalizando 81 eventos e correspondem a 24,24% dos eventos.

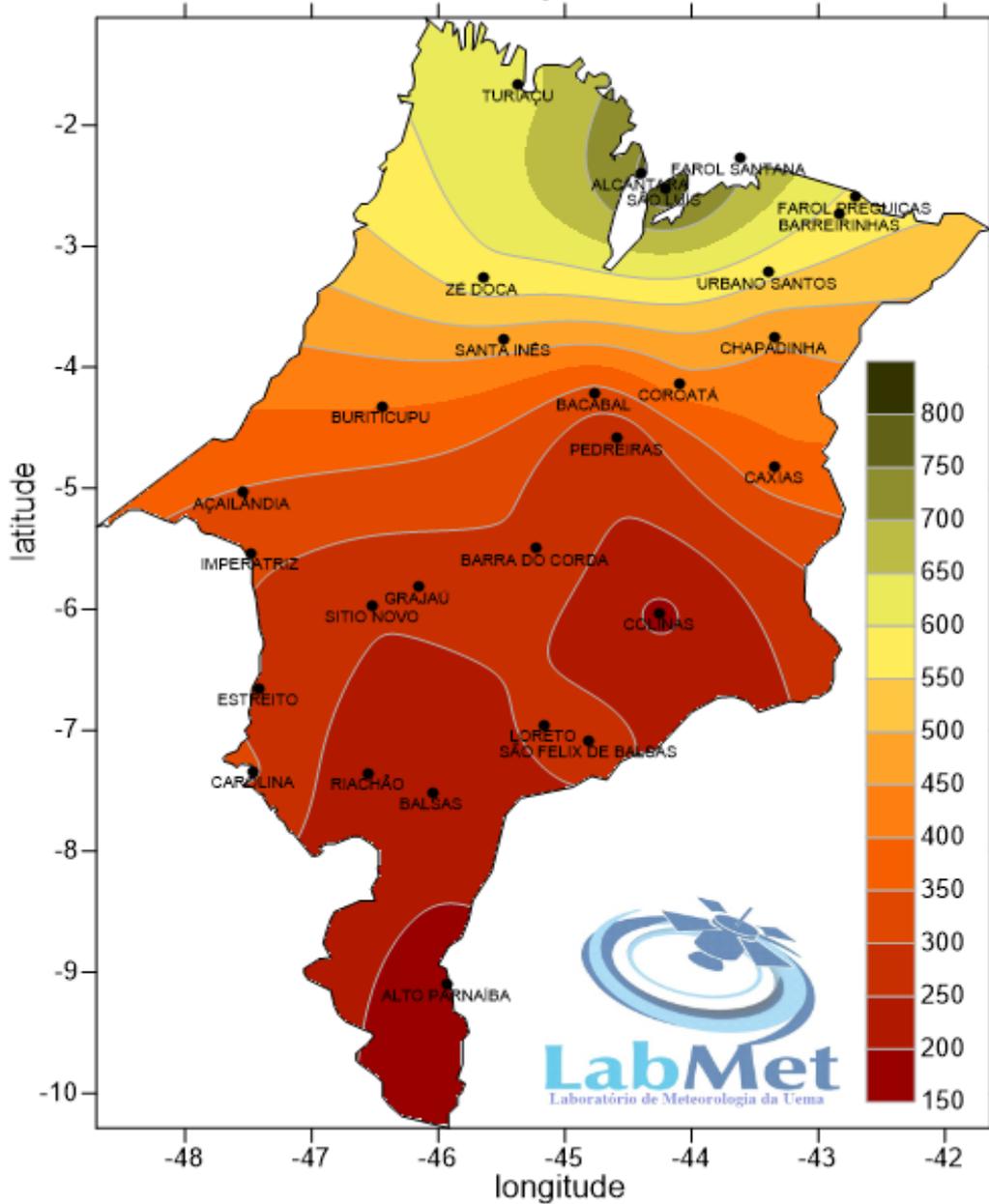
Gráfico 08 - Distribuição de frequência SPI para Região R8 (Colinas).



Fonte: AUTOR, 2021.

Para a região de Colinas, o ano mais chuvoso no período estudado foi 2009, com chuvas acima da média, principalmente nos meses de março e abril. Já o ano menos chuvoso foi em 2019 (Figura 08), onde é possível observar que, apesar do período chuvoso da região, o mês de março apresentou chuvas abaixo da média, em torno de 150mm mensal.

Figura 08 – Precipitação pluviométrica (mm) acumulada em março de 2019 no estado do Maranhão.



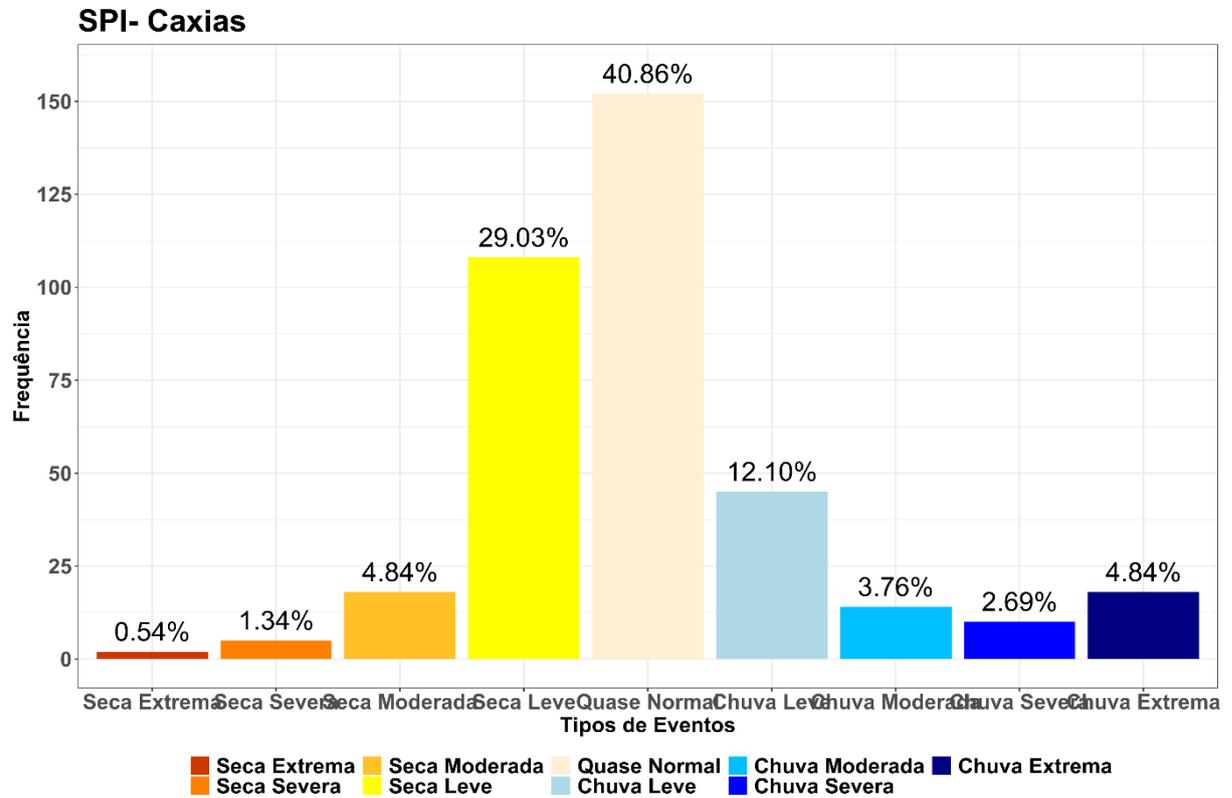
Fonte: LabMet (2019).

#### 4.1.9 Região (R9)

Na distribuição de frequência SPI para a região R9 (Gráfico 09) onde se situa o município de Caxias, foi possível observar 02 eventos de seca extrema, 05 eventos de seca severa, 18 eventos de seca moderada e 109 eventos de seca leve, totalizando 134 eventos, que correspondem a 35,78% dos eventos para a região. Já na distribuição de eventos de chuva foi possível observar 45 eventos de chuva leve, 14 eventos de chuva moderada, 10 eventos de

chuva severa e 18 eventos de chuva extrema, totalizando 87 eventos e correspondem a 23,39% dos eventos.

Gráfico 09 - Distribuição de frequência SPI para Região R9 (Caxias).



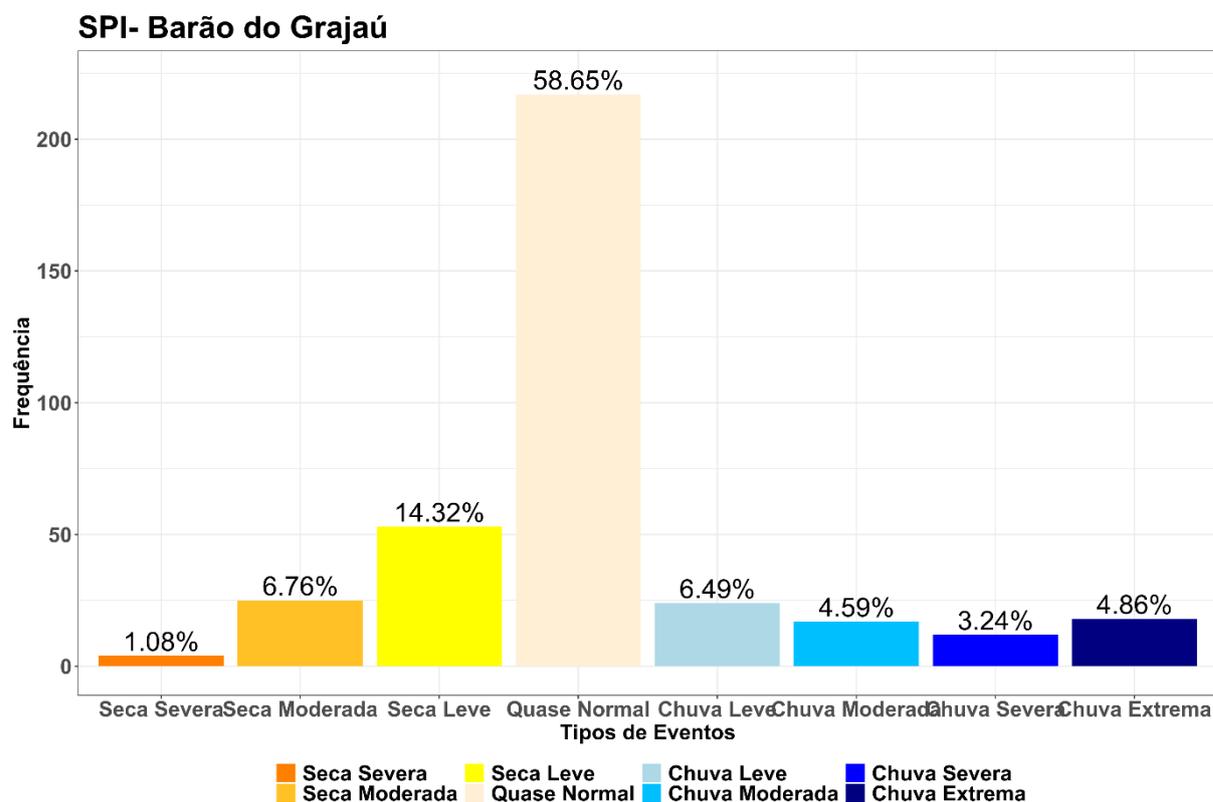
Fonte: AUTOR, 2021.

Os anos mais chuvosos para a região de Caxias foram em 2009 e 2018, respectivamente. Essas chuvas devem-se à fase de La Niña, que atuou na região nos respectivos anos. Já o ano mais seco foi em 1992, onde o El Niño intenso mudava suavemente para fase neutra, o que explica a pouca incidência de chuvas no ano.

#### 4.1.10 Região (R10)

A distribuição de frequência SPI para a região R10 (Gráfico 10) onde se situa o município de Barão do Grajaú, foi possível observar 04 eventos de seca severa, 27 eventos de seca moderada e 57 eventos de seca leve, totalizando 88 eventos, que correspondem a 22,16% dos eventos para a região. Já na distribuição de eventos de chuva foi possível observar 26 eventos de chuva leve, 18 eventos de chuva moderada, 13 eventos de chuva severa e 19 eventos de chuva extrema, totalizando 76 eventos e correspondem a 19,18% dos eventos.

Gráfico 10 - Distribuição de frequência SPI para Região R10 (Barão do Grajaú).



Fonte: AUTOR, 2021.

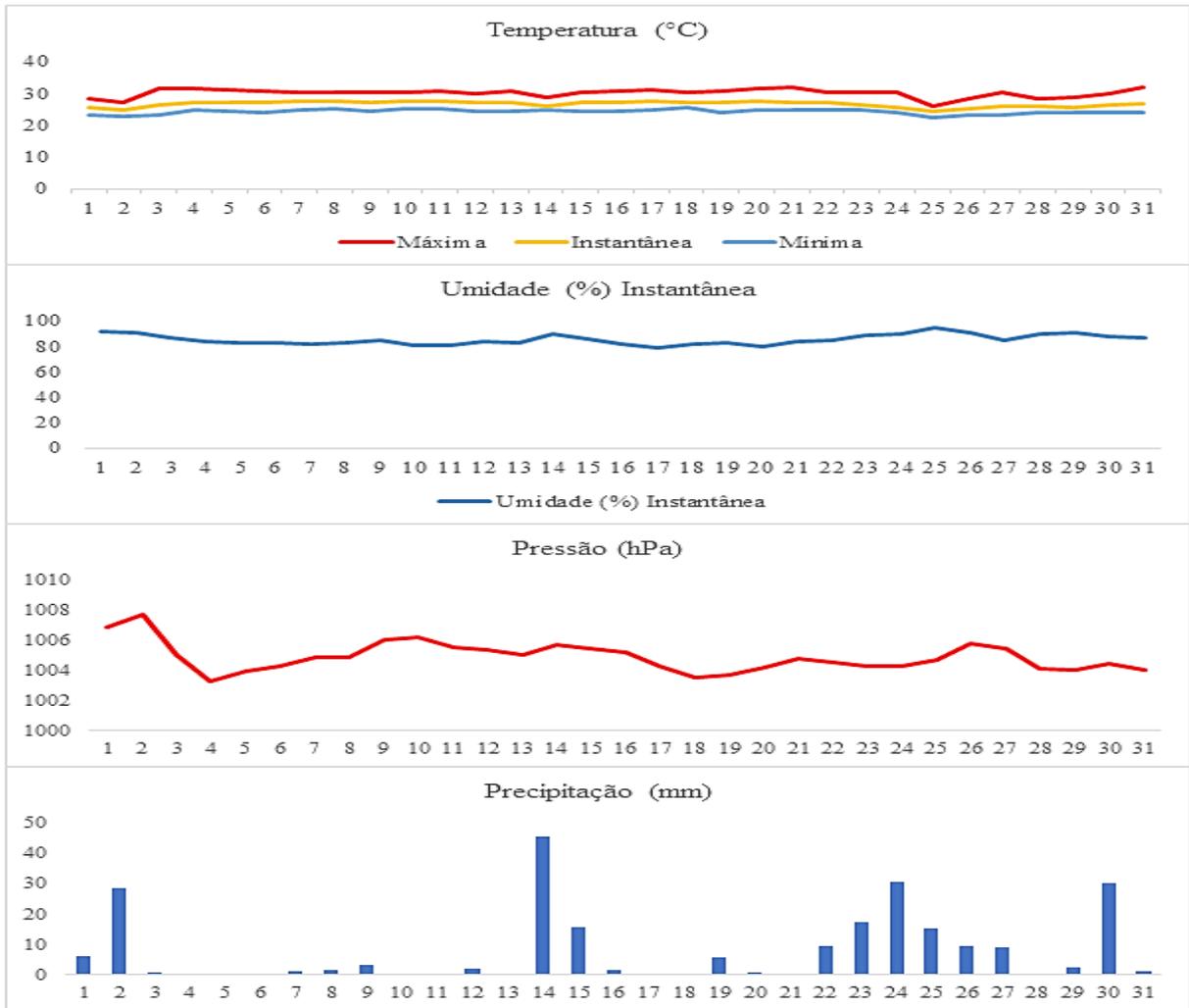
Para a região, os anos mais chuvosos para a região de Caxias foram em 2006 e 2011, respectivamente. Essas chuvas devem-se à fase de La Niña, que atuou na região de forma intensa, principalmente no ano 2011. Já o ano mais seco foi em 2015, onde o El Niño atuou de forma intensa, explicando a pouca incidência de chuvas no ano.

## 4.2 Análise Rítmica

As análises rítmicas realizadas permitiram identificar quais sistemas atmosféricos atuaram nos períodos selecionados para sua realização. A divergência e a termodinâmica deixaram o tempo instável em grande no centro-norte do MA devido a intensidade da ZCIT que provocou bastante nebulosidade e pancadas de chuva, ao longo do dia 01 e 02 de março (Figura 09), o que justificou a precipitação acumulada de 28,2mm no dia 02 de março de 2018 em São Luís. Apesar da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) ter influenciado nas chuvas do Maranhão, a ZCIT predominou, causando bastante chuva também no dia 14 de março, com acumulado diário de 45,4 mm de precipitação. No dia 15 de março houve um VCAN atuando a leste do Maranhão. Este é um sistema de baixa pressão atmosférica, de escala sinótica, que se forma na média e alta troposfera, entre 5 e 13 quilômetros de altitude, e pode tanto inibir quanto

causar chuvas, que no caso, causou inibição das chuvas no dia 15 de março. A ZCIT também foi responsável por causar chuvas acentuadas nos dias 22 a 27 de março. No dia 30, A ZCIT e o VCAN influenciaram nas chuvas deste dia.

Figura 09 - Análise Rítmica para o mês de março de 2018 na região de São Luís.

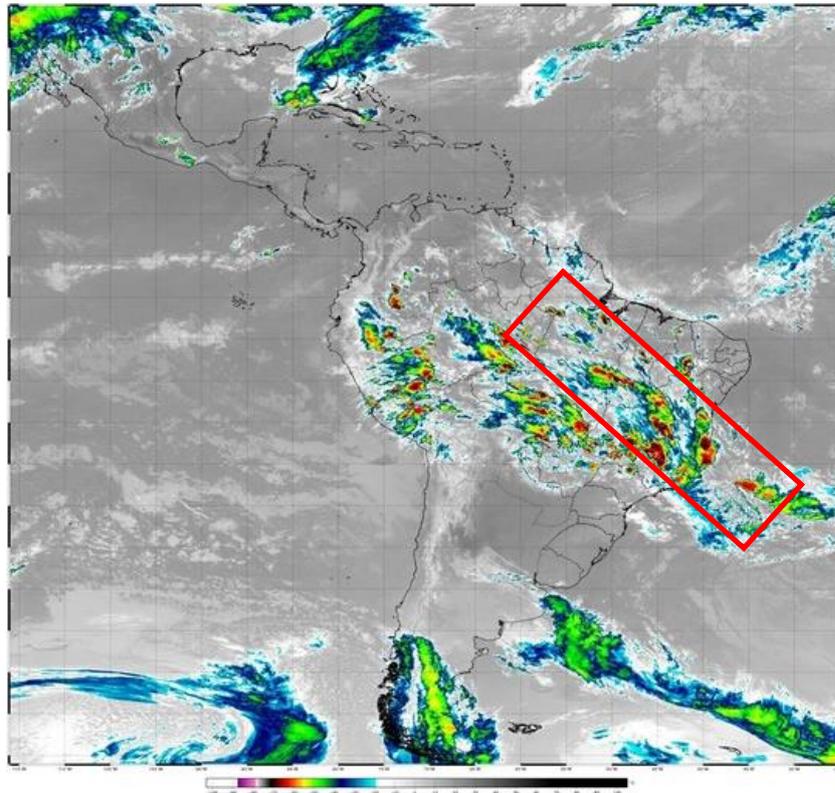


1	ZCIT	ZCAS	ZCAS	ZCIT	ZCIT	VCAN	VCAN									
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	VCAN	VCAN	ZCIT	VCAN	VCAN	VCAN	ZCIT									
2	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	

- 1 – Sistemas Atmosféricos
- 2 – Dias
- ZCIT – Zona de Convergência Intertropical
- ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul
- VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

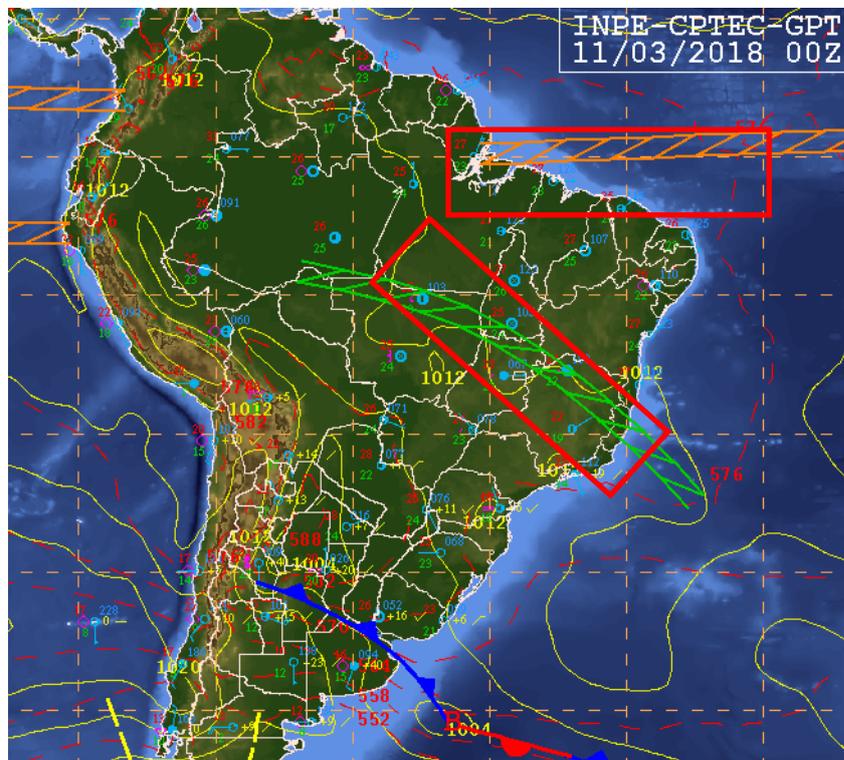
Fonte: AUTOR, 2021.

Figura 10 – Análise Sinótica do dia 11 de março de 2018.



Fonte: INPE, 2018.

Figura 11 - Imagem de superfície do dia 11 de março de 2018.

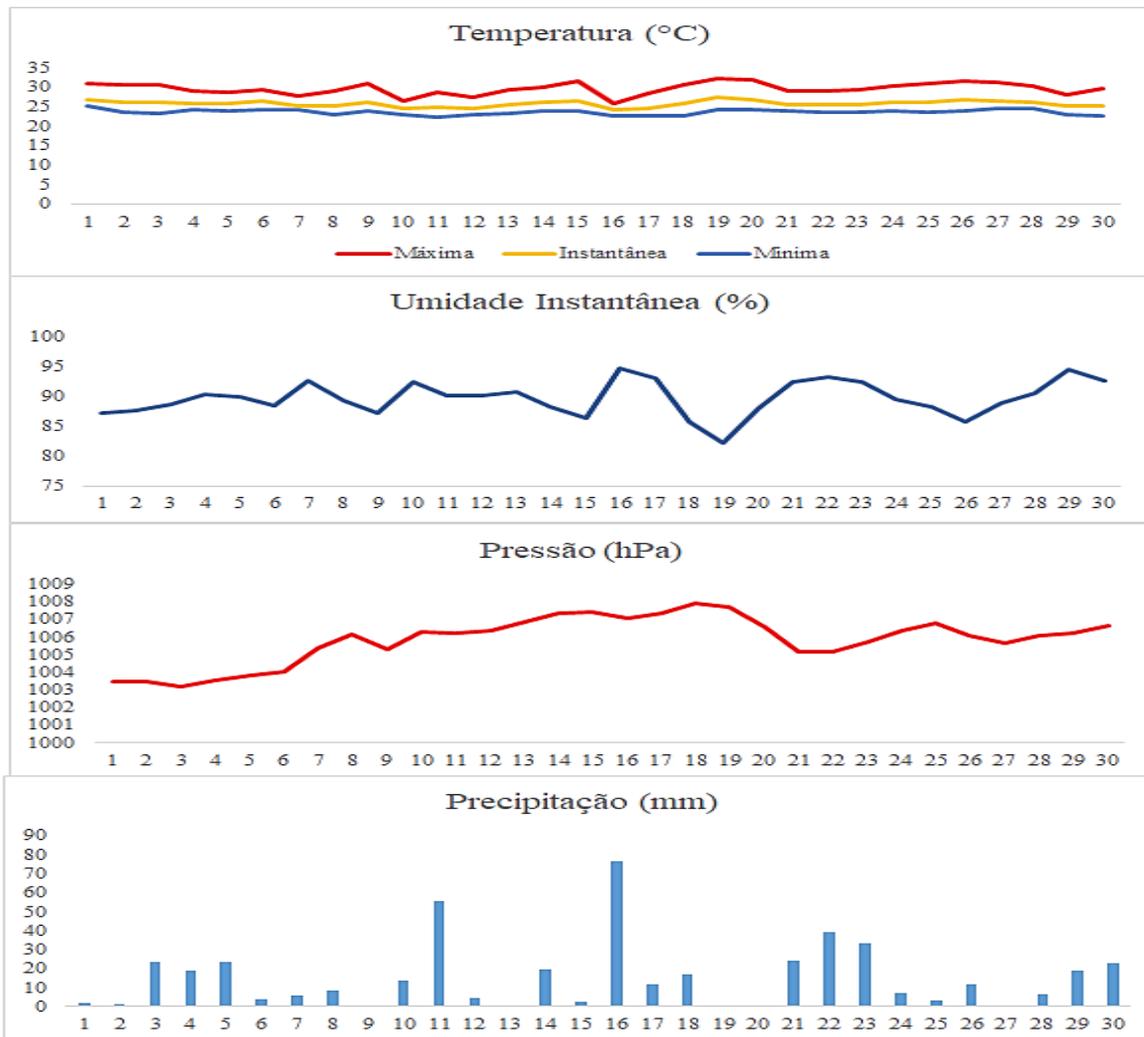


Fonte: INPE, 2018.

Apesar do posicionamento favorável da ZCIT mais ao sul da climatologia no mês de março, o que favoreceria a produção de chuvas em praticamente todo o estado, boa parte ficou com chuvas abaixo do normal. Isso aconteceu devido a atuação de fenômeno denominado oscilação de Madden Julian, que quando atua na fase negativa na região nordeste do Brasil, provoca inibição das chuvas. A Oscilação Madden Julian é um distúrbio atmosférico na região tropical que se inicia na região do oceano Índico e se propaga para leste com uma velocidade variando entre 14 e 29 km/h. Este fenômeno é conhecido como oscilação intrasazonal.

Para o mês de abril de 2018 (Figura 12), através das análises rítmicas foi possível observar que houve de um (VCAN) norte e parte leste do Nordeste. Essa difluência gerada pela interação dos escoamentos acima mencionados, combinada à termodinâmica contribui para a intensa atividade convectiva observada sobre grande parte da Região Norte e com menos intensidade em São Luís nos dias 16 e 17. No dia 23 de abril, houve grande quantidade de precipitação em São Luís (76,4 mm). Isto se deu em razão da atuação da ZCIT no estado. Ao longo do mês de abril de 2018 houveram vários episódios de chuva no Maranhão decorrentes da ZCIT e dos VCANs.

Figura 12 - Análise Rítmica para o mês de abril de 2018 na região de São Luís.



1	ZCIT														
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	VCAN	VCAN	ZCIT	ZCIT	ZCIT	ZCIT	ZCIT	ZCIT	VCAN	VCAN	ZCIT	ZCIT	ZCIT	ZCIT	ZCIT
2	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

1 – Sistemas Atmosféricos

2 – Dias

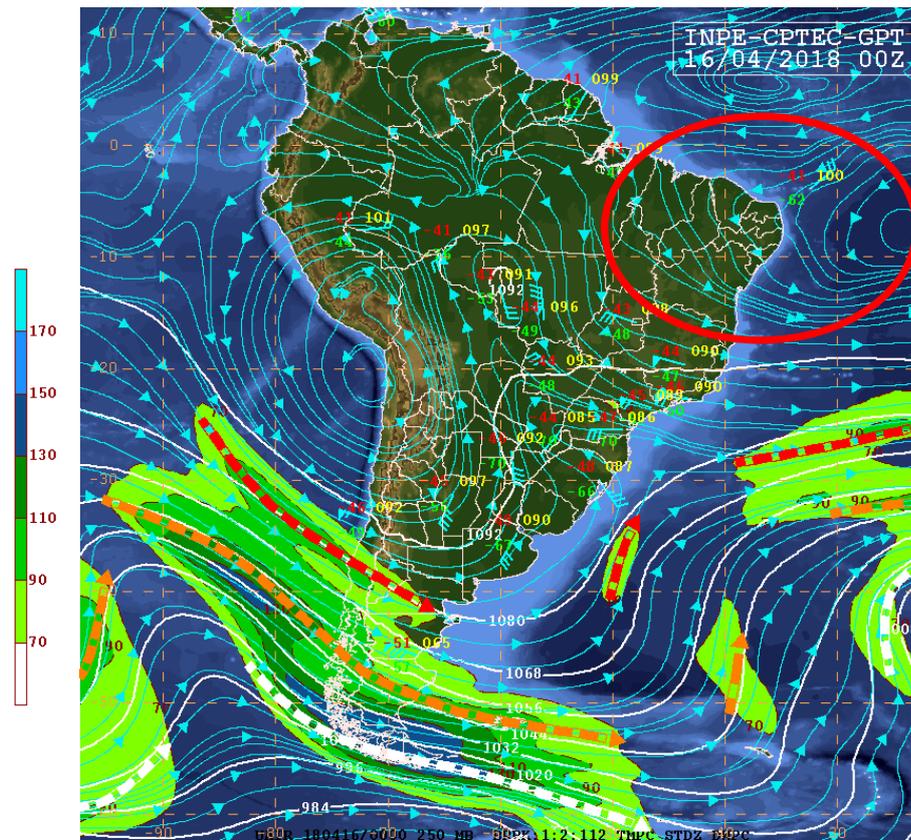
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

Fonte: AUTOR, 2021.

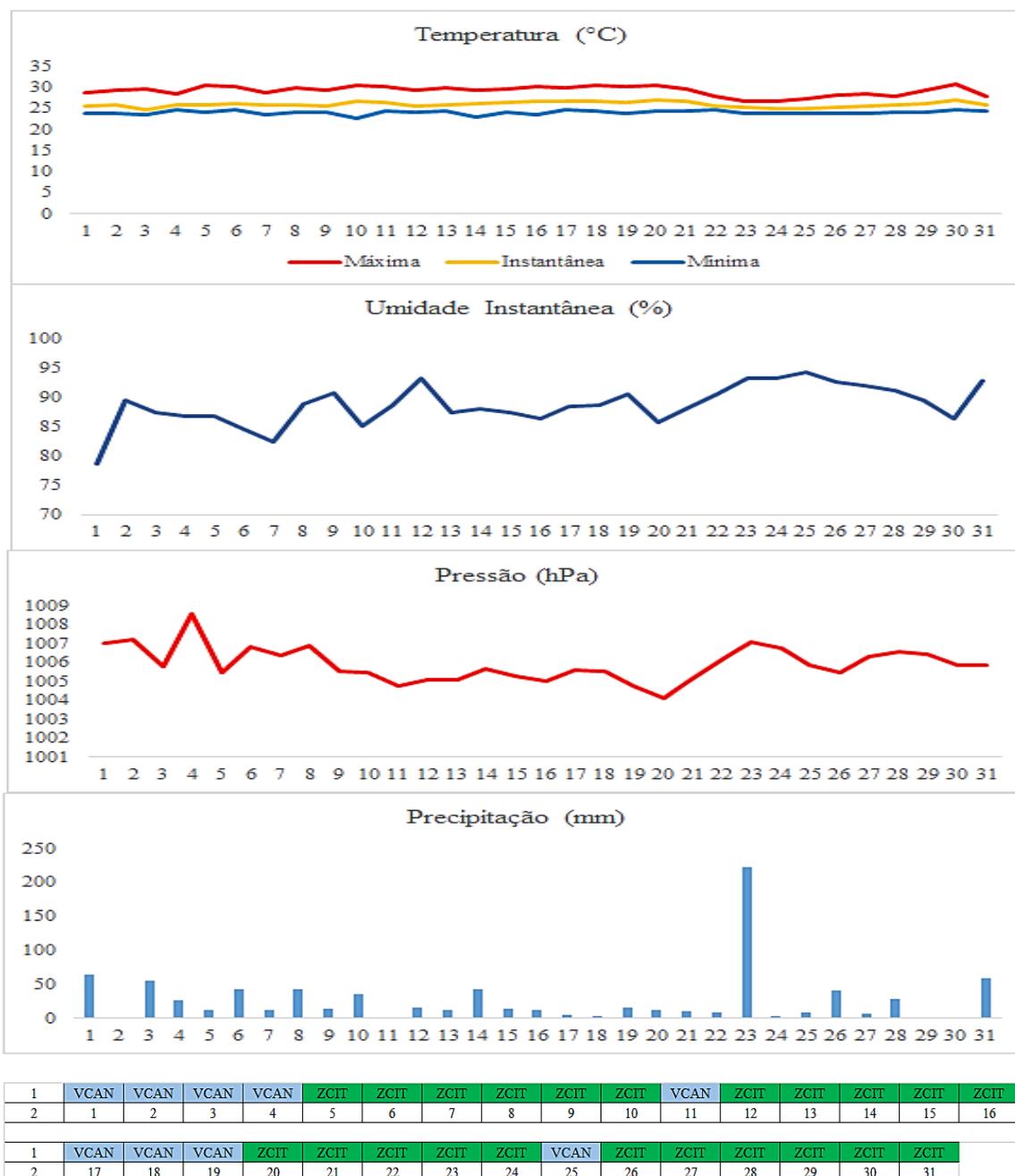
Figura 13 – Imagem de Satélite GOES 16 - Nível 250 hPA



Fonte: INPE, 2018.

Na figura 14, sobre a análise rítmica para o mês de março de 2019, na Região de São Luís, percebeu-se que a ZCIT associada a um e VCAN atuou até o dia 05 de março sobre o Nordeste, e provocou pouca chuva. No dia 23 de abril, houve grande quantidade de precipitação em São Luís (222,4 mm), o que provocou grande quantidade de deslizamentos de terra na cidade e alagamentos em várias partes, e nos interiores do estado também. Isto se deu em razão da atuação da ZCIT no estado.

Figura 14 - Análise Rítmica para o mês março de 2019 na região de São Luís.



1 – Sistemas Atmosféricos

2 – Dias

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

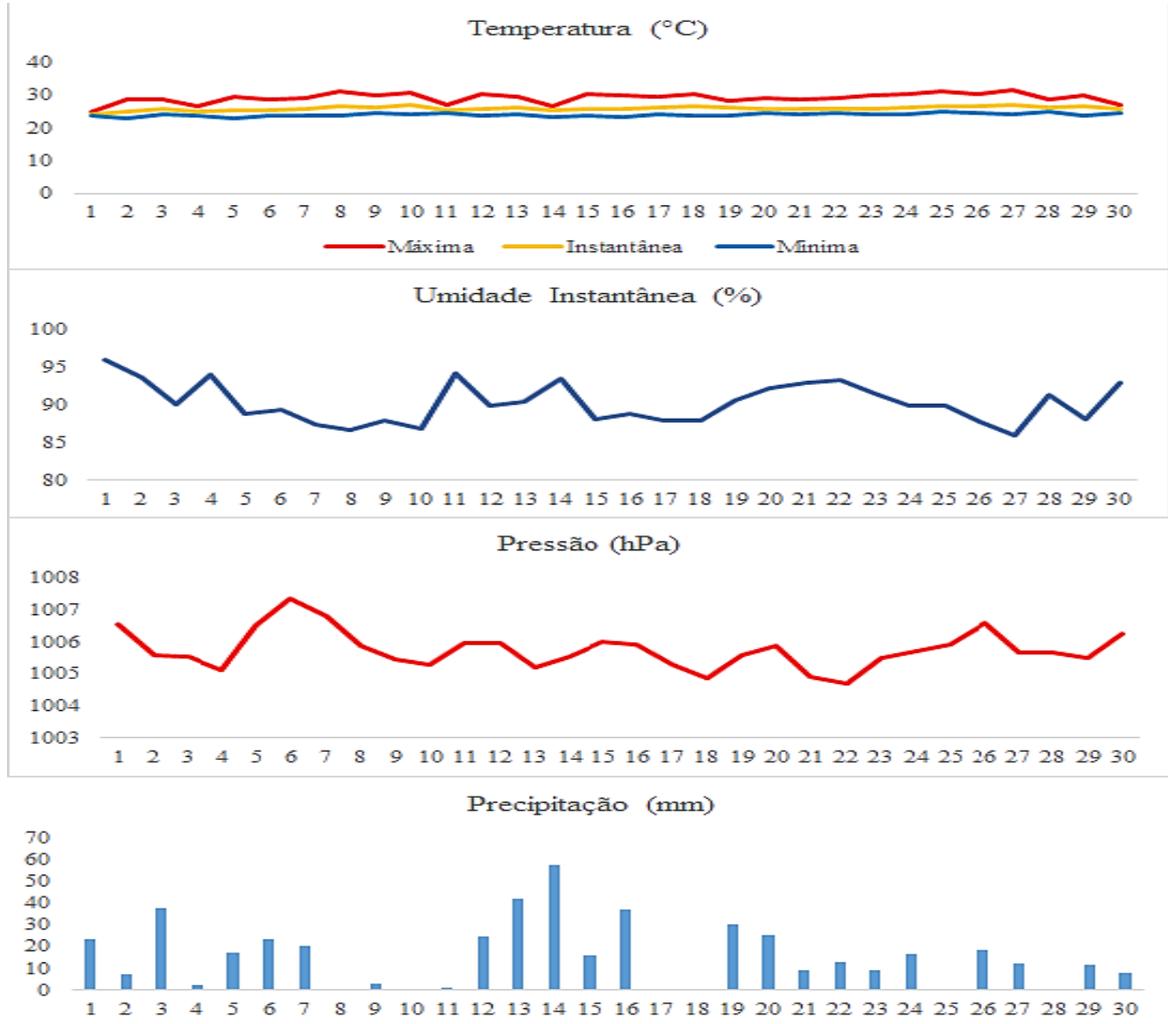
VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

Fonte: AUTOR, 2021.

As chuvas do mês de abril de 2019 (Figura 15) na região de São Luís, foram bem distribuídas, principalmente nos dias 03, 12 a 16, 19 a 24, 26 e 27, 29 e 30 do referido mês. De 01 a 07 de março a ZCIT predominou no mês. A partir do dia 08, um VCAN se configurou ao

Sul do Nordeste, abrangendo o a Região Sul do Maranhão. Do dia 09 em diante a ZCIT começou a causar instabilidade na região.

Figura 15 - Análise Rítmica para o mês de abril de 2019 na região de São Luís.



1	ZCIT	VCAN	ZCIT	ZCIT	VCAN	ZCIT	ZCIT	ZCIT	ZCIT						
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	VCAN	VCAN	ZCIT												
2	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

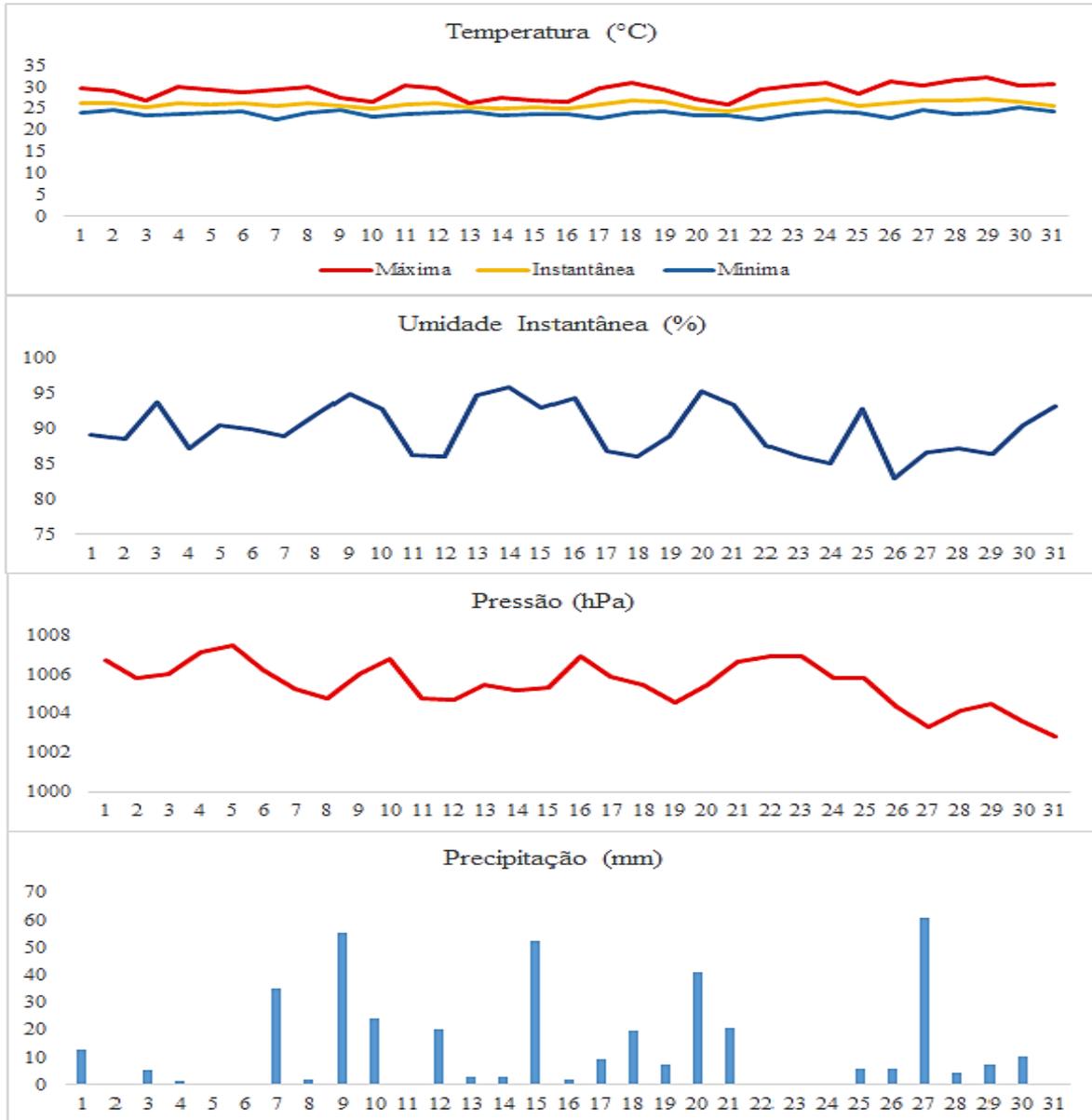
1 – Sistemas Atmosféricos  
 2 – Dias  
 ZCIT – Zona de Convergência Intertropical  
 ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul  
 VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

Fonte: AUTOR, 2021.

Já para o mês de março de 2020 (Figura 16), houve uma grande quantidade de chuvas no dia 07 e 09 de março, causada por atuação da ZCIT. Nos dias 09 e 10 houve atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que causou certas instabilidades presentes no Maranhão. Nesta área haverá condição para pancadas de chuva de forte intensidade ao longo

do dia com potencial para temporais. No dia 15, houve uma grande quantidade de precipitação em São Luís, com acumulado diário em torno de 50mm, bem como chuvas prolongadas no dia 27, com 60mm de precipitação. Isso ocorreu devido a atuação da ZCIT.

Figura 16 - Análise Rítmica para o mês de março de 2020 para a região de São Luís.

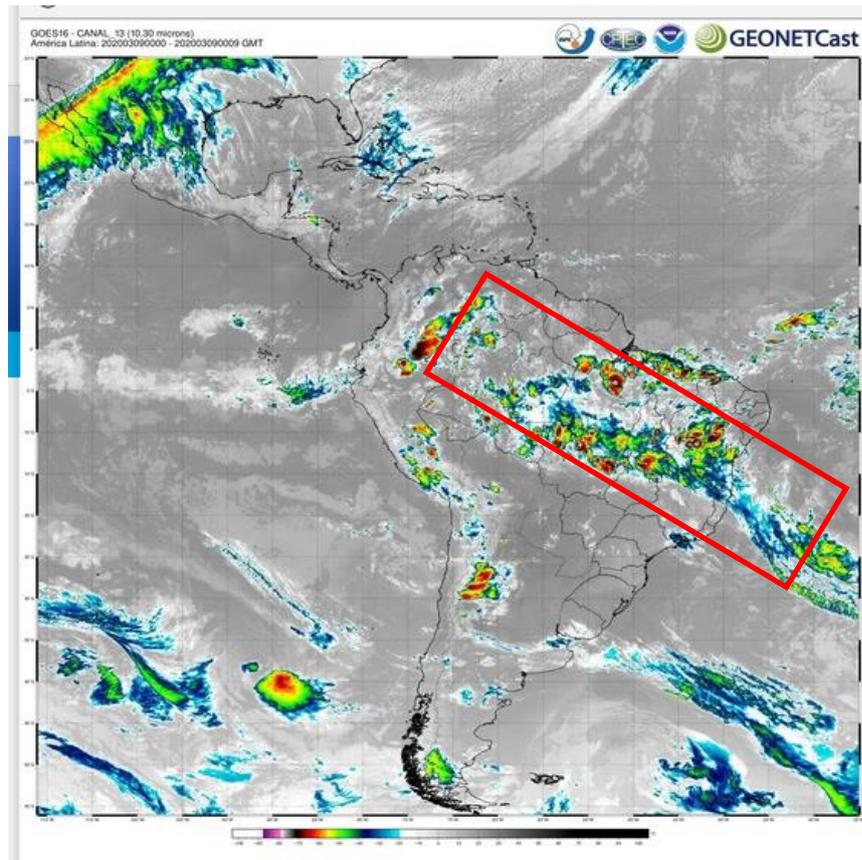


1	ZCIT	VCAN	ZCAS	ZCAS	ZCIT	ZCIT	ZCIT	ZCIT	ZCIT							
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	ZCIT															
2	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	

- 1 – Sistemas Atmosféricos
- 2 – Dias
- ZCIT – Zona de Convergência Intertropical
- ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul
- VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

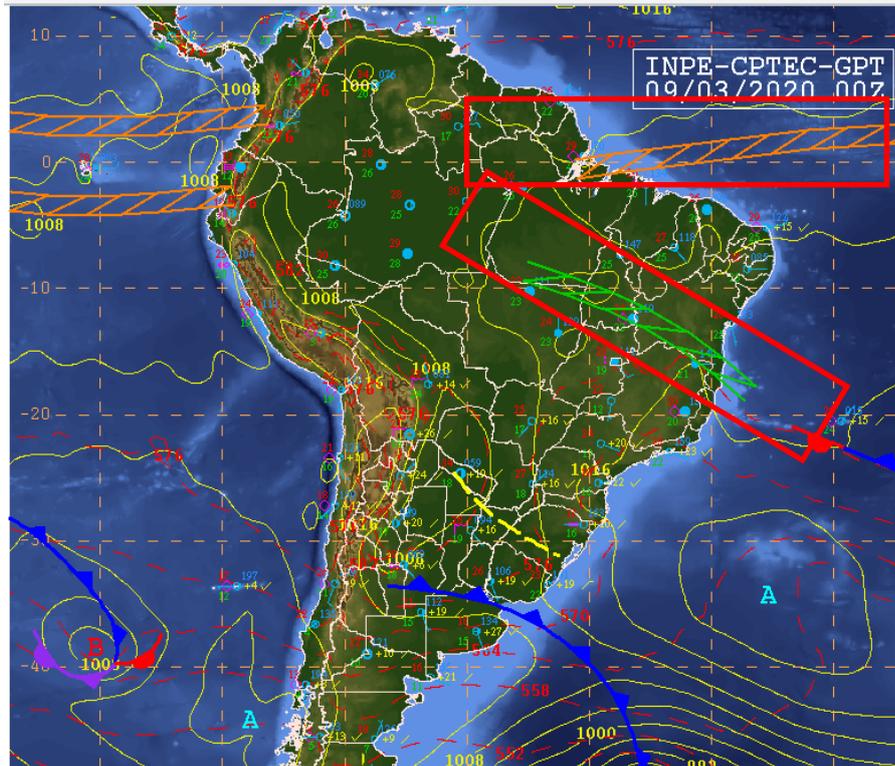
Fonte: AUTOR, 2021.

Figura 17 – Análise Sinótica do dia 03 de março de 2020.



Fonte: INPE, 2018.

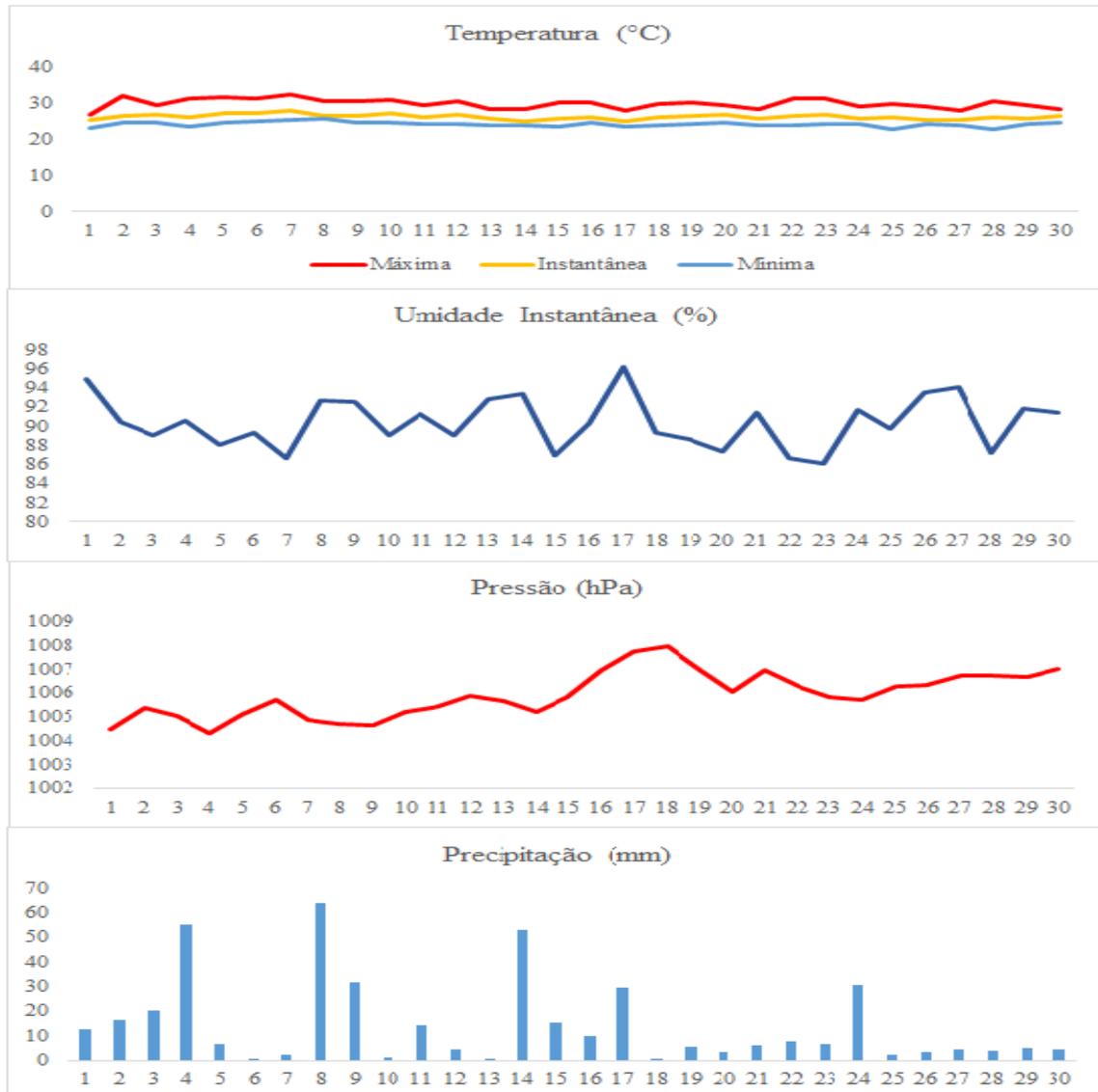
Figura 18 - Imagem de superfície do dia 09 de março de 2020.



Fonte: INPE, 2018.

Por fim, o mês de abril de 2020 (Figura 19), houve chuvas concentradas nos dias 01 ao dia 04, no dia 08 (65,3 mm diário), nos dias 14 a 17, e no dia 24, causadas pela atuação da ZCIT.

Figura 19 - Análise Rítmica para o mês de abril de 2020 para a região de São Luís.



1	ZCIT														
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	ZCIT														
2	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

1 – Sistemas Atmosféricos

2 – Dias

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

Fonte: AUTOR, 2021.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As distribuições de frequências do Índice de Precipitação Normalizada -SPI para o estado do Maranhão mostraram que, em todas as 10 regiões estudadas, houve maior incidência de eventos de seca, em média, 33,59% do total de eventos estudados, destacando que estes eventos foram associados à episódios de El Niño.

Os eventos de chuva foram, em média, 23,04% dos eventos estudados, contudo, na se mostraram mais intensos que os eventos de seca, ressaltando que os eventos chuvosos foram causados por episódios de La Niña.

A região que apresentou a maior frequência de SPI para o período seco (37,64%) foi a R7, em Barra do Corda, e a região com maior frequência de SPI para o período chuvoso (25,07%) foi a R4, em Bacabal.

Dentre os sistemas meteorológicos que causaram chuvas no estado do Maranhão destacam-se a Zona de Convergência Intertropical -ZCIT, Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis – VCAN.

É importante que mais pesquisas sobre meteorologia climatologia sejam realizadas no estado do Maranhão para que se tenha consistência maior de referencial teórico e prático sobre a temática.

Portanto, é primordial ressaltar que aprimorar o entendimento climático de uma região contribui para um melhor planejamento das demandas hídricas e energéticas, podendo também auxiliar na adoção de medidas mitigatórias contra os eventos extremos que causam perdas econômicas e de vidas humanas.

## REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional das Águas. **Os Efeitos das Mudanças Climáticas para os Recursos Hídricos: Desafio para a Gestão**. Brasília, p 7, 2010.

ANDREOLI, Rita Valeria; KAYANO, Mary Toshie. Enso-Related Rainfall Anomalies in South America and Associated Circulation Features During Warm and Cold Pacific Decadal Oscillation Regimes. **Internacional Journal Climatology**, v.25, n. 15, p. 2017–2030, 2005.

ANDRADE, L. F. Estudos da vazão específicas nas Bacias hidrográficas do Rio Aguapeí e Peixe como subsidio a gestão dos Recursos hídricos. **Monografia** (Bacharel em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP, Presidente Prudente, 2011.

ARAGÃO, José Oribe Rocha. O impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no nordeste do Brasil. **Bulletin de l'Institut Français d'études andines**, Lima, v. 27, 1998.

BARROS, Sheila Santana.; OYAMA, Marcos Daysuke. Sistemas Meteorológicos Associados à Ocorrência de Precipitação no Centro de Lançamento de Alcântara. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 333-344, 2010.

BELIZÁRIO, Wesley, S. Geossistemas e climatologia geográfica: estudos integrados do clima em bacias hidrográficas. **Revista Sapiência: sociedade, saberes e práticas educacionais**, v.3, n.2, p. 02-21, jul/dez, 2014.

BLAIN, Gabriel Constantino; KAYANO, Mary Toshie. 118 anos de dados mensais do Índice Padronizado de Precipitação: série meteorológica de Campinas, estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 1, p. 137-148, 2011.

BOIN, Marcos Norberto. Chuvas e Erosões no Oeste Paulista: Uma Análise Climatológica Aplicada. 281 f. **Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente)** – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2000.

BONACCORSO, B.; BORDI, I.; CANCELLIERE, A.; ROSSI, G.; SUTERA, A. Spatial Variability of Drought: An Analysis of the SPI in Sicily. **Water Resources Management**, v. 17, n. 4, p. 273-296, 2003.

BONFIM, Osmar Evandro Toledo *et al.* Análise dos Eventos Climáticos Extremos e de Suas Causas Climáticas para Redução de Riscos nas Bacias Hidrográficas Aguapeí e Peixe, São Paulo, Brasil, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. SPE, p. 755-768, 2020.

BONFIM, Osmar Evandro Toledo. Aplicação de análises estatísticas na pluviometria das bacias hidrográficas Aguapeí-Peixe (SP). **Dissertação** (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas – ICAT, Universidade Federal de Alagoas. Maceió. P. 87. 2018.

BORDI, I.; FRAEDRICH, K.; JIANG, J.; SUTERA, A. (2004) Spatio-temporal variability of dry and wet periods in eartern China. Theoretical and Applied. **Climatology**, v. 79, p. 81-91.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm). Acesso em: 12 jun. 2021.

CAMPOS, Thamiris Luisa de Oliveira Brandão; MOTA, Maria Aurora Santos da; SANTOS, Sergio Rodrigo Quadros dos. Eventos extremos de precipitação em Belém-PA: uma revisão de notícias históricas de jornais. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 1, p. 182-194, 2015.

CAMPOS, Thamiris Luisa de Oliveira Brandão; DOS SANTOS, Ana Paula Paes. Frequências dos eventos extremos de seca e chuva na Amazônia utilizando diferentes bancos de dados de precipitação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, p. 468-478, 2017.

CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; DA SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi. **Tempo e Clima do Brasil**. São Paulo, Oficina de Textos. vol. 1, p. 338, 348, 354, 2009.

CHUVAS NO MARANHÃO: 13 CIDADES JÁ DECRETARAM SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA. **G1 Maranhão**. São Luís, 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2019/04/05/chuvas-no-maranhao-13-cidades-ja-decretaram-situacao-de-emergencia.ghtml>. Acesso em: 12 mai. 2021.

COSTA, Juliana Alcantara, *et al.* Ciclos e Períodos de Eventos Extremos na Bacia Hidrográfica do Rio Salgado (CE). Fortaleza, Congresso Técnico e Científico da Engenharia e Agronomia-CONTECC, 2015.

CUNHA, Gilberto Rocca *et al.* El Niño/La Niña-Oscilação Sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.20, p. 18-22, 2011.

DA SILVA, Djane Fonseca.; SOUSA, Aline Bezerra. MAIA, Leonardo Moraes.; RUFINO, Leonardo Lopes. Efeitos da Associação de Eventos de Enos e ODP sobre o estado do Ceará. **Revista de Geografia**, v. 29, n. 2, p.114-135, 2012.

DE ASSIS DINIZ, Francisco. El Niño e sua influência no período de inverno de 1997 em algumas regiões do Brasil. **Bulletin de l'm Institut Français d'études andines**, v.27, p.771-778, 1998.

DE GOIS, Givanildo; DELGADO, Rafael Coll; DE OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco. Modelos teóricos transitivos aplicados na interpolação espacial do Standardized Precipitation Index (SPI) para os Episódios de El Niño forte no estado do Tocantins, Brasil. **Irriga**, v. 20, n. 2, p. 371-387, 2015.

DE MELLO, Yara Rúbia; LOPES, Felipe Costa Abreu; ROSEGHINI, Wilson Flavio Feltrim. Características climáticas e análise rítmica aplicada a episódios extremos de precipitação e temperatura no município de Paranaguá, PR. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, 2017.

DO NASCIMENTO, Francisco das Chagas Araújo *et al.* Caracterização de Eventos Secos e Chuvosos na Microrregião de Imperatriz-MA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 02, p. 325-333, 2015.

DOS SANTOS, Sergio Rodrigo Quadros; DO AMARAL CUNHA, Ana Paula Martins; RIBEIRO-NETO, Germano Gondim. Avaliação de dados de precipitação para o monitoramento do padrão espaçotemporal da seca no nordeste do Brasil. **Revista brasileira de climatologia**, v. 25, 2019.

FLEURY, Maria Tereza Leme; DA COSTA WERLANG, Sergio Ribeiro. Pesquisa aplicada: conceitos e abordagens. **Anuário de Pesquisa GVPesquisa**, 2017.

FONTÃO, Pedro Augusto Breda *et al.* Gênese das chuvas em São Paulo (SP): estudo comparativo entre a "spatial synoptic classification" e a "análise rítmica em climatologia". **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, 2018.

FRANCA, Rafael Rodrigues; DE ASSIS MENDONÇA, Francisco. Análise rítmica do período da cheia histórica no rio madeira em Porto Velho/Rondônia-dezembro de 2013 a agosto de 2014. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.

FURTADO, Janaína. *et al.* **Capacitação básica em Defesa Civil**. 3ª edição. Florianópolis: CAD UFSC, 2013.

GOMES, Luam Patrique Oliveira; SOUZA, Lucas Barbosa. Estudo comparativo sobre a gênese e participação dos sistemas atmosféricos no período de primavera-verão (2000/2001) no estado do Tocantins: variações no eixo Alto Parnaíba (MA)–Pedro Afonso (TO)–conceição do Araguaia (PA). **Anais do I encontro de geografia do Araguaia**. p. 58, 2019.

HAYES, Michael Jhon. **Revisiting the SPI: clarifying the process**. 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mana de Mesorregiões do Maranhão**. Disponível em: <https://www.baixarmapas.com.br/mapa-de-mesorregioes-do-maranhao/>. Acesso em: 12 jun. 2021.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. **Working Group III – Mitigation of Climate Change**. Disponível em: Acesso em 20/06/2021.

JANUARIO, Italo Ramon; DE MENEZES, Ronaldo Haroldo Nascimento; BONFIM, Osmar Evandro Toledo. Análise de risco climático para semeadura do arroz no Sul do estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 4, p. 1241-1250, 2018.

JUNIOR, Audivan Ribeiro Garces *et al.* Análise comparativa dos eventos pluviométricos intensos em Fortaleza/CE e São Luís/MA no período de 1987 a 2017. **Revista GeoUECE**, v. 9, n. 17, p. 70-86, 2020.

KAYANO, M.T.; JONES, C.; DIAS, P.L.S. Variabilidade Decenal Intrassazonal. In: **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, cap.21, p.337-351.

LI, W.; FU, R.; JUAREZ, N.; FERNANDES, K. (2008). Observed change of the standardized precipitation index, its potential cause and implications to future climate 86 change in the Amazon region. **Bull. Philosophical Transactions of The Royal Society**, v. 363, p. 1767-1772, 2008.

LIMA, Telma Cristiane Sasso de; MIOTO, Regina Célia Tamaso. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista Katálysis**, v. 10, n. SPE, p. 37-45, 2007.

LOUREIRO, Renata Silva de *et al.* Estudo dos eventos extremos de precipitação ocorridos em 2009 no estado do Pará. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 29, n. SPE, p. 83-94, 2014.

MADDEN, R.A.; JULIAN, P.R. Description of Global-Scale circulation cells in the Tropics with a 40-50-day period. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 29, iss. 6, p. 1109-1123, September, 1972.

MADDEN, R.A.; JULIAN, P.R. Observations of the 40-50-day Tropical Oscillation – A review. **Monthly Weather Review**, v. 122, p. 814-837, May, 1994.

MAGINA, Leandro José Rocha. Estudo dos processos envolvidos e da previsibilidade da Oscilação Madden-Julian com o modelo OLAM. **Trabalho de Conclusão de Curso**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

MENEZES, Ronaldo Haroldo Nascimento. Caracterização agroclimática e análise do rendimento agrícola do estado do Maranhão, Brasil. **Tese** (Doutorado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, 168p. 2009.

MICHAELIDES, S.; PASHIARDIS, S. Monitoring drought in Cyprus during the 2007-2008 hydrometeorological year by using the standardized precipitation index (SPI). **European Water**, v. 23, n. 24, p. 123-131, 2008.

MOLION, Luiz Carlos Baldicero. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico. **Revista Climanálise**, Cachoeira Paulista, v. 3, n. 1, p. 1-5, 2005.

MONTEIRO, Cargos Augusto de Figueiredo. Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. **Climatologia**. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, nº 1, 1971.

NEUMAN, W. L. **Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches**. u.S.: Pearson, (1994).

NASCIMENTO, Francisco das Chagas Araújo do; BRAGA, Célia Campos; ARAÚJO, Fabiane Regina da Cunha Dantas. Análise estatística dos eventos secos e chuvosos de precipitação do estado do maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, p. 375-386, 2017.

NOAA – **National Oceanic and Atmospheric Administration**. Disponível em: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml> Acesso em: 09 jun. 2021.

NUCLEO GEOAMBIENTAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO. **Laboratório de Meteorologia**. Disponível em: [http://www.nugeo.uema.br/?page\\_id=81](http://www.nugeo.uema.br/?page_id=81). Acesso em: 13 mar. 2021.

NUNES, Denise Bacellar; SIMEÃO, Elmira; PEREIRA, Ondina. A prática da pesquisa documental em Psicologia. **Revista Ibero-americana de Ciência da Informação**. v. 13, p. 339-359, 2020.

OGASHAWARA, I. Análise rítmica e a climatologia geográfica brasileira. **Revista Eletrônica Georaguaia**, Barra do Garças: UFMT, v.2, n.2, p.57-72, 2012.

PINHEIRO, Juarez Mota. Alterações pluviométricas em 41 anos (1975-2015) ocasionadas por eventos de El Niño na Ilha do Maranhão, Pré-Amazônia Brasileira. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 1422-1431, 2017.

PINHEIRO, A., GRACIANO, R. L. G., & SEVERO, D. L. (2013). Tendência das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 28, 281-290.

POHLMANN, Patricia; PICCININI, Salomão; TERESINHA, Lívia; PINTO DA SILVA FILHO, Luiz Carlos. Gerenciamento de riscos: qual é o papel do planejamento urbano? In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2014. p. 1518-1527.

POPELEWISKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and regional scale Precipitation patterns associated with El Niño / **Southern Oscillation**. **Montly Weather Review**, v.115, p. 1606-1626, 1989.

REBOITA, Michele Santos.; GAN, Manoel Alonso.; ROCHA, Rosmeri Porfírio.; AMBRIZZI, Tércio. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p.185-204, 2010.

SANTOS, Carlos Antônio Costa dos; BRITO, José Ivaldo Barbosa de. Análise dos índices de extremos para o semiárido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, p.303–312, 2007.

SANTOS, Carlos Antônio Costa dos; BRITO, José Ivaldo Barbosa de.; RAO, Tantravahi Venkata Ramana.; MENEZES, Hudson Ellen Alencar. Tendência dos Índices de Precipitação no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, p.39-47, 2009.

SANTOS, Carlos Antonio Costa dos.; MANZI. Antônio Ocimar. Eventos extremos de precipitação no estado do Ceará e suas relações com a temperatura dos Oceanos Tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, p.157-165, 2011.

SANTOS, Sergio Rodrigo Quadros dos *et al.* Determinação de regiões homogêneas do índice de precipitação normalizada (SPI) na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, p. 111-122, 2017.

SANTOS, Jessflan Rafael Nascimento *et al.* Precisão dos dados do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) na região de transição Amazônia-Cerrado no estado do Maranhão. **XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento, João Pessoa. Anais... João Pessoa: INPE**, 2015.

SANTOS, S.A., CORREIA, M.F., BRAGA, C.C., SILVA ARAGÃO, M.R., 2010. Análise Estatística de Chuvas Intensas e Inundações no semiárido da bacia do rio São Francisco: a cheia de 1985. **Engenharia Ambiental** 7, 23.

SILVA, Fabrício Brito *et al.* Evidências de mudanças climáticas na região de transição Amazônia-Cerrado no estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 3, p. 330-336, 2016.

SCHNEIDER, Eduarda Maria; FUJII, Rosangela Araujo Xavier; CORAZZA, Maria Júlia. Pesquisas quali-quantitativas: contribuições para a pesquisa em ensino de ciências. **Revista Pesquisa Qualitativa**, v. 5, n. 9, p. 569-584, 2017.

SILVA, Fabrício Brito *et al.* Análise espaço-temporal da precipitação no estado do Maranhão no período de 2003 a 2012. In: **Proceedings of Safety, Health and Environment World Congress**. p. 123-125, 2014.

SILVA, Jackeline Susann Souza da; FERREIRA, Windyz Brazão. Sombreamento a pessoa com deficiência: aplicabilidade da técnica de sombreamento na coleta de dados em pesquisa qualitativa. **Revista Brasileira de Educação Especial**, v. 23, n. 2, p. 185-200, 2017.

SONMEZ, F.K.; KÖMÜSCÜ, A.Ü.; ERKAN, A.; TURGU, E. An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index. **Natural Hazards**, v. 35, n. 2, p. 243-264, 2005.

THORNTHWAITE, C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate. **Geographical Review**, v.38, n.1, 1948, pp. 55-94.

TREINTA, Fernanda Tavares *et al.* Metodologia de pesquisa bibliográfica com a utilização de método multicritério de apoio à decisão. **Production**, v. 24, n. 3, p. 508-520, 2014.

TRENBERTH, Kelvin E. The definitions of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n.12, p. 2771, 2777. Dec. 1997.

UNISDR, **Terminology on Disaster Risk Reduction**. Geneva, 2009. Em: Campanha Mundial de Redução de Desastres. Construindo Cidades Resilientes: Minha cidade está se preparando. Ministério da Integração Nacional. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/cidadesresilientes>. Acesso em: 12 jun. 2021.

WALISER, D. Madden-Julian Oscillation: simulation diagnostics. **Journal of Climate**, v. 22, iss. 11, June, 2009.

ZAVATTINI, João A. **Estudos do Clima no Brasil**. 1ed. Campinas: Editora Alínea, 2004.

## **ANEXOS**

## ANEXO A – Declaração de não plágio

**DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE**

Eu, Aspirante a Oficial – BM Italo Ramon **Januario** declaro para todos os fins que meu trabalho intitulado “Identificação de eventos extremos de precipitação para o gerenciamento de riscos no estado do Maranhão” é um documento original elaborado e produzido por mim.

**Dados do Orientador:**

Nome/Grau/Hierarquia: Prof. Dr. Ronaldo Haroldo Nascimento de Menezes

Filiação/Instituição: Universidade Estadual do Maranhão

E-mail: rhmenezes@yahoo.com.br

Telefones: (98) 98201-4338

**Italo Ramon Januario**  
**ASP OF BM**  
**Matrícula: 00873404-00**



---

ITALO RAMON JANUARIO

CPF: 035.180.883-35