



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS - ICAT  
CURSO DE BACHARELADO EM METEOROLOGIA**



**THIAGO DA SILVA BARROS**

**CHUVA EXTREMA NA ESTAÇÃO SECA DE ALAGOAS**

**Maceió, AL**

**Dezembro, 2023**

**THIAGO DA SILVA BARROS**

**CHUVA EXTREMA NA ESTAÇÃO SECA DE ALAGOAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Meteorologia pelo Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Meteorologia.

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

**Coorientadora:** Dr<sup>a</sup>. Micejane da Silva Costa

**Maceió, AL**

**Dezembro, 2023**

**Catálogo na Fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

B277c Barros, Thiago da Silva.  
Chuva extrema na estação seca de Alagoas / Thiago da Silva Barros. – 2023.  
89 f. : il.

Orientador: José Francisco de Oliveira.  
Co-orientadora: Micejane da Silva Costa.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 72-81.  
Apêndices: f. 82-89.

1. Chuva extrema - Alagoas. 2. Sistemas meteorológicos. I. Título.

CDU: 551.508.7(813.5)

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, que não mediram esforços para estarmos aqui vivendo esse sonho juntos. Também dedico às minhas avós, Maria Aparecida da Silva e Isabel de Lira Barros e ao meu avô Paulo Reinaldo de Barros (*in memoriam*) que sempre compartilhava suas emoções vividas com os fenômenos adversos. Aos familiares próximos que também exerceram um papel importante nessa jornada (Tios, primos e afins). Ao meu irmão, Tálison Felipe da Silva Barros, que também teve um papel crucial na manutenção dos sonhos. Aos meus amigos, Iuri de São José Peixoto e João Pereira dos Santos que de forma paciente aguentaram todas as reclamações até aqui. E por fim, a todos os professores que passaram por minha vida e deixaram marcas, em especial os professores Vladimir Levit, Ricardo Ferreira de Amorim e José Francisco de Oliveira Júnior.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador e professor da vida José Francisco de Oliveira Júnior, pela paciência e dedicação para com todos do Laboratório de Meio Ambiente e Meteorologia Aplicada (LAMMA).

Agradeço à minha coorientadora, Micejane da Silva Costa, pela paciência e dedicação em nos passar seus conhecimentos.

Agradeço aos colegas do curso, em especial ao Matheus Lyra pela sua disposição em sempre ajudar.

Agradeço aos amigos que sempre estiveram por perto, me apoiando e me ajudando a seguir sempre em frente: Cláudia Farias, Iuri Peixoto, Nathalya Lima, João Pereira, etc.

Agradeço ao Luís Felipe Francisco Ferreira da Silva e Willian Max de Oliveira Romão, que estiveram sempre presentes nas piores e melhores horas desta graduação.

Agradeço também ao Ildson Guilherme da Silva Santos que nunca poupou esforços para ajudar quando necessário.

Ao meu querido professor Ricardo Ferreira de Amorim, por tantas vezes servir de base sólida para conversas e desabafos diante da pressão da graduação. Ao senhor eu dedico grande parte dos meus resultados até aqui, pois reconheço o papel importante de sua amizade diante de tudo que enfrentei até aqui.

Agradeço à vice-reitora Eliane Aparecida Holanda Cavalcanti, por todo apoio e ajuda em um dos momentos mais difíceis da graduação e da vida.

Aos irmãos da igreja que fizeram parte dessa trajetória, em especial ao Pastor César e sua família por sua benevolência e às irmãs Edileusa e Waldney, que sempre estiveram disponíveis para ouvir meus desabafos e me encorajar a nunca desistir.

A minha outra mãe, que com todo carinho e amor, me ajudou muito com esse trabalho, Jack Aguiar. Essa mãe segunda é a melhor!

Por fim, mas não menos importante, aos meus pais que sempre foram rocha para minha base, sempre acreditaram nessa possibilidade e sempre torceram por mim. A eles, meus mais sinceros agradecimentos de coração e alma.

A todos, minha gratidão.

“Eu creio que verei a bondade do  
SENHOR na terra dos viventes. ”

Salmos 27:13 – Bíblia Sagrada

## RESUMO

As características climáticas complexas de Alagoas geram uma variação na distribuição espacial da precipitação. Nesse contexto, a pesquisa dos sistemas atmosféricos ligados à precipitação se torna crucial, dada sua associação com desastres que acarretam em impactos nas estruturas civis e até perdas humanas. Esse trabalho tem como objetivo identificar os eventos de chuva extrema, através do Percentil 95, ocorridos na estação seca em Alagoas, que é verificado entre os meses de outubro e fevereiro. O Percentil 95 foi aplicado nos dados disponibilizados pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH) entre os anos de 2010 e 2022. Ao todo foram encontrados 344 casos com volumes superiores a 26,2 mm em 24 horas. Devido à grande quantidade de casos e a ausência de casos ocorridos nas regiões em simultâneo, o caso de maior precipitação foi escolhido por região para ser apresentado em detalhes. Como também foi apresentado em detalhes o caso de maior precipitação (181 mm) ocorrido em Igreja Nova. Através da Reanálise do ERA-5 disponibilizados pelo modelo numérico global The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), foram feitas as análises sinóticas dos casos escolhidos com o intuito de identificar os sistemas sinóticos associados aos eventos extremos. As imagens de satélite foram coletadas no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) nos canais de Infravermelho, Infravermelho Realçado e Vapor D'água. Os satélites utilizados foram o GOES – 13, GOES – 16, Meteosat – 8 e Meteosat – 9. A influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os Sistemas Frontais (SF) foram responsáveis pelo maior valor de precipitação em 24 horas para todas as regiões do estado de Alagoas, no período do estudo. O Vórtice Ciclônico dos Altos Níveis (VCAN) também foi responsável por grande parte das precipitações extremas no estado de Alagoas, com volumes superiores à 90 mm em 24 horas ocorridos na região agreste.

**Palavras-chave:** Chuva Extrema, Sistemas Meteorológicos, Alagoas

## ABSTRACT

The complex climatic characteristics of Alagoas generate a considerable variation in the spatial distribution of precipitation. In this context, researching the atmospheric systems linked to precipitation becomes crucial, given their association with disasters that result in impacts on civil structures and even human losses. This work aims to identify extreme rainfall events, using the 95th percentile, occurring during the dry season in Alagoas, which takes place between October and February. The 95th percentile was applied to precipitation data provided by the State Secretariat for the Environment and Water Resources (Semarh) between the years 2010 and 2022. In total, 344 cases with volumes exceeding 26.2 mm in 24 hours were found. Due to the large number of cases and the absence of concurrent cases in the regions, the case with the highest precipitation was chosen for each region to be presented in detail. The case of the highest precipitation (181 mm) that occurred in Igreja Nova was also presented in detail. Synoptic analyses of the chosen cases were performed using the ERA-5 reanalysis provided by the global numerical model The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), aiming to identify the synoptic systems associated with extreme events. Satellite images, collected from the Infrared, Enhanced Infrared, and Water Vapor channels, were obtained from the Center for Weather Forecasting and Climate Studies (CPTEC). The satellites used were GOES-13, GOES-16, Meteosat-8, and Meteosat-9. The influence of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) and the Frontal Systems (FS) were responsible for the highest 24-hour precipitation values in all regions of the state of Alagoas. The Cyclonic Vortex of High Levels (CVHL) was also responsible for a significant portion of extreme precipitations in the state of Alagoas, with volumes exceeding 90 mm in 24 hours.

**KeyWords:** Extreme Rainfall, Synoptic Systems, Alagoas.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Mapa de identificação da área de estudo com destaque das três mesorregiões (Sertão, Agreste e Leste) do estado de Alagoas. 29
- Figura 2 – Exemplo do campo de linhas de corrente em 900 hPa para o dia 22/12/2013 às 00UTC. 33
- Figura 3 – Exemplo do Campo de Velocidade Vertical (omega) identificando os movimentos ascendentes (valores negativos) e descendentes (valores positivos) para o dia 19/12/2013 às 06 UTC. 34
- Figura 4 – Exemplo de perfil simulado entre os níveis de 1000 e 200 hPa para o dia 29/12/2022 às 18 UTC. 35
- Figura 5 – Seção Vertical da Temperatura Potencial Equivalente demonstrando gradientes mostrando interações das massas de ar nos níveis de 1000 a 200 hPa no dia 06/12/2022 às 12Z para o modelo ECMWF. 38
- Figura 6 – Gráfico de barras para a cidade de Igreja Nova entre os anos de 2010 e 2022 mostrando o acumulado de chuva em 24 horas na estação seca de Alagoas. 41
- Figura 7 – Carta sinótica da Marinha do Brasil em baixos níveis identificando a formação da ZCAS e outros sistemas no dia 25/12/2021 às 00UTC. 42
- Figura 8 – Imagens de satélite do satélite GOES – 16 e METEOSAT – 9 entre os dias 24 (a e b) às 15 UTC e 25 (c e d) às 02 UTC de dezembro de 2021 identificando nebulosidade convectiva em resposta às instabilidades provocadas pela ZCAS no canal Infravermelho e Infravermelho Realçado. 43
- Figura 9 – Campo de linhas de corrente identificando convergência em baixos níveis relacionados com a ZCAS nos dias 24/12/2021 (a) às 18UTC e 25/12/2021 (b) às 06 UTC. 44
- Figura 10 – Omega (movimentos verticais) para a latitude da cidade de Igreja Nova (retângulo vermelho) na data 25/12/2021 às 00 UTC mostrando movimentos verticais. 45
- Figura 11 – Seção vertical da temperatura potencial equivalente para as latitudes de Igreja Nova demonstrando interação de massas de ar de origens diferentes para o dia 25/12/2021 às 00 UTC. 45
- Figura 12 – Perfil Vertical Simulado para a cidade de Igreja Nova no dia 25/12/2021 às 00 UTC comprovando a disponibilidade de umidade e instabilidade na atmosfera. 46

- Figura 13 – Gráfico de barras para a cidade de Maceió entre os anos de 2010 e 2022 mostrando o acumulado de chuva em 24 horas na estação seca de Alagoas. 47
- Figura 14 – Carta sinótica da Marinha do Brasil em baixos níveis identificando a presença de um sistema frontal nas latitudes baixas entre Sergipe e Alagoas no dia 06/11/2022 às 00UTC. 48
- Figura 15 – Imagens de satélite do satélite GOES – 16 (13a) e METEOSAT – 9 (13b) no dia 06/11/2022 03 UTC identificando nebulosidade convectiva e estratiforme no estado de Alagoas. 49
- Figura 16 – Campo de linhas de corrente e magnitude do vento identificando uma região de baixa pressão (seta azul) e a convergência (seta vermelha) para o modelo ECMWF no dia 06/11/2022 às 00 UTC no nível de 1000 hPa. E ausência de circulação ciclônica em 700 hPa (seta laranja). 50
- Figura 17 – Omega (movimentos verticais) para a latitude da cidade de Maceió (retângulo verde) na data 06/11/2022 às 00 UTC mostrando movimentos verticais ascendentes e descendentes. 51
- Figura 18 – Seção vertical da temperatura potencial equivalente para as latitudes de Maceió demonstrando interação de massas de ar de origens diferentes em baixos níveis (região com estrela) para o dia 06/11/2022 às 00 UTC. 52
- Figura 19 – Perfil Vertical Simulado para a cidade de Maceió no dia 06/11/2022 às 00 UTC comprovando a disponibilidade de umidade e a baixa instabilidade na atmosfera. 53
- Figura 20 – Queda de barreira provoca danos nas casas que desabaram em decorrência das fortes chuvas. 54
- Figura 21 – Gráfico de barras para a cidade de Palmeira dos Índios entre os anos de 2010 e 2022 mostrando o acumulado de chuva em 24 horas na estação seca de Alagoas, os maiores valores de precipitação em destaque. 55
- Figura 22 – Carta sinótica da Marinha do Brasil em baixos níveis identificando a formação da ZCAS e um ciclone no dia 29/11/2022 às 00UTC. 56
- Figura 23 – Imagens de satélite no canal realçado (a) satélite GOES – 16 e infravermelho (b) Satélite Meteosat – 9 para o dia 29/11/2022 às 00 UTC identificando instabilidade profunda no agreste de Alagoas. 57
- Figura 24 – Campo de linhas de corrente identificando a formação de um ciclone (a) em 1000 hPa (seta azul); uma região de convergência no agreste de Alagoas (b) em 900 hPa (setas vermelhas) e um cavado no nível de 800 hPa (linha tracejada vermelha) para o dia 29/11/2022 às 00 UTC. 58

- Figura 25 – Omega (movimentos verticais) para a latitude da cidade de Palmeira dos Índios (retângulos brancos) identificando os movimentos ascendentes e descendentes da região no dia 28/11/2022 às 18 UTC (a) e 29/11/2022 às 00 UTC. 59
- Figura 26 – Seção vertical da temperatura potencial equivalente para as latitudes de Palmeira dos Índios demonstrando o baixo gradiente da temperatura potencial equivalente (região com estrela) para o dia 29/11/2022 às 00 UTC 60
- Figura 27 – Perfil Vertical Simulado para a cidade de Palmeira dos Índios no dia 29/11/2022 às 00 UTC comprovando a disponibilidade de umidade e os valores expressivos de instabilidade presentes na atmosfera 61
- Figura 28 – Danos estruturais na pavimentação provocados por um temporal em Palmeira dos Índios no dia 14/04/2021. Fonte: Ascom/Palmeira dos Índios – AI. 62
- Figura 29 – Gráfico de barras para a cidade de Santa do Ipanema entre os anos de 2010 e 2022 mostrando o acumulado de chuva em 24 horas na estação seca de Alagoas, os maiores valores de precipitação em destaque. 63
- Figura 30 – Carta sinótica da Marinha do Brasil em baixos níveis identificando a formação da ZCAS a norte da posição média 18/12/2013 às 12UTC. 64
- Figura 31 – Imagens de satélite no canal vapor d'água (a) e realçado (b) Satélite GOES – 13 para o dia 18/12/2013 às 18 UTC identificando instabilidade profunda na região de Santana do Ipanema, sertão de Alagoas. 65
- Figura 32 – Campo de linhas de corrente identificando a formação de um ciclone em 1000 hPa (seta azul) e uma região de convergência entre Alagoas e Norte de Minas Gerais (a); e um cavado no nível de 600 hPa (linha tracejada vermelha) para o dia 18/12/2013 às 18 UTC. 66
- Figura 33 – Omega (movimentos verticais) para a latitude da cidade de Santana do Ipanema (retângulo branco) identificando os movimentos ascendentes e descendentes da região no dia 18/12/2013 às 18 UTC (a). 67
- Figura 34 – Seção vertical da temperatura potencial equivalente para as latitudes de Santana do Ipanema demonstrando o intenso gradiente da temperatura potencial equivalente (região com estrela) para o dia 13/12/2013 às 18 UTC. 68
- Figura 35 – Perfil Vertical Simulado para a cidade de Santana do Ipanema no dia 18/12/2013 às 18 UTC comprovando a disponibilidade de umidade e os valores expressivos de instabilidade presentes na atmosfera. 69
- Figura 36 – Danos observados após o temporal que caiu na cidade de Santana do Ipanema, localizada no sertão do estado de Alagoas, no dia 18/12/2013. 70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de referência para análise de valores de instabilidades adaptados por Nascimento (2005)	35
Tabela 2 – Valores de referência para o CAPE descritos por Bluestien (1993).	36
Tabela 3 – Casos extremos de precipitação com as cidades em destaque para cada região do estado de Alagoas entre os anos de 2010 e 2022	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Alta da Bolívia
ANA	Agência Nacional de Águas
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
CAPE	Energia Potencial Convectiva Disponível
Cb	Cumulonimbus
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais
COLA	Center for Ocean Land Atmosphere Interaction
CPTEC/ INPE	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DOL	Distúrbio Ondulatório de Leste
ECM WF	European Center for Medium-Range Weather Forecasting
ENEB	Leste do Nordeste do Brasil
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
E-W	Leste
GITSMA	Gradiente Inter-Hemisférico da Temperatura da Superfície do Mar Atlântico
GrADS	Center for Grid Analysis and Display System
HGE	Hospital Geral do Estado
HN	Hemisfério Norte
HS	Hemisfério Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LI	Linhas de Instabilidade
LIFITINDEX	Índice de Levantamento
mPa	Massa Polar Atlântica
mPt	Massa Polar Tropical
NCE	Nível de Convenção Espontânea
NE	Nordeste
NE	Nível de Equilíbrio
NEB	Nordeste do Brasil
N – S	Norte – sul
NW – SE	Noroeste Sudeste
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
P	Percentil
ROL	Radiação de Onda Longa
SCM	Sistemas Convectivos de Mesoescala
SEB	Sudeste do Brasil
SENB	Sul do Nordeste do Brasil

SF	Sistemas Frontais
SEMARH – AL	Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas
SW	Sudoeste
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
TT	Índice Total Totals
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1 Objetivos	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1.2 Objetivos Específicos	18
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>19</b>
2.1 Clima de Alagoas	19
2.2 Chuva Extrema	20
2.3 Sistemas Meteorológicos em Alagoas na Estação Seca	22
2.3.1 Vórtice Ciclônico dos Altos Níveis (VCAN)	23
2.3.2 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)	24
2.3.3 Sistemas Frontais (SF)	24
2.3.4 Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM)	25
2.3.5 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)	27
2.3.6 Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM)	27
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>30</b>
3.1 Caracterização da Área de Estudo	30
3.1.1 Leste Alagoano	31
3.1.2 Agreste Alagoano	31
3.1.3 Sertão Alagoano	32
3.2 Dados Utilizados	32
3.2.1 Dados de Precipitação	32
3.2.2 Método Estatístico Percentil	32

3.2.3 Dados de reanálise	33
3.2.4 Imagens de Satélite	40
3.2.5 Softwares Utilizados	40
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>41</b>
4.1 Análise Geral do Período de Estudo	41
4.2 Análise detalhada do Leste de Alagoas	41
4.2.1 Caso 1: Igreja Nova (25/12/2021)	42
4.2.2 Caso 2: Maceió (06/11/2022)	48
4.3 Análise detalhada do Agreste de Alagoas	55
4.3.1 Caso 3: Palmeira dos Índios (28/11/2022)	55
4.4 Análise detalhada do Sertão de Alagoas	63
4.4.1 Caso 4: Santana do Ipanema (18/12/2013)	63
<b>1. CONCLUSÕES</b>	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>73</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>83</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o aumento dos eventos de precipitação extrema tem gerado preocupação da sociedade, especialmente devido às consequências ambientais e socioeconômicas. A precipitação pluvial (chuva) representa um dos principais elementos do clima capazes de provocar mudanças rápidas na paisagem das regiões tropicais e subtropicais, principalmente durante a estação de verão (Steinke, 2021). Tais mudanças nos episódios de chuvas extremas concentradas em períodos curtos de tempo e caracterizados por sua intensidade resultam em tragédias, principalmente em áreas costeiras e em grandes centros urbanos (Da Silva, 2014; Steinke, 2021).

O Nordeste do Brasil (NEB) é notório por apresentar uma variabilidade tanto interanual quanto intrasazonal nas condições de chuva. Essa diversidade climática é influenciada pela temperatura da superfície do mar nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropical, desempenhando, assim, um papel fundamental na alternância entre períodos de seca e cheias na região. (Ropelewisk e Jones, 1987; Ropelewisk e Halpert, 1997; Nobre e Shukla, 1996; De Abreu, 2019).

O estado de Alagoas, localizado no leste do NEB (ENEB), tem sua precipitação influenciada por sistemas meteorológicos específicos. Os principais fatores de chuvas na região são os sistemas frontais e as tempestades tropicais associadas a perturbações ondulatórias nos ventos alísios. Esses sistemas exercem um impacto particularmente significativo na faixa litorânea de Alagoas. Esse impacto é mais notório durante o período compreendido entre maio e agosto (Molion e Bernardo, 2002), que compreende a quadra chuvosa do estado, mas não isenta a ocorrência fora desse período.

Em estudos pioneiros conduzidos por Alves *et al.* (2001), foi enfatizada a necessidade de um estudo mais aprofundado dos sistemas meteorológicos impactando as condições climáticas no leste do NEB. Dentro dessa abordagem, os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) ganharam destaque (Alves *et al.*, 2001; 2006). Um estudo prévio, realizado por Alves *et al.* (1997), explorou a possível relação entre o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e o clima na região leste do Nordeste, representando uma fonte valiosa de informações, dado o escasso número de estudos dedicados a esse tema. Molion e

Bernardo (2002), por sua vez, abordaram os sistemas associados às precipitações no NEB, abrangendo também a área leste da região.

Há uma necessidade de atualização de estudos sobre todos os mecanismos de formação de eventos extremos na região do NEB, incluindo o estado de Alagoas. Apesar do tempo das pesquisas, quase nada foi estudado ou mudado. Esse trabalho tem uma importância social devido a essas grandes precipitações estarem associadas com uma previsibilidade baixa.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como objetivo estudar as chuvas extremas que ocorreram na estação seca de Alagoas, que compreende os meses de outubro a fevereiro.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- IDENTIFICAR os eventos extremos de precipitação a partir do Percentil 95 entre os anos de 2010 e 2022 na estação seca de Alagoas;
- INVESTIGAR os sistemas meteorológicos associados com os registros de chuva extrema;
- DETERMINAR o sistema com maior impacto na precipitação em Alagoas na estação seca;
- DEMONSTRAR o comportamento sinótico dos casos extremos identificados através dos campos e valores de instabilidade.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Clima de Alagoas

Em virtude de sua localização geográfica, o NEB é impactado por sistemas meteorológicos em multiescala, tornando-o uma região com variabilidade espaço-temporal da chuva. Tal flutuação no padrão de chuvas no NEB está ligada às complexas interações entre sistemas meteorológicos desde local à escala sinótica (Calheiros; Molion; Vaz; Tenório, 2006; Ataide 2021).

A irregularidade pluviométrica no NEB ressalta a importância dos estudos com ênfase não somente climática, mas também com um critério socioeconômico (Xavier, 2005). Por conta da problemática hídrica que assola a região NEB, e de sua área semiárida corresponder a 53% do território do Nordeste, a irregularidade das chuvas causam impactos no cotidiano da população (Santos Pereira, 2018).

O Estado de Alagoas possui, segundo a classificação de Köppen, pelo menos dois tipos de macroclima. Essa classificação está associada ao regime de chuvas e aos padrões de temperaturas ao longo do ano (Da Silva Lima, 2018; Souza et. al 2021). A metade oriental do estado possui clima tropical quente, com chuvas concentradas no outono/inverno, com volumes que variam de 1.000 a 2.200 mm anuais. A metade Ocidental do estado, que corresponde ao agreste e sertão, possui condições semiáridas, com chuvas também concentradas no outono/inverno, mas com precipitação total variando de 400 a 900 mm anuais (Barros, 2012). Estas condições classificam o Estado de Alagoas com três estações: chuvosa, seca e de transição (Souza et. al 2021).

Devido sua localização, Alagoas possui um clima caracterizado por irregularidades pluviométricas, baixa amplitude na radiação solar e um fotoperíodo constante, sem grandes variações de horas de sol, ao longo do ano. Essas condições climáticas influenciam diretamente o déficit hídrico na região (Marques, 2022). A irregularidade na quantidade de chuva ao longo do ano, influenciada por fenômenos climáticos como o El Niño, resulta em períodos de escassez de água. Além disso, a baixa amplitude na radiação solar e o fotoperíodo constante afetam o regime de temperaturas e o comportamento de espécies de plantas e animais. Compreender essas características

é essencial para o desenvolvimento de estratégias de gestão de recursos hídricos e adaptação às variações climáticas em Alagoas e no NEB como um todo (Barros, 2012).

A variabilidade anual da precipitação em Alagoas é dividida em três grandes grupos: chuvoso, seco e transição (Silva, 2022). O gradiente pluviométrico observado em Alagoas fica entre a região do litoral e o sertão (Lyra, *et al.* 2014; Costa *et al.* 2020) corrobora com a variabilidade anual das chuvas no Estado. Silva (2022) definiu março (início do período chuvoso) e agosto/setembro (fim do período chuvoso) como meses de transição. Abril, maio, junho e julho como os meses da quadra chuvosa. Outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro como os meses de estação seca (baixa média pluviométrica) com base na probabilidade da ocorrência de chuvas.

## **2.2 Chuva Extrema**

Eventos de chuvas extremas são pautas de discussões nos campos científicos e fóruns econômicos internacionais. Com o aumento dos desastres naturais nas últimas décadas, a previsão para essas condições adversas está sendo atualizada para cada região (Nunes, 2015; Da Costa Lima *et al.*, 2018). Com a interferência humana, os impactos provocados pelos fenômenos adversos, tais como: chuva, vendaval, granizo e etc., que influenciam o cotidiano das pessoas, estão ocorrendo com maior frequência. Destaque o uso e ocupação do solo de forma errônea, desmatamento e outros outros fatores são responsáveis pelos os impactos relacionados (Souza, 2016; Barcessat, 2017).

Nos grandes centros urbanos, as chuvas extremas têm uma ligação direta com a transmissão de doenças, como indicado por Aleixo (2010) e Portela (2020). Isso ocorre devido a facilidade dessas áreas a ocorrência de inundações e enchentes. As inundações podem contaminar o abastecimento de água, criar ambientes propícios para a reprodução de vetores de doenças, como mosquitos transmissores de doenças tropicais, e deslocar pessoas para áreas superlotadas e insalubres, o que amplia a disseminação de patógenos. Além disso, o excesso de água pode prejudicar sistemas de saneamento, agravando ainda mais os riscos à saúde pública (Carvalho, 2017). Portanto, é necessário abordar o impacto das chuvas extremas nas áreas urbanas

para implementar medidas preventivas e de controle de doenças, tornando esses centros mais resilientes diante das mudanças climáticas.

Em regiões rurais, os manejos errôneos do solo também podem acarretar em impactos ambientais na ocorrência de eventos extremos. Chuvas intensas em regiões desprovidas de vegetação levam a um escoamento superficial abundante, o que pode resultar em erosão e desertificação da área, como apontado por Boaventura (1986), Menezes e Sampaio (2000), e Silva (2000). Esse escoamento causa erosão, podendo desenterrar raízes de árvores e até derrubá-las, agravando a desertificação, conforme indicado por Aquino (2002).

Conforme abordado por Cardoso, Leal de Quadro e Bonetti (2020), não existe uma definição formal consensual para caracterizar episódios de chuva extrema. Na literatura científica, diversos critérios são apresentados, como: características de precipitação, volume pluviométrico e tempo de duração; sendo comum a aplicação de uma mesma definição em diferentes escalas temporais e espaciais, assim como em variados tipos de dados utilizados para análise. De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a classificação das chuvas é essencial para atribuir a denominação adequada a cada tipo de precipitação (INMET, 2023). Esta categorização é feita em uma escala que atribui valores horários, e assim permite uma análise detalhada dos eventos. Esses valores são essenciais para compreender a intensidade das chuvas e tomar medidas apropriadas em situações de risco. A partir da escala padrão do INMET, Silva e França (2021) destacam a seguinte classificação:

- 2,5 a 10 mm: Chuva Fraca - Representa uma chuva leve, suficiente para umedecer o solo e as superfícies.
- 10 a 15 mm: Chuva Moderada - Refere-se a uma chuva de intensidade moderada, capaz de causar acúmulo de água em áreas urbanas.
- 15 a 25 mm: Chuva Relativamente Forte - Indica uma chuva considerável que pode levar a inundações localizadas, especialmente em regiões com drenagem inadequada.
- 25 a 50 mm: Chuva Forte - Representa uma chuva intensa que pode causar inundações em áreas urbanas, danificar infraestruturas e causar interrupções

significativas nas atividades cotidianas.

- Acima de 50 mm: Chuva Extrema - Reflete uma chuva intensa e potencialmente devastadora, com alto risco de inundações generalizadas, deslizamentos de terra e sérios impactos nas comunidades locais.

Essa classificação disponibilizada pelo INMET é de extrema importância para pesquisadores, para a população lidar com os impactos provocados pela intensidade das chuvas, e na tomada de decisões das autoridades possibilitando a implementação de medidas de segurança e prevenção adequadas. Além disso, essa compreensão detalhada das intensidades de chuva é essencial para a pesquisa climática e previsões meteorológicas, contribuindo para a gestão eficiente dos recursos hídricos e a proteção de comunidades vulneráveis diante de eventos climáticos extremos.

### **2.3 Sistemas Meteorológicos em Alagoas na Estação Seca**

O Estado de Alagoas é influenciado por diversos sistemas sinóticos<sup>1</sup> que provoca chuva direta e indiretamente (Silva, 2011). Os sistemas sinóticos podem se organizar em qualquer época do ano e influenciar as condições do tempo, mas existem estações preferenciais para uma maior frequência de formação desses sistemas.

Na estação seca, a chuva pode acontecer devido à formação do Vórtice Ciclônico dos Altos Níveis (VCAN) - (Pontes da Silva *et al.*, 2011; Reis, 2018); seguido da organização da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que tem sua formação desde os meses de setembro e março (Silva, 2019) e, assim pode ficar posicionada mais a norte da sua posição normal; bem como os Sistemas Frontais (SF) com suas incursões nas latitudes tropicais entre novembro e janeiro (Ferreira; Mello, 2005); os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) entre janeiro e março, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM)

---

<sup>1</sup> Sistemas sinóticos são padrões de circulação atmosférica de grande escala que englobam áreas extensas, influenciando o clima e as condições meteorológicas em uma região específica, sendo identificados em mapas meteorológicos de grandes áreas devido aos seus padrões de pressão, ventos e umidade distintos (Miranda, 2013).

(Silveira, 2010).

### **2.3.1 Vórtice Ciclônico dos Altos Níveis (VCAN)**

O VCAN é caracterizado como uma baixa pressão fechada com centro frio e formação nos altos níveis da atmosfera (400 – 200 hPa) - (Ferreira *et al.* 2009; Bezerra, 2016; Nunes, 2017; Ferreira *et al.*, 2019). Sua influência no NEB e adjacência está associada às estiagens ou chuvas, devido a posição do centro e periferia (Reboita, 2017).

O VCAN pode se formar em qualquer época do ano, destaque para maior influência entre dezembro e fevereiro, com ápice em janeiro (Ferreira *et al.* 2009). Anteriormente, Kousky e Gan (1981) definiram que a formação do VCAN está associada ao fortalecimento da crista da Alta da Bolívia (AB) em função dos SF de origem subtropical.

O VCAN é classificado em: seco e úmido. Essa condição é verificada por meio da nebulosidade nas imagens de satélite infravermelho e vapor d'água (Silva, 2022).

Vale destacar que Costa (2012) apontou que o VCAN se restringe apenas aos altos níveis, são secos. Os VCAN que conseguem atingir a baixa troposfera (baixos níveis) são úmidos.

Devido sua variabilidade, ora transitório, ora estacionário (Silva, 2022); o VCAN é um dos sistemas mais complexos do Brasil em termos de previsibilidade, por exemplo, Molion e Bernardo (2002) mencionaram quando o VCAN é transitório, seu deslocamento é de 4° a 6° por dia, e sua duração é entre 4 a 11 dias em média.

A interação do VCAN com outros sistemas atmosféricos propicia um aumento considerável nos regimes de chuva no NEB (Silva, 2002). A interação do VCAN com a AB se dá por meio do deslocamento de SF para as latitudes baixas. Outra interação é com a ZCAS, intensificando-a através de ondas de calor advindas da África ou dos cavados de alta troposfera originários do Sudoeste (SW) do Saara (Ferreira *et al.*, 2009).

### **2.3.2 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)**

A ZCAS é um fenômeno meteorológico caracterizado por uma banda de nebulosidade e chuvas que se estende no sentido noroeste-sudeste (NW-SE), da Amazônia até o Sudeste do Brasil (SEB) e sobre o oceano Atlântico Subtropical (Carvalho e Jones, 2009, Braga e Ambrizzi, 2022). Esse padrão estacionário persiste por um período igual ou superior a 4 dias (Carvalho *et al.*, 2004) e exerce sua influência na região NEB, especialmente no Sul da Bahia, entre os meses de novembro a março, e concentra as chuvas nessa região (Zanella, 2014).

A ZCAS é influenciada pela convergência dos ventos no NEB como a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que transporta calor e umidade do Oceano Atlântico para o interior do continente (Reboita *et al.*, 2010). Nas regiões Norte e NEB, a ZCAS pode afetar os índices pluviométricos, dada a proximidade dessas áreas de sua posição climatológica. Em escala continental, a ZCAS desempenha um papel crucial na circulação do verão na América do Sul (AS) - (Reboita *et al.*, 2010).

Em um estudo realizado na região Sul do Nordeste do Brasil (SNEB), Chaves e Cavalcanti (2000) identificaram que o uso da Radiação de Onda Longa (ROL) na identificação da posição da ZCAS é fundamental, por exemplo, quando mais ao norte de sua posição climatológica, a ZCAS propiciou eventos de chuva extrema na região, que abrange os estados da Bahia, norte de Minas Gerais, extremo sul do Piauí e a maior parte de Sergipe.

A ZCAS influencia a variabilidade temporal das chuvas em várias escalas, que inclui convectiva, sinótica, sub sazonal e interanual (Correia, 2013).

### **2.3.3 Sistemas Frontais (SF)**

Os SF contribuem para a produção de chuvas no NEB, devido a incursão em direção às latitudes tropicais, geralmente de novembro a janeiro (Ferreira e Mello 2005). Além disso, esses SF estão associados a diversos outros sistemas meteorológicos, incluindo os VCAN e a ZCAS (Molion e Bernardo, 2002; Ferreira e De Albuquerque, 2022).

Os SF são caracterizados pela confluência de uma massa de ar frio (de maior densidade) e uma massa de ar quente (de menor densidade), que resulta na formação de nuvens e ocorrência de chuvas (Ferreira e Mello, 2005; Costa, 2012). Um SF clássico é composto por três elementos principais: i) frente fria, ii) frente quente e iii) um centro de baixa pressão (Andrade, 2005). Esses SF ocorrem ao longo do ano na AS, com intensidade variável, sendo mais intensos em latitudes altas (Cavalcanti e Kousky, 2009).

Na AS, alguns SF percorrem a região costeira em uma direção noroeste-sudeste (NW-SE) e alteram sua trajetória de sudoeste (SW) para nordeste (NE) (Rodrigues *et al.*, 2004). Esses SF têm origem na interação entre a Massa Polar Atlântica (mPa) e a Massa Polar Tropical (mPt), que resulta em chuvas, principalmente de junho a agosto, nos estados de Alagoas, Sergipe e Bahia (Zanella, 2014). Meneghetti e Ferreira (2009) classificou os SF, as convecções locais e os vórtices ciclônicos como os principais sistemas meteorológicos que influenciam os padrões de chuva no SNEB, incluindo Bahia, Norte de Minas Gerais, NW do Espírito Santo, Piauí e Pernambuco.

Em maio de 2009, foram investigados eventos extremos de chuva na costa ENEB baseado em dados pluviométricos e imagens dos satélites GOES 10 e METEOSAT 9. Constatou-se que em Maceió (AL), as chuvas foram causadas pela entrada de SF em latitudes baixas ou resquícios desses sistemas, associados à convergência de umidade na zona costeira. Essas chuvas resultaram em danos materiais na cidade e perdas humanas (Fialho e Molion, 2012). Moscati e Gan (2006) relacionaram eventos de chuva extrema na região semiárida SNEB aos SF. Eles identificaram 21 eventos extremos no período de 1986 a 1977, sendo 15 destes eventos associados aos SF. Nestes casos, as condições atmosféricas pré-frontais favoráveis foram cruciais para o evento da chuva extrema.

#### **2.3.4 Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM)**

Os CCM são fenômenos meteorológicos que desencadeiam chuvas intensas e trovoadas, frequentemente seguidas por enchentes, alagamentos e deslizamentos de terra (Lyra *et al.*, 2018). Estudos prévios investigaram os impactos dos CCM, por exemplo, Olímpio *et al.* (2013) avaliaram a influência dos CCM em Fortaleza (Ceará)

em março de 2012. Nesse evento, a chuva diária acumulada de 196,5 mm foi registrada, sendo a segunda maior chuva do município naquele mês. As chuvas provocadas pelos CCM concentraram-se principalmente na região costeira, enquanto o interior do continente permaneceu sem registro de precipitação.

Os CCM podem variar em escala, desde células isoladas até aglomerados de nuvens com milhares de quilômetros. Esses aglomerados podem incluir diferentes tipos de nuvens e ter um ciclo de vida que se estende por vários dias (Maddox, 1980). Nos trópicos, bem como em várias áreas de latitude média, os CCM's são responsáveis pela maior parte das chuvas, especialmente de janeiro a março. Além dos CCM's, as Linhas de Instabilidade (LI) também desempenham um papel importante na atmosfera subtropical (Assunção *et al.*, 2009).

A ocorrência dos CCM's é predominante nos meses de janeiro a março e de setembro a dezembro, com índices pluviométricos significativos no NEB. Durante esses períodos, a temperatura da superfície do mar (TSM) próxima à costa do NEB atinge aproximadamente 29°C nos dias em que ocorrem os CCM's Albuquerque (2011).

Fedorova *et al.* (2008) utilizaram o modelo HYSPLIT, dados de temperatura do ar e as imagens de satélite na avaliação do desenvolvimento e da trajetória dos CCM no Estado de Alagoas, relacionando esses sistemas a eventos extremos, tais como, trovoadas e inundações. Posteriormente, Fedorova *et al.* (2009) examinaram as características físicas e morfológicas dos CCM no período de 2003 a 2006 em Alagoas, e constataram que 90% das tempestades no oeste de Alagoas durante esse período foram causadas pelos CCM.

Os CCM no NEB ocorrem especialmente nos meses de janeiro a março, durante a estação seca, com uma duração média de aproximadamente 11 horas e uma evolução máxima no início da noite e madrugada. Eles abrangem uma área de aproximadamente 500 km de diâmetro e apresentam temperaturas no topo das nuvens inferiores a -40°C, em média (Silveira, 2010). Albuquerque (2011) destacou a influência da topografia no desenvolvimento dos CCM no ENEB.

O autor observou que em mais de 60% dos casos, as trajetórias dos CCM direcionaram-se para regiões de latitude menor ou igual àquela em que se formavam. Nos 40% restantes, eles se originam em áreas de baixas latitudes e, posteriormente,

se deslocavam para regiões de latitudes mais elevadas.

### **2.3.5 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)**

A ZCIT desempenha um papel crucial na caracterização climática e nas condições de tempo nas regiões tropicais, exercendo uma influência sobre os regimes de chuva (Melo *et al.*, 2000; Tessler e Goya, 2005; Ferreira e Melo 2005). A ZCIT é um sistema meteorológico de extrema relevância para a determinação da estação chuvosa no NEB, especialmente durante o primeiro semestre de cada ano (Xavier *et al.*, 2003)..

No entanto, é amplamente reconhecido na comunidade científica que os modos de variabilidade climática, tais como, o El Niño-Oscilação Sul (ENOS), a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e o Gradiente Inter-hemisférico da Temperatura da Superfície do Mar do Atlântico (GITSMA) contribui para acentuar ou inibir o desempenho dos principais sistemas meteorológicos no NEB, incluindo a ZCIT (Carvalho e Oyama, 2013; Lyra *et al.*, 2017).

A ZCIT é definida como uma banda de nuvens que circunda a região equatorial do planeta, resultante da convergência dos ventos alísios do Hemisfério Norte (HN) com os do Hemisfério Sul (HS), em altitudes baixas na atmosfera (Ferreira e Melo, 2005).

Essa convergência dos ventos alísios provoca a ascensão do ar quente e úmido, e possibilita o transporte da umidade do oceano para as camadas superiores da atmosfera, e assim resulta na formação de nuvens de desenvolvimento vertical, denominadas Cumulonimbus (Funceme, 2020).

### **2.3.6 Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM)**

A variável precipitação é considerada de importância fundamental nas regiões tropicais devido à sua relação com a convecção local (Da Silva Costa e Lima, 2020). Esse processo de convecção é caracterizado pelos movimentos ascendentes do ar quente e úmido, decorrentes das baixas pressões atmosféricas próximas à superfície (Molion e Bernardo 2002).

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) emergem como mecanismos de

convecção, e embora tenham uma existência breve, têm o potencial de atingir proporções significativas, como observado em estudos de Maddox (1980) e Da Silva Costa e Lima (2020). Essa ampliação das dimensões dos SCM aumenta a probabilidade de eventos meteorológicos extremos, especialmente aqueles associados à precipitação.

Conforme Orlanski (1975) destacou, os fenômenos meteorológicos manifestam-se em distintas escalas atmosféricas, que englobam desde a microescala até a grande escala, incluindo a escala sinótica. Na escala meso sinótica, encontramos os SCM, que podem ser desdobrados em CCM, LI e SF, que abrange distâncias que variam de 20 a 2500 km e persiste por um período mínimo de 6 horas e se estender até 7 dias (Da Silva Costa e Lima, 2020).

Os SCM referem-se a um conjunto de aglomerados de nuvens convectivas, predominantemente caracterizados como Cumulonimbus (Cb), que se manifestam em vários estágios do seu ciclo de desenvolvimento. Essa definição foi inicialmente proposta por Maddox (1980) e subsequentemente corroborada por Houze (1993), ambos os autores identificaram que esses sistemas são originários de tempestades individuais ou com configuração na forma de estruturas lineares.

Devido à sua ampla variedade, os sistemas meteorológicos foram categorizados como Linhas de Instabilidade (LI) quando assumem configurações lineares, Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) quando exibem uma morfologia circular e, simplesmente, Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) quando apresentam formas.

No entanto, todos esses sistemas compartilham características comuns, tais como, a ocorrência de chuva convectiva e estratiforme, com uma duração entre 6 e 12 horas, e às vezes se prolonga por diversos dias (Houze 1977; Maddox 1980; Mcanelly e Cotton 1989; Houze 1993 e 2004; Eichholz 2011; Eichholz e Campos 2009; Costa *et al.* 2019; Song *et al.* 2019). Conforme indicado por Orlanski (1975), os SCM apresentam escalas horizontais entre 20 a 200 km (meso- $\beta$ ) e de 200 a 2.500 km (meso- $\alpha$ ), sendo responsáveis pela maior parte da chuva nas regiões tropicais e em várias áreas de latitudes médias durante a estação quente.

Barbosa e Correia (2005) investigaram a distribuição dos SCM associados a eventos

extremos de chuvas e inundações no Rio São Francisco em 1985. As autoras analisaram um evento atípico de atividade convectiva intensa ocorrido em junho.

Os resultados apontaram que a escala sinótica desempenhou um papel crucial na evolução dos SCM, com a convergência do fluxo de umidade na baixa troposfera exercendo um papel fundamental na gênese da convecção profunda.

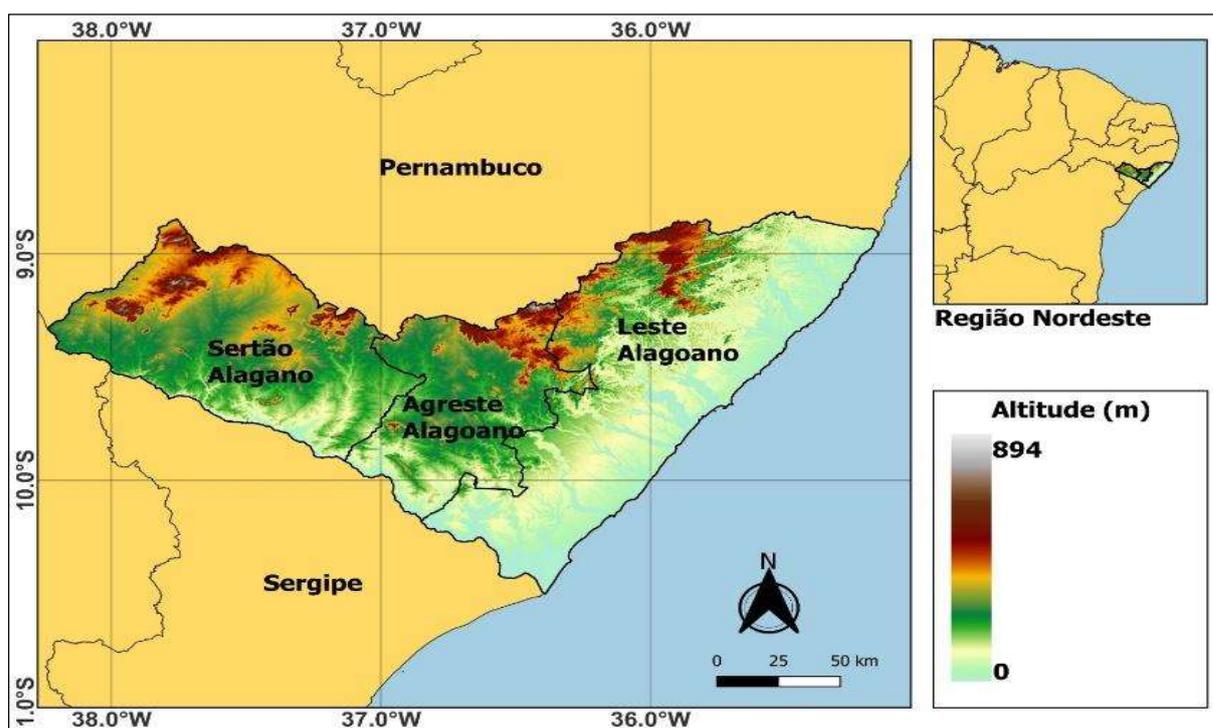
Um dos primeiros estudos acerca dos SCM na região semiárida do Brasil foi conduzido por Ramos (1975). Ele observou que as chuvas anuais na região ocorriam entre 6 e 8 episódios de chuva. Posteriormente, Machado e Rossow (1993) e Salio *et al.* (2007) observaram uma relação direta entre o tamanho médio dos SCM e a sua longevidade. Os pesquisadores analisaram os SCM em relação ao jato de baixos níveis (JBN) durante o período entre setembro de 2000 a maio de 2003, nas coordenadas 10° a 40°S e 40° a 75° W na AS, e concluíram que os SCM tropicais são menores e têm uma menor durabilidade em comparação com os SCM subtropicais. Este resultado corrobora o estudo de Eichholz (2011), que argumentou que essa diferença ocorre principalmente devido ao fato de os SCM tropicais receberem calor e umidade em virtude do aquecimento diurno, enquanto os SCM subtropicais recebem calor e umidade transportados pelo JBN.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo compreende o estado de Alagoas (Figura 1), situado no Leste do Nordeste ENEB com uma área aproximada de 27.831 km<sup>2</sup>, conforme dados do último Censo (2022) feito pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), correspondente a 0,33% do território do Brasil. Alagoas está geograficamente localizado entre os paralelos 8° 48' 12" e 10° 29' 12" Sul, e entre os meridianos 35° 09' 36" e 38° 13' 54" Oeste. Sua extensão abrange 339 km no sentido Leste-Oeste (E-W) e 186 km no sentido norte-sul (N – S) – (Lyra *et al.*, 2014).

Figura 1 – Identificação da área de estudo com destaque das três mesorregiões (Sertão, Agreste e Leste) do estado de Alagoas.



Fonte: Autoria própria.

O estado de Alagoas está dividido em três mesorregiões climáticas, conforme Souza *et al.* (2020): Leste, Agreste e Sertão Alagoano. A mesorregião Leste é a maior em extensão territorial e engloba a região litorânea. O Agreste, por sua vez, corresponde a uma área de transição entre as zonas úmidas e as secas, enquanto o Sertão Alagoano abrange as áreas com características climáticas áridas e semiáridas, conforme dados do IBGE (2023). As mesorregiões mencionadas anteriormente são

classificadas de acordo com a tipologia climática seguinte: Leste com clima “Am”, que caracteriza o clima tropical de monções; Agreste com clima “Aw”, representando o clima tropical com inverno seco; e Sertão Alagoano com clima “BSh”, indicando um clima semiárido e quente, conforme a classificação de Koppen, Alvares *et al.* (2013).

### **3.1.1 Leste Alagoano**

Com uma área de 13.275,8 Km<sup>2</sup> e uma população estimada em pouco mais de 2 milhões de pessoas (IBGE, 2022), o leste alagoano possui um clima tropical úmido, com verões secos e o período chuvoso concentrado no outono e inverno. Com 52 municípios, a região é a maior do estado de Alagoas, tanto em população quanto na quantidade de prefeituras administrativas. É a região mais chuvosa do estado com médias que variam de 1200 a 2400 mm anuais (Comisso, 2021). E com isso a mais suscetível às inundações e cheias provocadas pelos rios Mundaú e Paraíba do Meio (Da Silva *et al.* 2019; Cabral *et al.* 2020) e afluentes que estão presentes por toda região.

### **3.1.2 Agreste Alagoano**

O agreste do estado de Alagoas, é uma região de transição entre a região mais chuvosa (leste alagoano) e a região menos chuvosa (sertão alagoano). Com uma área de 5.838 km<sup>2</sup> e com uma população estimada em mais de 600 mil habitantes (IBGE, 2022) é a menor região do estado de Alagoas. Com 24 prefeituras admirativas, possui a segunda cidade mais populosa do Estado, Arapiraca com 234.696 habitantes (IBGE, 2022) e a quarta maior cidade, Palmeira dos Índios com seus 71.574 habitantes (IBGE, 2022).

Segundo dados da SEMARH - Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH) e INMET, as precipitações na região possuem médias que variam de 400 a 1200 mm por ano. As maiores precipitações são observadas nas regiões de maior altitude e as menores precipitações nas regiões de baixa altitude. O comportamento da chuva é semelhante à região Leste. Chuvas concentradas no outono/inverno e escassez hídrica na primavera/verão

### **3.1.3 Sertão Alagoano**

O sertão de Alagoas é a região mais seca do estado. Exceto a região de Mata Grande, que devido ao seu relevo, consegue sobrepor ao regime de chuvas da região. Segundo dados da SEMARH, o sertão de Alagoas possui médias que variam entre 400 e 700 mm, com exceção de Mata Grande com 1100 mm de média.

Segunda região maior do Estado, com área total de 8.819,3 Km<sup>2</sup> e uma população superior a 450 mil habitantes (IBGE) distribuídas em 26 municípios, o sertão alagoano é a região mais árida do estado. Com impactos significativos nas secas e escassez de chuvas.

## **3.2 Dados Utilizados**

### **3.2.1 Dados de Precipitação**

Foram obtidos dados de precipitação diária para o estado de Alagoas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH) em 2023 com acesso em <http://www.semarh.al.gov.br/>. A base de dados constam registros dos seguintes órgãos: Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN/MCTI); Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O período de estudo foi entre 2010 e 2022.

### **3.2.2 Método Estatístico Percentil**

Com o objetivo de caracterizar eventos extremos de precipitação, empregou-se a técnica dos quantis. Essa metodologia envolve a ordenação crescente dos dados, dividindo-os em partes iguais (Costa, 2018). Neste estudo, adotou-se o percentil (P), o qual divide a amostra em 100 partes com aproximadamente a mesma proporção de dados em cada uma. Os limiares foram estabelecidos conforme Costa (2018): EPI  $\geq$  P95 (evento de precipitação intensa). Os valores de EPI ficaram acima de 26,2 mm para o período de 24 horas.

### **3.2.3 Dados de reanálise**

Para esse estudo, foram utilizados os dados de reanálise do modelo numérico global ERA 5, do European Center for Medium-Range Weather Forecasting (ECMWF), disponíveis na homepage: <https://cds.climate.copernicus.eu>, com resolução espacial de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  e entre os anos de 2010 e 2022. Foram utilizados os níveis padrão entre 1000 e 200 hPa, variando a cada 100 hPa.

Foram utilizados os horários sinóticos (00, 06, 12 e 18 UTC) para confeccionar os seguintes campos: linhas de corrente; omega; perfis verticais simulados e corte vertical da temperatura potencial equivalente.

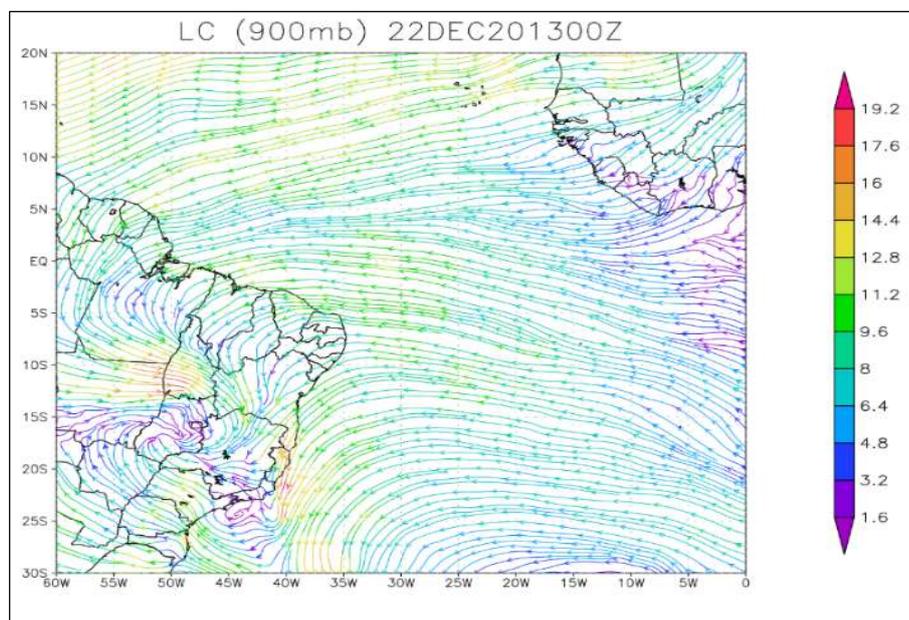
#### **3.2.3.1 Identificação dos Sistemas Sinóticos**

Foram utilizados os métodos sinóticos para identificação dos sistemas atuantes, tais como: ZCAS, VCAN, SF que foram relacionados diretamente e indiretamente com as precipitações extremas. Cada campo meteorológico foi descrito abaixo.

#### **3.2.3.2 Linhas de Corrente**

Foram utilizados o campo de linhas de corrente para identificação de sistemas meteorológicos de escala sinótica entre os níveis de 1000 e 200 hPa, variando a cada 100 hPa. As linhas de corrente são vetores resultantes entre a componente zonal (u) e componente meridional (v) do vento. Esse campo meteorológico permite identificar o comportamento do vento, bem como sua magnitude. Centros de baixa e alta pressão, convergências e divergências de vento. Também é possível determinar o deslocamento e trajetória das parcelas de ar (Camila *et al.* 2020) (Figura 2).

Figura 2 – Linhas de corrente em 900 hPa para o dia 22/12/2013 às 00UTC.



Fonte: Autoria própria.

Esse campo é determinado pela seguinte equação (1).

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v(x,y,t_0)}{u(x,y,t_0)} \quad (1)$$

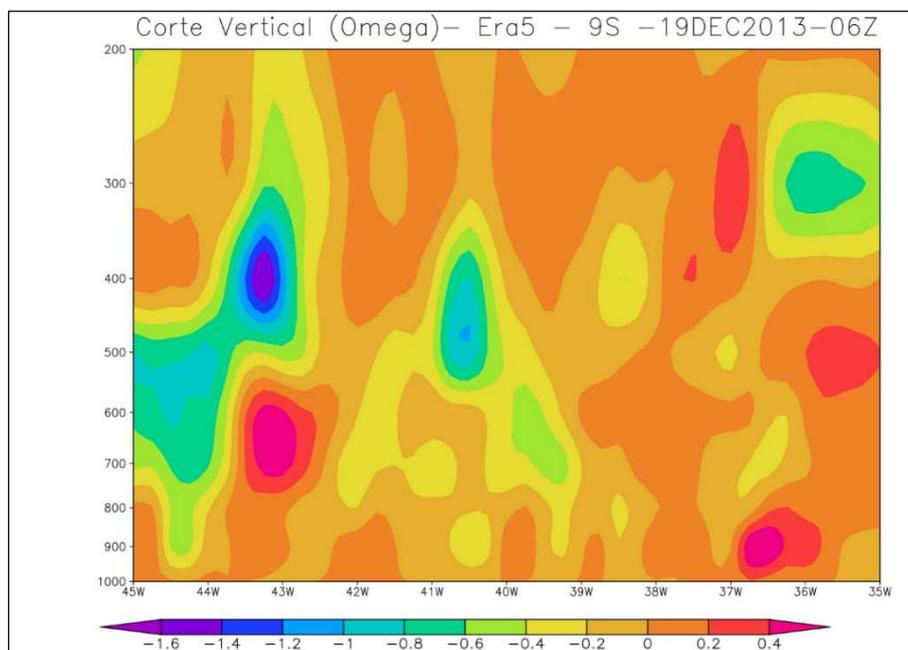
Onde  $u$  é a componente zonal do vento e  $v$  a componente meridional do vento.

### 3.2.3.3 Movimentos Verticais (omega)

O campo meteorológico de movimentos verticais (omega) permite identificar o comportamento de convecção ou subsidência da atmosfera (Bonnet; Dereczynski; Nunes, 2018). É visto que valores negativos para o omega indica situação de convecção, ou seja, ascensão da parcela de ar na atmosfera.

Já para valores positivos indica subsidência, ou seja, movimentos de descida da parcela de ar. Esse campo é indispensável para compreender a profundidade da instabilidade na atmosfera e determinar qual nível esteve presente maiores valores de instabilidade (Figura 3).

Figura 3 – Campo de Velocidade Vertical (omega) identificando os movimentos ascendentes (valores negativos) e descendentes (valores positivos) para o dia 19/12/2013 às 06 UTC.



Fonte: Autor

Essa velocidade vertical é determinada pela equação (2).

$$\left[ \nabla_p^2 + \frac{f_0^2}{\sigma} \frac{\partial^2}{\partial p^2} \right] \omega = - \frac{f_0}{\sigma} \frac{\partial}{\partial p} \left[ \underbrace{-V_g \rightarrow \cdot \nabla_p (\zeta_g + f)}_B \right] - \frac{R}{\sigma p} \nabla_p^2 \left[ \underbrace{-V_g \rightarrow \cdot \nabla_p T}_C \right] \quad (2)$$

A

B

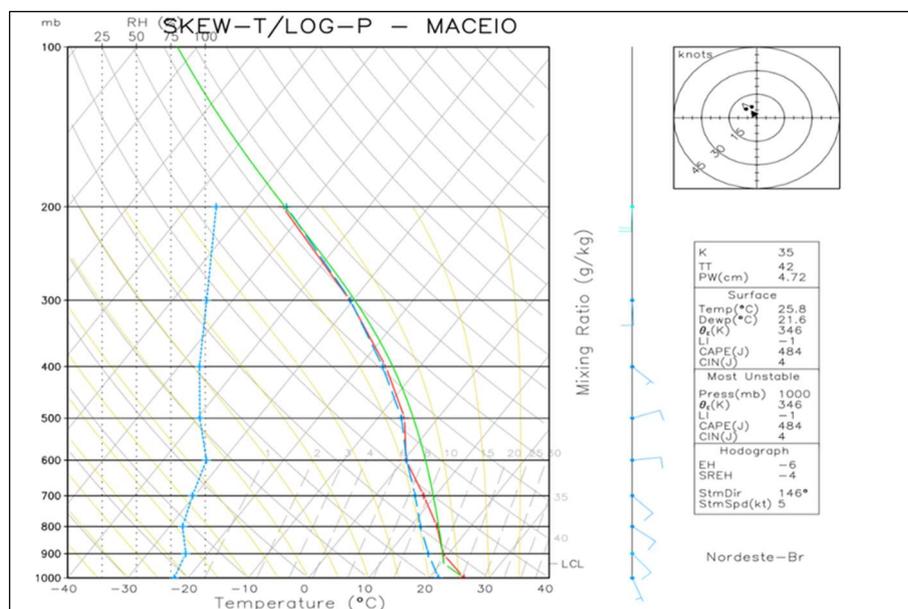
C

Onde o termo A se refere ao Laplaciano de Omega; B termo de advecção diferencial de Vorticidade absoluta e C termo de advecção de temperatura.

### 3.2.3.4 Perfis Verticais Simulados

Os perfis verticais simulados são utilizados para estudos termodinâmicos nas regiões que não possuem radiossondagem (Camila *et al.* 2020). Foram confeccionados perfis verticais simulados através dos dados do ERA – 5 para os níveis de 1000 a 200 hPa, variando a cada 100 hPa (Figura 4).

Figura 4 – Perfil simulado entre os níveis de 1000 e 200 hPa para o dia 29/12/2022 às 18 UTC.



Fonte: Autoria própria.

Nesse perfil foram plotados os valores para identificação de instabilidade. Os valores de TT, LI e K são utilizados para descrever as condições de tempo severo. Os valores de referência foram adaptados por Nascimento (2005) como visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de referência para análise de valores de instabilidades adaptados por Nascimento (2005)

Condições do tempo	K	TT	LI
Tempo estável, pouco favorável à formação de tempestades;	$20 \leq K < 25$	$TT < 40$	$LI > 2$
Instabilidade moderada, condições favoráveis à convecção rasa;	$26 \leq K < 29$	$41 \leq TT < 43$	$0 < LI < 2$
Instabilidade forte, com possibilidades de convecção profunda;	$30 \leq K < 35$	$44 \leq TT < 46$	$-3,9 < LI < 0$
Instabilidade muito forte, condições para tempo severo.	$K > 36$	$TT > 47$	$LI < -4$

Fonte: Nascimento (2005)

## i. CAPE

O CAPE, conhecida como Energia Potencial Convectiva Disponível, representa a quantidade de energia cinética máxima que uma unidade de massa de ar úmido da camada limite pode adquirir durante sua ascensão pseudo-adiabática, proporcionada pela convecção, desde o nível de convecção espontânea (NCE) até o nível de equilíbrio (NE).

Essencialmente, a CAPE serve como uma medida da energia disponível para a verticalização do ar úmido na formação de nuvens convectivas. Conforme Ye *et al.*

(1998) apontam, que a CAPE estabelece um limite superior para a velocidade vertical da corrente ascendente em tais nuvens do tipo cumulus. Esses valores foram estabelecidos por Bluestein (1993), conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de referência para o CAPE descritos por Bluestien (1993).

CAPE (J/Kg)	Condições associadas
$500 \leq \text{CAPE} < 1000$	Convecção fraca
$1000 \leq \text{CAPE} < 2500$	Convecção moderada
$> 2500$	Convecção forte

Fonte: Bluestien (1993).

O CAPE é obtido através da seguinte equação (3):

$$CAPE = \int_{NCE}^{NE} Rd(T_{vp} - T_{va}) dlnp \quad (3)$$

Onde:  $T_{vp}$  representa a temperatura potencial equivalente da parcela,  $T_{va}$  é a temperatura potencial equivalente saturada do ambiente e Rd é a constante do gás para o ar seco.

## ii. Índice K

O índice utilizado para a estimativa do potencial de tempestades e precipitação se fundamenta na análise da variação vertical da temperatura, da quantidade de umidade presente na baixa troposfera e da extensão da camada úmida (Tavares, 2012). Esse indicador tem a capacidade de identificar condições propícias para o desenvolvimento de tempestades em ambientes caracterizados por alta umidade ao longo de toda a troposfera, como é comum em regiões tropicais. Em contrapartida, ele tende a apresentar valores mais baixos quando ocorre a entrada de ar seco nas camadas inferiores e médias da atmosfera, o que resulta no aumento da depressão do bulbo úmido a 700 hPa, conforme observado por Nascimento (2005).

O índice K pode ser obtido através da seguinte equação 4:

$$K = (T_{850} - T_{500}) + T_{d\ 850} - (T_{700} - T_{d\ 700}) \quad (4)$$

Onde T é a temperatura do ar e Td a temperatura do ponto de orvalho, ambas temperaturas devem ser obtidas em °C, nos níveis de 850, 700 e 500 hPa.

### iii. Índice *Total Totals* (TT)

O Índice TT, ou Índice de Trovoada, utiliza três condições específicas: a taxa de variação vertical da temperatura em níveis médios, a umidade presente a 850 hPa e a temperatura a 500 hPa. De maneira geral, quando a sondagem registra valores de TT superiores a 40, isso sinaliza condições propícias para a ocorrência de tempestades algumas horas mais tarde, enquanto valores acima de 45 indicam um potencial para tempestades severas (Tavares, 2012). Contudo, é importante destacar que uma avaliação isolada do Índice TT para fins de previsão convectiva não é suficiente, pois uma taxa de variação elevada em níveis médios pode resultar em um TT elevado, mesmo na ausência de um suprimento adequado de umidade em camadas inferiores, conforme apontado por Nascimento (2005).

Esse índice pode ser calculado usando a seguinte equação 5:

$$TT = T_{850} + T_{d\ 850} - 2 \cdot (T_{500}) \quad (5)$$

Onde T e T<sub>d</sub> são temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho, respectivamente. 850 e 500 hPa são os níveis que essa temperatura deve ser coletada.

### iv. Índice de Levantamento (*LIFT INDEX*, LI)

Utilizado para examinar a taxa de estabilidade e instabilidade da atmosfera, o índice de levantamento determina condições propícias à convecção ou inibição das condições de formação de tempo severo ou tempo bom (Wandala *et al.* 2018).

Definido a partir da equação 6:

$$LI = T_{500} - T_{500'} \quad (6)$$

No contexto original, T<sub>500</sub> representa a temperatura do ar ambiente a 500 hPa, enquanto T<sub>500'</sub> indica a temperatura de uma parcela de ar em 500 hPa, ambas em graus Celsius.

Essa temperatura é calculada após a parcela de ar ascender, seguindo um processo adiabático seco (pseudo-adiabático), a partir da superfície até atingir a altitude de 500

hPa, levando em consideração a temperatura no momento em que o perfil é obtido.

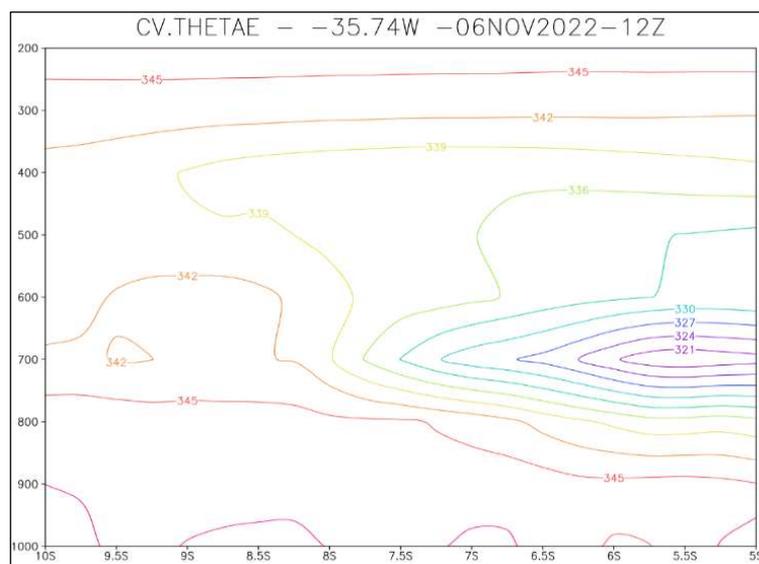
Valores negativos do Índice de Instabilidade (LI) apontam para condições atmosféricas instáveis.

O LI é uma informação crucial para analisar o grau de instabilidade atmosférica em pequena escala, especialmente quando é utilizado em conjunto com a CAPE, conforme destacado por Nascimento (2005).

### 3.2.3.5 Temperatura Potencial Equivalente ( $\theta$ )

Na seção vertical de temperatura potencial equivalente, foi descrito por Fedorova em 2016, que a identificação da influência de sistemas frontais nas latitudes extratropicais não é precisa, desse modo, foi desenvolvido um método de identificação (Figura 5) de influência das zonas frontais nas latitudes baixas (Muanza, 2018). Esse método consiste no gradiente da temperatura potencial equivalente, que é a diferença da temperatura potencial em um curto espaçamento horizontal, que demonstra interação de massas de ar de origens diferentes.

Figura 5 – Seção Vertical da Temperatura Potencial Equivalente demonstrando gradientes mostrando interações das massas de ar nos níveis de 1000 a 200 hPa no dia 06/12/2022 às 12Z para o modelo ECMWF.



Fonte: Autoria própria.

### **3.2.4 Imagens de Satélite**

Foram utilizadas imagens de satélite nos canais infravermelho, infravermelho realçado, visível e vapor d'água dos satélites GOES 13 e 16, e Meteosat 8 e 9 disponibilizadas pelo Centro de Previsão de Tempo e estudos climáticos (CPTEC/INPE), na homepage: <https://www.cptec.inpe.br/>.

### **3.2.5 Softwares Utilizados**

Para a elaboração dos campos meteorológicos, foi utilizado o software gráfico *Grid Analysis and Display System* (GrADS) na versão 2.2.1, desenvolvido pelo Center for Ocean Land Atmosphere Interaction (COLA) e disponível em sua página inicial: <http://cola.gmu.edu/grads>. Adicionalmente, todas as tabelas foram organizadas no software de planilhas Microsoft Excel 2016 e MatLAB R2021b.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análise Geral do Período de Estudo

No período de estudo (2010 a 2022) foram identificados 344 de chuvas extremas na estação seca (outubro - fevereiro) em Alagoas, de acordo com o Percentil 95. Os registros das chuvas variaram entre 26,2 mm e 181 mm para o período de 24 horas (disponíveis no apêndice A deste trabalho).

Devido a quantidade de casos e a falta de eventos simultâneos nas regiões do Estado, as cidades de Santana do Ipanema que fica localizada no sertão do estado; Palmeira dos Índios, agreste e Maceió, leste de Alagoas foram as cidades que se destacaram com os volumes de chuva em 24 horas de suas respectivas regiões (Tabela 3). A cidade de Igreja Nova, localizada na região leste do Estado, foi a cidade com maior índice de precipitação do período. Apesar do município estar inserido numa região com um caso estudado, foi discutido também em detalhes devido ao maior valor extremo de precipitação do estudo.

Tabela 3 – Casos extremos de precipitação com as cidades em destaque para cada região do estado de Alagoas entre os anos de 2010 e 2022

Data	Cidade	Região	Acumulado (mm/24h)
18/12/2013	Santana do Ipanema	Sertão	79
25/12/2021	Igreja Nova	Leste	181
06/11/2022	Maceió	Leste	130,8
29/11/2022	Palmeira dos Índios	Agreste	102

Fonte: SEMAH (2023).

Estudos anteriores determinaram, de forma geral, os sistemas que provocam precipitações intensas em Alagoas (Silva *et al.* 2011). Dentre eles: Vórtice Ciclônico dos Altos Níveis (VCAN); Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); e Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL). Neste presente estudo, foram encontrados os maiores índices de precipitação relacionados à Zona de Convergência Atlântico Sul (ZCAS) na região agreste e sertão de Alagoas, não descritos por Silva *et al.* 2011)

### 4.2 Análise detalhada do Leste de Alagoas

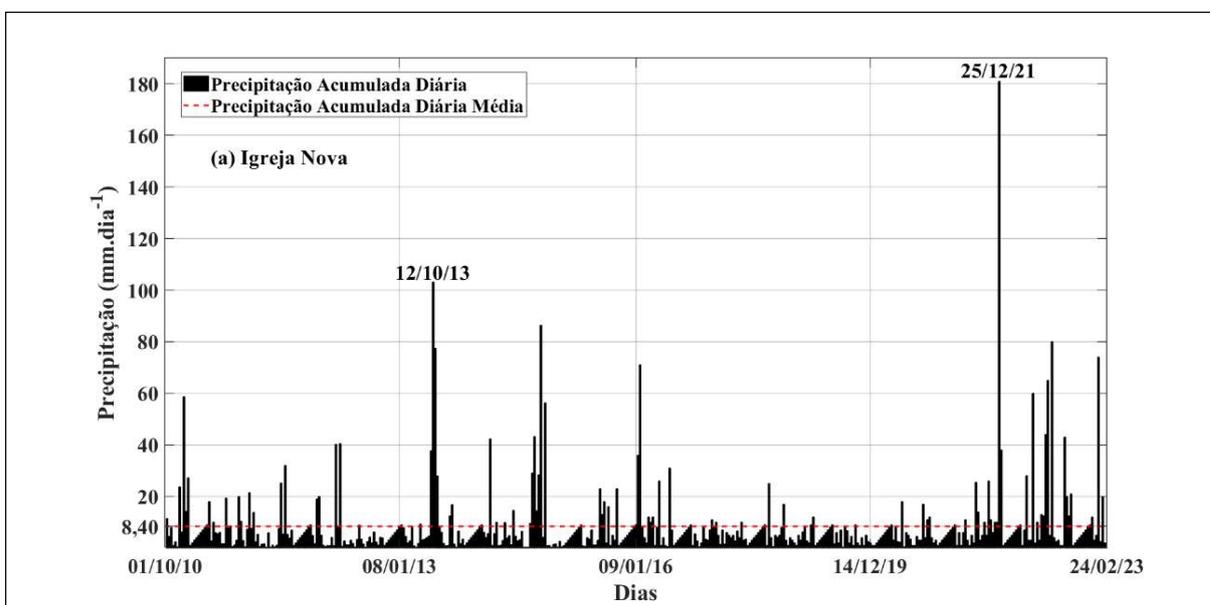
Em decorrência da atuação do SF e da ZCAS, sendo esses os sistemas associados,

os maiores volumes de chuvas identificados estão apresentados em detalhes os casos ocorridos em Maceió e Igreja Nova. Outros grandes acumulados da mesorregião constam no apêndice B deste trabalho.

#### 4.2.1 Caso 1: Igreja Nova (25/12/2021)

A Figura 6 mostra os valores das precipitações que ocorreram na cidade de Igreja Nova entre os danos de 2010 e 2022, na estação seca. No dia 25/12/2021 é possível identificar o maior registro de precipitação para o período, 181 mm.

Figura 6 – Gráfico de barras para a cidade de Igreja Nova entre os anos de 2010 e 2022 mostrando o acumulado de chuva em 24 horas na estação seca de Alagoas.



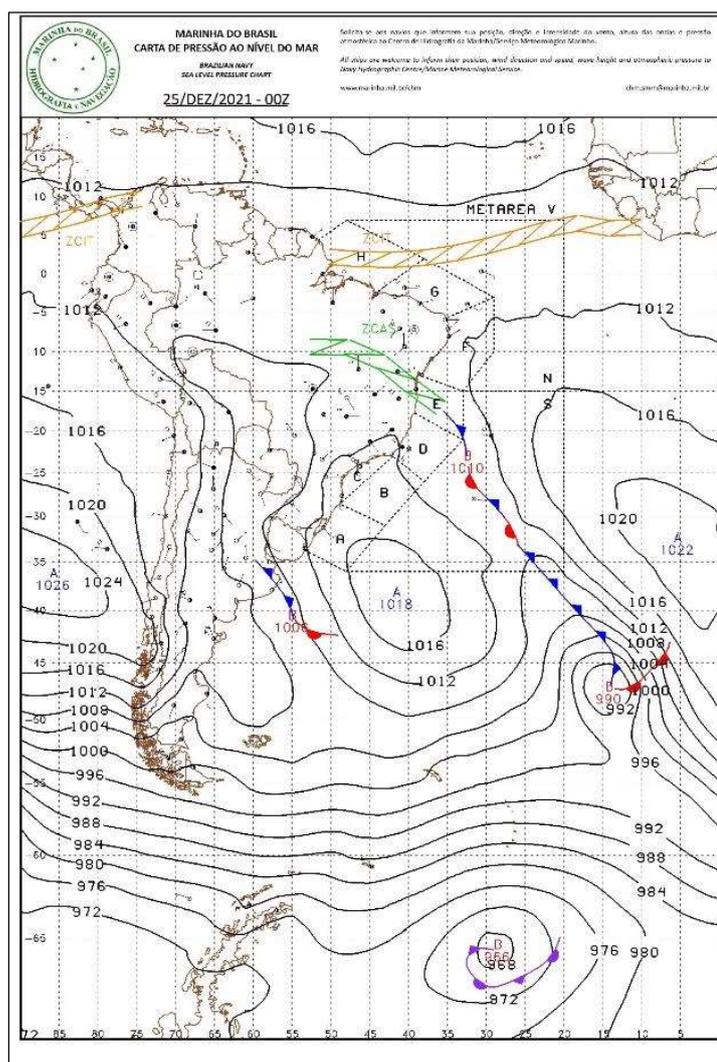
Fonte: Autoria própria.

O acumulado desse evento foi de 229 mm (72h) e tendo em vista que a média pluviométrica para o município é de apenas 40 mm (SEMARH) o que mostra que choveu 472,5% a mais da média para todo o mês. Houve destruição pontual na cidade provocada pelo temporal.

Entre os dias 23 e 27 de dezembro de 2021, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) apresentou uma configuração mais ao norte do que o habitual, posicionando-se além de sua média tradicional na região Sudeste, conforme apontado por Braga e Ambrizzi em 2022. A posição mais ao norte foi causada pela influência do La Niña, águas mais frias do Pacífico Equatorial, que atuou entre 2020 e 2022 (Braga e

Ambrizzi, 2022). Esse deslocamento propiciou a ocorrência de instabilidades atmosféricas em Alagoas, evidenciadas na carta sinótica da Marinha do Brasil (Figura 7). É relevante notar que essas condições não foram previamente identificadas nos estudos prévios realizados para a região, como documentado por Da Silva *et al.* 2011.

Figura 7 – Carta sinótica da Marinha do Brasil em baixos níveis identificando a formação da ZCAS e outros sistemas no dia 25/12/2021 às 00UTC.



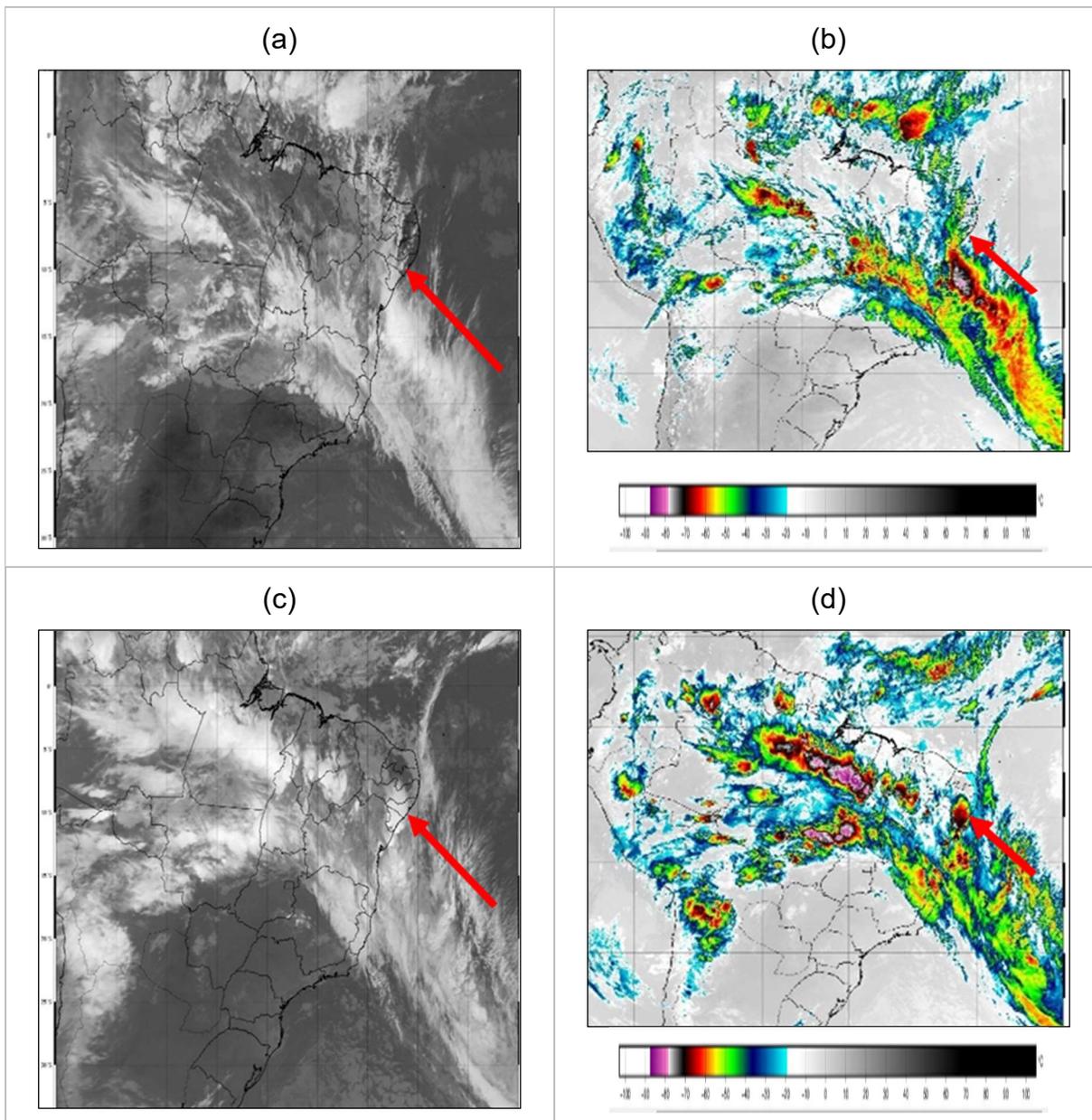
Fonte: Marinha do Brasil (2021).

#### 4.2.1.1 Imagens de Satélite

A detecção da formação da ZCAS foi viabilizada pela observação da extensão das nuvens nos satélites utilizando os canais Infravermelho (Figura 8 (a e b)) e Infravermelho Realçado (Figura 8 (c e d)). A presença aproximação da ZCAS desenvolvimento de nuvens convectivas, o que resultou no considerável volume de

precipitação registrado.

Figura 8 – Imagens de satélite do satélite GOES – 16 e METEOSAT – 9 entre os dias 24 (a e b) às 15 UTC e 25 (c e d) às 02 UTC de dezembro de 2021 identificando nebulosidade convectiva em resposta às instabilidades provocadas pela ZCAS no canal Infravermelho e Infravermelho Realçado.



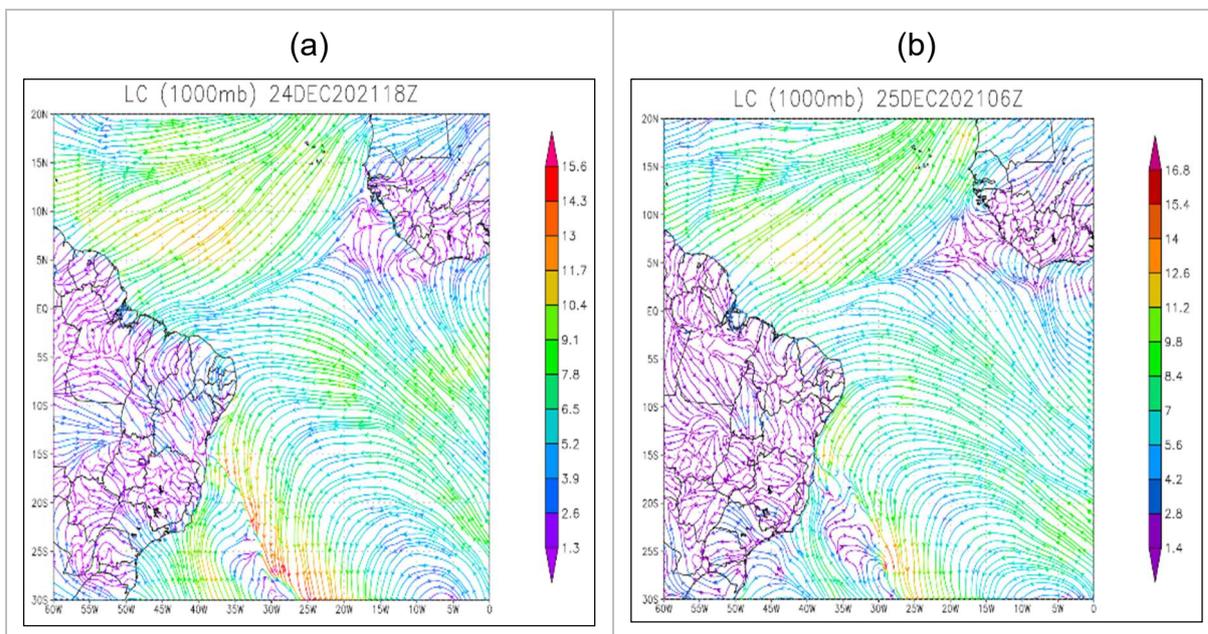
Fonte: CPTEC (2023).

#### 4.2.1.2 Linhas de Corrente

No campo de linhas de corrente é possível identificar a zona de convergência dos ventos em baixos níveis (1000 hPa) (região de encontros dos ventos) (Camila *et al.* 2020). Embora o campo das linhas de corrente não permita a determinação direta das

posições das zonas frontais, a detecção da convergência por meio do modelo ECMWF se alinha com a identificação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) realizada pela Marinha (Figura 9).

Figura 9 – Campo de linhas de corrente identificando convergência em baixos níveis relacionados com a ZCAS nos dias 24/12/2021 (a) às 18UTC e 25/12/2021 (b) às 06 UTC.

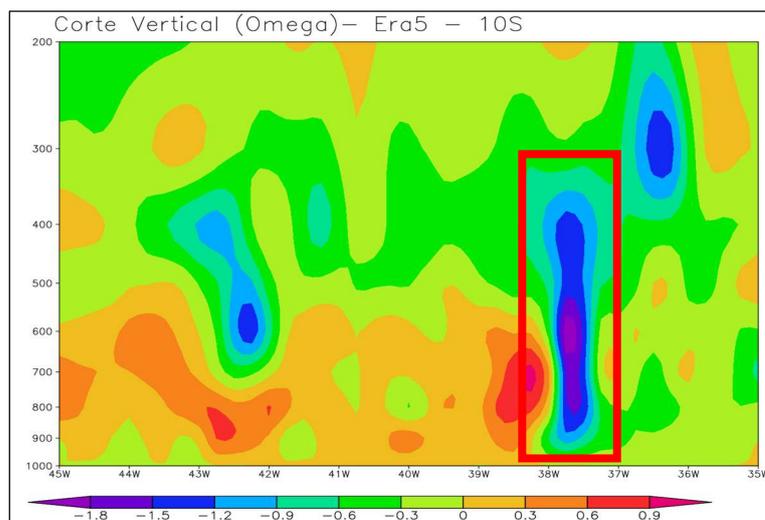


Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.1.3 Omega (movimentos verticais)

Foi possível identificar movimentos verticais ascendentes e intensos (magnitude  $\leq -1.8$ ) nos níveis entre 800 e 500 hPa para a região de Igreja Nova. Esses movimentos verticais (Figura 10) comprovam uma instabilidade profunda nas coordenadas geográficas do município. Quando os valores assumirem os menores valores negativos, maior será a convecção. Valores positivos do Omega determinam movimentos descendentes.

Figura 10 – Omega (movimentos verticais) para a latitude da cidade de Igreja Nova (retângulo vermelho) na data 25/12/2021 às 00 UTC mostrando movimentos verticais.

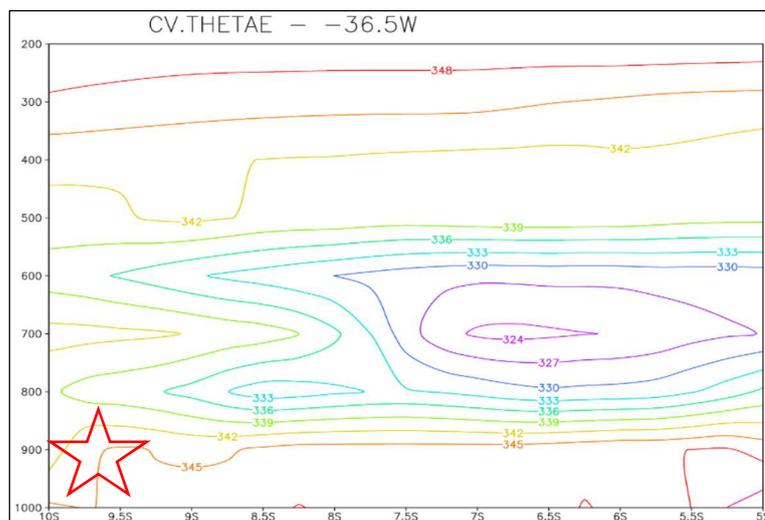


Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.1.4 Temperatura Potencial Equivalente ( $\theta$ )

Na Figura 11, próximo à latitude de Igreja Nova, é possível identificar esse gradiente de temperatura (destacado com uma estrela) em baixos níveis, mostrando-se coerente com o Muzana, (2018) descreveu. Essa interação se deu pela presença do SF associado à ZCAS próximo da região, como visto anteriormente na carta sinótica da Marinha (Figura 11).

Figura 11 – Seção vertical da temperatura potencial equivalente para as latitudes de Igreja Nova demonstrando interação de massas de ar de origens diferentes para o dia 25/12/2021 às 00 UTC.



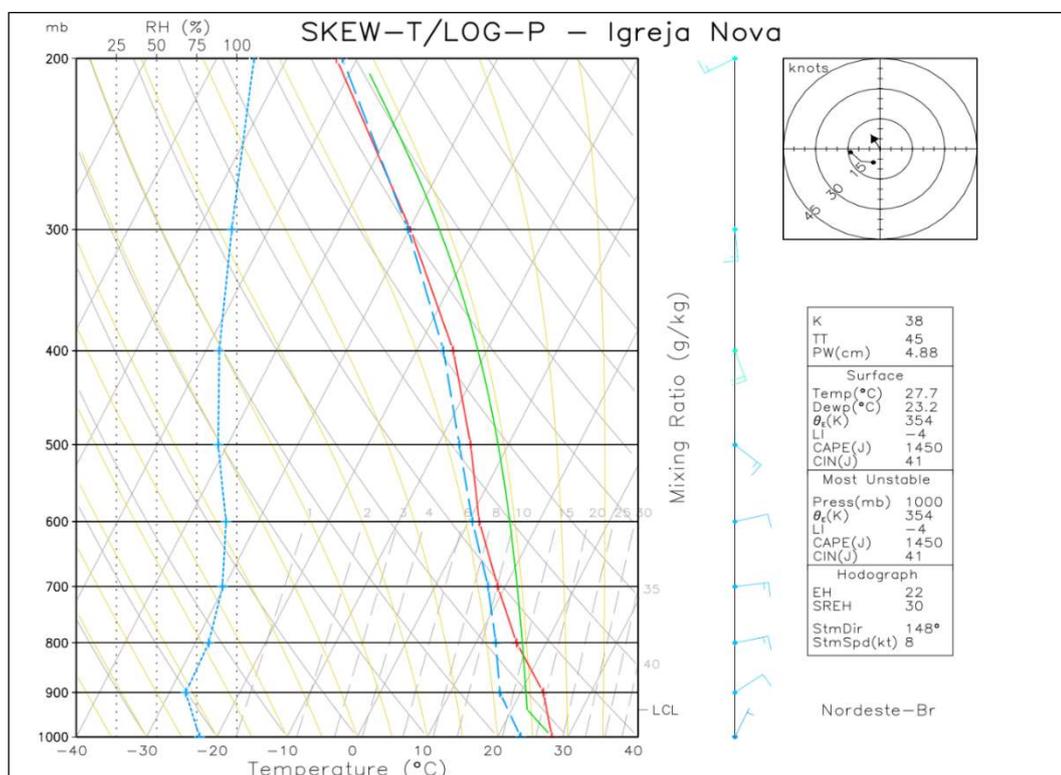
Fonte: Autoria própria.

### 4.2.1.5 Perfil Vertical Simulado

No perfil simulado para o dia 25/12/2021 às 00 UTC (Figura 12) pelo modelo ECMWF, é possível identificar valores de instabilidades que demonstram uma atmosfera propensa à convecção profunda e severidade. Os valores de CAPE (1450 J/Kg), TT (45), LI (-4) e K (38) demonstram a possibilidade de tempo severo para a região com todos os valores satisfazendo as condições descritas por Bluestien (1993) e Nascimento (2005). Outra consideração é a quantidade de umidade disponível na atmosfera (linha azul) demonstrando uma atmosfera muito úmida em todas as camadas.

As análises por perfis verticais se mostraram satisfatórias como visto por Lyra *et al.* 2019 que estudou a eficácia dos perfis verticais previstos e simulados.

Figura 12 – Perfil Vertical Simulado para a cidade de Igreja Nova no dia 25/12/2021 às 00 UTC comprovando a disponibilidade de umidade e instabilidade na atmosfera.



Fonte: Autoria própria.

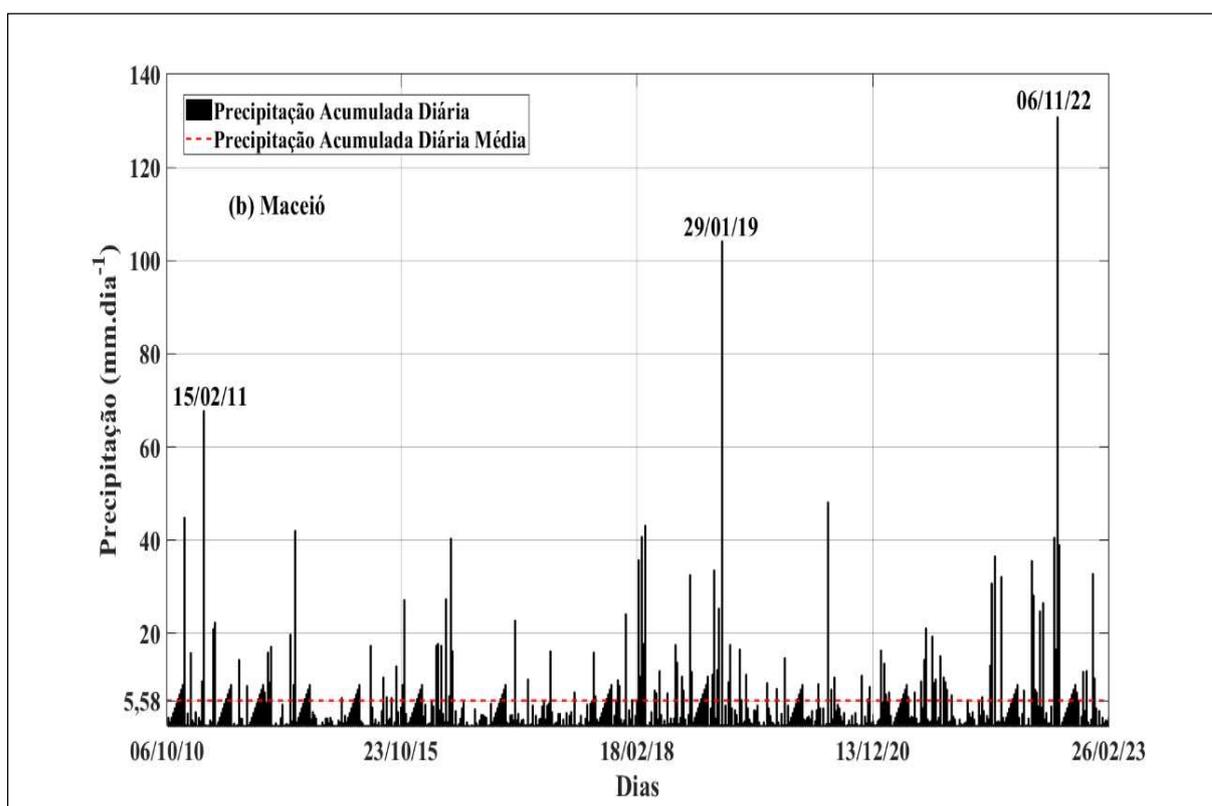
Foi possível identificar as condições que provocaram o valor extremo de precipitação no município de Igreja Nova, Alagoas. Esse caso foi o mais extremo identificado durante a pesquisa.

#### 4.2.2 Caso 2: Maceió (06/11/2022)

O mês de novembro de 2022 foi atípico para grande parte de Alagoas, inclusive para Maceió. Os valores de precipitação no mês de novembro ultrapassam 250 mm, que segundo o INMET, possui média de 45 mm. Isso demonstra que o mês choveu 455% acima da média.

Entre os dias 4 e 7 de novembro de 2022, Maceió recebeu um volume total de chuvas de 227 mm. Desse volume, 130mm caiu em apenas 24 horas, segundo dados da SEMARH. De acordo com a Defesa Civil, o volume de chuva observado em Maceió foi de 154mm entre os dias 5 e 6, totalizando 24 horas. Outros grandes acumulados para o dia 06/11/2022 no período de 24 horas ocorreram nas cidades: Coruripe (129,6mm) Campo Alegre (115mm); Boca da Mata (89mm), de acordo com os registros da SEMARH. É possível observar no gráfico de barras da Figura 13, a distribuição espacial das chuvas na estação seca de Maceió com destaque para o dia 06/11/2022 com o maior volume observado.

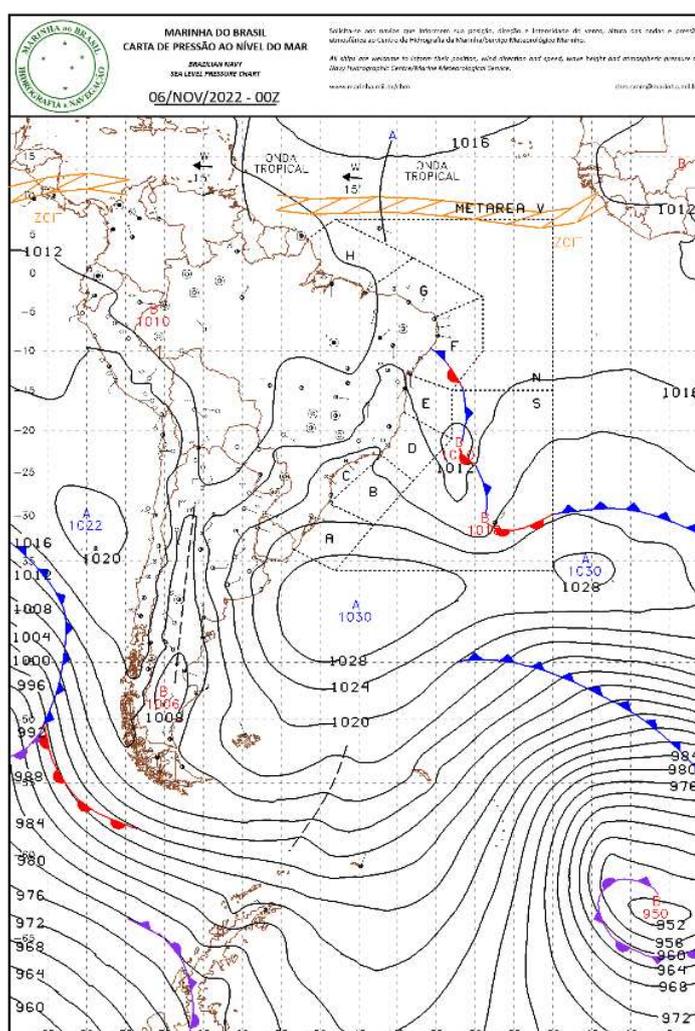
Figura 13 – Gráfico de barras para a cidade de Maceió entre os anos de 2010 e 2022 mostrando o acumulado de chuva em 24 horas na estação seca de Alagoas.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com a análise sinótica da Marinha, a carta do dia 06/11/2022 às 00 UTC identifica um Sistema Frontal na região entre Sergipe e Alagoas (Figura 14). Esse sistema provocou instabilidade por toda Alagoas.

Figura 14 - Carta sinótica da Marinha do Brasil em baixos níveis identificando a presença de um sistema frontal nas latitudes baixas entre Sergipe e Alagoas no dia 06/11/2022 às 00UTC.



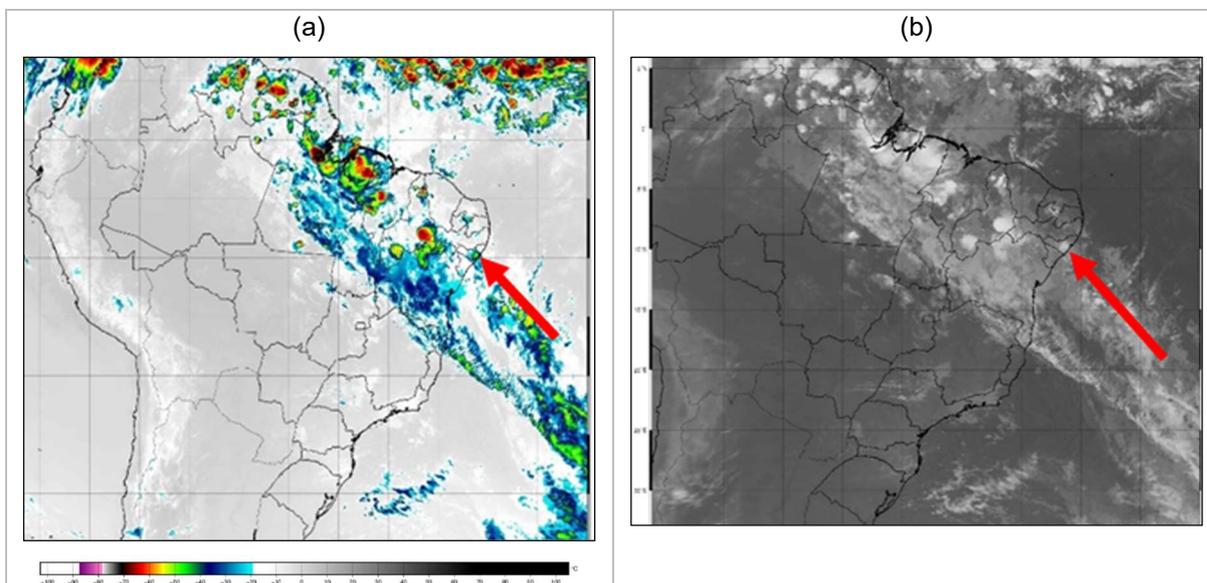
Fonte: Marinha do Brasil (2022).

#### 4.2.2.1 Imagens de Satélite

Nas imagens de satélite (Figura 15), é possível observar a presença de uma banda de nebulosidade associada com o Sistema Frontal. Essa nebulosidade foi convectiva e estratiforme, sendo essas responsáveis pelo volume de chuva entre os dias 5 e 6

de novembro (Caballeiro, 2018). No canal realçado (a), foi identificado uma convecção rasa. Identificada no canal infravermelho (b).

Figura 15 – Imagens de satélite do satélite GOES – 16 (13a) e METEOSAT – 9 (13b) no dia 06/11/2022 03 UTC identificando nebulosidade convectiva e estratiforme no estado de Alagoas.

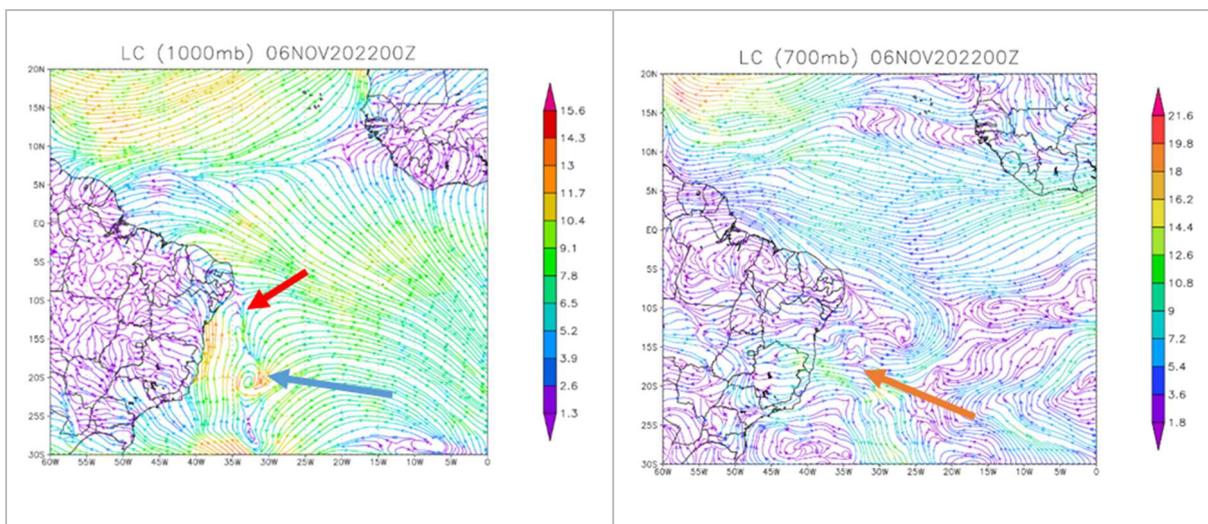


Fonte: CPTEC (2023).

#### 4.2.2.2 Linhas de Corrente

No campo de linhas de corrente em 1000 hPa (Figura 16) foi identificado uma região de convergência e uma região ciclônica influenciando o tempo em Alagoas. Essa região ciclônica está associada ao sistema frontal que influenciou o grande volume de chuva em Maceió. Através desse campo, é possível identificar a estrutura vertical do ciclone, que foi identificado somente até o nível de 800 hPa. No nível de 700 hPa (Figura 16) não é possível identificar circulação ciclônica (seta laranja).

Figura 16 – Campo de linhas de corrente e magnitude do vento identificando uma região de baixa pressão (seta azul) e a convergência (seta vermelha) para o modelo ECMWF no dia 06/11/2022 às 00 UTC no nível de 1000 hPa. E ausência de circulação ciclônica em 700 hPa (seta laranja).

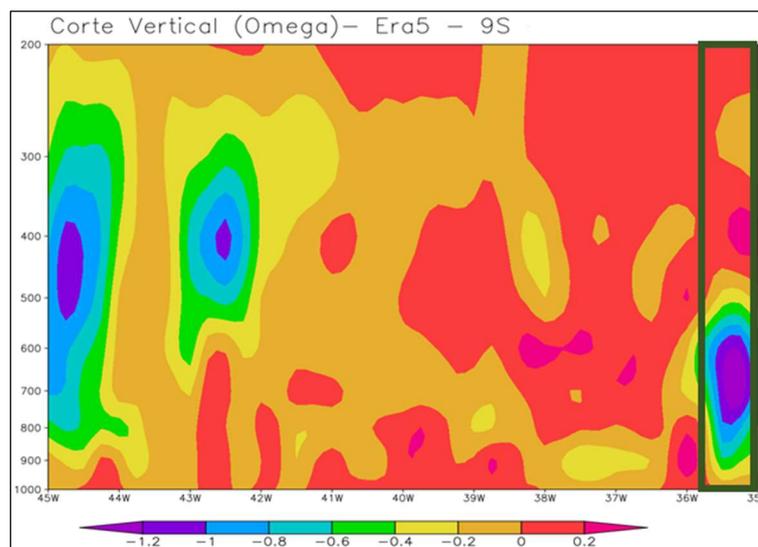


Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.2.3 Movimentos Verticais (omega)

Foi identificado movimentos verticais ascendentes na região de Maceió (Figura 17). Como a região mais intensa da convecção não estava totalmente distribuída na hora sinótica da imagem, a nebulosidade associada não estava profunda (com topos de -40 °C). Na animação das imagens de satélite é possível identificar o deslocamento das instabilidades do quadrante oeste para o quadrante leste. Esse tipo de deslocamento não é comum para a região de Maceió.

Figura 17 – Omega (movimentos verticais) para a latitude da cidade de Maceió (retângulo verde) na data 06/11/2022 às 00 UTC mostrando movimentos verticais ascendentes e descendentes.



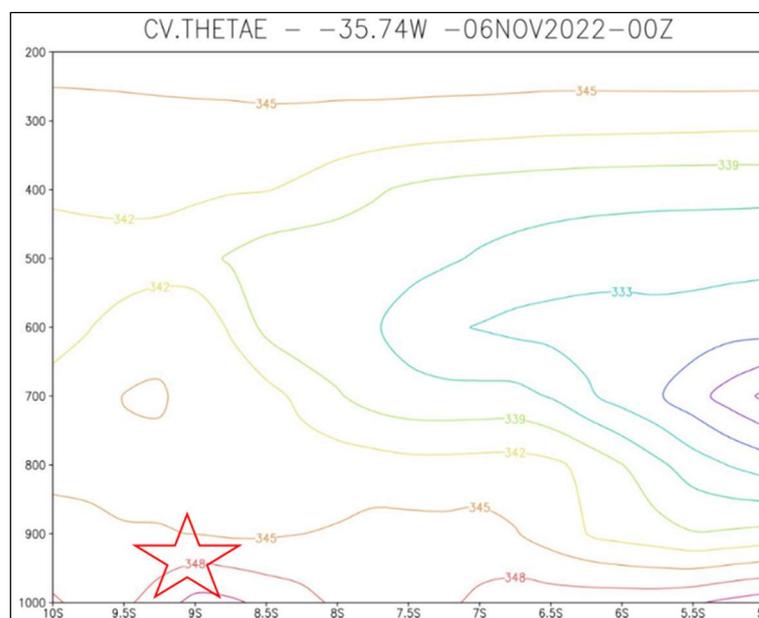
Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.2.4 Temperatura Potencial Equivalente ( $\theta$ )

Na seção vertical da temperatura potencial equivalente para Maceió (Figura 18), foi possível identificar gradientes de temperatura em baixos níveis. Esse gradiente está, como já mencionado, relacionado com a interação de massas de ar de diferentes propriedades (Muanza, 2018).

Apesar do gradiente não ser intenso, também está relacionado com o sistema raso na atmosfera. O campo comprova a interação das massas de ar somente em baixos níveis.

Figura 18 – Seção vertical da temperatura potencial equivalente para as latitudes de Maceió demonstrando interação de massas de ar de origens diferentes em baixos níveis (região com estrela) para o dia 06/11/2022 às 00 UTC.



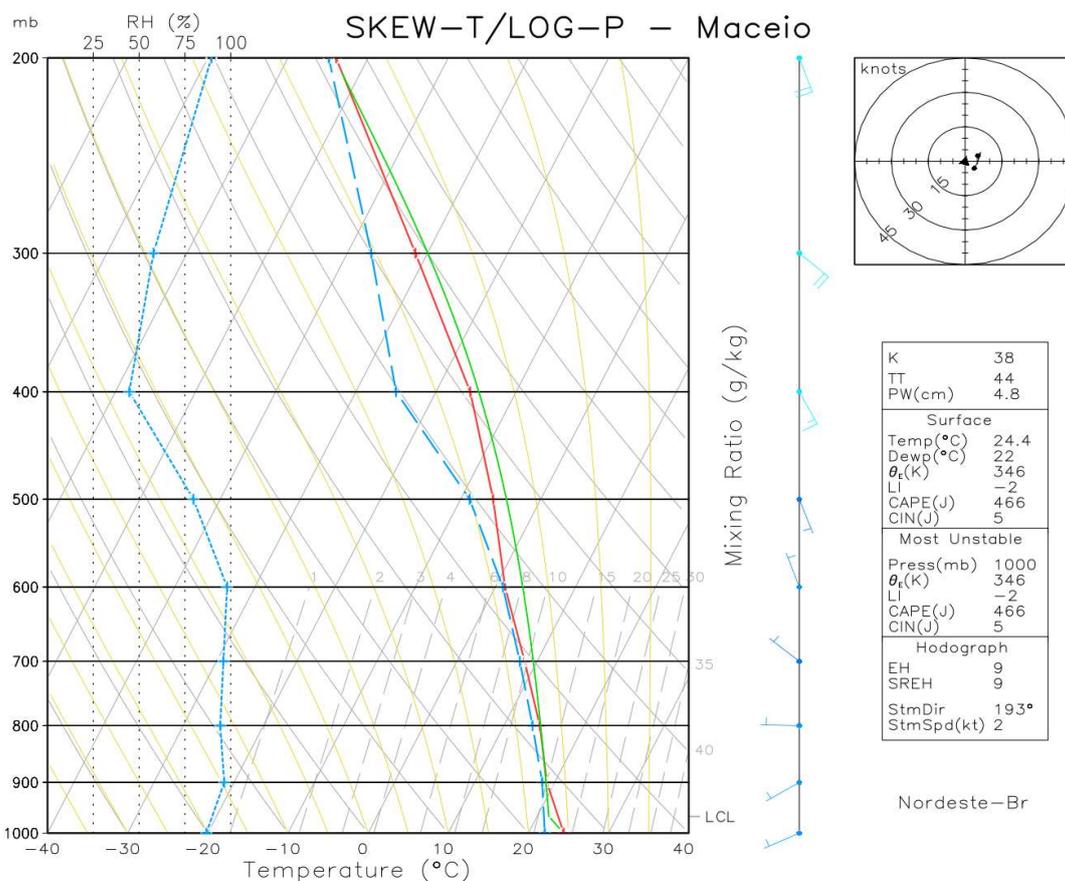
Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.2.5 Perfil Vertical (simulado)

O perfil simulado para a cidade de Maceió (representado na Figura 19) revelou-se inadequado diante das condições adversas observadas. Os valores de instabilidade CAPE (466 J/Kg); K (38); TT (44) e LI (-2). Os valores de TT e K demonstram condições de instabilidade intensa. Já o CAPE mostra valores insuficientes para a convecção. O LI mostrou a possibilidade de convecção rasa, como descrito por Nascimento (2005).

Embora os valores de instabilidade não tenham sido totalmente satisfatórios, é importante pontuar a disponibilidade de umidade em toda a troposfera, o que favoreceu as chuvas na região. Segundo o perfil vertical (Figura 19), a umidade variou entre 55% e 95% (linha azul pontilhada).

Figura 19 – Perfil Vertical Simulado para a cidade de Maceió no dia 06/11/2022 às 00 UTC comprovando a disponibilidade de umidade e a baixa instabilidade na atmosfera.



Fonte: Autoria própria.

Segundo dados da Defesa Civil, divulgados a partir do G1 de Alagoas, foram 27 chamados de emergência por desabamento parcial e danos nas estruturas em decorrência das fortes chuvas.

Na cidade de Rio Largo, região metropolitana de Maceió, várias casas foram atingidas pela queda de uma barreira (Figura 20) também provocadas pelas fortes chuvas. Uma bebê foi soterrada e chegou a ser socorrida, mas não resistiu e faleceu no Hospital Geral do Estado (HGE) dias depois.

Figura 20 – Queda de barreira provoca danos nas casas que desabaram em decorrência das fortes chuvas.



Fonte: Andrea Resente/ TV Gazeta.

### **4.3 Análise detalhada do Agreste de Alagoas**

A atuação de um sistema frontal (SF) no agreste de Alagoas provocou chuvas intensas na região de Palmeira dos Índios. Outros grandes acumulados e seus respectivos sistemas atuantes estão disponíveis no apêndice C do trabalho.

#### **4.3.1 Caso 3: Palmeira dos Índios (28/11/2022)**

Assim como em Maceió, o mês de novembro de 2022 foi muito atípico para os padrões médios observados. Segundo dados do INMET, choveu 267 mm no mês de novembro na cidade de Palmeira dos Índios. Isso representa 1680% acima da média, que é de 15 mm, segundo a série histórica do INMET. Do volume observado, 164mm caiu em apenas 48 horas e desses 164mm, a estação convencional do INMET acumulou 102 mm em apenas 24 horas (Figura 21).



Figura 22 – Carta sinótica da Marinha do Brasil em baixos níveis identificando a formação da ZCAS e um ciclone no dia 29/11/2022 às 00UTC.

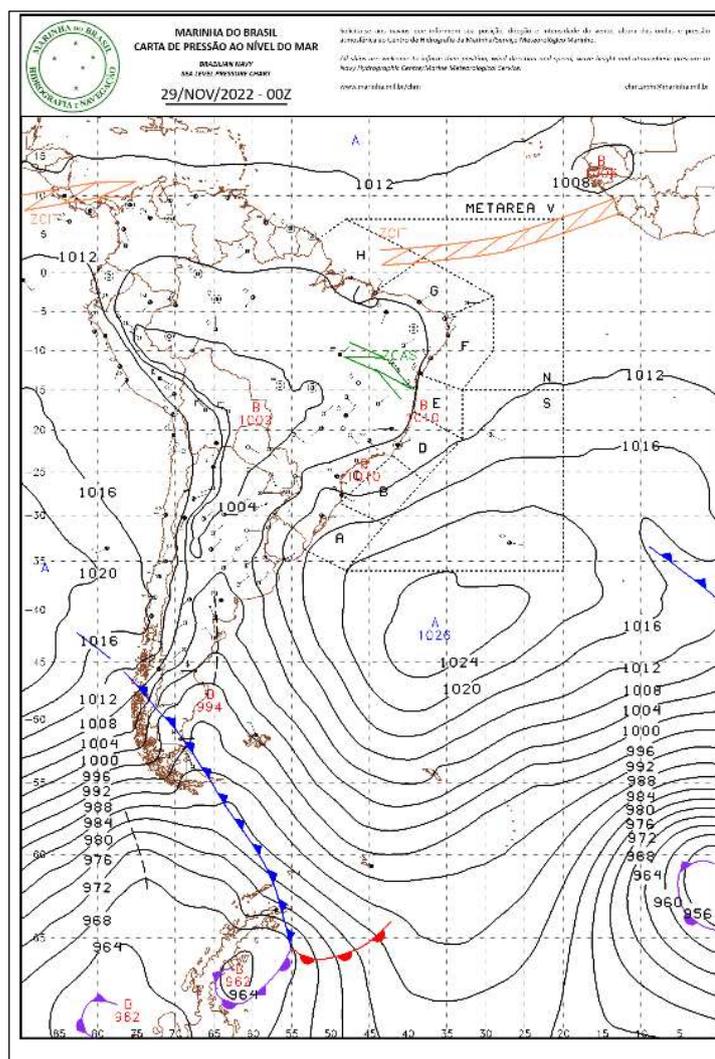
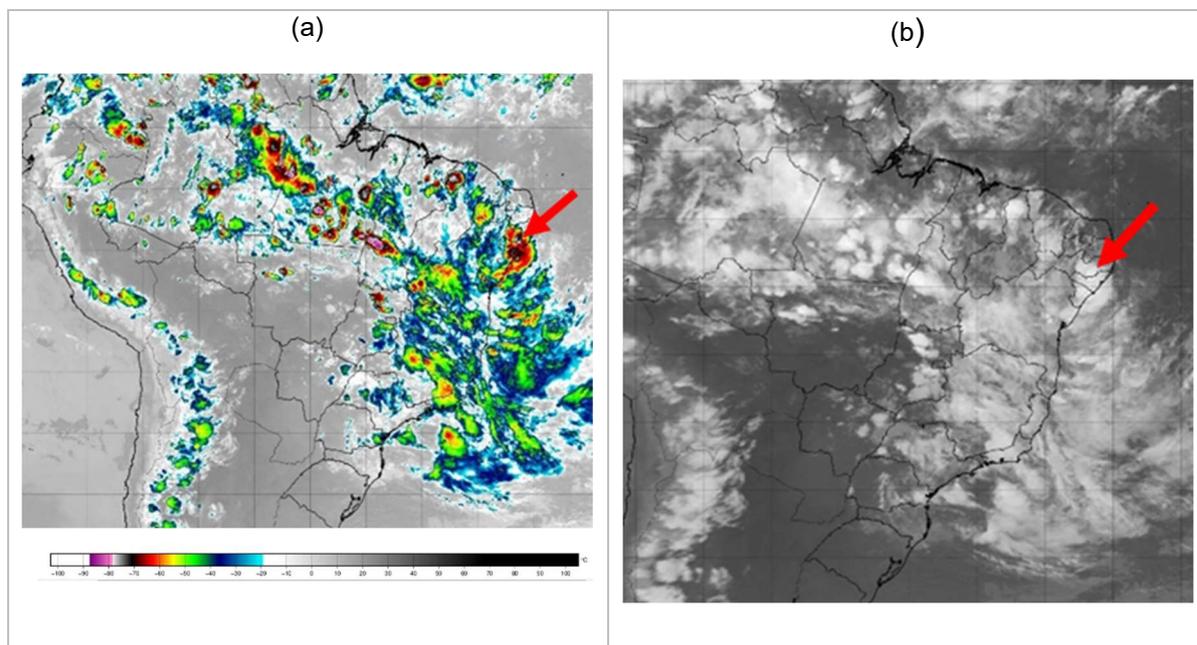


Figura 23 – Imagens de satélite no canal realçado (a) satélite GOES – 16 e infravermelho (b) Satélite Meteosat – 9 para o dia 29/11/2022 às 00 UTC identificando instabilidade profunda no agreste de Alagoas.

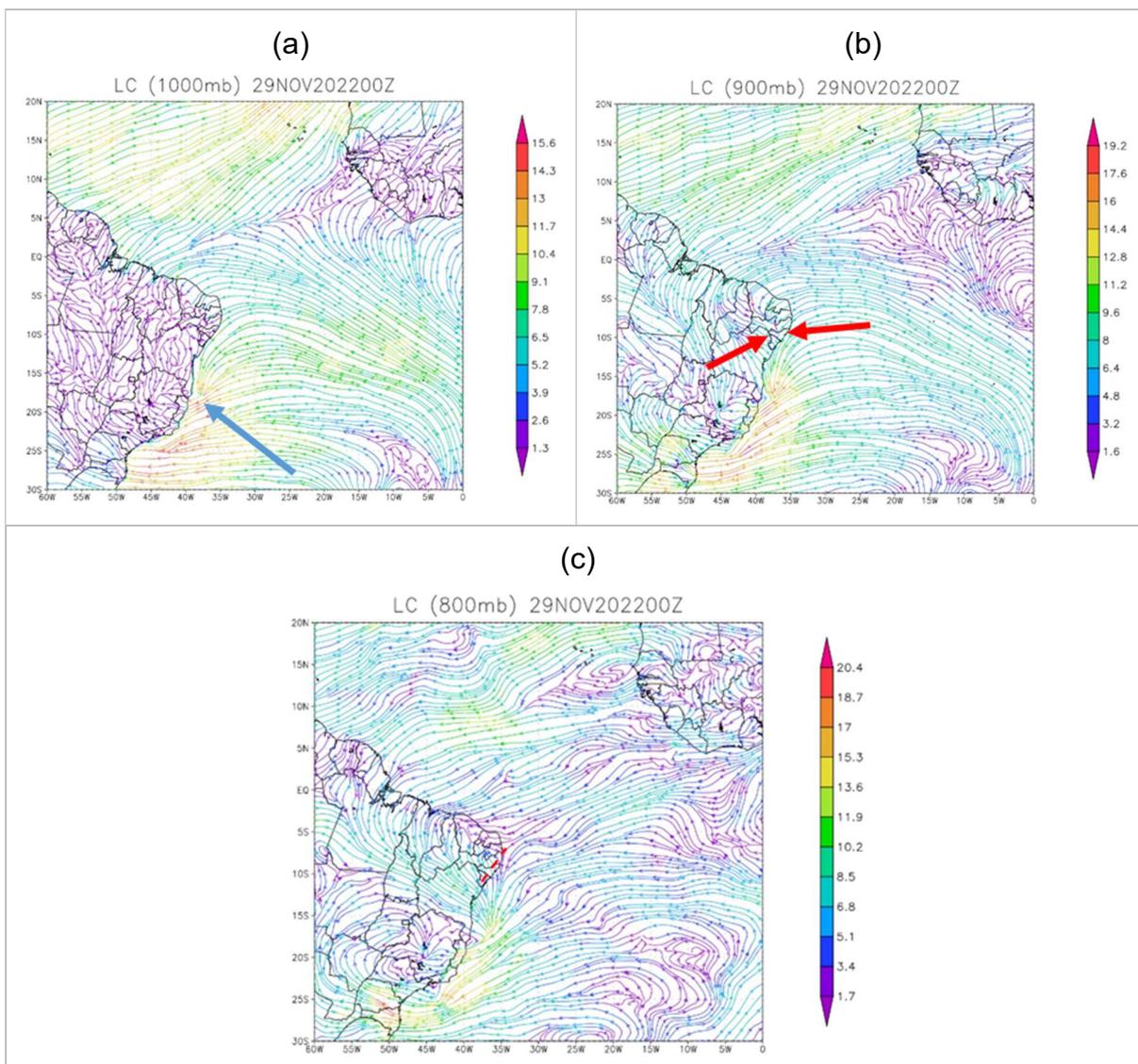


Fonte: CPTEC (22023).

#### 4.3.1.2 Linhas de Corrente

No campo de linhas de corrente, é possível observar o ciclone que está influenciando o tempo no Nordeste (Figura 24a) no nível de 1000 hPa (seta azul). Também é possível identificar uma convergência dos ventos no nível de 900 hPa sobre a região do agreste de Alagoas (Figura 24b). Um cavado no nível de 800 hPa também foi identificado. Essas condições em baixos níveis favorecem as convecções (Silva, Reboita e Escobar, 2019).

Figura 24 – Campo de linhas de corrente identificando a formação de um ciclone (a) em 1000 hPa (seta azul); uma região de convergência no agreste de Alagoas (b) em 900 hPa (setas vermelhas) e um cavado no nível de 800 hPa (linha tracejada vermelha) para o dia 29/11/2022 às 00 UTC.

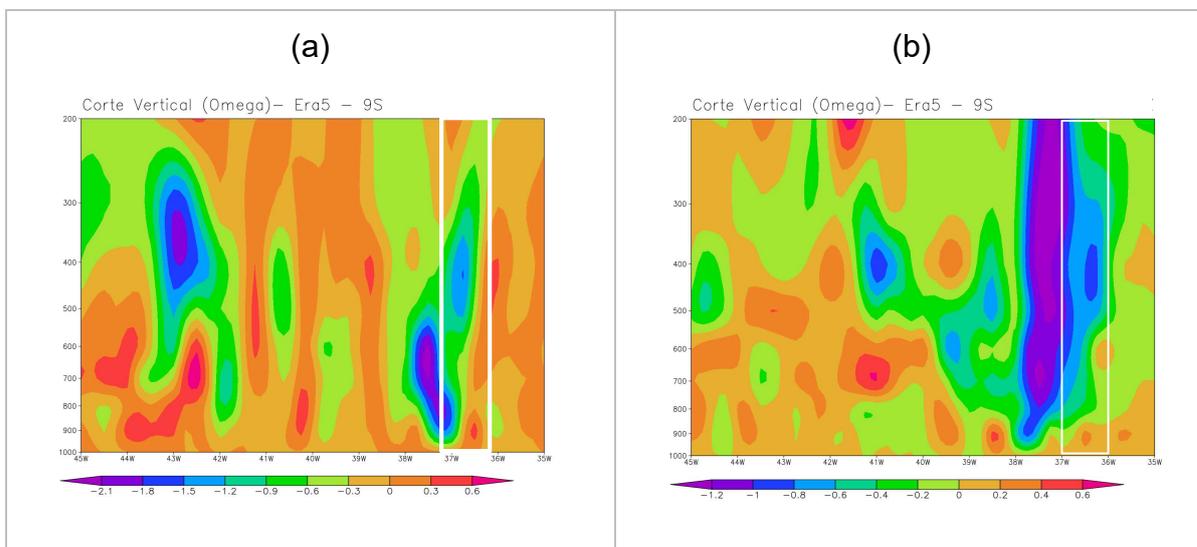


Fonte: Autoria própria.

#### 4.3.1.3 Movimentos Verticais (omega)

Os movimentos verticais para a região de Palmeira dos Índios estiveram intensos por duas horas sinóticas consecutivas (12 horas). Através de dados horários da estação do INMET, foi possível determinar que houve dois picos de precipitação. Uma ocorrendo às 18 horas local e a segunda às 22 horas local. Essas condições foram identificadas no modelo ECMWF como mostra a Figura 25. Esse comportamento de fortalecimento de instabilidade não é comum para a região. Também é possível identificar um deslocamento de oeste para leste nas condições de instabilidade.

Figura 25 – Omega (movimentos verticais) para a latitude da cidade de Palmeira dos Índios (retângulos brancos) identificando os movimentos ascendentes e descendentes da região no dia 28/11/2022 às 18 UTC (a) e 29/11/2022 às 00 UTC.

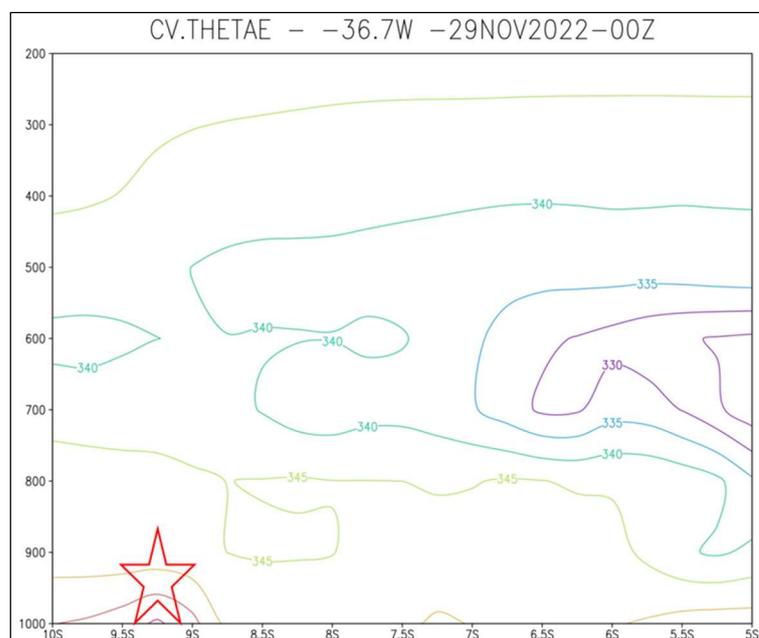


Fonte: Autoria própria.

#### 4.3.1.4 Temperatura Potencial Equivalente ( $\theta$ )

Para o caso em Palmeira dos Índios, também foi observado um gradiente fraco somente em baixos níveis para campo vertical da temperatura potencial equivalente, como visto na Figura 26. Essa baixa interação pode estar relacionada com os sistemas frontais em formação, de fraca intensidade ou até mesmo a ausência deles, como foi no nesse caso em específico.

Figura 26 – Seção vertical da temperatura potencial equivalente para as latitudes de Palmeira dos Índios demonstrando o baixo gradiente da temperatura potencial equivalente (região com estrela) para o dia 29/11/2022 às 00 UTC



Fonte: Autoria própria.

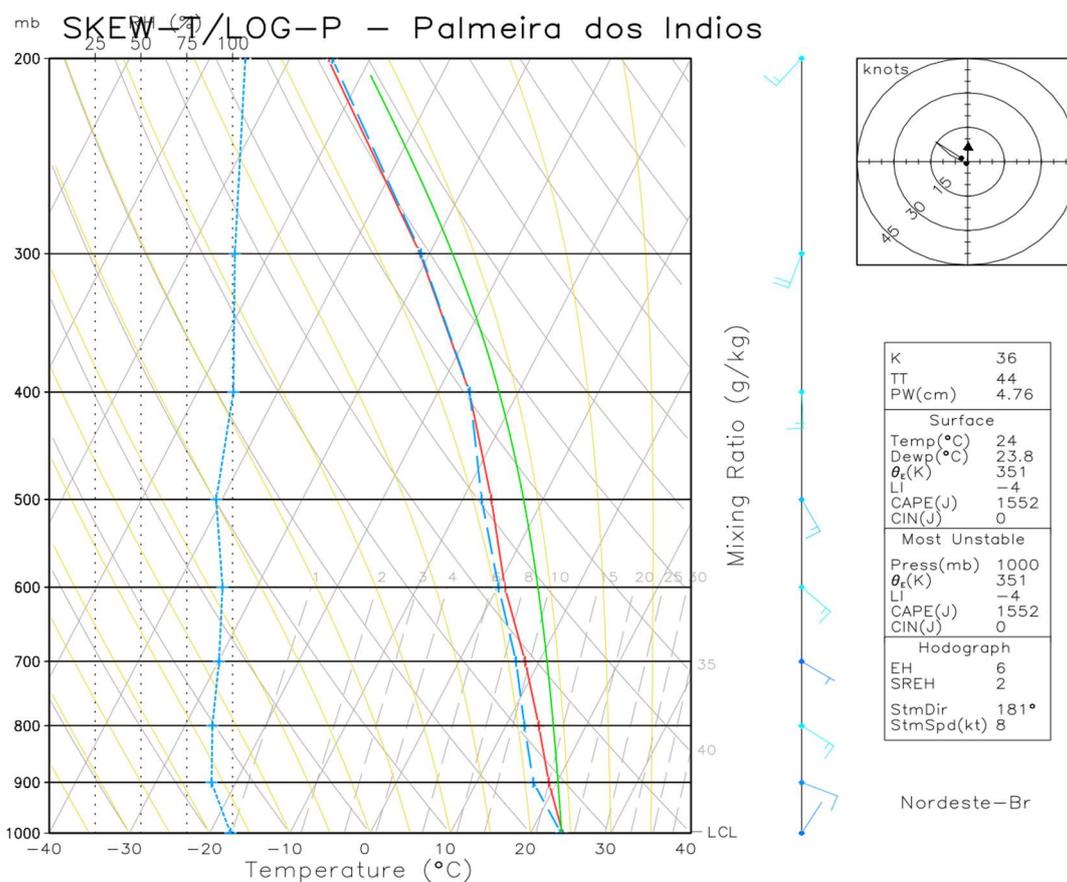
#### 4.3.1.5 Perfil Vertical (simulado)

No perfil vertical simulado para a cidade de Palmeira dos Índios (Figura 27), foi possível identificar valores de instabilidade expressivos que descritos por Bluestien (1993) e Nascimento (2005) comprovam a presença de instabilidade profunda na região.

Os valores de K (38); TT (45); CAPE (1527 J/Kg) e Li (-5) demonstram uma atmosfera propensa ao tempo severo, como foi observado.

Outro ponto importante é a umidade alta presente em todos os níveis da atmosfera. Chegando à saturação em alguns níveis (umidade em 100%). Essa quantidade de umidade disponível aliada aos valores de instabilidade foi crucial para determinar a severidade do evento, tanto no volume da precipitação como na duração do evento

Figura 27 – Perfil Vertical Simulado para a cidade de Palmeira dos Índios no dia 29/11/2022 às 00 UTC comprovando a disponibilidade de umidade e os valores expressivos de instabilidade presentes na atmosfera



Fonte: Autoria própria.

As chuvas na cidade de Palmeira dos Índios causaram uma série de danos entre os anos de 2020 e 2022. Com a atuação do La Niña (2020/2022), as chuvas ficaram mais distribuídas e conseqüentemente mais severas. É possível observar que os eventos extremos estão com uma tendência de tornam-se mais frequentes. Essas condições devem ser levadas em consideração para possíveis tomadas de decisões e desenvolver formas de mitigar os danos provocados pelos volumes de chuvas extremos (Figura 28). O ano de 2022 foi tido como o mais chuvoso, simultaneamente, já registrado. Segundo dados da SEMARH, todas as bacias hidrográficas registraram cheias de forma sincrônica, o que levou a um impacto severo para a população que mora em área de risco.

Figura 28 – Danos estruturais na pavimentação provocados por um temporal em Palmeira dos Índios no dia 14/04/2021. Fonte: Ascom/Palmeira dos Índios – AL.



Fonte: Ascom/Palmeira dos Índios-AL (2021)

#### **4.4 Análise detalhada do Sertão de Alagoas**

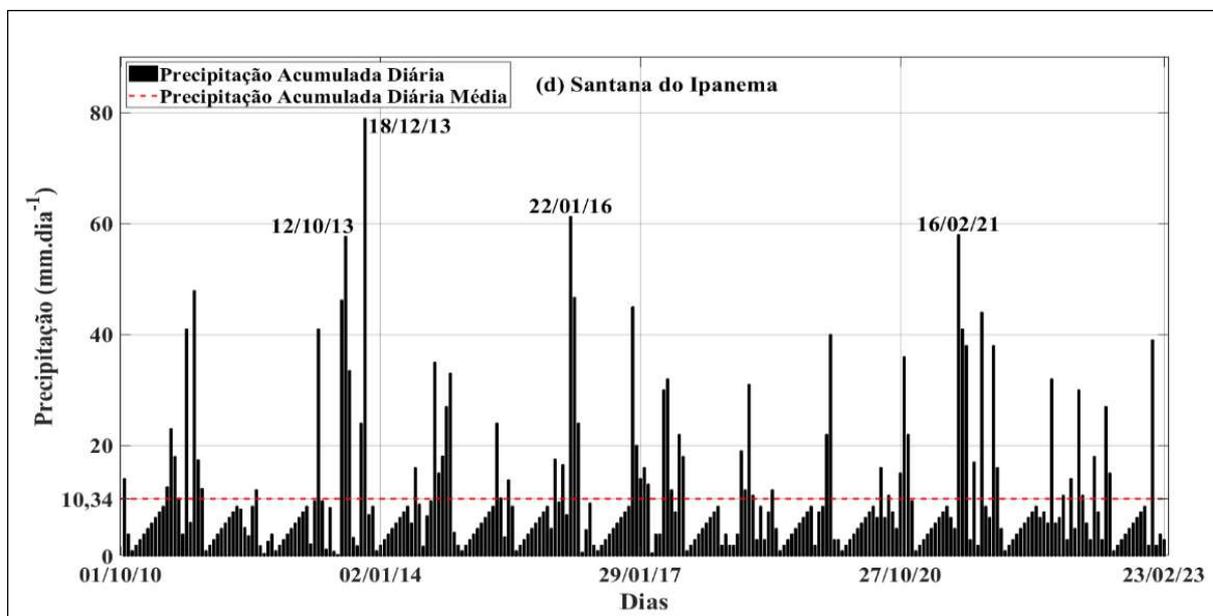
Para a região, a aproximação de uma ZCAS associada a uma região de baixa pressão favoreceu as instabilidades observadas no sertão do estado. Outros extremos de precipitação estão disponíveis no apêndice D deste trabalho.

##### **4.4.1 Caso 4: Santana do Ipanema (18/12/2013)**

Após um longo período de privação de chuva (2012 e 2013), a população da cidade de Santana do Ipanema foi surpreendida com um temporal que provocou transtornos e estragos. Segundo relatos de sites oficiais, o temporal durou pouco mais de 1 hora e provocou alagamentos repentinos, com água entrando nas casas e deixando a população preocupada (redação Alagoas na Net).

De acordo com os dados da SEMARH, choveu 79 mm no período de 24 horas, onde a média para o mês inteiro, segundo Climate-Data, é de 17mm. Em 24 horas choveu 365% a mais da média climatológica (Figura 29).

Figura 29 – Gráfico de barras para a cidade de Santa do Ipanema entre os anos de 2010 e 2022 mostrando o acumulado de chuva em 24 horas na estação seca de Alagoas, os maiores valores de precipitação em destaque.

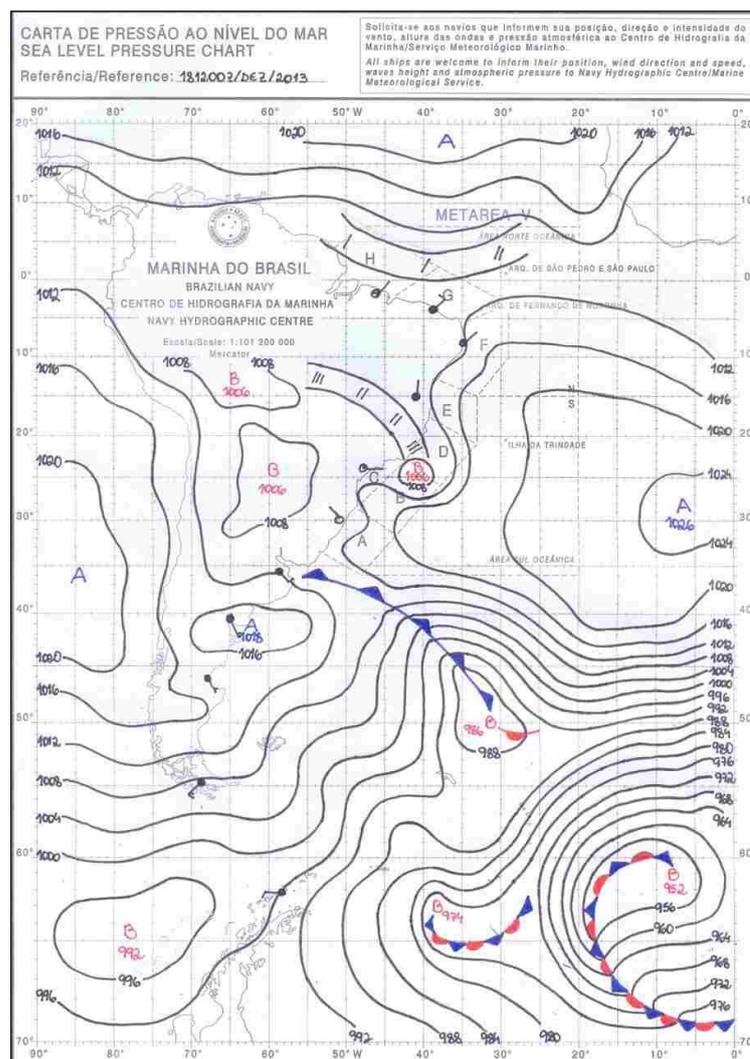


Fonte: Autoria própria.

Segundo análise da carta sinótica para o dia 18/12/2013 às 12 UTC, como visto na Figura 30, a Marinha do Brasil identificou o estabelecimento de uma ZCAS, que durou entre os dias 16 e 20 do mês de dezembro de 2013. O sistema se formou ao norte da posição climatológica.

Esse sistema avançou até o norte da Bahia favorecendo as chuvas pelo sertão do estado, mas sendo Santana do Ipanema a cidade com maior valor registrado em 24 horas durante toda a atuação do sistema.

Figura 30 - Carta sinótica da Marinha do Brasil em baixos níveis identificando a formação da ZCAS a norte da posição média 18/12/2013 às 12UTC.

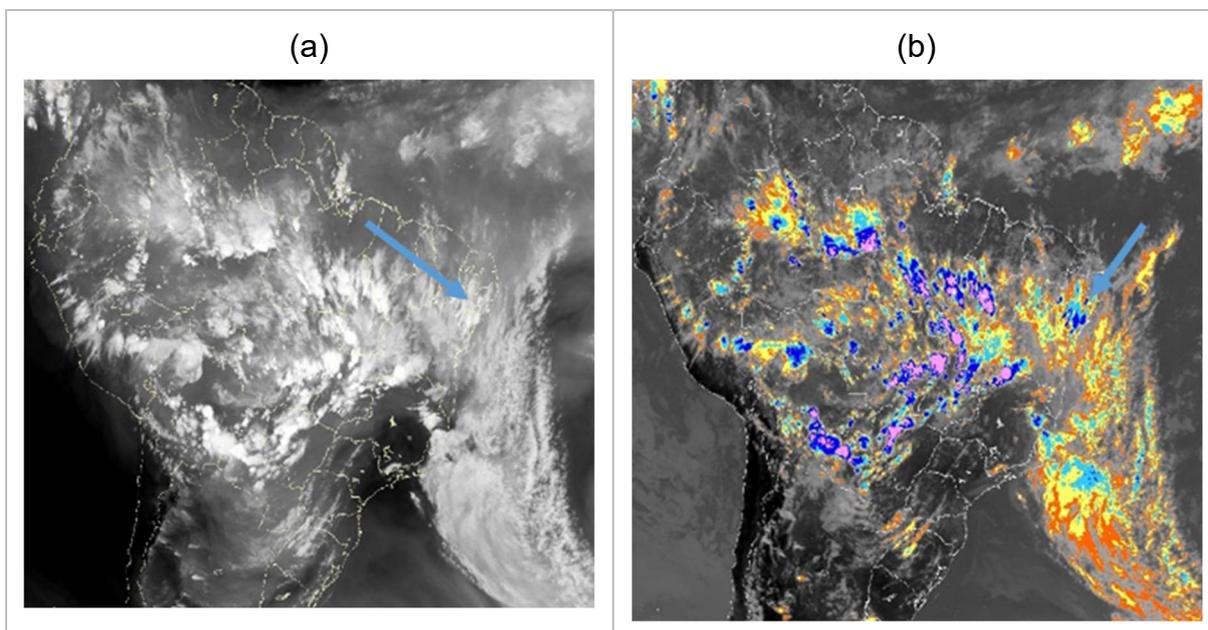


Fonte: Marinha do Brasil.

#### 4.4.1.1 Imagem de Satélite

Nas imagens de satélite GOES-13, nos canais vapor d'água (31a) e infravermelho realçado (31b), para o dia 18/12/2013 às 18 UTC, é possível observar convecções profundas na região de Santana do Ipanema (setas azuis) (Figura 31).

Figura 31 – Imagens de satélite no canal vapor d’água (a) e realçado (b) Satélite GOES – 13 para o dia 18/12/2013 às 18 UTC identificando instabilidade profunda na região de Santana do Ipanema, sertão de Alagoas.



Fonte:CPTEC (2023);

#### 4.4.1.2 Linhas de Corrente

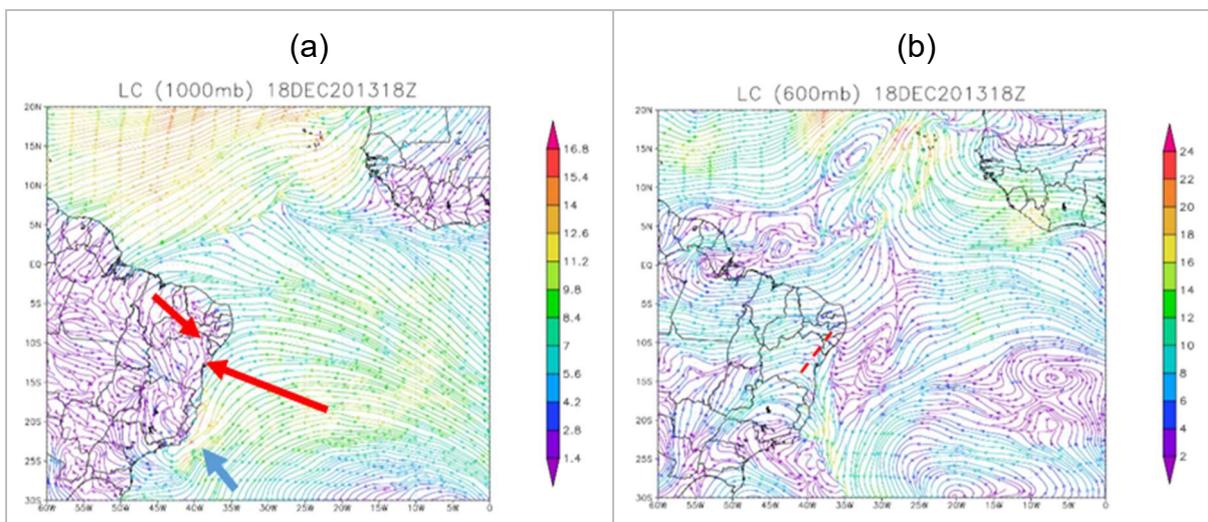
No campo de linhas de corrente, é possível identificar a formação de ciclone no nível de 1000 hPa nas latitudes que correspondem o estado do Rio de Janeiro (Figura 32a) provocando convergência em baixos níveis entre Alagoas e o norte de Minas Gerais através da advecção de calor e umidade em baixos níveis (Seluchi, Beu e Andrade, 2019).

Essa convergência em baixos níveis provoca instabilidade por acelerar os movimentos ascendentes que é responsável pelo transporte de ar quente e úmido de baixos níveis para altos níveis (Brasiliense *et al.* 2018).

Foi descrito por Da Rosa (2021) que os ventos do quadrante Norte (Nordeste, Norte e Noroeste) provocam advecção quente em baixos níveis. Essa advecção quente em baixos níveis provoca instabilidade na atmosfera (Seluchi, Beu e Andrade, 2019).

Na Figura 32b, é possível observar um cavado sobre o estado de Alagoas. Este cavado, que é uma área que induz a instabilidade, ajudou nas condições meteorológicas adversas.

Figura 32 – Campo de linhas de corrente identificando a formação de um ciclone em 1000 hPa (seta azul) e uma região de convergência entre Alagoas e Norte de Minas Gerais (a); e um cavado no nível de 600 hPa (linha tracejada vermelha) para o dia 18/12/2013 às 18 UTC.

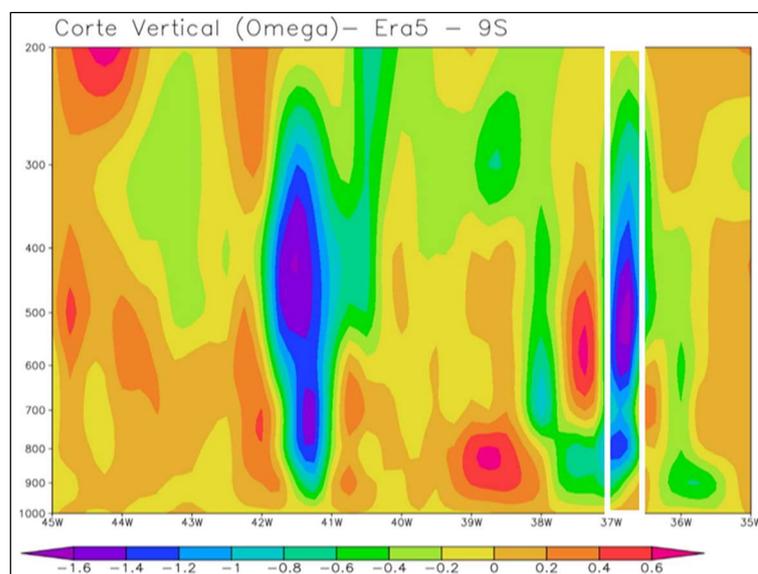


Fonte: Autoria própria.

#### 4.4.1.3 Movimentos Verticais (omega)

Para a região de Santana do Ipanema (retângulo branco), no dia 18/12/2013 às 18 UTC, foi possível identificar movimentos verticais ascendentes intensos (valores  $\leq -1,6$ ) no campo de omega (Figura 33). Como mostrado acima a influência do cavado em 600 hPa influenciando as instabilidades, nesse campo é possível identificar que na região de atuação do cavado estão os valores mais negativos (movimentos ascendentes mais intensos) que demonstra a importância desse cavado (Figura 32b) nas instabilidades observadas.

Figura 33 – Omega (movimentos verticais) para a latitude da cidade de Santana do Ipanema (retângulo branco) identificando os movimentos ascendentes e descendentes da região no dia 18/12/2013 às 18 UTC (a).

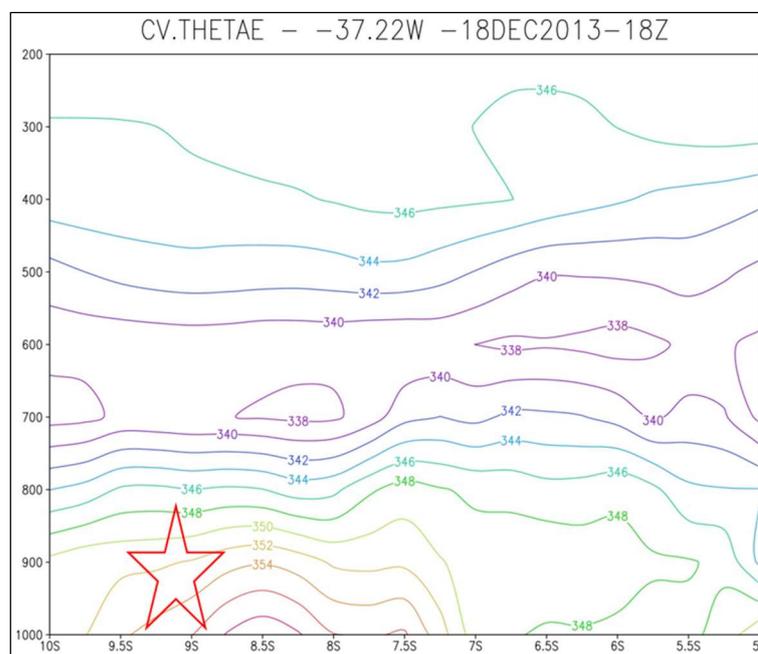


Fonte: Autoria própria.

#### 4.4.1.4 Temperatura Potencial Equivalente ( $\theta$ )

Para a região de Santana do Ipanema, nesse campo meteorológico, foi identificado um intenso gradiente de temperatura potencial equivalente (Figura 34). Essa condição de gradiente demonstra a possibilidade da interação de massas de ar de diferentes propriedades (estrela vermelha) nas latitudes da região de Santana do Ipanema. Muanza (2018) descreveu que quanto maior esse gradiente, maior a influência dos SF na região estudada.

Figura 34 – Seção vertical da temperatura potencial equivalente para as latitudes de Santana do Ipanema demonstrando o intenso gradiente da temperatura potencial equivalente (região com estrela) para o dia 13/12/2013 às 18 UTC.



Fonte: Autoria própria.

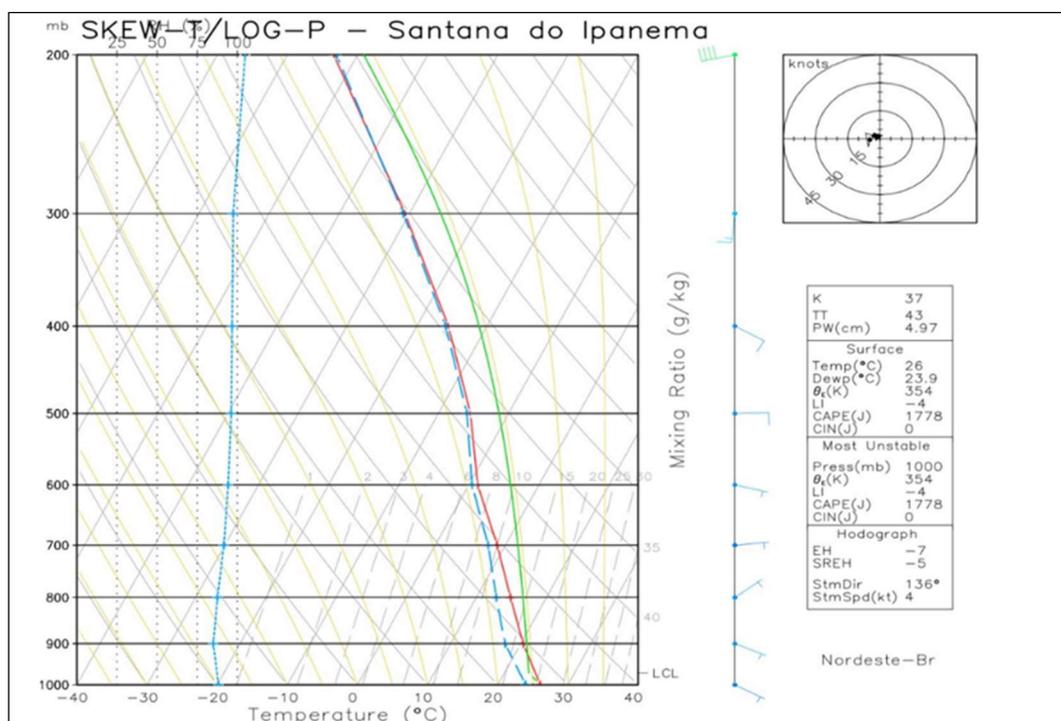
#### 4.4.1.5 Perfil Vertical (simulado)

Na análise do perfil vertical simulado para a cidade de Santana do Ipanema no dia 18/12/2013 às 18 UTC foi possível identificar valores de instabilidade moderados e intensos (Figura 35). Os valores de instabilidade CAPE (1778 J/Kg); K (35); TT (43) e LI (-4) demonstram uma atmosfera propensa à convecção profunda.

Apesar dos índices TT e K não indicarem severidade, os valores de CAPE e LI demonstram uma atmosfera com possibilidade de tempo severo.

Outro ponto de destaque é a disponibilidade de umidade, visto através da linha azul pontilhada na Figura 35, que indica uma atmosfera saturada em grande parte da troposfera e acima de 75% nos níveis que não ocorreu saturação. Fatores como umidade e instabilidade são responsáveis por grandes volumes de chuvas, como foi observado em Santana do Ipanema.

Figura 35 – Perfil Vertical Simulado para a cidade de Santana do Ipanema no dia 18/12/2013 às 18 UTC comprovando a disponibilidade de umidade e os valores expressivos de instabilidade presentes na atmosfera.



Fonte: Autoria própria.

Segundo dados históricos de precipitação em Alagoas, o ano de 2012 foi tido como o ano mais seco já registrado. Ambas as regiões sofreram com déficit hídrico muito acentuado e essas condições duraram até o ano de 2016. Esse período de seca prolongada se deu devido às condições do oceano atlântico e pacífico e o desmatamento desenfreado da floresta amazônica (Medeiros, Oliveira e Torres, 2020). Essas chuvas pontuais pouco ajudaram na recuperação da seca, sendo ineficiente até o ano de 2017.

Os danos provocados à população de Santana do Ipanema foram relatados por páginas da internet e mostram o impacto no cotidiano (Figura 36)

Figura 36 – Danos observados após o temporal que caiu na cidade de Santana do Ipanema, localizada no sertão do estado de Alagoas, no dia 18/12/2013.



Fonte: Paulo César JR.

## 1. CONCLUSÕES

- Foram identificados 344 casos de extremo de precipitação, com volumes superiores a 26,2 mm em 24 horas, para o estado de Alagoas na estação seca, entre outubro e fevereiro dos anos de 2010 a 2022;
- Dentre todos os sistemas sinóticos associados, destacam-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul; Sistemas Frontais e VCAN que estão relacionados com eventos extremos;
- A Zona de Convergência do Atlântico Sul foi o sistema de maior impacto na precipitação das regiões de Alagoas;
- Para o Leste Alagoano, o SF e VCAN provocaram maiores precipitações. No agreste Alagoano, o VCAN foi o sistema de maior influência nas precipitações. No sertão Alagoano a ZCAS e o VCAN influenciaram majoritariamente as precipitações observadas.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. S. M. *Estudos das Trajetórias dos Complexos Convectivos de Mesoescala no Nordeste Brasileiro entre os anos de 1999 e 2009*. Maceió. 2011, 78 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Ciências Atmosféricas-ICAT. Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2011.

ALVES, J. M.; FERREIRA, F. F.; CAMPOS, J. N. B.; SOUZA, E. B.; DURAN, B. J.; SERVAIN, J.; STUART . *Mecanismos Atmosféricos Associados à Ocorrência de Precipitação Intensa sobre o Nordeste do Brasil durante Janeiro/2004*. Revista Brasileira de Meteorologia, Cachoeira Paulista - SP, v. v.21, n. n. 1, p. 1-21, 2006.

\_\_\_\_\_, J.M., SOUZA, E.B., REPELLIE, C.A., FERREIRA, N.S. *Um estudo da variabilidade pluviométrica no setor leste do nordeste brasileiro e a influência do fenômeno El Niño/Oscilação Sul*. Revista Brasileira de Meteorologia, vol. 12, n. 2, p. 25-39, 1997.

\_\_\_\_\_, J.M., TEIXEIRA, R.F.B., FERREIRA, A.G. *Um Intenso Sistema Convectivo de Mesoescala no Setor Leste do Nordeste: O Caso de 20 a 21 de maio de 1999*. Revista Brasileira de Meteorologia, vol. 16, n. 1, p. 19-31, 2001

ANDRADE, K. M. *Climatologia e Comportamento dos Sistemas Frontais Sobre a América Do Sul*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE),2005.

AQUINO, C. M. S. de; OLIVEIRA, J. G. B. de; SALES, M. C. L. *Áreas no estado do Piauí suscetíveis a processos de desertificação, de acordo com o índice de aridez do UNEP (1991) e sua caracterização climática*. Carta CEPRO 1996. Teresina-PI, v. 21, n. 1, p. 61-78, 2002.

ASSUNÇÃO, M; DIAS, F. S; ROZANTE, J. R; MACHADO, L. A. T. *Complexos Convectivos de Mesoescala da na América do Sul . In: CAVALCANTI, I. F. A; FERREIRA, N. J; SILVA, M. G. A; DIAS, M. A. F. S. (Orgs.). Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

ATAIDE, Lorena Conceição Paiva de et al. *Impactos da Variabilidade Hidroclimática no Semiárido Brasileiro*. 2021

BARBOSA TFB, Correia MF (2005) *Sistemas convectivos intensos no Semiárido Brasileiro: O controle da grande escala*. Revista Brasileira de Meteorologia 20:395-410

BARCESSAT, Ana Clara Aben-Athar et al. *Os desastres e o Direito Ambiental: governança, normatividade e responsabilidade estatal*. 2017.

BARROS, A. H. C., Araujo Filho, J. C., Da Silva, A. B., Santiago, G. A.C. F. 2012. *Climatologia do estado de Alagoas*. Recife: EmbrapaSolos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)

BEZERRA, J. M. *Configuração meteorológica do verão (2013-2014) anormalmente quente das regiões Sul e Sudeste do Brasil*. 96p, Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, 2016.

BLAMEY, R. C. REASON, C. J. C. *Mesoscale Convective Complexes over Southern Africa*. American Meteorological Society, v25, 753-766p, 2012.

BLUESTEIN, H. B. *Observations and theory of weather systems. In: Synoptic - dynamic meteorology in midlatitudes*. Oxford: Oxford University Press, 1993, v. 2, 595p

BOAVENTURA, R. S. *Erosão acelerada e desertificação*. In: Seminário sobre Desertificação no Nordeste. Brasília: SEMA/SPL, p. 71-78, 1986.

BONNET, Suzanna Maria; DEREZYNSKI, Claudine Pereira; NUNES, Ana. *Caracterização sinótica e climatológica de eventos de chuva pós-frontal no Rio de Janeiro*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 33, p. 547-557, 2018.

BORSATO, V. A; HIERA, M. D. *Onda de Calor Em outubro De 2014 e os Sistemas Atmosféricos*. Revista Equador (UFPI). Edição Especial XVI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Teresina- Piauí. Vol. 4, Nº 3, 2015.

BRAGA, Hugo A.; AMBRIZZI, Tercio. *A variabilidade intrassazonal e interanual do acoplamento entre a zona de convergência do Atlântico Sul e o vórtice ciclônico de altos níveis*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 37, p. 305-311, 2022.

BRASILIANSE, Camila Silva *et al.* *Análise sinótica de um evento de chuva intensa na bacia do rio Paraíba do Sul*. 2018.

CABALLERO, Cassia Brocca *et al.* *A precipitação pluviométrica em Pelotas/RS: tendência, sistemas sinóticos associados e influência da ODP (The rainfall in Pelotas/RS: trend, associated synoptic systems and PDO influence)*. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 11, n. 4, p. 1429-1441, 2018.

CABRAL, Samuellson Lopes *et al.* *Acoplamento de modelo hidrológico e hidráulico a partir de dados de satélite trmm na bacia hidrográfica do rio paraíba do meio (AL/PE)*. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica, p. 84-103. 2020.

CALHEIROS, Alan James Peixoto *et al.* *Um evento de precipitação extrema sobre a costa leste do nordeste do Brasil*. In: Congresso Brasileiro De Meteorologia, XIV-(CBMET), Florianópolis, SC. Proceedings. 2006.

CAMPOS, C. R. J; LIMA, E. C. S; PINTO, L. B. *Complexo Convectivo de Mesoescala*

*Observado em 27/11/2002 no Nordeste da Argentina.* Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, Vol. 31 - 2 / 2008 p. 23-32, 2008.

CARDOSO, Camila de Souza; QUADRO, Mário Francisco Leal de; BONETTI, Carla. *Persistência e abrangência dos eventos extremos de precipitação no Sul do Brasil: Variabilidade espacial e padrões atmosféricos.* Revista Brasileira de Meteorologia, v. 35, p. 219-231, 2020.

CARPENEDO, C. B. *Atividade Convectiva Associada às Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar no Atlântico Tropical e Impactos Climáticos no Estado de Minas Gerais.* Ano 14 – Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais, 2018.

CARVALHO, L. M. V; JONES, C. *Zona de Convergência do Atlântico Sul.* In: CAVALCANTI, I. F. A; FERREIRA, N. J; SILVA, M. G. A; DIAS, M. A. F. S. (Orgs.). *Tempo e Clima no Brasil.* São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

\_\_\_\_\_, L. M. V; JONES, C; LIEBMANN, B. *The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall.* American Meteorological Society. Journal of Climate, v17, 88-107p, 2004.

CARVALHO, M. A. V; OYAMA, M. D. *Variabilidade da Largura e Intensidade da Zona de Convergência Intertropical Atlântica: Aspectos Observacionais.* Revista Brasileira de Meteorologia, v.28, n.3, 305 - 316, 2013.

CAVALCANTI IFA, KOUSKY VE. *Frentes Frias sobre o Brasil.* In: CAVALCANTI, I. F. A., FERREIRA, N. J., JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. *Tempo e clima no Brasil.* 2009. São Paulo: Oficina de textos. Cap. 9, p. 133-147, 2009

CHAVES, R. R.; CAVALCANTI, I. F. A. *Eventos extremos de precipitação sobre o sul do Nordeste.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2000, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: SBMET, 2000. p. 1002-1008.

COMISSO, Hugo Silva; DE MEDEIROS, Elias Silva. *Mapeamento da precipitação no estado de Alagoas por meio de técnicas geoestatísticas.* Revista Univap, v. 27, n. 55, 2021.

CORREIA, F. R. S. *Zonas de Convergência Subtropicais na América do Sul: Características da circulação e fluxos de umidade.* Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 106p, Rio de Janeiro. 2013.

CORREIA, M. G. G; GALVANI, E. *Variabilidade Espacial e Sazonal da Precipitação Pluviométrica na Bacia Hidrográfica no Rio Piquiri-PR.* Revista do Departamento de Geografia, V. 34, 21-30p, 2017.

COSTA, Micejane da Silva. *Padrão atmosférico dos eventos de precipitação fraca e*

*intensa no semiárido do Nordeste do Brasil*. 2018.

\_\_\_\_\_, M.S., LIMA KC, GONÇALVES WA, MATTOS EV (2019) *Sistemas Convectivos de Mesosescala Associados a Eventos Extremos de Precipitação Sobre o Semiárido do Nordeste do Brasil*. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ 42:317-328

\_\_\_\_\_, M.S.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; SANTOS, P.J.; CORREIA FILHO, W.L.F.; GOIS, G.; BLANCO, C.J.C.; TEODORO, P.E.; SILVA JUNIOR, C.A.; SANTIAGO, D.B.; SOUZA, E.O; FERRAZ JARDIM, A.M.R. *Rainfall extremes and drought in Northeast Brazil and its relationship with El Niño-Southern Oscillation*. International Journal of Climatology, v. 41, n. 1, p. 211 1- 2135, 2020.

COSTA, R. L. *Aplicação de uma teoria termodinâmica no estudo de um vórtice ciclônico de altos níveis sobre o Nordeste do Brasil*. 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2012.

DA ROSA, Cinara Ewerling *et al*. *Características climatológicas do fenômeno do vento norte no extremo Sul do Brasil*. 2021.

DA SILVA ALEXANDRE, Fernando *et al*. *Mapeamento da cobertura e uso da terra da bacia hidrográfica do alto curso do rio Mundaú–Pernambuco/Alagoas*. Revista GeoUECE, v. 8, n. 14, p. 190-200, 2019.

DA SILVA COSTA, Micejane; LIMA, Kellen Carla. *Sistema convectivo de mesoescala atuantes na região semiárida do nordeste do Brasil*. Multidisciplinary Reviews, v. 3, p. e2020002-e2020002, 2020.

DA SILVA LIMA, Maria José *et al*. *Classificação, quantificação e ocorrência de eventos climáticos extremos nas três mesorregiões do estado de Alagoas (BR)*. Ciência e Sustentabilidade, v. 4, n. 2, p. 151-172, 2018.

DA SILVA, D. F. *Previsão Hidro-climática para prevenção de desastres naturais do leste do Nordeste do Brasil utilizando análises estatísticas avançadas*. Projeto Edital Universal–CNPq, p. 4-21, 2014

DE ALMEIDA SILVA, Alícia; DA FRANCA, Rafael Rodrigues. *Identificação e classificação de episódios de chuva extrema no Distrito Federal–período 1990-2019*. Revista Espaço e Geografia, v. 24, n. 2, p. 134: 153-134: 153, 2021.

DE SOUSA, Francisco de Assis Salviano *et al*. *Estimativas dos riscos de chuvas extremas nas capitais do Nordeste do Brasil*. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 9, n. 02, p. 430-439, 2016.

DRUMOND. A. R. M; *Anomalias de TSM no Hemisfério Sul e seu Impacto na Monção*

*Sul Americana*. Tese de Doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade De São Paulo, 123p, 2005.

EICHHOLZ CW (2011) *Características físicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008*. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas. Dissertação de Mestrado, 102p

\_\_\_\_\_, CW, Campos CRJ (2009) *Características Físicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul em 2006*. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ 37:70-80.

FEDOROVA, N.; LEVIT, V.; RODRIGUES, L. R. L.; COSTA, S. B. *Mesoscale Convective Complex Genesis and forecast in Alagoas State of Brazil*. Journal of the Georgian Geophysical Society, v.12, p.36-44, 2008.

\_\_\_\_\_, N.; LEVIT, V.; SILVEIRA, M. H. S.; SILVA, B. F. P.; AMIRAASHVILI, A. G. *Mesoscale Convective Complexes on the NorthLesteern Coast of Brazil*. Journal of the Georgian Geophysical Society, v.13, p.36-49, 2009.

FERREIRA, A. G; MELLO, N. G. S. *Principais Sistemas Atmosféricos Atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima da Região*. Revista Brasileira de Climatologia, v. 1, n 1, p. 15-28, 2005.

FERREIRA, G. W. S; REBOITA, M. S; ROCHA, R. P. *Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis nas Cercanias do Nordeste do Brasil: Climatologia e Análise da Vorticidade Potencial Isentrópica*. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, 2019.

FERREIRA, N. J; RAMÍREZ, M. V; GAN, M. A. *Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil*. In: CAVALCANTI, I. F. A; FERREIRA, N. J; SILVA, M. G. A; DIAS, M. A. F. S. (Orgs.). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

\_\_\_\_\_, N. J; RAMÍREZ, M. V; GAN, M. A. *Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil*. In: CAVALCANTI, I. F. A; FERREIRA, N. J; SILVA, M. G. A; DIAS, M. A. F. S. (Orgs.). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

\_\_\_\_\_, Nelson Jesus; DE ALBUQUERQUE CAVALCANTI, Iracema Fonseca. *Sistemas meteorológicos atuantes no Brasil*. Oficina de Textos, 2022.

FIALHO, W. M. B; MOLION, L. C. B. *Extremos de chuva na costa leste do NEB: o evento de maio de 2009*. Revista Ambientale –UNEAL. Ano 3, Vol. 1, 2012.

FUNCEME - FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS.ZCIT - *Zona de Convergência Intertropical: Acompanhamento*. Disponível

em:<<http://www.funceme.br/index.php/areas/23monitoramento/meteorol%C3%B3gico/410-zcti-zonade-convergencia-intertropical>>. Acesso em: 08/06/2020. Acesso em 16/10/2023.

GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 107, NO. D20, 8075, 2002.

GOMES, H. B. *Distúrbios Ondulatórios de Leste no Nordeste Brasileiro: Climatologia e Modelagem Numérica*. Tese de Doutorado. Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo, 99p, 2012. G1 Alagoas <https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2022/11/07/volume-de-chuva-registrado-em-24h-em-maceio-e-quatro-vezes-maior-do-que-era-esperado-para-novembro.ghtml>

HERDIES, A. L.; SILVA, A.; DIAS, M. A. F. S.; FERREIRA, R. N. *Moisture budget of the bimodal pattern of the summer circulation over South America*. JOURNAL OF

HILL, C. M.; LIN, Y. L. *Initiation of a mesoscale convective complex over the Ethiopian Highlands preceding the genesis of Hurricane Alberto (2000)*. GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 30, NO. 5, 2003.

HOUZE RA (1993) Mesoscale convective systems. In: Houze RA (ed.). *Cloud dynamics*. Academic Press, Inc., 53:334-404.

HOUZE, RA Jr (1977) *Structure and dynamics of a tropical squall line system*. *Monthly Weather Review* 105:1540-1567.

\_\_\_\_\_, RA Jr (2004) *Mesoscale convective systems*. *Rev Geophys*. doi:10.1029/2004RG000150.

LIMA, João Sérgio Queiroz de. *Desastres ambientais nos assentamentos precários da cidade de Fortaleza-Ceará-Brasil: riscos derivados da integração entre vulnerabilidade social e ameaças naturais*. 2018.

LYRA, G. B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; ZERI, M. *Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, North Leste of Brazil*. *International Journal of Climatology*, v. 34, n. 13, p. 3546-3558, 2014.

\_\_\_\_\_, G. B.; OLIVEIRA JÚNIOR; J. F.; GOIS, G.; ZERI, G. C.; M. ZERI. *Rainfall variability over Alagoas under the influences of SST anomalies*. *Meteorol Atmos Phys* 129, 157-171 (2017).

LYRA, M. J. A.; CAVALCANTE, L. C. V.; LEVIT, V.; FEDOROVA, N. *Complexos convectivos de mesoescala sobre o Nordeste do Brasil e fenômenos adversos associados*. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.9, n.3, p.95-103, 2018.

\_\_\_\_\_, Matheus José Arruda et al. *Ligação entre extremidade frontal e Zona de*

*Convergência Intertropical sobre a região nordeste do Brasil*. Anuário do Instituto de Geociências, v. 42, n. 1, p. 413-424, 2019.

MACHADO LAT, Rossow WB (1993) *Structural characteristics and radiative of tropical cloud clusters*. *Monthly Weather Review* 121:3234-3260.

MADDOX RA (1980) *Mesoscale convective complexes*. *Bulletin American Meteorological Society* 61:1374-1387

MARQUES, Ana Maria Sousa. *Variabilidade interanual das trocas de energia e CO2 em uma área remanescente do Bioma Caatinga sob condições extremas de precipitação*. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MCANELLY RL, Cotton WR (1989) *The Precipitation Life Cycle of Mesoscale Convective Complexes over the Central United States*. *Monthly Weather Review* 117:784-808.

MELO, A.B.C.; NOBRE, P.; MELO, M.L.D.; SANTANA, S.C.; *Estudo Climatológico Da Posição Da Zcit No Atlântico Equatorial E Sua Influência Sobre O Nordeste Do Brasil*, 2000.

MENEGHETTI, G. T; FERREIRA, N. J. *Variabilidade sazonal e interanual da precipitação no Nordeste Brasileiro*. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1685-1689, 2009.

MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. de S. *Agricultura sustentável no semi-árido nordestino*. In: AGRICULTURA, SUSTENTABILIDADE E O SEMI-ÁRIDO, 1., 2000, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Folha de Viçosa, 2000. p. 233-296

MIRANDA, R. A. C. *Climatologia geográfica*. Rio de Janeiro: Fundação Cecirj, 2013.

MOLION; J. C. B; BERNARDO, S. O. *Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro*. *Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia*, v.7, n. 1, p. 1-10, 2002.

MOSCATI, M, C L; GAN, M. A. *Uso de Índices Climáticos para Identificar Eventos de Chuva Extrema no Interior Semi-Árido Sul do Nordeste do Brasil (NEB)*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/CPTEC), 2006.

MUANZA, Gomes Antonio. *Padrões de circulação atmosférico associados a ligação da extremidade frontal com a ZCIT*. Orientador: Natalia Fedorova. 2018. 72 p. Dissertação de mestrado (Mestrado em meteorologia) - Universidade Federal de Alagoas, [S. I.], 2018.

NASCIMENTO, E.L. *Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: Uma estratégia operacional adotável no Brasil?* *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.20, n.1, p.121-140, 2005

NIMER, E. *Climatologia da região Nordeste*. In: *Climatologia do Brasil*, NIMER, Edmond. Rio de Janeiro: IBGE, 1979, p. 315-361.

NOBRE, P. & SHUKLA, J. *Variations of sea surface temperatures, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America* *J. Climate.*, v. 9, n. 10, p. 2464-2479. 1996.

NUNES, B. N. *Estudo de Caso de Sistemas Meteorológicos em Altos Níveis Sobre a América do Sul: Análise Sinótica*. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, 2017.  
NUNES, Lucí Hidalgo. *Urbanização e desastres naturais*. Oficina de Textos, 2015.

OLIMPIO, J. L. S; VIEIRA, P. M. B; ZANELLA, M. E; SALES, M. C. L. *Episódios pluviiais extremos e a vulnerabilidade socioambiental no município de Fortaleza: evento do dia 27/02/2012*. *Geo UERJ*, ano 15, n. 24, v. 1, p. 181-206, 2013.

OLIVERIA, Camila *et al*. *Primeiros Passos Em Análise Meteorológica: Opengrads É Fácil*. Clube de Autores, 2020.

ORLANSKI I (1975) *A rational subdivision of scales for atmospheric processes*. *Bulletin of the American Meteorological Society* 56:527-530

PONTES da Silva, B.F.P.; FEDOROVA, N.; LEVIt, V.; BRITO, B.M. & Peresetsky, A. 2011.

PORTELA, Francisco Carlos; KOBİYAMA, Masato; GOERL, Roberto Fabris. *Panorama brasileiro da relação entre leptospirose e inundações*. *Geosul*. Vol. 35, n. 5 (maio/ago. 2020), p. 711-734, 2020.

RAMOS RPL (1975) *Precipitation characteristic in the Northeast Brazil dry region*. *Journal of Geophysical Research* 80:1665-1678.

REBOITA, M. S; CAMPOS. B; SANTOS, T; GAN, M. A; CARVALHO, S. B. *Análise sinótica e numérica de um VCAN no Nordeste do Brasil*. *Brasil*. *Revista Brasileira de Geografia Física*. v. 10, n. 01, p. 41-59, 2017.

REBOITA, M. S; GAN, M. A; ROCHA, R. F; AMBRIZZI, T. *Regimes de Precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica*. *Brasil*. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 2 p. 185-204, 2010.

REIS, J.S. 2018. *Características dinâmicas e termodinâmicas dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis no Nordeste do Brasil*. Programa de Pós Graduação em Ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Dissertação de Mestrado, 77p.

RISBEY. J. S; MCINTOSH, P. C; POOK, M. J. *Synoptic components of rainfall variability and trends in southLeste Australia*. *Int. J. Climatol*. 33: 2459–2472p, 2013.

RODRIGUES, M. L. G; FRANCO. D; SUGAHARA. S. *Climatologia de Frentes Frias no Litoral de Santa Catarina. Brasil*. Revista Brasileira de Geografia. V. 22, n. 2, p. 135-151, 2004

ROPELEWSKI, C.F. & HALPERT, M. *Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation*. MONTH SALIO P, NICOLINI M, ZIPSER EJ (2007) *Mesoscale Convective Systems over Southeastern South America and Their Relationship with the South American Low-Level Jet*. *Monthly Weather Review*, 135:1290-1309.

ROPELEWSKI, C.F. & HALPERT, M. *Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation* *Monthly Weather Review*, v. 115, p. 1606-1626. 1997

SANTOS FERREIRA, Pedro dos *et al*. *Variabilidade espaço-temporal das tendências de precipitação na mesorregião sul Cearense e sua relação com as anomalias de TSM*. *Revista brasileira de meteorologia*, v. 33, p. 141-152, 2018.

SELUCHI, M. E. *Padrões Sinóticos Associados a Situações de Deslizamentos de Encostas na Serra do mar*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006.

\_\_\_\_\_, Marcelo; BEU, Cássia; ANDRADE, Kelen M. *Características das frentes frias causadoras de chuvas intensas no leste de Santa Catarina*. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, p. 25-37, 2017.

SILVA, Bruce Francisco Pontes da *et al*. *Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no Estado de Alagoas*. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, p. 323-338, 2011.

SILVA, Iago José de Lima *et al*. *Períodos úmidos e secos no estado de Alagoas via índice de seca*. 2022.

SILVA, João Pedro Rodrigues; REBOITA, Michelle Simões; ESCOBAR, Gustavo Carlos Juan. *Caracterização da Zona de Convergência do Atlântico Sul em campos atmosféricos recentes*. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 25, 2019.

SILVA, Leticia Pereira da *et al*. *Eventos extremos de precipitação sobre a região metropolitana de Belém durante o ano de 2021*. 2022.

SILVA, M. T. *et al*. *Análise dinâmica do processo de desertificação na região de Gilbués-PI, utilizando imagens do TM/Landsat 5*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Recife. *Anais...* Recife: INPE, 2009. p. 6265-6272.

SILVEIRA, M. H. S. *Complexos convectivos de mesoescala do estado de Alagoas. Maceió:2010*. 65p. Instituto de Ciências Atmosféricas- ICAT. Universidade Federal de

Alagoas – UFAL. Trabalho de conclusão de curso, 2010

SOUZA, Edson de Oliveira *et al.* *Estimativa e espacialização da erosividade em mesorregiões climáticas no Estado de Alagoas*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 35, p. 769-783, 2021.

STEINKE, Ercília Torres. *Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público*. 2021.

TAVARES, João Paulo Nardin; MOTA, Maria Aurora Santos da. *Condições termodinâmicas de eventos de precipitação extrema em Belém-PA durante a estação chuvosa*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 27, p. 207-218, 2012.

TEIXEIRA, M.S.; SATYAMURTY, P. *Trends in the frequency of intense precipitation events in southern and southeastern Brazil during 1960-2004*. Journal of Climate, v. 24, n. 7, p. 1913-1921, 2011.

TESSLER, M. G; GOYA, S. C. *Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro*. Revista do Departamento de Geografia, v.17 11-23p, 2005.

UELE, D. I; LYRA, G. B; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. *Variabilidade Espacial e Intra-anual das Chuvas na Região Sul de Moçambique, África Austral*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 32, n. 3, 473-484, 2017p.

WANDALA, Agie *et al.* *A study comparison of two system model performance in estimated lifted index over Indonesia*. In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2018. p. 012113.

XAVIER, Rafael Albuquerque; DA CONCEIÇÃO DORNELLAS, Patricia. *Análise do comportamento das chuvas no município de Arapiraca, região Agreste de Alagoas*. GEOGRAFIA (Londrina), v. 14, n. 2, p. 49-64, 2005.

XAVIER, T. M. B. S; XAVIER, A. F. S; DIAS M. A. F. S; DIAS, P. L. S. *Interrelações Entre Eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a Chuva nas Bacias Hidrográficas do Ceará*. Brasil. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 8, n. 1, p. 111-126, 2003.

YE, B.; DEL GENIO, A.D.; LO, K.K.W. *CAPE variations in the current climate and in a climate change*. Journal of Climate, v. 11, n. 8, p.1997-2015. 1998.

ZANELLA, M. E. *Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. Brasil*. Caderno Prudentino de Geografia, n. 36, volume especial, p. 126-142, 2014.

## APÊNDICES

Apêndice A – Percentil 95 mostrando os extremos de precipitação para o estado de Alagoas na estação seca que ocorre entre os meses de outubro e fevereiro.

Água Branca	
DATA	mm
22/01/2016	92,6
15/02/2011	70
15/11/2014	68,6
26/10/2018	59,8
01/02/2020	58,8
11/01/2011	40,8
10/11/2018	27
21/11/2013	26,2

Anadia	
DATA	mm
05/12/2022	98,2
07/12/2022	89,2
31/01/2023	83,0
18/02/2018	78,8
18/12/2013	67,6
29/10/2022	45,0
25/02/2012	43,6
05/02/2021	43,6

Arapiraca	
DATA	mm
19/02/2012	92,6
12/10/2013	70
19/12/2013	68,6
21/10/2010	59,8
03/10/2011	58,8
07/11/2014	40,8
03/12/2013	27
04/12/2011	26,2

Atalaia	
DATA	mm
18/02/2019	100,8
05/11/2015	90,8
23/01/2019	80,2
21/01/2023	65
29/02/2012	63,8
12/10/2014	59
06/10/2012	58,8
25/02/2021	58,2

Barra de São Miguel	
DATA	mm
25/12/2020	81,7
20/02/2020	79,3
28/01/2019	75,4
18/02/2015	68,1
05/12/2022	56,9
06/11/2022	53
31/01/2023	50,5
23/01/2018	49,2

Cajueiro	
DATA	mm
23/12/2017	60,6
14/01/2018	58,8
29/01/2020	58
18/02/2018	52,8
24/01/2013	48
17/02/2018	46,8
23/01/2018	43
18/01/2019	38,8

M. Deodoro (Cinal)	
DATA	mm
28/01/2019	124,5
05/12/2022	95,2
18/02/2015	85
27/10/2022	77
04/12/2022	75
20/02/2020	61,9
17/12/2018	55,6
05/02/2021	55,5

Colônia Leopoldina	
DATA	mm
20/01/2019	77,7
04/12/2022	70,2
09/02/2016	65,8
07/11/2014	65,6
20/02/2020	61,6
03/11/2014	60,6
01/02/2023	58,4
24/12/2017	50

Coruripe - Vassouras	
DATA	mm
16/01/2020	129,8
05/12/2021	129,0
07/12/2021	72,8
29/01/2021	57,4
04/12/2021	45,0
30/10/2021	37,6
02/02/2020	35,8
12/02/2020	31,8

Igreja Nova	
DATA	mm
25/12/2021	181
12/10/2013	103,2
07/11/2014	86,4
29/10/2022	80,0
13/10/2013	77,5
31/01/2023	74,0
18/01/2016	71,0
26/10/2022	65,0

Utinga Leão (Industria)	
DATA	mm
06/11/2022	99
06/11/2014	90
23/01/2018	73
12/10/2013	70
04/12/2022	70
18/01/2016	66
19/02/2011	65
05/11/2014	60

Maceió (Aterro)	
DATA	mm
20/01/2012	91
12/10/2013	79
05/11/2014	76,6
18/02/2015	73,4
31/01/2023	73
06/11/2022	72
05/12/2011	63
20/02/2020	62

Palmeira dos Índios	
DATA	mm
29/11/2022	102
28/01/2021	80,6
30/11/2022	62
19/12/2013	51,4
05/11/2014	48
10/12/2017	46,8
29/01/2021	46,6
22/10/2010	45

Paripueira	
DATA	mm
20/02/2019	118,2
05/10/2021	90,8
06/10/2021	67,8
31/01/2022	61
04/11/2021	56,8
28/01/2018	50,2
04/02/2021	47,4
29/01/2020	46,2

Paulo Jacinto	
DATA	mm
25/12/2021	84,2
29/10/2022	75,2
17/02/2018	59,4
05/11/2014	58,8
28/01/2022	58
23/12/2017	54,8
28/01/2019	50,8
04/12/2022	43,6

Piranhas	
DATA	mm
22/01/2016	60
19/01/2013	58
20/01/2016	54,2
20/11/2021	52,5
25/11/2021	49,5
26/02/2011	46
13/10/2013	45,7
23/01/2020	42,8

Quebrangulo	
DATA	mm
14/01/2011	82
25/12/2021	77,2
05/11/2014	62,4
17/02/2018	51,2
23/12/2017	43,6
04/12/2022	42,8
04/11/2014	42,6
29/10/2022	42,4

Rio Largo (Fz. Boa F)	
DATA	mm
05/10/2012	83
25/11/2013	71,8
06/10/2012	65,8
04/12/2020	61,8
07/12/2020	60,6
25/12/2013	46,8
15/02/2018	45,4
18/01/2014	44,4

São José da Laje	
DATA	mm
17/01/2020	125,2
06/10/2022	82,2
24/02/2020	69
05/11/2014	54

Satuba	
DATA	mm
18/01/2016	92
06/12/2021	56,9
04/12/2021	52,4
28/01/2018	52,1

Traipu	
DATA	mm
20/12/2013	80,2
25/11/2021	67,8
21/02/2012	66
05/12/2011	62,8

03/12/2013	53,4
27/02/2021	53,4
06/11/2014	52,6
25/02/2020	52,2

27/10/2021	51,2
18/02/2015	48,9
07/12/2021	41,2
08/02/2018	36,2

29/10/2022	56,1
13/10/2013	54,6
28/11/2022	42,9
22/01/2016	37,7

Usina Cachoeira (MACEIÓ)	
DATA	mm
04/12/2022	115
28/10/2010	91
06/11/2022	80
18/01/2016	71
12/10/2013	70
05/11/2014	70
17/02/2015	65
06/11/2014	64

Usina Caeté (S. MIGUEL)	
DATA	mm
06/11/2022	100
12/10/2013	82,4
11/10/2013	79,2
18/02/2012	63,8
06/12/2011	59
04/11/2014	56,8
17/01/2016	55
05/12/2022	50

Usina Camaragibe	
DATA	mm
23/12/2017	80
20/02/2020	77
15/02/2016	75
23/01/2018	70
10/01/2011	60
18/02/2012	60
06/11/2014	60
24/01/2015	60

Usina Camaragibe (SE)	
DATA	mm
15/02/2016	129,9
06/11/2014	81
23/12/2017	80
24/01/2015	65
19/02/2011	60
21/01/2012	60
12/11/2022	55
20/02/2020	54

Usina Coruripe	
DATA	mm
12/10/2013	102,5
13/10/2013	95,7
06/11/2022	92,1
04/11/2014	82,2
05/12/2022	75,5
23/01/2018	69
22/10/2010	66,5
29/10/2022	45,7

Usina Capiatã (CO)	
DATA	mm
06/11/2022	106,5
18/01/2016	90
29/10/2022	80,1
12/10/2013	76,8
04/11/2014	71
13/10/2013	70,5
23/01/2018	60,8
20/01/2011	58,2

Fazenda Progresso (CO)	
DATA	mm
06/11/2022	129,1
05/12/2022	103
13/10/2013	98,6
04/11/2014	86,5
23/01/2018	86,4
22/10/2010	84,1
13/02/2011	80,6
12/10/2013	75

Campo Alegre	
DATA	mm
06/11/2022	115
18/01/2016	75
12/10/2013	62,4
07/11/2014	57,4
11/10/2013	50,2
05/12/2022	50
29/10/2022	46
21/10/2010	44,5

Usina Madeira	
DATA	mm
12/10/2013	100
17/11/2014	92
03/12/2022	92
28/10/2022	75
22/10/2010	67
19/01/2016	60
23/10/2010	55
06/11/2022	55

Fazenda Risco	
DATA	mm
19/01/2014	95
03/12/2020	82
23/01/2016	68
23/11/2020	68
06/12/2020	56
28/10/2020	52
30/01/2011	51,4
17/12/2016	50

Fazenda Serra Grande	
DATA	mm
06/11/2022	123,0
05/11/2014	71,4
06/11/2014	61,8
07/11/2014	54,6
22/10/2010	54
26/12/2021	52,8
21/02/2011	50,4
23/01/2018	50,3

Usina Samaúma (Ma)	
DATA	mm
18/01/2016	90
12/10/2013	75
06/11/2022	72,9
05/12/2011	62,4
28/01/2019	62
03/11/2014	60
18/02/2018	58,5
07/11/2014	57

U. T Nova (Imburi)	
DATA	mm
28/02/2018	90
23/01/2018	85
12/10/2013	80
05/12/2011	74
30/01/2011	71
06/11/2014	65
17/02/2018	65
18/02/2012	63

U. T. Nova (Pilar)	
DATA	mm
12/10/2013	90
18/02/2018	90
18/02/2012	83
23/10/2010	70
06/11/2014	62
05/12/2011	60
28/01/2019	60
27/01/2019	55

Boca da Mata	
DATA	mm
12/10/2013	98,5
05/12/2022	90
06/11/2022	89
17/02/2018	65
31/01/2023	60
18/02/2018	55
05/11/2014	54,2
18/02/2012	52,9

U. U. L. (Fz. Esperança)	
DATA	mm
03/12/2013	88
03/12/2013	79
04/12/2022	75
24/12/2015	73
09/02/2016	70
05/11/2014	68
12/10/2013	60
06/11/2014	60

U. U. L (Fz. Primavera)	
DATA	mm
18/02/2018	115
23/01/2018	102
12/10/2013	90
06/11/2022	82
28/01/2019	77
19/02/2011	73
26/10/2022	70
18/01/2016	66

U.U.L (Urucu)	
DATA	mm
06/11/2014	82,0
24/12/2015	70,0
23/12/2017	65,0
18/02/2012	62,0
11/10/2013	60,0
06/11/2022	60,0
04/12/2022	55,0
19/02/2011	53,0

\*U.U.L = USINA UTINGA LEÃO

VIÇOSA	
DATA	mm
23/12/2017	77,4
31/01/2023	73,8
17/02/2018	61

SANTANA DO IPANEMA	
DATA	mm
18/12/2013	79
22/01/2016	61,3
16/02/2021	58

Maceió - INMET	
DATA	mm
20/01/2012	90,4
23/01/2018	89
07/10/2014	73

06/10/2022	59,2
18/01/2013	49
26/11/2021	46,4
29/01/2021	43,2
14/01/2018	42,6

12/10/2013	57,7
04/12/2011	47,9
23/01/2016	46,7
11/10/2013	46,2
14/01/2017	45

06/10/2014	68,5
18/01/2016	64,8
23/10/2010	53,6
19/02/2018	48,4
18/02/2015	48,4

MACEIÓ – C. JAQUEIRA	
DATA	
06/11/2022	130,8
28/01/2019	104,2
15/02/2011	67,8
20/02/2020	48,2
11/01/2011	44,9
19/02/2018	43,2
21/11/2013	42,1
17/02/2018	40,8

Apêndice B – Maiores valores de precipitação para o Leste de Alagoas entre 2010 e 2022 na estação seca.

2010 a 2022			
DATA	CIDADE	PRECIPITAÇÃO (mm/24h)	SISTEMA ASSOCIADO
17/01/2020	São José da Laje	125,2	VCAN
20/02/2019	Paripueira	118,2	VCAN
06/11/2022	Campo Alegre	115	SF
18/02/2019	Atalaia	100,8	VCAN
05/11/2022	Anadia	98,2	SF

Apêndice C – Maiores valores de precipitação para o Agreste de Alagoas entre 2010 e 2022 na estação seca.

2010 a 2022			
DATA	CIDADE	PRECIPITAÇÃO (mm/24h)	SISTEMA ASSOCIADO
19/02/2012	Arapiraca	92,6	VCAN
25/12/2021	Paulo Jacinto	84,2	VCAN
28/01/2021	Palmeira dos Índios	80,6	VCAN
20/12/2013	Traipu	80,2	VCAN

Apêndice D – Maiores valores de precipitação para o Sertão de Alagoas entre os anos de 2010 e 2022 na estação seca.

2010 a 2022			
DATA	CIDADE	PRECIPITAÇÃO (mm/24h)	SISTEMA ASSOCIADO
22/01/2016	Água Branca	77,7	ZCAS
15/02/2011	Água Branca	67,8	VCAN
22/01/2016	Santana do Ipanema	61,3	ZCAS
22/01/2016	Piranhas	60	ZCAS