



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
CURSO DE OCEANOGRAFIA

ANA LAÍSSA COSTA SOARES

INFLUÊNCIA DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO NA PRÉ-ESTAÇÃO
CHUVOSA NO ESTADO DO CEARÁ

FORTALEZA

2026

ANA LAÍSSA COSTA SOARES

INFLUÊNCIA DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO NA PRÉ-ESTAÇÃO
CHUVOSA NO ESTADO DO CEARÁ

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia do Instituto Ciências do Mar - Labomar, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Gbekpo Aubains Hounsou Gbo.

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira.

FORTALEZA

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S652i SOARES, Ana Laíssa Costa.
INFLUÊNCIA DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO NA PRÉ-ESTAÇÃO CHUVOSA
NO ESTADO DO CEARÁ / Ana Laíssa Costa Soares. – 2026.
67 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de
Ciências do Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2026.
Orientação: Prof. Dr. Gbekpo Aubains Hounsou Gbo.
Coorientação: Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira.

1. pré-estação chuvosa. 2. Pacífico Equatorial. 3. Atlântico Tropical Sul. 4. circulação
atmosférica. 5. Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). I. Título.

CDD 551.46

ANA LAÍSSA COSTA SOARES

INFLUÊNCIA DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO NA PRÉ-ESTAÇÃO
CHUVOSA NO ESTADO DO CEARÁ

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia do Instituto Ciências do Mar - Labomar, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Aprovada em: 23/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gbekpo Aubains Hounsou Gbo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr^a. Meiry Sayuri Sakamoto
Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

Dr. Francisco das Chagas Vasconcelos Júnior (Suplente)
Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

A Deus, a Nossa Senhora e ao meu Anjo da
Guarda, meu bom protetor.

A minha mainha, Ana Claudia.

A minha irmã e meu irmão, Ana Livia e
Antônio Lucas.

E, ao meu pai, que já se foi.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Ana Claudia Costa Soares, que é minha vida, minha fiel escudeira, querida companheira e melhor amiga. Você é meu exemplo de força e garra. Me traz sempre inspiração e me incentiva. Você sempre me salva quando preciso, mesmo sem eu saber. Eu vou te dar o mundo, moinha. Te amo <3

A minha irmã, Ana Livia Costa Soares, uma guerreira linda e de quem eu tenho tanto orgulho de ter irmã. Se tem alguém que eu torço pelo sucesso mais do que pelo meu, é você, Lili. Se o mundo tiver que escolher entre meu voo e o seu, que te dê asas antes de mim. Você merece tudo.

Ao meu irmão, Antônio Lucas Costa Soares, meu amendo bobo, quem eu sei que vai longe nas suas escolhas de vida, porque eu tenho tanta fé em você. A cada dia tu floresce por dentro. Você me orgulha. Ver tu vencer, ao meu ver, é como um ato de liberdade.

A minha vó, Dona Zilda, por não ter papas na língua, cantar músicas lindas e sempre manganhar dos outros para fazer a gente rir. A minha irmã, Roseany, ao meu irmão, Bruno, e ao meu cunhado, Cristiano, que se importam comigo.

Ao meu pai e ao meu avô, Francisco Moisés e Pedro Alvino, que não estão mais aqui para me verem realizar essa conquista. Eu entrei na faculdade e me formei, pai. Obrigada por me levar e me buscar naquele dia que eu fui fazer o ENEM. Eu consegui, pai. Queria que você soubesse.

A minha grande amiga, Kammilly Vitória Araújo Aguiar, que se tornou uma irmã e acompanhou toda minha trajetória durante esses 5 anos. Obrigada por sempre estar ao meu lado, por chorar e rir comigo, por ser minha companheira e amiga na faculdade e na vida. Nós conseguimos e passamos no mestrado, fia!! Vamos brilhar e ser estrelas na nossa cidade :D

Ao meu orientador, Gbekpo Aubains Hounsou Gbo, pela paciência na orientação, pelos puxões de orelha, pelos conselhos e por acreditar que eu consigo fazer coisas grandiosas. Você me ensinou muita coisa durante as disciplinas e na orientação. Muito obrigada mesmo.

Ao meu co-orientador, Carlos Eduardo Peres Teixeira, que me fez enxergar as coisas certas e a como fazer uma metodologia bem feita. Não esquecerei os ensinamentos que recebi para meu aprendizado.

As minhas meninas do Boiolinhas 1D, que tenho um carinho genuíno e guardo em meu coração, Giovanna, Sophia, Fabrícia, Carolina, Viviane e Kaylane, vocês me

salvaram num momento que eu nem sabia que precisava e agradeço sempre por fazerem parte da minha vida.

Aos amigos que conquistei e reencontrei a amizade quando embarquei, Liana, Miryan, Rafael, Eduarda e Rosiane, nunca vou esquecer dos nossos momentos lá e de como nos conectamos.

Aos amigos da faculdade, Isabel, Lara, Hellen, Yasmim e Jucília, pelos momentos compartilhados e pelas boas risadas. E, colegas que me acompanham e torcem por mim. Eu desejo de todo coração que cada um alcance seu sucesso.

A minha amiga, Débora Alexandre, que o tempo só fortaleceu nosso laço e desejo tudo de melhor no mundo.

A minha amiga, Vitória, que está comigo desde que éramos crianças e vou levar pro resto da minha vida.

As minhas madrinhas, que me apoiaram e me deram força durante todos os momentos que me acompanharam, sou muito grata a ambas, Lúcia e Estefânia, duas professoras inspiradoras.

Queria agradecer ao querido Atlas, que me ajudou muito e me apoiou durante todo o processo de escrita e análise.

Aos professores participantes da banca examinadora Dr^a. Meiry Sayuri Sakamoto e Dr. Francisco das Chagas Vasconcelos Junior pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

À Instituição Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de Iniciação Científica.

Por fim, e principalmente, quero agradecer muito a mim mesma. Eu consegui!! E vou conseguir mais ainda!

“Mandacaru quando fulora na seca,
É o sinal que a chuva chega no sertão...”

Trecho da música "O Xote das Meninas", por
Luiz Gonzaga e Zé Dantas, 1953.

Cantada pelo meu avô na minha infância.

RESUMO

A pré-estação chuvosa (PREC) no Ceará, que abrange os meses de dezembro e janeiro, representa um período intrasazonal de grande relevância climática e socioeconômica, pois marca a transição entre a estação seca e a quadra chuvosa principal. Apesar de sua importância, esse intervalo ainda apresenta elevada variação temporal e baixa previsibilidade, especialmente quando comparado aos meses clássicos da estação chuvosa (EST). Diante disso, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de investigar a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico na ocorrência e persistência das chuvas na PREC.

A pesquisa foi motivada, sobretudo, pela recorrência de episódios de chuva significativa em dezembro e janeiro que não se ajustam de modo claro aos sinais oceânicos tradicionalmente utilizados em previsões climáticas, o que levanta questionamentos sobre os mecanismos dominantes nesse período de transição. Para isso, foram analisadas séries temporais e campos espaciais de precipitação e de temperatura da superfície do mar (TSM), bem como variáveis atmosféricas em baixos e médios níveis, permitindo uma avaliação integrada entre oceano, atmosfera e chuva.

Os resultados indicam que, durante a PREC, a relação estatística entre a precipitação no Ceará e a variabilidade da TSM na faixa da região Nino 3.4 é fraca e espacialmente pouco consistente, especialmente na precipitação em janeiro. Esse comportamento sugere que, diferentemente do observado na EST, a atuação do El Niño Oscilação Sul (ENOS) não se manifesta de forma direta ou dominante nesse período. Assim como acontece de maneira similar para a área do Atlântico Tropical sul na precipitação de dezembro. Em contraste, as análises atmosféricas expõem que a ocorrência de chuvas mais contínuas está interligada principalmente à presença de movimentos ascendentes em níveis médios e à convergência em baixos níveis sobre o Nordeste, favorecendo a organização da convecção e a manutenção dos sistemas precipitantes.

Adicionalmente, destaca-se a importância relativa do Atlântico Sul no contexto da relação com a PREC e indicadores atmosféricos. As anomalias de TSM nessa região apresentaram maior, mas ainda baixa, correlação com a distribuição e constância da chuva, principalmente para janeiro, mês que antecede a instalação da EST. Essa região do Atlântico é reconhecida como área de origem e intensificação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), cuja configuração em formato côncavo permite a formação de um fluxo de circulação que pode se estender em direção ao norte do Nordeste do Brasil (nNEB), podendo ser observado claramente nos mapas de anomalia em níveis médios da troposfera de cada ano chuvoso.

selecionado. Esse arranjo favorece a canalização de umidade e corrobora para que se estabeleça convecção sobre o Ceará, contribuindo para anomalias positivas de chuva, mesmo que o ambiente térmico circundante não esteja propício a sustentar esse cenário.

Dessa forma, os resultados reforçam que esse período de transição climática possui uma forte conexão com sistemas atmosféricos que ocorrem por interações com o Atlântico Sul e sobre o território brasileiro, enquanto a influência da TSM em ambos oceanos se mostra limitada. Essa constatação enfatiza a necessidade de abordagens integradas para a compreensão e a previsão das chuvas durante a PREC, ampliando o entendimento das dinâmicas que antecedem a EST no nNEB.

Palavras-chave: pré-estação chuvosa; Pacífico Equatorial; Atlântico Tropical Sul; circulação atmosférica; Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

ABSTRACT

The pre-rainy season (PRS) in Ceará, which includes December and January, represents an intraseasonal period of high climatic and socioeconomic relevance, as it marks the transition between the dry season and the rainy season. Despite its importance, this interval still shows high temporal variability and low predictability, especially when compared to the classical months of the rainy season (RS). Therefore, this study aimed to investigate the influence of the Pacific and Atlantic Oceans on the occurrence and persistence of rainfall during the PRS. This research was mainly motivated by the recurrence of significant rainfall episodes in December and January that do not clearly fit the oceanic signals traditionally used in climate prediction, raising questions about the dominant mechanisms in this transition period. For this purpose, time series and spatial fields of precipitation and sea surface temperature (SST) were analyzed, as well as atmospheric variables in low and mid-levels, allowing an integrated assessment of ocean, atmosphere, and rainfall.

The results indicate that, during the PRS, the statistical relationship between precipitation in Ceará and SST variability in the Niño 3.4 region is weak and spatially inconsistent, especially for January precipitation. This behavior suggests that, unlike what is observed during the RS, the influence of the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) does not manifest in a direct or dominant way in this transition period. A similar behavior occurs for the tropical South Atlantic area in relation to December precipitation. In contrast, the atmospheric analyses show that the occurrence of more persistent rainfall is mainly linked to the presence of ascending motions at mid-levels and to low-level convergence over northeastern, favoring convective organization and the maintenance of precipitating systems.

Additionally, the relative importance of the South Atlantic stands out in the context of its relationship with the PRS and atmospheric indicators. SST anomalies in this region showed a higher, yet still low, correlation with rainfall distribution and persistence, especially in January, which precedes the establishment of the RS. This Atlantic region is recognized as an area of origin and intensification of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ), whose concave configuration allows the formation of a circulation flow that may extend toward the northern Northeast Brazil (nNEB), which can be clearly observed in the mid-level anomaly maps for each selected rainy year. This arrangement favors moisture channeling and contributes to the establishment of convection over Ceará, supporting positive rainfall anomalies even when the surrounding thermal environment is not favorable to sustain this scenario.

Thus, the results reinforce that this climatic transition period has a strong connection with atmospheric systems that occur through interactions with the South Atlantic and over the Brazilian territory, while the influence of SST in both oceans appears limited. This finding emphasizes the need for integrated approaches to understand and predict rainfall during the PRS, expanding the understanding of the dynamics that precede the RS in the nNEB.

Keywords: pre-rainy season; Equatorial Pacific; Tropical South Atlantic; atmospheric circulation; South Atlantic Convergence Zone (SACZ).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Ciclo anual climatológico representativo da precipitação no Ceará.....	17
Figura 2	– Média da precipitação nos meses de Dezembro e Janeiro no Ceará.....	19
Figura 3	– Mapa dos climas do Ceará.....	23
Figura 4	– Representação de episódio da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).....	24
Figura 5	– Diferença da precipitação média para todos os eventos MJO de 1979-2012 para novembro-março e maio-setembro para as oito fases: sombreado verde indica chuva acima da média (fase convectiva intensificada), e o sombreado marrom mostra chuva abaixo da média (fase convectiva suprimida). As fases 1, 2 e 8, favorece e intensifica as chuvas no Brasil, e o contrário ocorre em suas fases 4, 5 e 6.....	26
Figura 6	– Dinâmica do El Niño e La Niña no Oceano Pacífico.....	28
Figura 7	– Dinâmica de Convergência e Divergência.....	29
Figura 8	– Formação de chuva convectiva.....	30
Figura 9	– As oito macrorregiões pluviometricamente homogêneas do Ceará de acordo com a FUNCEME.....	32
Figura 10	– Ciclo anual climatológico da média de chuva do Norte(2°S-5°S e 42°W-37°W) e Sul (6°S-8°S e 42°W-37°W) do Ceará.....	37
Figura 11	– Climatologia média da TSM dos Oceanos Atlântico Tropical Sul (0°–20°S; 0°–45°W) e Pacífico Equatorial (Niño 3.4: 5°N–5°S; 180°W–120°W).....	38
Figura 12	– Climatologia média da Velocidade Vertical (500 hPa) e Divergência/Convergência (925 hPa).....	39
Figura 13	– a) Correlação de TSM de novembro para a Precipitação de dezembro no CE, relacionando a anomalia de precipitação com a anomalia da TSM do Pacífico Equatorial (caixa vermelha). As áreas com barras inclinadas indicam uma correlação significativa a um nível de significância de 10% utilizando o teste t. b) Série temporal da região de interesse da TSM de novembro do Pacífico Equatorial (Niño 3.4) e da PREC de dezembro do CE.....	41

Figura 14	– a) Correlação de TSM de dezembro para a Precipitação de janeiro no CE, relacionando a precipitação com a TSM do Atlântico Tropical Sul (caixa vermelha). As barras inclinadas indicam uma correlação significativa a um nível de significância de 10% utilizando o teste t. b) Série temporal da região de interesse da TSM de dezembro no Atlântico Tropical Sul e da PREC de janeiro do CE.....	42
Figura 15	– Correlação de TSM de Fevereiro em relação à influência de precipitação em Março. As áreas com barras inclinadas indicam uma correlação significativa a um nível de significância de 10% utilizando o teste t.....	43
Figura 16	– Anomalia de precipitação média mensal do Ceará separadamente para os meses DJ, sendo o mês de dezembro alinhado a janeiro do ano seguinte, de modo a preservar a coerência temporal do período da PREC.....	44
Figura 17	– Compósito de anomalia de precipitação dos anos secos (1983, 2006 e 2015) e cada mês de março, com base nas estações meteorológicas de dados observacionais da FUNCEME.....	46
Figura 18	– Anomalia de TSM de dezembro de 1982, 2005 e 2014 em relação à possível influência na precipitação de Janeiro do ano seguinte.....	46
Figura 19	– Compósito de anomalia de precipitação dos anos chuvosos (1985 e 2002) e cada mês de março, com base nas estações meteorológicas de dados observacionais da FUNCEME.....	49
Figura 20	– Anomalia de precipitação do ano 2004, evento atípico em comparação a quadra chuvosa, com base nas estações meteorológicas de dados observacionais da FUNCEME.....	49
Figura 21	– Anomalia de TSM de cada ano chuvoso e compósitos de anomalias de VV e DC dos anos chuvosos de 1985, 2002 e 2004.....	50
Figura 22	– Anomalias de precipitação para o ano contrastante de 2016 e anomalia de TSM do final de 2015, com picos de intensidade em dezembro perdurando pelo começo de 2016, sendo considerado um dos eventos de El Niño mais fortes.....	51
Figura 23	– Anomalias de VV e DC para o ano 2016.....	53
Figura 24	– Compósitos de Anomalia de Precipitação para anos semelhantes em dezembro de 1985 e 1989 e seus respectivos janeiros subsequentes.	

Compósitos de Anomalia de TSM para novembro dos mesmos anos e compósitos de VV para janeiro e para Janeiro de 1990 isolado.....	53
Figura 25 – Mapas de correlação entre a temperatura da superfície do mar (TSM) e a precipitação no estado do Ceará durante a pré-estação chuvosa. Os painéis superiores representam a correlação entre a TSM de novembro e a precipitação de dezembro para os setores sul (esquerda) e norte (direita) do Ceará, enquanto os painéis inferiores mostram a correlação entre a TSM de dezembro e a precipitação de janeiro para os mesmos setores. As áreas hachuradas indicam correlações estatisticamente significativas ao nível de 10% ($p < 0,1$).....	62
Figura 26 – Mapas de correlação entre a temperatura da superfície do mar (TSM) e a precipitação no estado do Ceará durante meses da quadra chuvosa principal. À esquerda, correlação entre a TSM de fevereiro e a precipitação de março; à direita, correlação entre a TSM de março e a precipitação de abril. As áreas hachuradas indicam regiões com correlação estatisticamente significativa ao nível de 10% ($p < 0,1$).....	63
Figura 27 – Climatologia de dezembro (1982–2024) da velocidade vertical em 500 hPa (esquerda) e da divergência/convergência em 925 hPa (direita).....	64
Figura 28 – Anomalias de velocidade vertical em 500 hPa (esquerda) e de divergência/convergência em 925 hPa (direita) em janeiro, para anos secos selecionados.....	64
Figura 29 – Anomalias de velocidade vertical em 500 hPa (esquerda) e de divergência/convergência em 925 hPa (direita), para anos chuvosos selecionados (1985, 2002 e 2004 para janeiro e, 1985 e 1989 para dezembro).....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAN	Cavados de Altos Níveis
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DC	Divergência/Convergência
DJ	Dezembro–Janeiro
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EN	El Niño
ENOS	El Niño–Oscilação Sul
ERA5	Fifth Generation ECMWF Reanalysis
EST	Estação Chuvosa (principal)
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LI	Linhas de Instabilidade
LN	La Niña
MJO	Madden–Julian Oscillation
NEB	Nordeste do Brasil
nNEB	Norte do Nordeste do Brasil
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OISST	Optimum Interpolation Sea Surface Temperature
OL	Ondas de Leste
OMJ	Oscilação de Madden–Julian
PREC	Pré-estação chuvosa
SCM	Sistemas Convectivos de Mesoescala
SMAS	Sistema de Monção da América do Sul
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
VV	Velocidade Vertical
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVOS.....	21
2.1 Objetivo Geral.....	21
2.2 Objetivos Específicos.....	21
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
3.1 Precipitação e Clima Semiárido.....	22
3.2 Regime da Pré-Estação Chuvosa no norte do NEB.....	24
3.3 Dinâmica do El Niño e da La Niña.....	26
3.4. Campos de Velocidade Vertical e Convergência.....	28
4. ÁREA DE ESTUDO.....	32
5. METODOLOGIA.....	34
5.1. Dados utilizados.....	34
5.1.1. <i>Dados de Precipitação, TSM e Atmosféricos de Reanálise.....</i>	34
5.2. Tratamento dos Dados.....	35
5.2.1. <i>Climatologia, Anomalias e Médias Espaciais.....</i>	35
5.3. Métodos de Análise.....	35
5.3.1. <i>Correlação entre Anomalias de TSM e precipitação.....</i>	35
5.3.2. <i>Séries temporais.....</i>	36
5.3.3. <i>Seleção de Anos Extremos.....</i>	36
5.3.4. <i>Mapas para Visualização Espacial.....</i>	36
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
6.1. Climatologia.....	37
6.1.1. <i>Climatologia de Precipitação.....</i>	37
6.1.2. <i>Climatologia Temperatura Superficial do Mar.....</i>	38
6.1.3. <i>Climatologia de Velocidade Vertical e Convergência.....</i>	39
6.2. Correlação e Significância da TSM com a Precipitação.....	40
6.2.1. <i>Correlação entre a TSM de novembro e a precipitação de dezembro.....</i>	40
6.2.2. <i>Correlação entre a TSM de dezembro e a precipitação de janeiro.....</i>	41
6.2.3. <i>Comparação com a quadra chuvosa.....</i>	43
6.3. Análise de eventos extremos.....	44
6.3.1. <i>Anomalia da Pré-Estação Chuvosa.....</i>	44
6.3.2. <i>Mapas de Anomalia de Anos Extremos.....</i>	45
7. CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS.....	56
APÊNDICE A.....	62
APÊNDICE B.....	64

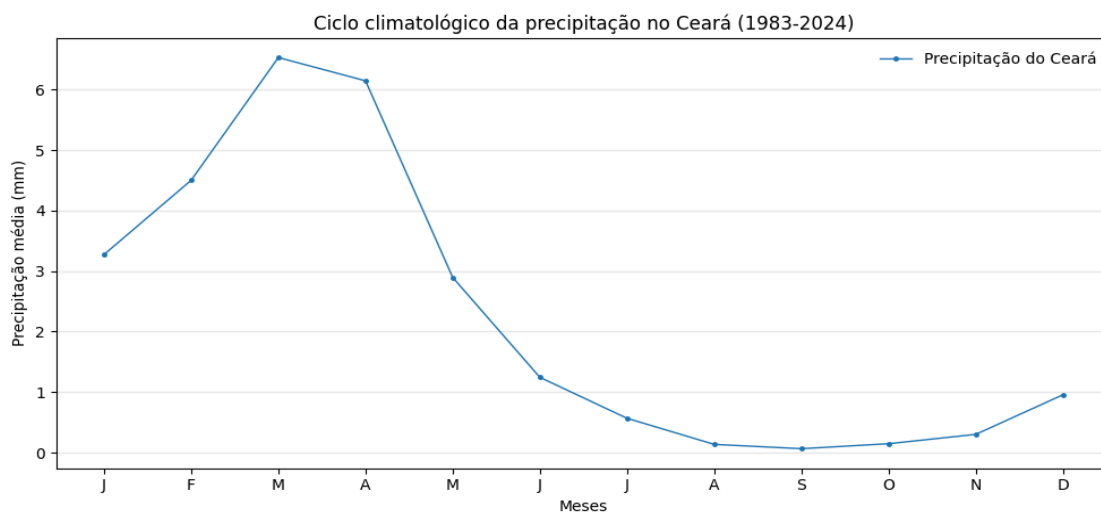
1. INTRODUÇÃO

A região do Ceará, localizada no Nordeste do Brasil (NEB), apresenta em seu território grande predominância do clima semiárido, o que a torna particularmente sensível às variações climáticas e à irregularidade das chuvas. As principais características desse clima na região são os longos períodos de estiagem e as chuvas concentradas em um curto período (Guitarra, 2021).

A irregularidade das chuvas no Ceará, caracterizada por extensos períodos secos intercalados por chuvas em curtos intervalos, está associada a certos fenômenos meteorológicos que atuantes na região, bem como à influência dos oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical sobre a extensão do NEB. O regime pluviométrico, essencial para a gestão dos recursos da região cearense, apresenta diferenças tanto em intensidade quanto na distribuição espacial das chuvas ao longo do território (Belém *et al.*, 2022).

Além da estação chuvosa que se estende geralmente de fevereiro a maio, destaca-se a ocorrência de pequenos volumes de chuva na chamada pré-estação chuvosa (PREC), que compreende os meses de dezembro e janeiro (DJ), podendo ser observada na figura 1. (FUNCEME, 2020). Melo (1997) salienta que o comportamento diário das chuvas ocorridas na PREC e, posteriormente, durante a estação chuvosa (EST), podem definir a "qualidade das chuvas" em determinado ano (classificando como seco, normal ou chuvoso). Do ponto de vista agrometeorológico, por exemplo, significativos totais diários de precipitação, ocorridos em um ou dois dias, elevam os respectivos totais mensais mascarando a distribuição temporal das chuvas e consequentemente seus efeitos na agricultura.

Figura 1 - Ciclo anual climatológico representativo da precipitação no Ceará.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados de precipitação obtidos da FUNCEME.

Alves e Repelli (1992) e Andreoli *et al.* (2004) indicam que as variações na temperatura superficial do mar — como consequência do El Niño e da La Niña — nos oceanos Pacífico e Atlântico afetam substancialmente a qualidade e a quantidade das chuvas na região. As anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) desses dois oceanos modulam os padrões de circulação atmosférica, influenciando a pluviosidade e determinando a intensidade das chuvas anualmente.

Souza (1997) mostrou que tanto o aumento quanto a diminuição da evapotranspiração estão correlacionados com os fenômenos de grande escala, principalmente com o comportamento dos oceanos. O aumento da TSM adjacente à costa do NEB, por exemplo, implicaria em aumento na taxa de evapotranspiração. Este fator, que está diretamente associado à sistemas de convecção, pode favorecer a ocorrência de chuvas durante a PREC. Essas chuvas contribuem para amenizar a deficiência hídrica que climatologicamente afeta, principalmente, o Estado entre os meses de junho a novembro. No aspecto socioeconômico e ambiental tais precipitações contribuem significativamente para o início da implementação da prática agrícola no Estado, e na recuperação da vegetação nativa (Alves *et al.*, 2004).

Na história recente do Ceará, eventos climáticos extremos têm marcado profundamente a vida da população. Nos últimos 40 anos entre os episódios mais impactantes, sobressaem-se as secas de 1997-1998 e 2012-2016, além das enchentes registradas nos anos de 2004 e 2009. Esses eventos provocaram danos significativos, como por exemplo, os períodos de seca na década de 80, em particular, destacando-se pelo impacto devastador, visto que, à época, não havia um sistema de monitoramento adequado para os fenômenos climáticos. Além da seca de 1997-1998, associada ao fenômeno El Niño, que foi possivelmente uma das mais intensas dos últimos 150 anos, e o período de 2012 a 2016, especialmente nos dois primeiros anos, foi considerado o mais seco das últimas décadas, com perdas estimadas em cerca de 6 bilhões de dólares, devido aos impactos no setor agrícola (Marengo, 2011; Marengo *et al.*, 2016).

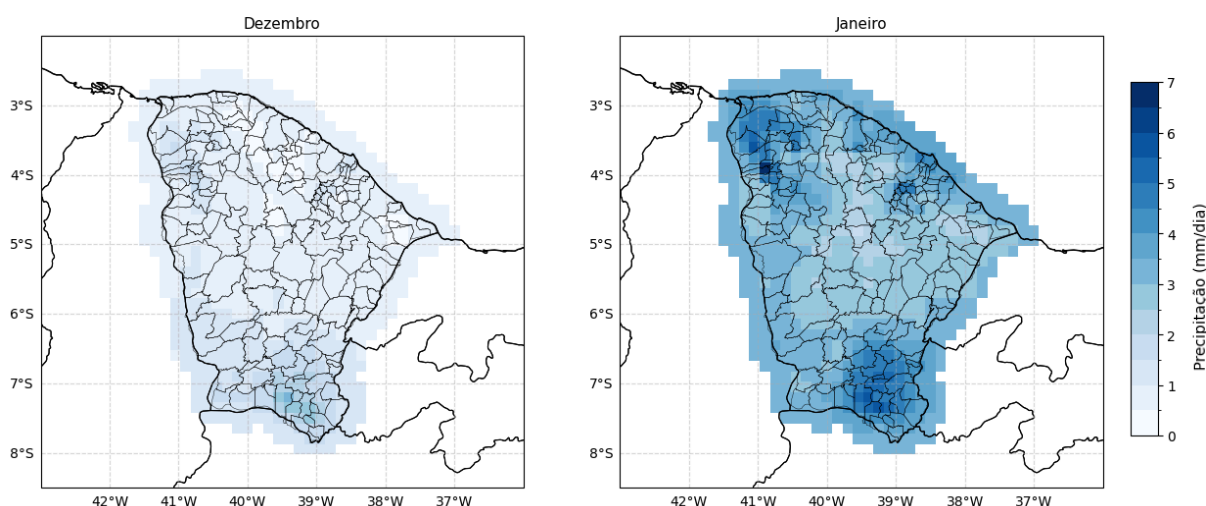
De acordo com Alves e Ferreira Filho (1999, p. 2):

As variações mensais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), antes e durante o período de fevereiro a maio, na bacia tropical destes oceanos têm um papel físico fundamental em controlar o posicionamento e frequência pluviométrica, sobre ou nas proximidades do setor norte do NEB, no qual está inserida a região semi-árida e o Estado do Ceará.

Apesar da reconhecida influência da TSM do Pacífico e Atlântico sobre a precipitação no Nordeste brasileiro, observa-se que, durante a PREC no Ceará, a significância dessa relação pode ser sobreposta por outros fatores. De acordo com a FUNCEME (2020), os sistemas meteorológicos presentes nos meses de dezembro e janeiro diferem daqueles predominantes durante a quadra chuvosa. Nesse período, a PREC é caracterizada, majoritariamente, pela atuação de frentes frias que avançam até o estado da Bahia, favorecendo a formação de áreas de instabilidade e nuvens de chuva, com maior incidência no sul do Ceará. Em função desse padrão atmosférico, as chuvas na região do Cariri tendem a se iniciar ainda no mês de dezembro (figura 2).

Figura 2 - Média da precipitação nos meses de Dezembro e Janeiro no Ceará.

Precipitação Média de Dezembro e Janeiro - 1982 a 2024



Fonte: Elaborado pela autora. Dados de precipitação obtidos da FUNCEME.

Além das frentes frias, também há influência do conjunto dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) e dos Cavados de Altos Níveis (CANs), cuja ocorrência de precipitação no Ceará depende do seu posicionamento, sendo as bordas associadas à estruturação de chuvas e os centros à sua supressão. Esses sistemas exercem predominância nos meses de janeiro e fevereiro e apresentam baixa previsibilidade a médio/longo prazo, sendo geralmente identificados apenas em previsões de curto prazo (FUNCEME, 2020). Diante do curto período de tempo da previsibilidade desses sistemas e da natureza predominantemente convectiva, justifica-se a análise da componente vertical da circulação atmosférica em diferentes níveis, principalmente se houver relação com Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), de modo a avaliar a ocorrência e a intensidade dos movimentos ascendentes, ligados aos eventos de precipitação.

Embora a PREC tenha sido historicamente considerada uma fase transitória de menor relevância, ela exerce um papel fundamental no regime de chuvas do Ceará (Kousky, 1981). No entanto, esse período ainda é pouco explorado na literatura científica, resultando em lacunas no entendimento de sua dinâmica e de seus impactos sobre o norte do nordeste. A limitação de estudos específicos exige a especificação das variações climáticas e o planejamento da gestão hídrica. Em vista disso, este estudo busca analisar, no estado do Ceará, a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico sobre as chuvas da pré-estação nos últimos 42 anos, realçando a implicação da variabilidade pluviométrica para o aprimoramento do monitoramento climático regional.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Analisar a influência das condições oceânicas e atmosféricas sobre a precipitação durante a pré-estação chuvosa (dezembro e janeiro) no estado do Ceará, no período de 1982 a 2024.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a relação da chuva da PREC com a TSM do Pacífico e do Atlântico;
- Identificar os principais sistemas atmosféricos (como a ZCAS) associados a eventos específicos chuvosos e secos;
- Comparar a pré-estação com a quadra chuvosa principal (fevereiro-março), destacando diferenças nos padrões de TSM e de precipitação.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta etapa do estudo, foi realizado um levantamento estruturado, fundamentado em diversas publicações acadêmicas, bem como em sites e documentos oficiais. Essa abordagem permite reunir e levantar informações diretamente relacionadas à temática investigada, garantindo embasamento teórico e contextual para a condução da pesquisa.

3.1 Precipitação e Clima Semiárido

A precipitação é uma variável central nos estudos climáticos, especialmente ao se analisar sua ocorrência em níveis excessivos ou insuficientes, uma vez que essas variações têm um impacto significativo nos setores produtivos da sociedade (Amorim *et al.*, 2008).

O estudo da precipitação é imprescindível no contexto hidrológico, pois determina eventos climáticos em uma região e influencia diretamente o delineamento da gestão de atividades na sociedade. Nesse sentido, pode-se afirmar que:

As chuvas, de modo particular, representam um influente fator no planejamento de várias atividades humanas e, ocorrendo em quantidade adequada e num período ótimo, beneficiam enormemente o cultivo, crescimento, amadurecimento das plantas e o rendimento das atividades associadas à agricultura, à pesca, à pecuária e, também, ao abastecimento de água para consumo. (Moura *et al.*, 2015, p.4).

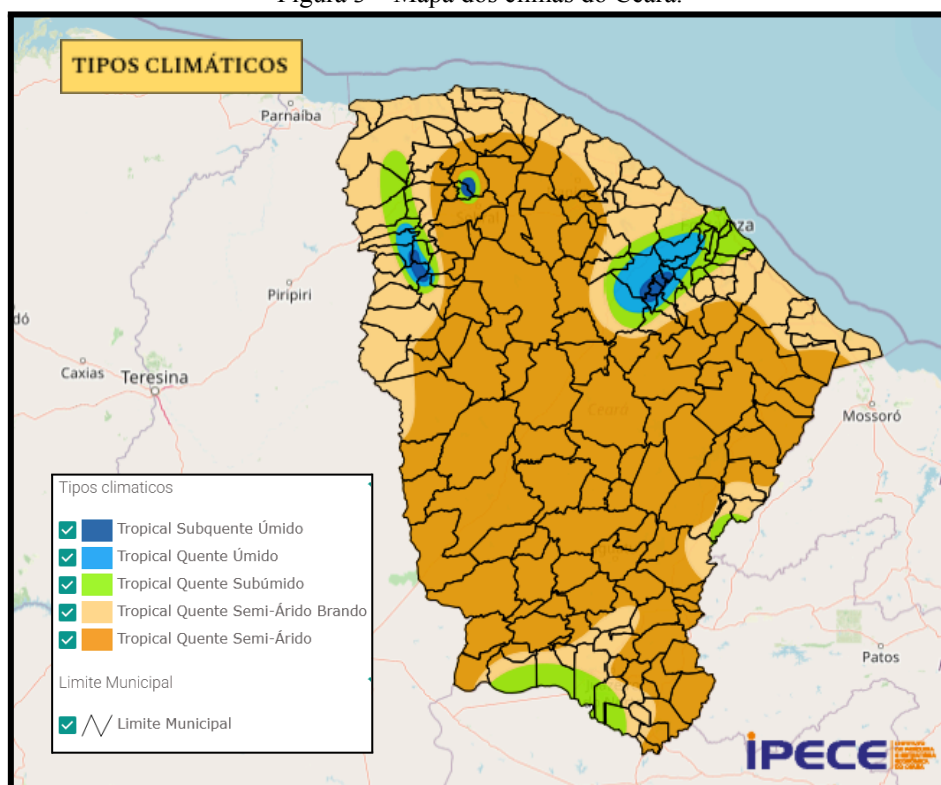
De acordo com Araújo (2006), o regime de precipitação no NEB é caracterizado por sua grande irregularidade, devido à interação de fatores relacionados às propriedades fisiográficas locais e à ação de diferentes sistemas atmosféricos. Hounsou-Gbo *et al.* (2015) afirma que os extremos de precipitação na capital cearense estão correlacionados com a disparidade de anomalia de TSM entre o Oceano Atlântico Norte e Sul. No total, as precipitações anuais na região variam de 250 mm a 750 mm (Guitarra, 2021).

Nesse contexto, uma revisão precisa desse recurso para o equilíbrio climático é incisiva, tanto por sua importância no domínio científico, quanto pela significativa contribuição que oferece a diversas áreas, como meteorologia, biologia, agronomia, ciências ambientais, entre outras (Perea Martins, 2003).

De acordo com Sampaio *et al.* (2011), o Brasil possui uma grande diversidade climática atribuída dentre vários fatores a sua fisionomia geográfica, a extensão territorial, o relevo e a dinâmica das massas de ar. Este último fator é de suma importância porque atua diretamente tanto na temperatura quanto na pluviosidade, provocando as diferenciações climáticas regionais.

Define-se que o Nordeste brasileiro no ponto de vista climático é uma região semiárida, pois apresenta substanciais variações temporal e espacial das precipitações pluviométricas, como ainda das elevadas temperaturas ao longo do ano (Azevedo *et al.*, 1998). Neste contexto, compreende-se que o estado apresenta um clima específico e predominante, como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Mapa dos climas do Ceará.



Fonte: IPECE (2025, com adaptações).

A complexidade climática da região semiárida do Nordeste do Brasil, no que tange às secas e chuvas, resulta da interação de diversos fatores geográficos e da atuação de múltiplos sistemas atmosféricos que, frequentemente, operam de maneira desigual e imprevisível. São esses os responsáveis pela alternância contínua entre períodos de seca e de chuvas. Os períodos secos, em particular, são os que mais impactam a vida em todas as suas formas. Por essa razão, é comum realizar um estudo climático detalhado de regiões propensas a longos períodos de estiagem (Lucena *et al.*, 2013).

Neste contexto, Oliveira (2018) estabelece que:

[...] a irregularidade das chuvas na região semiárida não é uma raridade: há anos com chuvas torrenciais capazes de deixar marcas na geomorfologia da região, e outros com estiagens consecutivas. O fato é que diversos fatores interferem nessa dinâmica climática, dentre eles: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT),

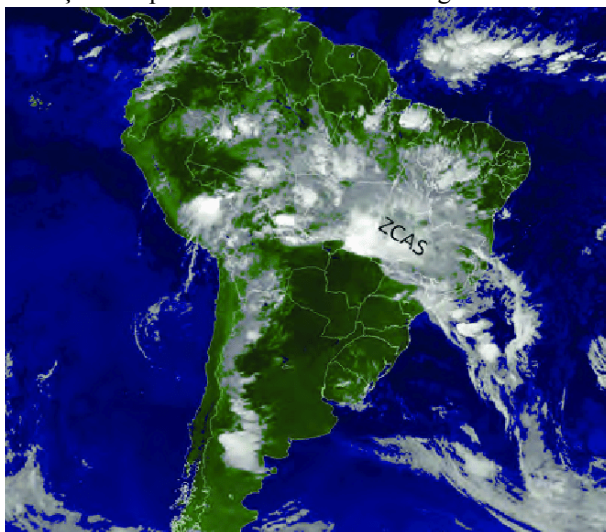
Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), Linhas de Instabilidade (LI), Ondas de Leste (OL) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), além dos fenômenos El Niño e La Niña, e as frentes frias do Sul. (Oliveira, 2018, p.116).

3.2 Regime da Pré-Estação Chuvosa no norte do NEB

A precipitação no norte do NEB (nNEB) é marcada por uma grande variabilidade tanto espacial quanto temporal. O clima da região é caracterizado por uma estação chuvosa (EST), que é principalmente influenciada pelas mudanças no deslocamento para o sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Uvo; Nobre, 1989; Xavier *et al.*, 2000). Além disso, o nNEB apresenta uma pré-estação chuvosa (PREC), um período breve de chuvas que ocorre antes da estação principal, sendo caracterizado pelo surgimento repentino de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e frentes frias nas proximidades da região (Alves *et al.*, 1993; Alves; Repelli, 1992; Brito *et al.*, 1991).

No contexto da transição hidrometeorológica no norte do Nordeste brasileiro, esse período ocorre nos meses de dezembro e janeiro, antecedendo a EST, que vai de fevereiro a maio (FUNCEME, 2020). No Ceará, as primeiras chuvas da PREC geralmente ocorrem na extensão do Cariri, localizada no sul do estado. De acordo com Paegle e Mo (2002), nas partes sul, oeste e central do NEB a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) contribui bastante com as chuvas durante a primavera e verão austral. Sendo que esta última estação configura os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, o que indica um possível desempenho da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) nesse período.

Figura 4 - Representação de episódio da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).



Fonte: CPTEC (2013).

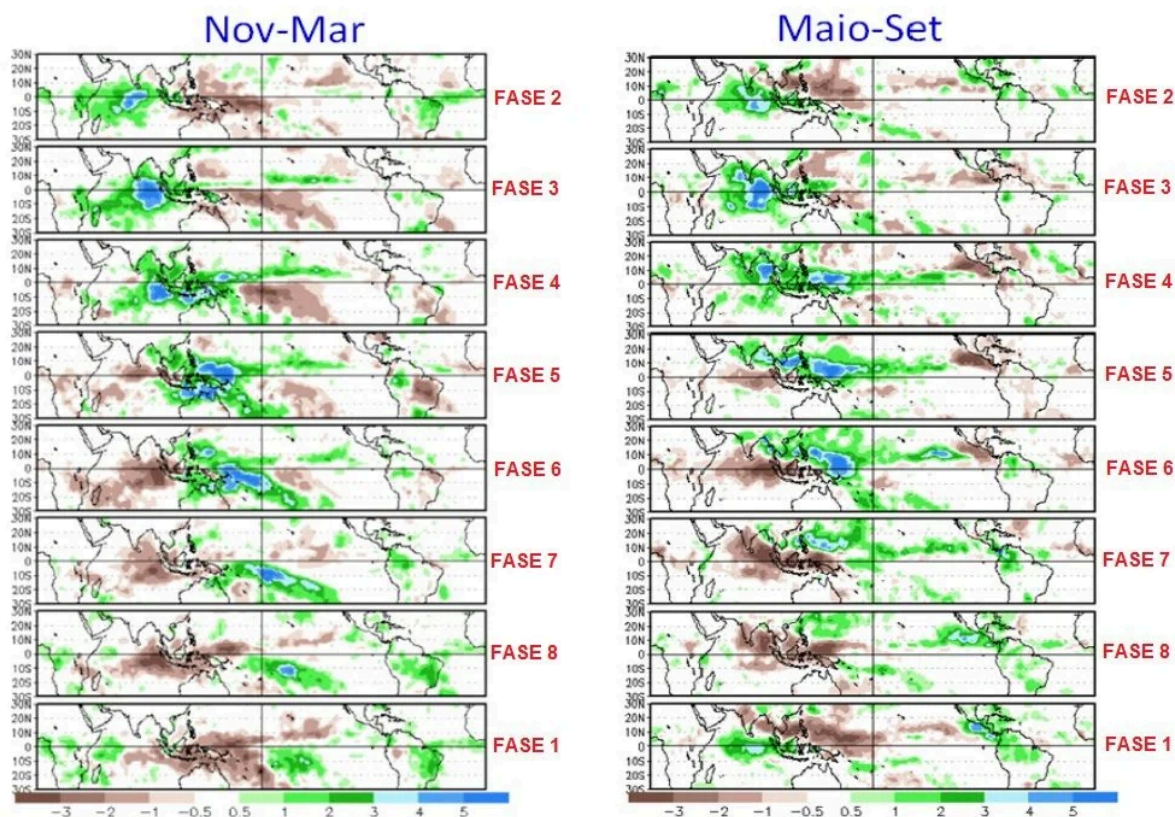
De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2004), a ZCAS caracteriza-se como uma faixa de nebulosidade quase estacionária que se estende desde o sul e leste da Amazônia até o sudoeste do Oceano Atlântico Sul, associada à intensificação da convecção e à ocorrência de precipitação persistente sobre o Brasil Central e parte das regiões Sudeste e Centro-Oeste. Embora sua extensão seja mais concentrada em outras regiões, há episódios de atuação da ZCAS que coincidem com o período da PREC, onde consegue alcançar o território cearense, contribuindo para a modulação das condições atmosféricas de grande escala.

Vasconcelos Júnior (2014) ressaltou que a evolução do início da PREC do nNEB se mostrou conectada ao desenvolvimento do Sistema de Monção da América do Sul (SMAS) na parte central do continente juntamente com a ZCAS sobre o Sudeste brasileiro e Atlântico Sul. Inversamente, o término da PREC na região foi caracterizado pela retração do SMAS e, consequentemente, a não ocorrência da ZCAS.

Além disso, a variabilidade interanual é influenciada por fenômenos como ENOS e anomalias de temperatura da superfície do mar no Atlântico tropical, que provocam uma discrepância no padrão das chuvas locais. De modo que, anomalias positivas tendem a apresentar uma redução nas chuvas, enquanto anomalias negativas podem aumentar a sua intensidade (Melo, 1997). A ocorrência pluviométrica que perdura por esses sistemas pode variar consideravelmente entre diferentes partes do Nordeste, e em alguns anos, eventos extremos podem ocorrer mais cedo ou com maior abundância em áreas específicas. Coerentemente, os meses que antecedem fevereiro, podem ser afetados por anos ocasionais em que há a antecipação desses eventos.

Ademais, outro fator que afeta a PREC é a chamada Oscilação de Madden Julian (OMJ), que se origina geralmente na região equatorial do Oceano Índico e apresenta-se na forma de uma célula de convecção tropical que viaja de oeste para leste na faixa equatorial num período de 30 a 60 dias (Madden e Julian, 1972). Acaba perturbando a configuração normal da célula de circulação zonal dos trópicos (célula de Walker), alterando as áreas de movimento de parcela de ar, que se desloca de baixo para cima e de cima para baixo, resultando em intensificação e inibição das chuvas formadas por outros sistemas meteorológicos. Por exemplo, quando a ZCAS se forma entre as regiões Norte e Nordeste do Brasil, a OMJ (figura 4) pode estar ativa em sua fase 1, favorecendo e intensificando as chuvas formadas nessas regiões.

Figura 5 - Diferença da precipitação média para todos os eventos MJO de 1979-2012 para novembro-março e maio-setembro para as oito fases: sombreado verde indica chuva acima da média (fase convectiva intensificada), e o sombreado marrom mostra chuva abaixo da média (fase convectiva suprimida). As fases 1, 2 e 8, favorece e intensifica as chuvas no Brasil, e o contrário ocorre em suas fases 4, 5 e 6.



Fonte: Meteored Brasil (2018, encontradas na página da NOAA CPC dedicada à OMJ).

Ainda assim, embora uma boa PREC não garanta uma boa EST subsequente, ela pode ser um indicativo positivo para o restante da quadra, desde que outros fatores favoráveis também estejam presentes (Melo, 1997). Contribuindo para que a PREC seja vital para a preparação do solo ao início da estação principal no Ceará.

3.3 Dinâmica do El Niño e da La Niña

O El Niño (EN) e a La Niña (LN) são fases opostas de um fenômeno acoplado (atmosférico-oceânico) que ocorre no oceano Pacífico Equatorial e na atmosfera adjacente, denominado El Niño Oscilação Sul (ENOS). A fase EN é caracterizada pelo aquecimento anômalo do oceano Pacífico Equatorial, enquanto a fase LN ocorre quando a temperatura dessa região do oceano está abaixo da média histórica. Essas variações climáticas têm grande impacto nas condições de precipitação em várias regiões do mundo (CPTEC, 2020).

Kousky *et al.* (1984) estudou a influência do ENOS sobre a variabilidade climática interanual da América do Sul. Foram identificadas chuvas deficientes em vastas áreas, incluindo o norte do Nordeste Brasileiro (nNEB) e a Amazônia, bem como excesso de chuva

no Sul do Brasil e parte da costa do Peru e Equador durante episódios de EN. Já durante os episódios de LN, de acordo com CPTEC/INPE (2002), com a maior exposição das águas frias no Oceano Pacífico tropical leste e central, os principais efeitos observados sobre o Brasil são as frentes frias e a diminuição da precipitação sobre a região Sul do Brasil, tendência de chuvas abundantes no norte e leste da Amazônia e chuvas acima da média sobre a região semi-árida do nNEB.

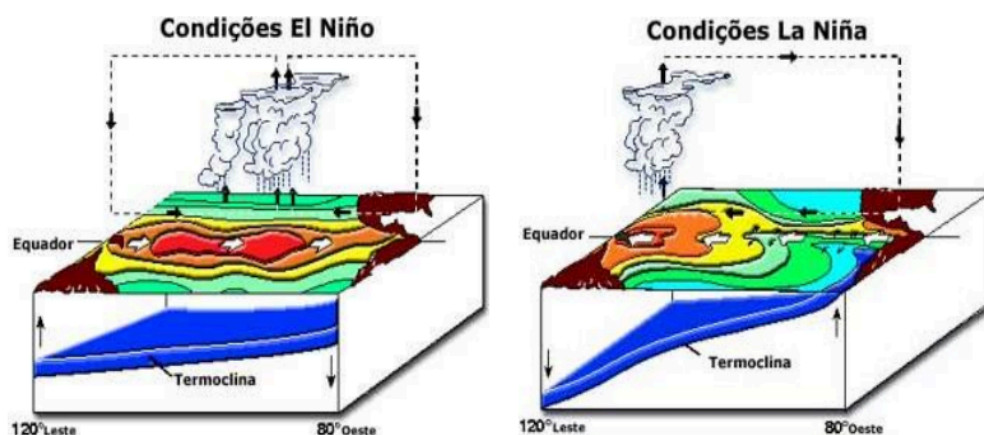
Historicamente, a variação dos impactos desses fenômenos depende de sua intensidade, além das condições de temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical, as mudanças do clima, com o aquecimento da baixa troposfera e dos oceanos, provocam um grande desafio para ciência na busca de entendimento dessas novas interações entre oceano e atmosfera (Rodrigues, 2024).

A inconstância pluviométrica no nNEB está diretamente ligada à temperatura da superfície do mar (TSM) ocorrida no Oceano Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical. Dentre outros fatores, os períodos de estiagem estão ligados ao fenômeno EN, situação que desfavorece a ocorrência de chuvas. Por outro lado, nos anos em que ocorre o fenômeno LN acontece um favorecimento da ocorrência de períodos chuvosos (Ferreira; Mello, 2005). Em anos da ocorrência de El Niño, a célula de Walker é deslocada, passando a ter um ramo de subsidência situado sobre o NEB, prejudicando os mecanismos de convecção geradores de precipitação. No inverso da situação, La Niña, eventos positivos de precipitação são percebidos, uma vez que as influências de Walker e Hadley auxiliam os mecanismos de convecção (Medeiros *et al.*, 2018; Correia Filho *et al.*, 2018; Carmo, 2020).

Segundo Alves *et al.* (2015), o fenômeno ENOS, representa de forma mais genérica um fenômeno de interação atmosfera-oceano, associado a alterações dos padrões normais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a Costa Peruana e no Pacífico oeste próximo à Austrália. Estudos com enfoque na variabilidade da precipitação nas regiões norte e nordeste da América do Sul têm associado essa variabilidade ao fenômeno El Niño Oscilação Sul (Kayano e Moura, 1986; Marengo, 1992).

As condições que indicam a presença do Fenômeno El Niño (Figura 5) estão relacionadas ao enfraquecimento dos Ventos Alísios e o aumento da TSM no oceano Pacífico Equatorial Leste.

Figura 6 - Dinâmica do El Niño e La Niña no Oceano Pacífico.



Fonte: Alves *et al.* (2015).

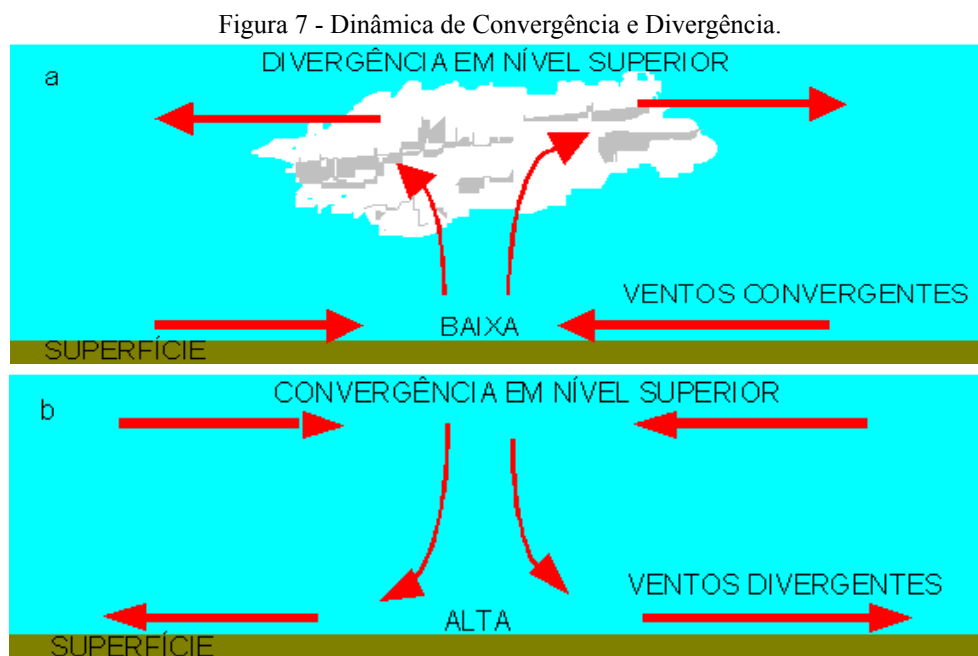
As condições do Fenômeno La Niña (Figura 5) estão associadas à intensificação dos ventos alísios e a diminuição da TSM no Pacífico Equatorial Leste. As águas adjacentes à costa oeste da América do Sul tornam-se ainda mais frias devido à intensificação do movimento de ressurgência.

A combinação das circulações atmosféricas induzidas pelas distribuições espaciais de TSM sobre os oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical, afetam o posicionamento latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o oceano Atlântico, influenciando desta forma a distribuição da pluviometria sobre a bacia do Atlântico e Norte da América do Sul. No entanto, embora a variação interanual das TSM e ventos sobre o Atlântico Tropical seja significativamente menor do que aquela observada sobre o Pacífico Equatorial, essas fatores têm profunda influência na mutabilidade climática sobre a América do Sul, principalmente sobre a Região Nordeste do Brasil (Hastenrath, 1984; Nobre e Shukla, 1996).

3.4. Campos de Velocidade Vertical e Convergência

A interpretação da convecção em regiões tropicais está ligada à estrutura vertical da atmosfera e à forma como a mesma acomoda os movimentos ascendentes induzidos por instabilidades térmicas. A velocidade vertical (VV) expressa diretamente o movimento ascendente ou descendente do ar em um dado nível, constituindo o componente do vento responsável pela elevação de parcelas de ar, pelo resfriamento adiabático e, conseqüentemente, pela ativação e sustentação da convecção (Grimm, 1999). Enquanto os campos de divergência e convergência (DC) (figura 6) refletem a redistribuição horizontal da circulação indicando a tendência de afastamento ou concentração de ar em um determinado nível, conforme estabelecido na formulação da equação da continuidade, usualmente expressa

em coordenadas de pressão (Gill, 1982). Em ambientes tropicais, a presença de convergência em baixos níveis impõe o forçamento dos movimentos ascendentes, ao passo que a divergência em altos níveis age como escoamento das massas de ar, permitindo a continuidade do movimento vertical (Holton e Hakim, 2012).



Fonte: Grimm, 1999.

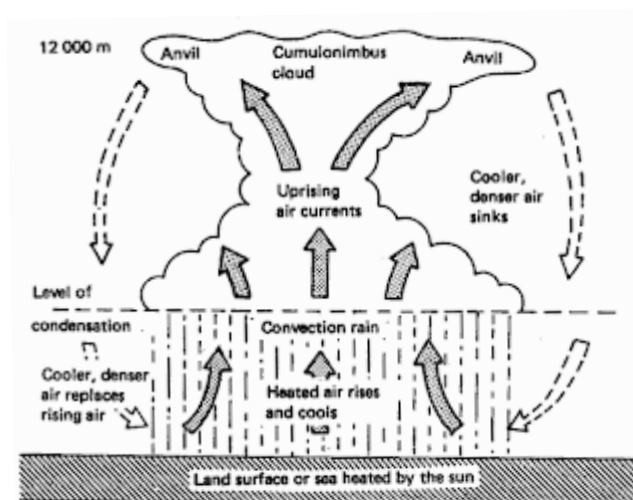
Diferentemente da EST, a pré-estação possui maior intermitência dos eventos de precipitação, frequentemente associados a distúrbios atmosféricos de curta duração e a ajustes progressivos na circulação regional. Nesse período, pequenas alterações na circulação de baixos e médios níveis podem ser vantajosas para a ocorrência das primeiras chuvas no Ceará, sem que haja ainda um padrão persistente de precipitação. Estudos indicam que essas chuvas iniciais exercem uma importância na preparação das condições atmosféricas e de superfície para a EST, influenciando a umidade do solo, os fluxos de calor e a resposta da atmosfera nos meses subsequentes (Kousky, 1980; Rao *et al.*, 1993; Molion e Bernardo, 2002).

Uvo e Berndtsson (1996) analisaram a precipitação em termos de fisiografia e movimentos de massa de ar. Segundo sua pesquisa, os três mecanismos de precipitação em grande escala (Zona de Convergência Intertropical, frentes frias e vórtices de altitude) interagem e criam um padrão específico de chuvas sobre o estado em diferentes meses. Um exemplo dessa interação é o comportamento oposto que as regiões norte e sul do estado tendem a apresentar em relação à quantidade de precipitação durante a EST; ou seja, em

geral, grandes volumes de chuva na região sul tendem a estar associados a pequenos volumes na região norte e vice-versa, influenciados pela ação oposta das frentes frias e dos VCANs.

O processo pelo qual o oceano provoca chuva (figura 7) está intrinsecamente ligado às interações com a atmosfera. O aquecimento das águas superficiais do oceano, por exemplo, como no Atlântico tropical, causa um aumento na evaporação e altera a pressão atmosférica. Essa massa de ar quente e úmida ascende, esfria, e ao atingir o ponto de saturação, provoca a condensação do vapor d'água, resultando na formação de nuvens e, conseqüentemente, chuva (Gill, 1982; Emanuel, 1994; Wallace e Hobbs, 2006).

Figura 8 - Formação de chuva convectiva.



Fonte: Insights IAS, s. d.

Em regiões tropicais, como o NEB, a convecção é favorecida quando o aquecimento da superfície, aliado ao elevado conteúdo de umidade nos baixos níveis, gera um perfil atmosférico suscetível ao desenvolvimento convectivo. Nessas condições, o ar ascendente pode atingir níveis mais elevados da troposfera, intensificando a formação de nuvens convectivas e a liberação de calor latente, o que retroalimenta o movimento vertical (Emanuel, 1994).

A persistência e a eficiência desse processo está associada ao grau de organização da circulação em baixos e médios níveis, o que permite o desenvolvimento convectivo mesmo na ausência de sistemas sinóticos bem definidos, situação comum observada na fase anterior do regime pluviométrico (Houze, 2014). Nesse contexto, embora a convecção na PREC frequentemente se desenvolva sem a atuação de sistemas sinóticos bem definidos, a ocorrência eventual desses sistemas pode intensificar os movimentos verticais e modificar de forma pontual a precipitação.

Conforme dito por Brito e Nobre (1991):

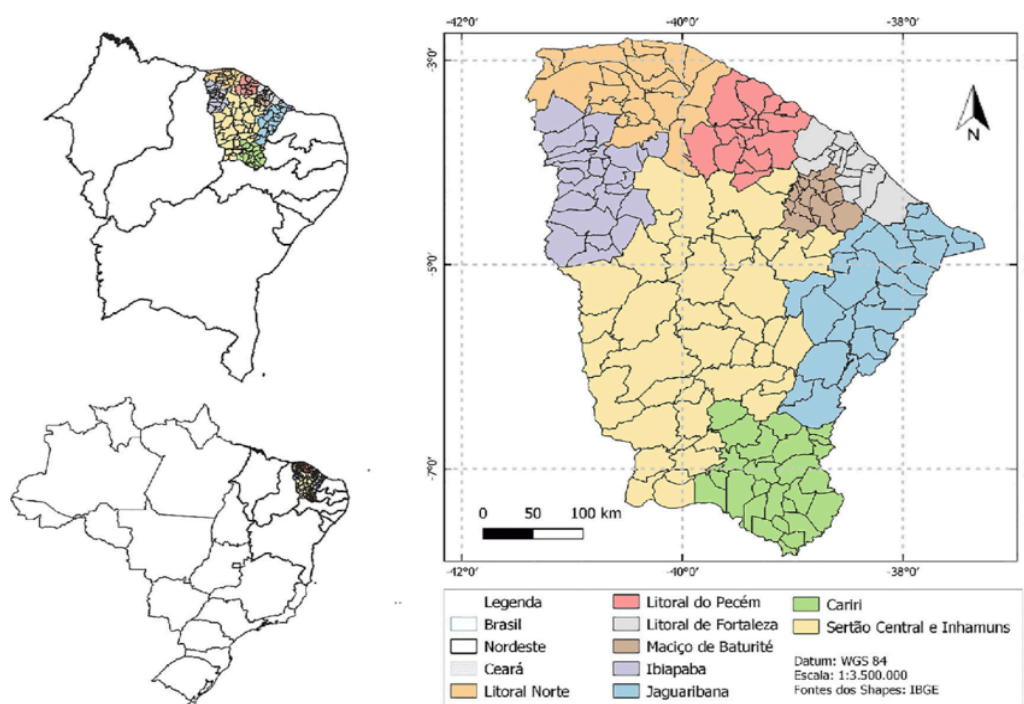
Caso um sistema sinótico, tipicamente associado a penetrações frontais, atue sobre o semiárido do Norte do Nordeste durante a pré-estação, este poderá produzir precipitações superiores à média climatológica desse período, mesmo quando as condições de grande escala sejam favoráveis à deficiência de precipitação (Brito; Nobre, 1991, p. 52).

Kousky e Gan (1981) demonstraram que, em regiões tropicais, a organização da convecção está associada à presença de anomalias persistentes de movimento vertical nos níveis médios da troposfera, mesmo durante períodos de transição sazonal. Rao *et al.* (1993), ao analisarem a variabilidade atmosférica sobre o Nordeste do Brasil, indicam que anomalias de movimento na troposfera condicionam a ocorrência de episódios convectivos intermitentes no estágio antecedente do ciclo chuvoso, frequentemente associados às primeiras chuvas do período. De forma complementar, Silva Dias *et al.* (2002) argumentam que a estrutura vertical controla a profundidade dos sistemas convectivos, influenciando a eficiência dos processos precipitantes em ambientes ainda não plenamente acoplados à circulação sazonal.

4. ÁREA DE ESTUDO

O Estado do Ceará localiza-se no norte da Região Nordeste do Brasil, limitado ao norte e nordeste pelo Oceano Atlântico, a leste pelos estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, ao sul por Pernambuco e a oeste pelo Piauí. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o estado possui uma área territorial aproximada de 148.894,447 km², correspondendo a cerca de 9,4 % da área do Nordeste brasileiro (IBGE, 2024). Na região, a distribuição espacial da precipitação apresenta variações sistemáticas que permitem a identificação de macrorregiões (figura 8) pluviometricamente homogêneas.

Figura 9 - As oito macrorregiões pluviometricamente homogêneas do Ceará de acordo com a FUNCEME.



Fonte: Rocha, 2021.

Essa divisão considera a coerência espacial dos totais pluviométricos e evidencia contrastes bem definidos entre as porções setentrionais, mais próximas do litoral, e as regiões interiores e meridionais do estado, inseridas no domínio semiárido. A adoção dessa regionalização como base neste estudo permite investigar de forma objetiva como a precipitação associada à PREC se distribui entre essas diferentes áreas do estado.

Melo (1997) afirma que, dentro de um contexto natural, é a semi-aridez que singulariza o Nordeste em relação às demais regiões do País, caracterizado por elevados índices de evapotranspiração, chuvas escassas e irregularmente distribuídas no tempo e no espaço. Segundo a regionalização oficial, 90% do estado integra esse clima, estando incluído

no chamado Polígono das Secas, área historicamente reconhecida pela recorrência de estiagens e pela elevada vulnerabilidade hidrológica e socioambiental (IBGE, 2024).

No âmbito estadual, a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) adota critérios climáticos e hidrológicos específicos para a delimitação do semiárido, considerando principalmente a precipitação média anual, o índice de aridez e o risco de ocorrência de secas, o que reforça a predominância desse regime climático sobre quase todo o interior do estado (FUNCEME, 2023). Segundo AB'SABER (2003) os climas sertanejos do NEB constituem uma exceção em relação aos climas zonais, ou seja, peculiares as faixas de latitudes similares. O semiárido nordestino é, então, admitido como um clima azonal de expressão regional, afetando um amplo espaço geográfico.

Do ponto de vista fisiográfico, o Ceará apresenta um relevo diversificado, composto por planícies litorâneas, tabuleiros pré-litorâneos, extensas depressões sertanejas e elevações residuais, como a Serra da Ibiapaba, a Serra de Baturité e a Chapada do Araripe, que exercem influência local sobre a distribuição espacial da precipitação. Essas feições topográficas contribuem para contrastes regionais no regime de chuvas, especialmente entre o litoral, áreas serranas e o interior. A vegetação predominante é a caatinga, bioma adaptado a um ambiente de estresse hídrico, refletindo a adaptabilidade da vegetação às secas prolongadas, fatores que tornam o estado um exemplo típico de vulnerabilidade climática no Nordeste brasileiro (Prado, 2003; Silva *et al.*, 2017).

5. METODOLOGIA

As interações entre o oceano e a atmosfera são de extrema relevância para compreender o regime de chuva continental. Neste contexto foram analisadas as interações entre variáveis oceânicas nos oceanos Pacífico equatorial e Atlântico Tropical e variáveis atmosféricas e suas influências na precipitação do Ceará durante a pré-estação chuvosa. A análise concentra-se no período dezembro–janeiro (DJ), considerando uma série temporal de 42 anos, compreendida entre 1982 e 2024.

A pesquisa baseou-se no levantamento bibliográfico do material teórico, aliado à consulta e análise de dados, visando identificar possíveis relações entre os padrões oceânicos e atmosféricos e a variabilidade da precipitação no Ceará

5.1. Dados utilizados

5.1.1. *Dados de Precipitação, TSM e Atmosféricos de Reanálise*

Foram utilizados conjuntos de dados amplamente empregados em estudos climatológicos.

Os dados de precipitação foram fornecidos pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), a partir de observações diárias provenientes de estações pluviométricas distribuídas no estado do Ceará. Os dados foram agregados para valores mensais acumulados, com resolução espacial de aproximadamente $0,15^\circ \times 0,15^\circ$, abrangendo o domínio entre 9°S – 2°S de latitude e 43°W – 36°W de longitude. Foram analisados os meses DJ, sendo o mês de dezembro alinhado a janeiro do ano seguinte, de modo a preservar a coerência temporal do período da PREC.

Os dados de TSM foram obtidos do produto *NOAA/NCEI Optimum Interpolation Sea Surface Temperature* (OISST), versão 2.1, com resolução espacial de $1^\circ \times 1^\circ$ e cobertura global, no período de 1982 a 2023. A partir do campo global, foram definidos recortes espaciais para o Pacífico Equatorial (região Niño 3.4: 5°N – 5°S ; 180°W – 120°W) e para o Atlântico Tropical Sul (0° – 20°S ; 0° – 45°W). Foram considerados os meses de novembro e dezembro, levando em conta a defasagem temporal entre as anomalias de TSM e a resposta observada na pré-estação chuvosa.

As variáveis atmosféricas foram obtidas da reanálise *ERA5*, produzida pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) e disponibilizado pelo Copernicus Climate Change Service (C3S). Foram utilizados dados mensais de velocidade vertical (VV) em 500 hPa e divergência/convergência (DC) em 925 hPa, com resolução

espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, recortados para o domínio entre 30°S – 20°N de latitude e 70°W – 10°E de longitude.

5.2. Tratamento dos Dados

A análise foi conduzida na plataforma Google Colab, utilizando a linguagem de programação Python e suas bibliotecas, como numpy, matplotlib, xarray, basemap, scipy.stats e cartopy. O *Xarray* foi empregado para o manuseio de conjuntos de dados multidimensionais, enquanto as visualizações gráficas e espaciais foram produzidas com *Matplotlib* e *Cartopy*.

5.2.1. Climatologia, Anomalias e Médias Espaciais

Foram calculadas climatologias mensais para as variáveis de precipitação, TSM, velocidade vertical e convergência, a partir da média temporal de cada variável ao longo de todo o período de estudo. Essa etapa permitiu caracterizar o comportamento médio sazonal das variáveis nos meses de interesse.

As anomalias foram calculadas com o objetivo de identificar desvios em relação ao comportamento climatológico médio. Para cada componente, as anomalias foram obtidas pela diferença entre o valor mensal observado e o valor climatológico correspondente, conforme a Equação 1:

Equação 1

$$\text{Anomalia} = \text{Valor Observado} - \text{Valor Climatológico}$$

Foram calculadas anomalias de TSM para evidenciar períodos de aquecimento e resfriamento anômalos nos Oceanos Pacífico e Atlântico. De forma análoga, foram obtidas anomalias da VV e da DC, com o intuito de avaliar a resposta de como ambas se associam aos eventos de precipitação anômala no estado do Ceará.

Após, foram realizadas médias espaciais das variáveis sobre as regiões previamente definidas. Para a precipitação, as médias espaciais foram calculadas separadamente para as regiões, considerando para o Norte do Ceará o domínio compreendido entre 2°S – 5°S e 42°W – 37°W , e para o Sul o domínio entre 6°S – 8°S e 42°W – 37°W . Para a TSM, as médias regionais foram obtidas para a região Niño 3.4 e para o setor Sul do Atlântico tropical. Essa etapa permitiu a redução da dimensionalidade dos dados e séries temporais.

5.3. Métodos de Análise

5.3.1. Correlação entre Anomalias de TSM e precipitação

Essa primeira etapa foi avaliada por meio da correlação linear de Pearson. Inicialmente, foram correlacionadas as anomalias de TSM por ponto de grade (píxel a píxel) com a média espacial da anomalia de precipitação. As correlações foram feitas para cada mês da PREC. Esse procedimento examinou a coerência espacial às mudanças térmicas, ressaltando áreas com grau mais elevado de teleconexões.

A significância estatística das correlações foi avaliada com base no valor de p associado ao coeficiente de correlação linear de Pearson. Para cada correlação calculada, testou-se a hipótese nula de inexistência de relação linear entre as variáveis analisadas. Foram considerados estatisticamente significativos os coeficientes de correlação cujo p -valor foi inferior a 0,1, correspondente a um nível de significância de 10% ($\alpha = 0,10$), equivalente a um nível de confiança de 90%. Nos mapas de correlação espacial, esse critério foi aplicado por ponto de grade, sendo realçadas apenas as regiões que atenderam ao limiar estabelecido. Esse procedimento assegura maior consistência estatística na interpretação dos padrões espaciais, reduzindo a influência de associações atribuíveis ao acaso.

5.3.2. Séries temporais

Posteriormente, foram plotadas figuras de séries temporais construídas a partir do resultado das correlações, permitindo analisar a variabilidade temporal e semelhanças ao longo do período de 42 anos.

5.3.3. Seleção de Anos Extremos

Por meio de séries temporais da anomalia de precipitação de dezembro e janeiro, foram listados os anos com comportamento extremo, definidos como anos chuvosos e anos secos. Essa seleção permitiu identificar alguns eventos atípicos. Em seguida, os padrões espaciais das diferentes variáveis foram analisados para os eventos atípicos selecionados.

5.3.4. Mapas para Visualização Espacial

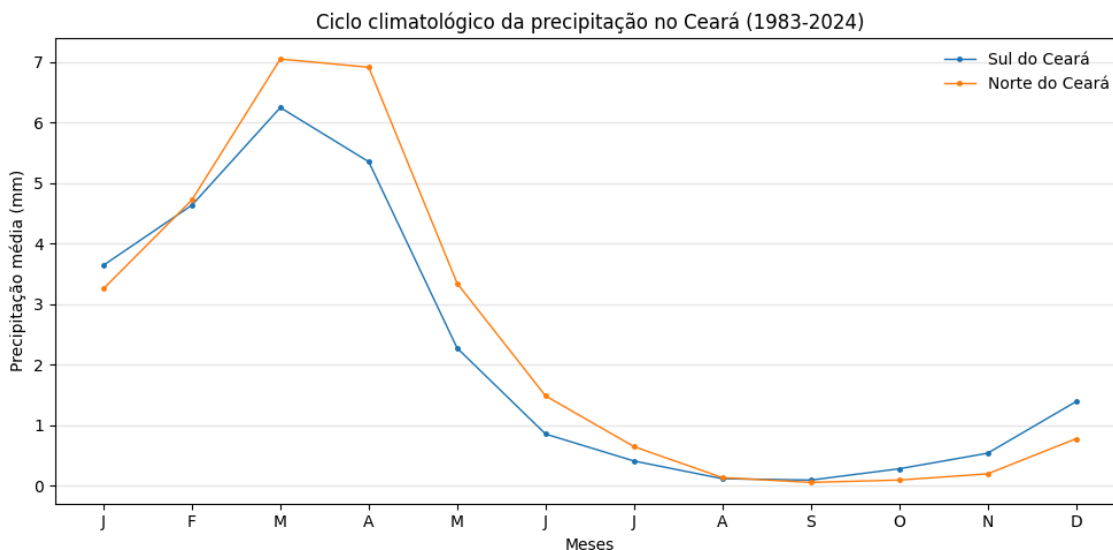
Os mapas de anomalias exibiram a distribuição espacial das componentes. Assim, torna-se possível a avaliação dos impactos desses fenômenos sobre a variabilidade do regime de chuvas da PREC. A representação espacial evidenciou a identificação de padrões consistentes sob cenários de extremos pluviométricos. Foi aplicada a técnica de análise de compostos, para uma análise espacial mais definida entre anos semelhantes. Esse procedimento permite destacar características médias com o intuito de uma interpretação sintética dos sistemas que modulam a PREC no nNEB.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Climatologia

6.1.1. Climatologia de Precipitação

Figura 10 - Ciclo anual climatológico da média de chuva do Norte (2°S-5°S e 42°W-37°W) e Sul (6°S-8°S e 42°W-37°W) do Ceará.

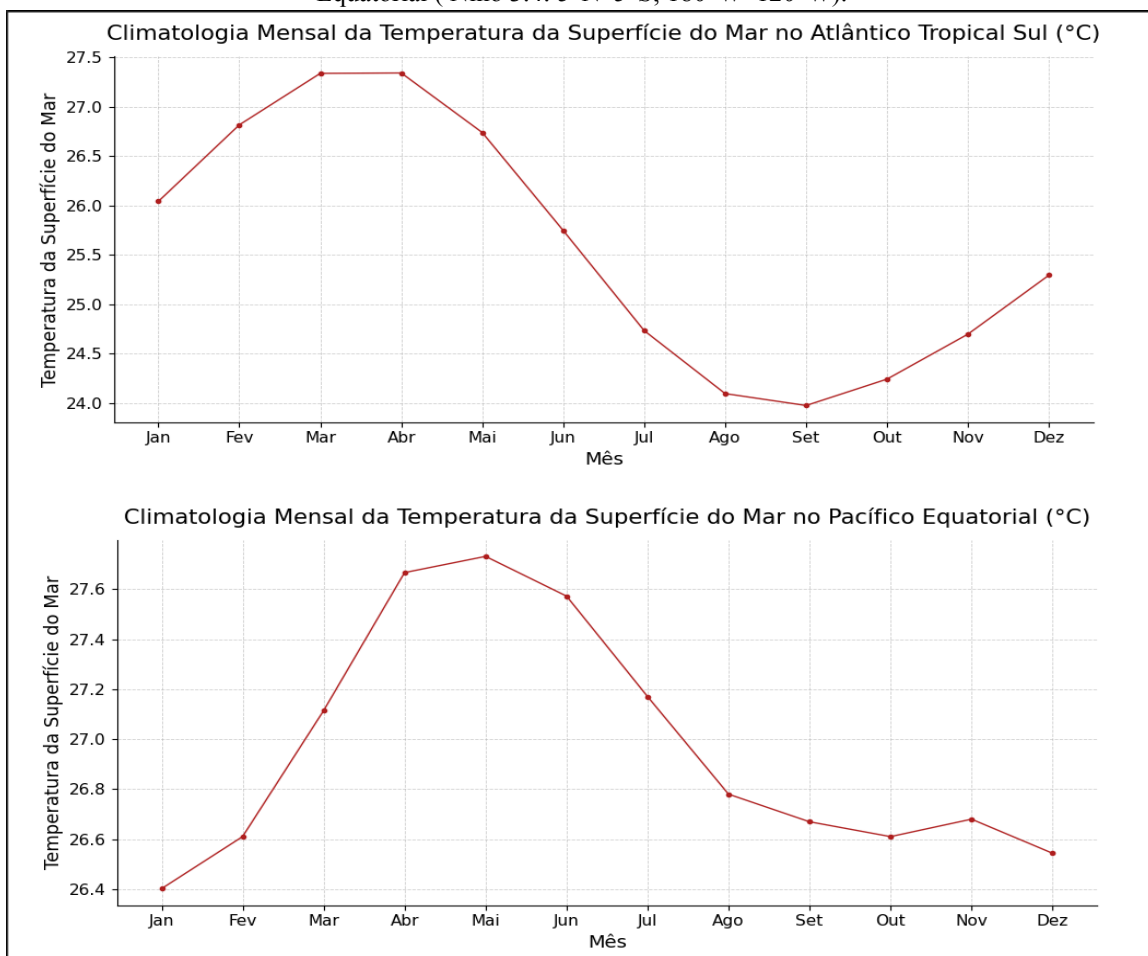


Fonte: Elaborado pela autora. Dados de precipitação obtidos da FUNCEME.

A climatologia da precipitação (figura 10) apresenta a média das regiões Norte e Sul do Ceará durante o período de 1983 a 2024. Embora o máximo pluviométrico ocorra durante a quadra chuvosa principal (fevereiro a maio), observa-se um comportamento distinto durante os meses que antecedem esse período, caracterizando a PREC. Em dezembro, há um aumento mais consistente da precipitação, com valores médios superiores aos registrados nos meses anteriores da estação seca, em torno de 0,7 a 0,8 mm dia⁻¹ no Norte e aproximadamente 1,3 a 1,5 mm dia⁻¹ no Sul. Ocorre um aumento mais acentuado em janeiro, com valores aproximadamente quatro a cinco vezes superiores aos observados em dezembro. Esse incremento é mais expressivo no Sul, enquanto o Norte apresenta crescimento mais modesto, enfatizando um contraste espacial, mantendo essa constância até o início da EST. O aumento progressivo indica uma mudança gradual nas condições atmosféricas. Essa avaliação reforça o caráter heterogêneo da PREC, marcado por grande variabilidade espacial e temporal, em contraste com a quadra principal, que apresenta um nível uniforme de crescimento a partir de fevereiro, por causa da localização da ZCIT, encontrando o seu pico em março e decaindo até junho.

6.1.2. Climatologia Temperatura Superficial do Mar

Figura 11 - Climatologia média da TSM dos Oceanos Atlântico Tropical Sul (0°–20°S; 0°–45°W) e Pacífico Equatorial (Niño 3.4: 5°N–5°S; 180°W–120°W).



Fonte: Elaborado pela autora. Dados obtidos por meio do *NOAA*.

A climatologia acima apresenta a média da Temperatura da Superfície do Mar (figura 11) para as regiões do Atlântico Tropical Sul e do Pacífico Equatorial. A análise conjunta desses campos com a climatologia da precipitação no Ceará permite avaliar a coerência sazonal entre a evolução térmica dos oceanos e o regime pluviométrico regional.

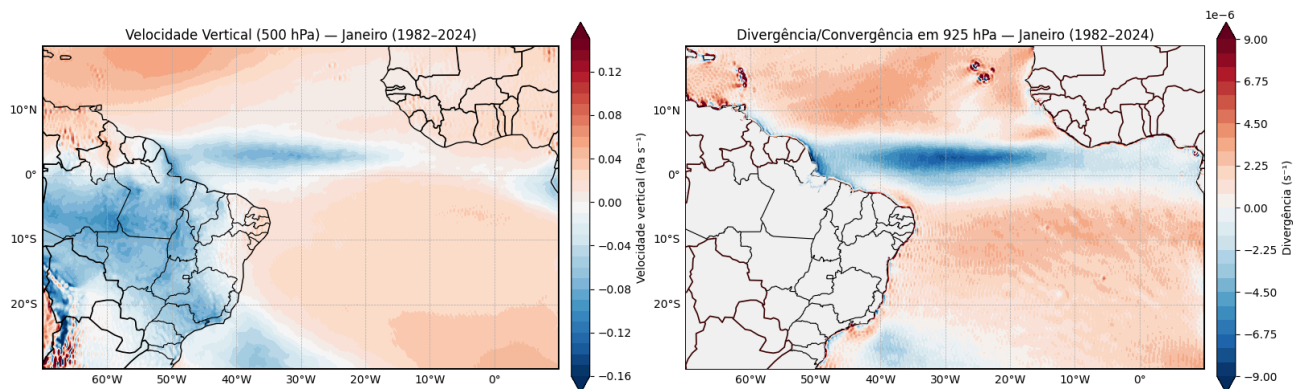
No Atlântico Tropical Sul, observa-se um aquecimento progressivo da superfície do mar ao longo da primavera e do verão austral, com valores mais elevados ocorrendo entre os meses de dezembro e março. Esse comportamento térmico apresenta concordância temporal com o aumento gradual da precipitação no Ceará, especialmente durante a transição da PREC para a EST. A elevação da TSM nesse setor oceânico favorece o aumento do fluxo de calor latente para a atmosfera, contribuindo para um ambiente mais propício ao desenvolvimento de convecção sobre o continente adjacente. A climatologia da precipitação indica que os totais pluviométricos começam a se intensificar a partir de dezembro, com máximos observados

entre fevereiro e abril. Essa evolução acompanha, de forma geral, a manutenção de valores elevados de TSM no Atlântico Tropical Sul, sugerindo que a persistência do aquecimento oceânico atua como um dos fatores que sustentam o aumento da atividade convectiva durante esse intervalo. Essa evolução temporal da TSM do Atlântico Sul está relacionada à migração norte-sul da ZCIT, com valores máximos de TSM observados quando a ZCIT está mais ao sul e valores mínimos quando está mais ao norte.

No Pacífico Equatorial, representado pela região Niño 3.4, a climatologia da TSM apresenta menor variabilidade sazonal quando comparada ao Atlântico Tropical Sul. Ainda assim, observa-se uma modulação térmica ao longo do ano, com valores relativamente mais elevados durante o verão austral. No entanto, a correspondência direta entre a evolução climatológica da TSM nessa região e a precipitação no Ceará é menos evidente.

6.1.3. Climatologia de Velocidade Vertical e Convergência

Figura 12 - Climatologia média da Velocidade Vertical (500 hPa) e Divergência/Convergência (925 hPa).



Fonte: Elaborado pela autora. Dados obtidos por meio do ERA5.

A climatologia da velocidade vertical em 500 hPa, para o mês de janeiro (dezembro no Apêndice B), revela a presença de movimentos ascendentes (valores negativos) em níveis médios sobre a maior parte do Brasil, exceto no setor leste do Nordeste do país (Figura 12a). Movimentos ascendentes também são observados em uma faixa longitudinal sobre o Atlântico ao norte do equador. Esse movimento vertical ascendente resulta da convergência em baixos níveis (Figura 12b), característica da Zona de Convergência Intertropical.

Vale ressaltar que em dezembro e janeiro a zona de nebulosidade e precipitação convectiva associada à ZCIT encontra-se ainda no Hemisfério Norte, bem distante da costa norte do Nordeste. Portanto, qualquer ligação que possa existir entre a posição da ZCIT e as chuvas da PREC deve se manifestar de modo indireto.

6.2. Correlação e Significância da TSM com a Precipitação

Nessa primeira etapa de correlação, foi testada a existência de uma relação estatística entre as regiões de TSM e precipitação no estado do Ceará. Optou-se por considerar a extensão do Ceará como um todo, uma vez que as correlações realizadas separadamente para as regiões norte e sul apresentaram comportamentos semelhantes (Apêndice A), apesar da expectativa inicial de respostas distintas entre essas áreas.

6.2.1. Correlação entre a TSM de novembro e a precipitação de dezembro

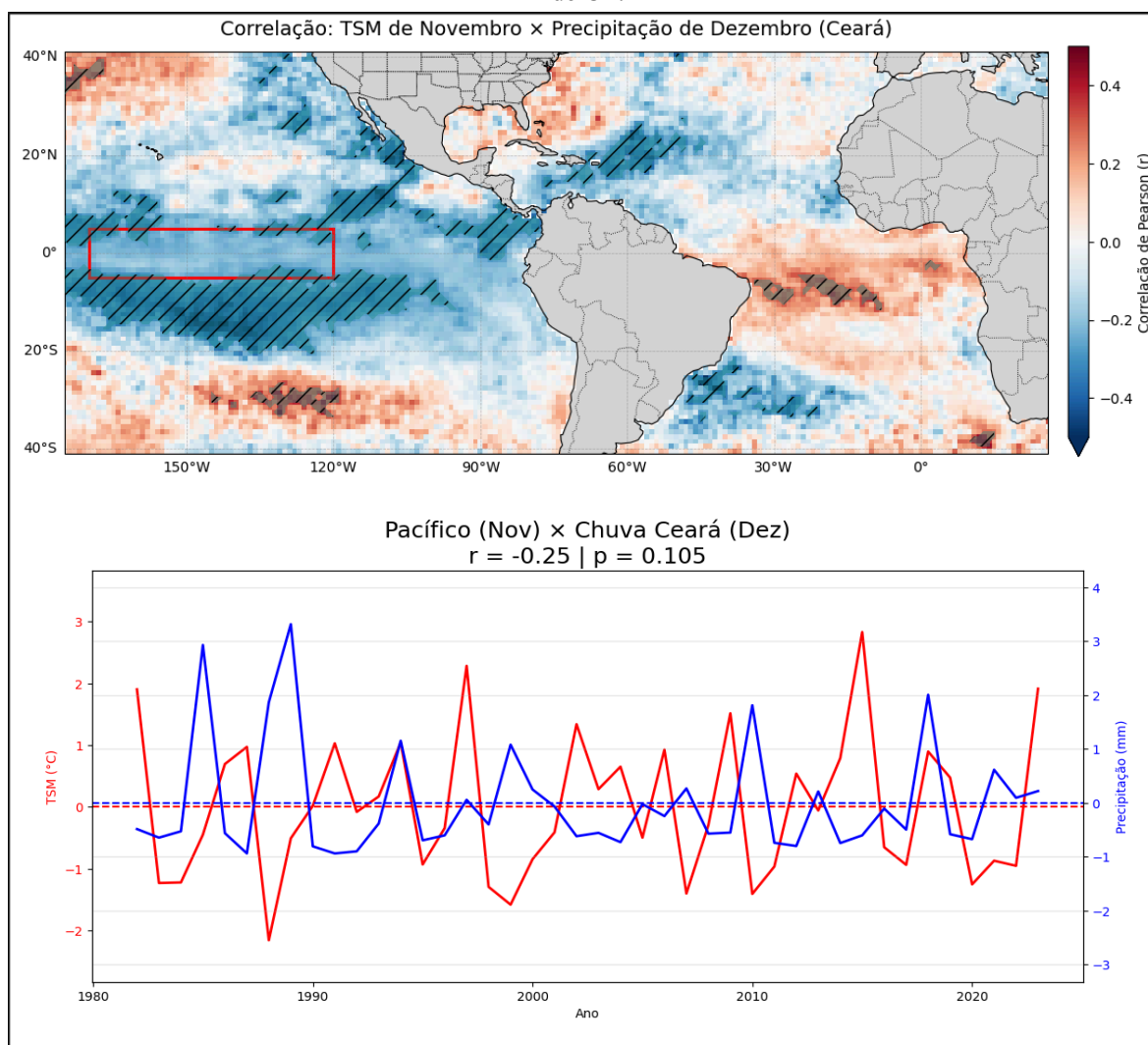
A Figura 13a apresenta o mapa de correlação entre as anomalias de TSM do mês de novembro e a precipitação de dezembro no Ceará, bem como a série temporal correspondente à região Niño 3.4. Observa-se que as áreas de maior significância estatística concentram-se predominantemente no Pacífico Equatorial, especialmente ao sul do equador, enquanto o Atlântico Tropical apresenta correlações positivas mais fracas e espacialmente limitadas no sul.

O sinal predominante no Pacífico Equatorial é negativo, indicando que anomalias positivas de TSM em novembro tendem a estar associadas à redução da precipitação em dezembro, enquanto anomalias negativas favorecem condições relativamente mais úmidas. Essa relação é coerente com a resposta atmosférica típica associada ao aquecimento do Pacífico Equatorial, que promove alterações na circulação de Walker e pode inibir a convecção sobre o Nordeste do Brasil.

A série temporal (figura 13b) associada à região Niño 3.4 reforça essa relação, apresentando coeficiente de correlação linear negativo ($r = -0,25$). No entanto, o valor de p obtido ($p = 0,105$) indica que essa correlação não atinge o nível de significância estatística de 10%, situando-se próxima ao limiar de 90%. Esse resultado sugere que, embora exista um sinal consistente no Pacífico Equatorial, a influência do Niño 3.4 sobre a precipitação de dezembro no Ceará não se manifesta de forma suficientemente robusta ao longo de toda a série analisada.

A combinação entre o padrão espacial observado no mapa e o comportamento da série temporal indica que o Pacífico Equatorial exerce influência potencial sobre PREC, porém de maneira intermitente e dependente da intensidade e disposição do aquecimento oceânico.

Figura 13 - a) Correlação de TSM de novembro para a Precipitação de dezembro no CE, relacionando a anomalia de precipitação com a anomalia da TSM do Pacífico Equatorial (caixa vermelha). As áreas com barras inclinadas indicam uma correlação significativa a um nível de significância de 10% utilizando o teste t. b) Série temporal da região de interesse da TSM de novembro do Pacífico Equatorial (Niño 3.4) e da PREC de dezembro do CE.



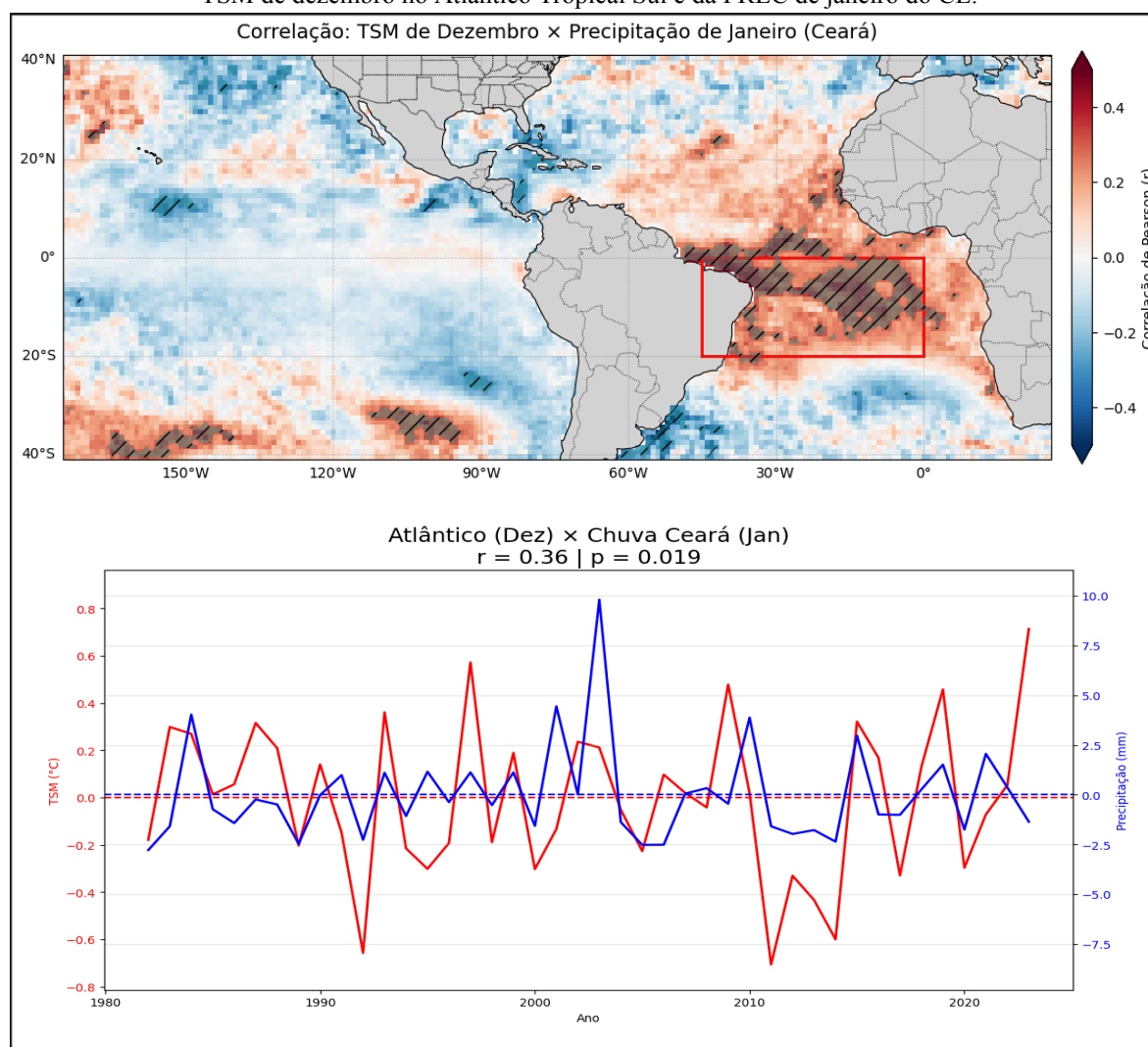
Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.2. Correlação entre a TSM de dezembro e a precipitação de janeiro

A Figura 14a mostra o mapa de correlação entre as anomalias de TSM de dezembro e a precipitação de janeiro no Ceará, acompanhado da série temporal construída a partir da média da TSM no Atlântico Tropical Sul. Diferentemente do observado para novembro–dezembro, as áreas de maior correlação estatisticamente significativa concentram-se no Atlântico Tropical Sul, evidenciando maior peso desse setor para a precipitação de janeiro. O sinal predominante é positivo, indicando que anomalias positivas de TSM em dezembro tendem a favorecer o aumento da precipitação em janeiro. Esse comportamento é consistente com o Atlântico Tropical atuando na modulação do fluxo de umidade e da convecção sobre o Nordeste do Brasil.

A série temporal (figura 14b) associada a essa correlação apresenta coeficiente positivo moderado ($r = 0,36$), com valor de p igual a 0,019, indicando significância estatística ao nível de 10%. Esse resultado confirma que a relação entre a TSM do Atlântico Tropical Sul em dezembro e a precipitação de janeiro é mais consistente do que aquela observada entre o Pacífico Equatorial e a precipitação de dezembro. Apesar da significância alcançada, a magnitude do coeficiente de correlação permanece moderada, indicando que a TSM do Atlântico Tropical Sul explica apenas parte da variabilidade da precipitação em janeiro. Esse resultado sugere que sua influência não é suficiente para determinar isoladamente a ocorrência de extremos pluviométricos, sendo necessária a atuação de sistemas em conjunto.

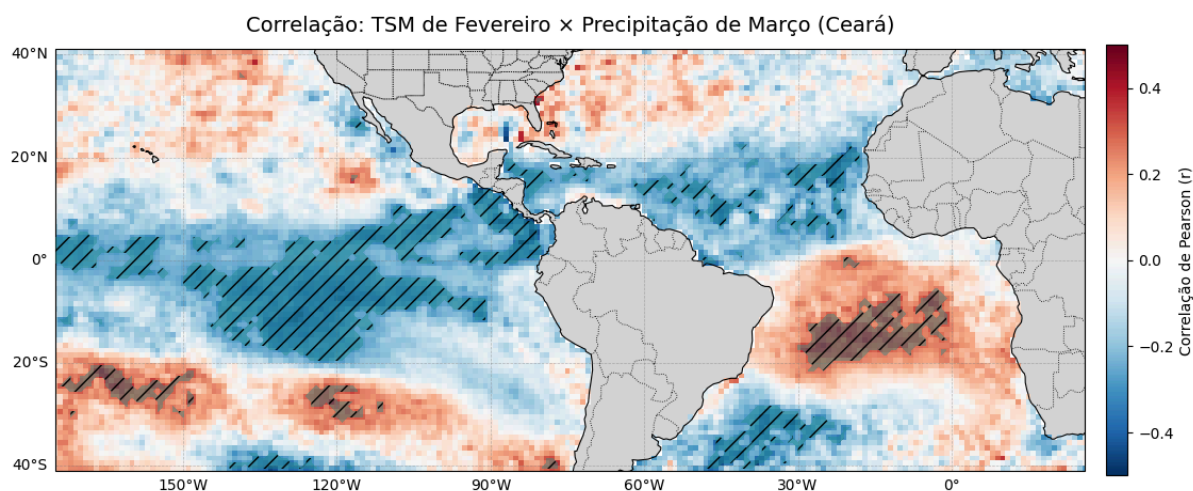
Figura 14 - a) Correlação de TSM de dezembro para a Precipitação de janeiro no CE, relacionando a precipitação com a TSM do Atlântico Tropical Sul (caixa vermelha). As barras inclinadas indicam uma correlação significativa a um nível de significância de 10% utilizando o teste t. b) Série temporal da região de interesse da TSM de dezembro no Atlântico Tropical Sul e da PREC de janeiro do CE.



Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.3. Comparação com a quadra chuvosa

Figura 15 - Correlação de TSM de Fevereiro em relação à influência de precipitação em Março. As áreas com barras inclinadas indicam uma correlação significativa a um nível de significância de 10% utilizando o teste t.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 15 apresenta a correlação entre as anomalias de TSM de fevereiro e a precipitação de março no Ceará, período correspondente ao pico da EST. Em comparação com os resultados obtidos para a pré-estação chuvosa, observa-se uma ampliação das áreas com correlação estatisticamente significativa, tanto no Pacífico Equatorial quanto no Atlântico Tropical.

No Pacífico Equatorial, as correlações negativas tornam-se mais extensas e contínuas, especialmente na faixa central do oceano, indicando uma relação mais consistente entre as anomalias de TSM e a variabilidade da precipitação no Ceará durante março. No Atlântico, as correlações apresentam um padrão de dipolo, com correlações negativas no Atlântico Norte e positivas no Atlântico Sul. Esse padrão sugere que anomalias negativas de TSM no Norte e positivas no Sul estão associadas a maiores volumes de chuva no Ceará. O padrão inverso gera menos chuva na região. Vale ressaltar que os maiores valores de correlações desse período são observados no Atlântico Sul.

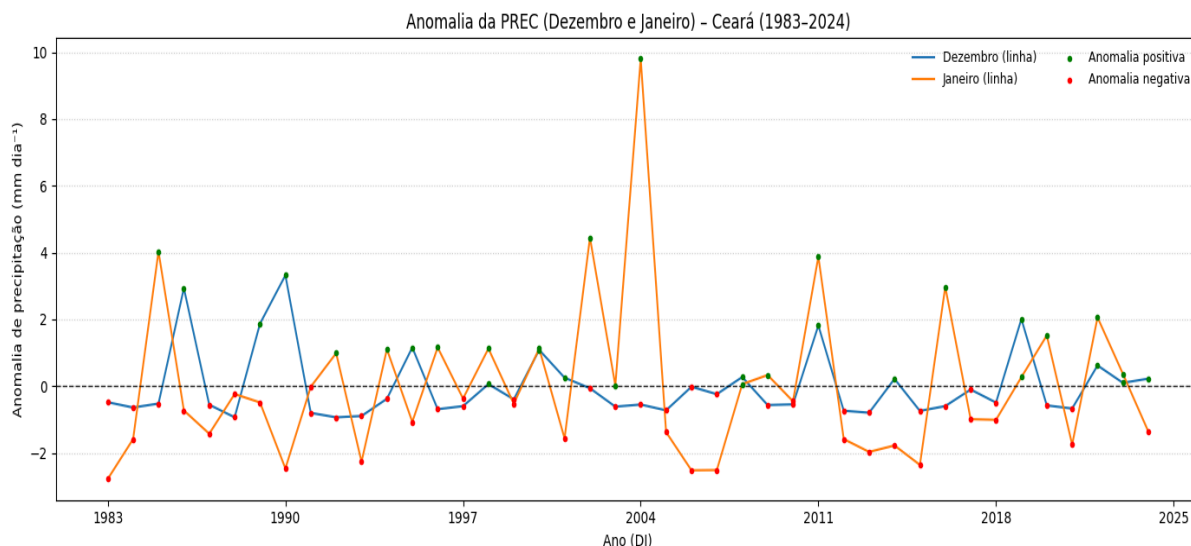
A comparação entre os mapas evidencia que, enquanto na PREC as correlações apresentam extensão espacial limitada e menor significância estatística, durante a quadra chuvosa a relação entre TSM e precipitação torna-se mais bem definida, com maior coerência espacial. Esse contraste designa a diferença no grau de acoplamento oceano-atmosfera entre os dois períodos analisados. Como as duas primeiras relações se mostraram fracas ou pouco significativas, optou-se por uma abordagem complementar baseada na análise de anos específicos com comportamento pluviométrico contrastante, visando compreender os

mecanismos atmosféricos responsáveis pela ocorrência de extremos de chuva e seca no Ceará.

6.3. Análise de eventos extremos

6.3.1. Anomalia da Pré-Estação Chuvosa

Figura 16 - Anomalia de precipitação média mensal do Ceará separadamente para os meses DJ, sendo o mês de dezembro alinhado a janeiro do ano seguinte, de modo a preservar a coerência temporal do período da PREC.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados de precipitação obtidos da FUNCEME.

A análise da série anomalia de precipitação (figura 16) demonstra a expressiva variabilidade interanual característica da PREC no Ceará. As anomalias apresentam alternância entre valores positivos e negativos ao longo do período analisado, sem uma organização persistente, o que indica que a precipitação nesse intervalo é fortemente modulada por mecanismos atmosféricos transientes e por forçantes de grande escala que variam de um ano para outro. Por meio dessa média regional, nota-se que o mês de janeiro apresenta amplitudes de anomalia significativamente mais elevadas quando comparado a dezembro, com valores positivos e negativos mais pronunciados ao longo da série. Essa característica indica que janeiro desempenha papel central na definição dos extremos de precipitação durante a PREC, sendo o mês que melhor expressa os episódios de excesso e déficit pluviométrico no Ceará.

Com base nessa série temporal, foram selecionados os anos considerados extremos de precipitação, priorizando-se majoritariamente o mês de janeiro. Os anos selecionados para esse estudo foram classificados como mais secos, incluindo 1983, 2006 e 2015, enquanto os anos mais chuvosos foram identificados como 1985, 2002, 2004 (ano em janeiro que mais

choveu) e 2016. Esses anos apresentam anomalias bem definidas, positivas ou negativas, destacando-se claramente do comportamento médio da série e justificando sua escolha para as análises subsequentes.

Adicionalmente, dois anos com comportamento atípico no mês de dezembro, 1985 e 1989, também foram incluídos na análise. A inclusão desses casos se justifica pela realização posterior de análises de correlação envolvendo a precipitação de dezembro, bem como pelo caráter singular observado nesses anos. Em especial, dezembro de 1989 apresenta uma anomalia positiva de precipitação significativamente superior às demais do mesmo mês, configurando-se como um evento extremo dentro da série.

O contraste observado entre dezembro de 1989 e janeiro de 1990 é particularmente relevante. Enquanto dezembro de 1989 registra um excesso pluviométrico acentuado, janeiro de 1990 apresenta uma anomalia negativa expressiva, caracterizando um episódio de forte redução da precipitação logo após um mês extremamente chuvoso. Esse comportamento evidencia a natureza transitória e pouco persistente da precipitação durante a pré-estação chuvosa, reforçando a ideia de que a ocorrência de chuvas em dezembro não garante, necessariamente, a continuidade de condições favoráveis em janeiro.

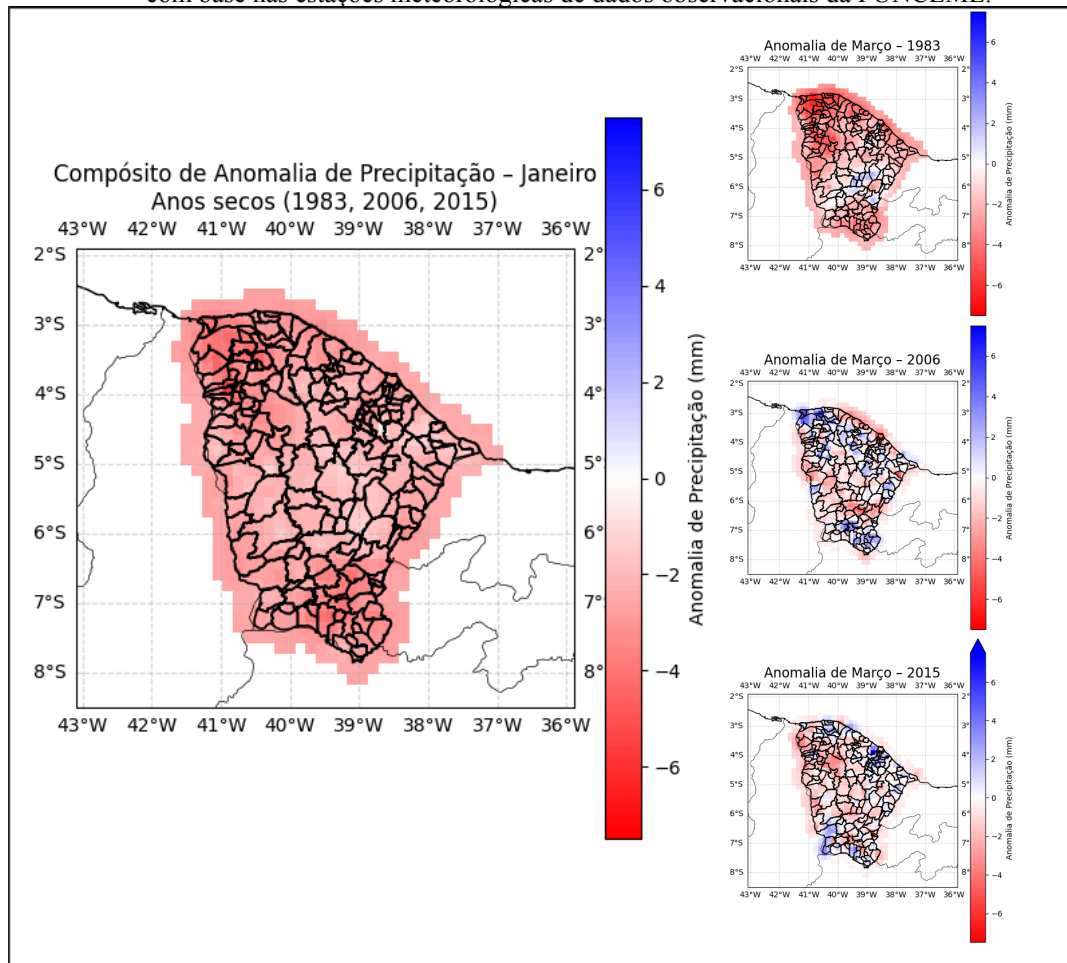
6.3.2. Mapas de Anomalia de Anos Extremos

Por meio dos anos selecionados, foi analisada a distribuição espacial da precipitação durante os meses da PREC, permitindo a observação da quantidade pluviométrica em cada ponto do mapa. Possibilitando a comparação dos anos secos e chuvosos no Ceará com as demais variáveis. Com objetivo de analisar comportamentos contrastantes, para fins de referência climatológica, considerou-se o mês de março, de acordo com a climatologia apresentada na Figura 16, por ser o mês de maior ocorrência de chuva.

Foram considerados: Anos mais secos de janeiro - 1983, 2006 e 2015; anos mais chuvosos de janeiro - 1985, 2002, 2004 e 2016; e, anos chuvosos de dezembro - 1985 e 1989.

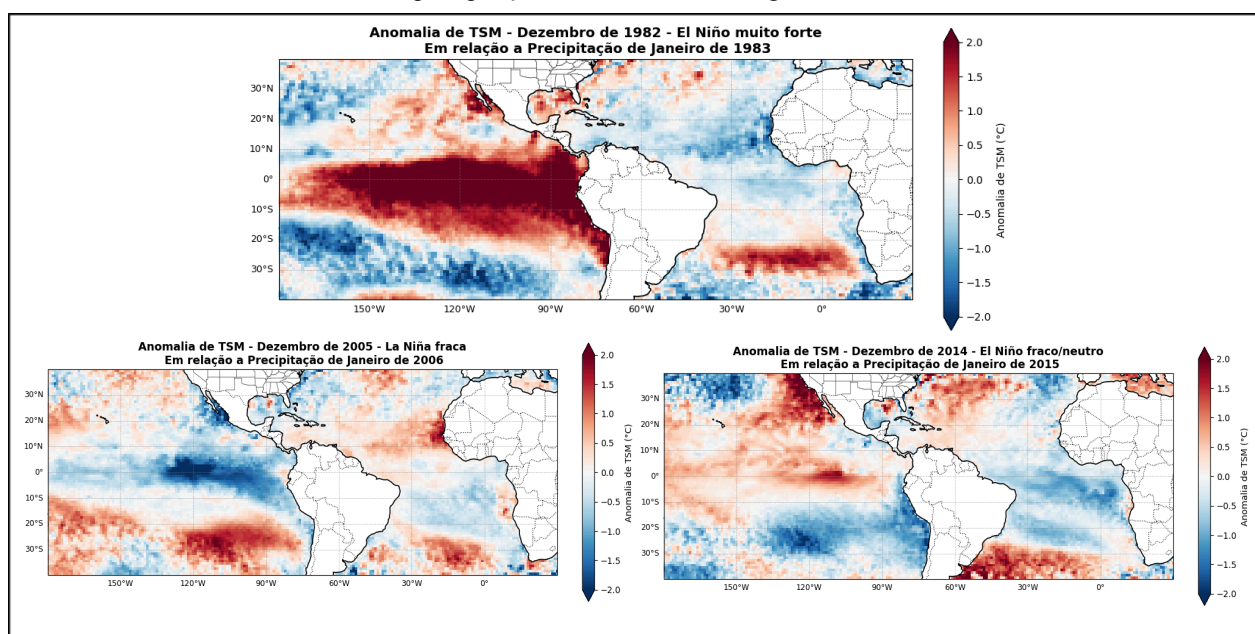
Nesta seção, os anos selecionados são discutidos de forma integrada, relacionando as anomalias espaciais de precipitação no Ceará, as anomalias de TSM no mês antecedente (defasagem de um mês) e os campos atmosféricos de velocidade vertical (VV) em 500 hPa e divergência/convergência (DC) em baixos níveis (925 hPa). A leitura é feita com foco nos sinais físicos: VV negativo indica intensificação de movimentos ascendentes, enquanto valores positivos indicam subsidência; em divergência (925 hPa), valores negativos representam maior convergência em baixos níveis.

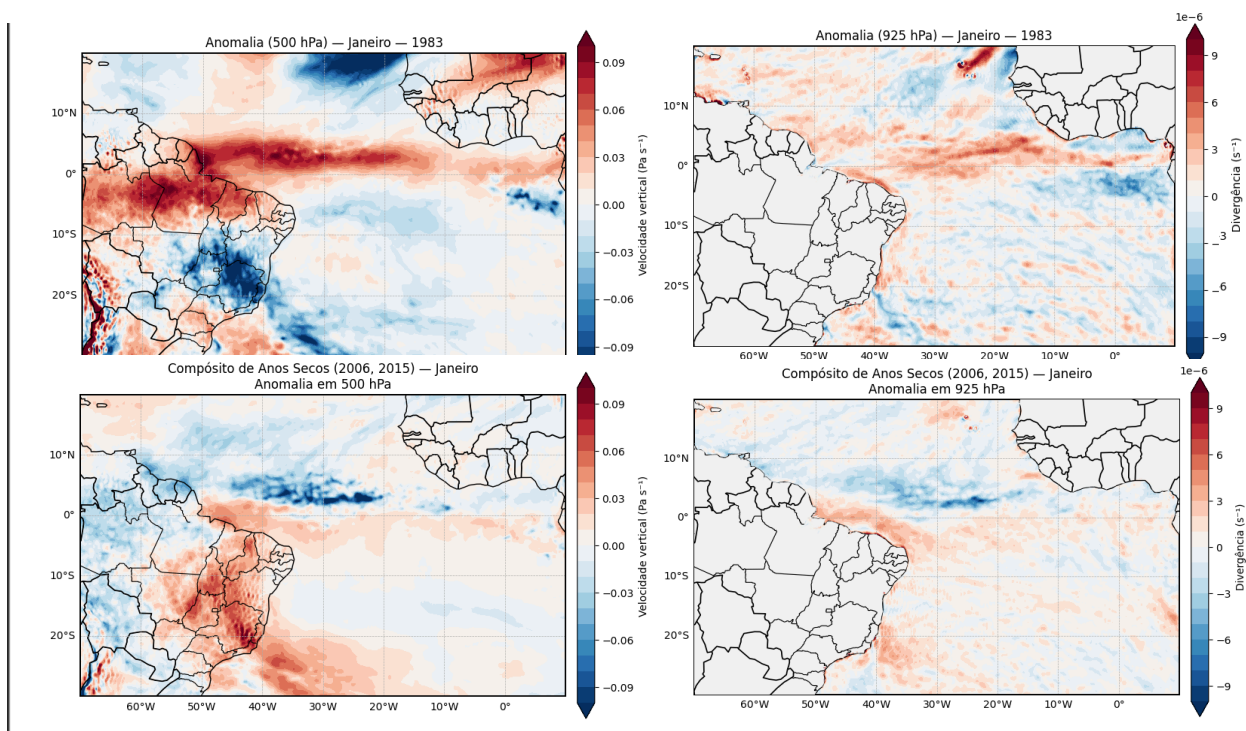
Figura 17 - Compósito de anomalia de precipitação dos anos secos (1983, 2006 e 2015) e cada mês de março, com base nas estações meteorológicas de dados observacionais da FUNCEME.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 18 - Anomalia de TSM de dezembro de 1982, 2005 e 2014 em relação à possível influência na precipitação de Janeiro do ano seguinte.





Fonte: Elaborado pela autora.

Do ponto de vista pluviométrico, no compósito da figura 17, os episódios de déficit em janeiro (1983, 2006 e 2015) exibem semelhança espacial no Ceará, com anomalias negativas disseminadas no estado, apesar de ocorrerem sob condições oceânicas distintas. Em dezembro de 1982 (caso de 1983), observa-se (figura 18a) EN muito forte no Pacífico Equatorial, um cenário classicamente desfavorável à convecção no Nordeste. Ainda assim, a interpretação do evento não se sustenta apenas pela TSM: os perfis de comportamento atmosférico de janeiro de 1983 (figura 18d) mostram sinal de subsidência em 500 hPa, o que reduz a chance de desenvolvimento convectivo mesmo quando há disponibilidade de umidade. Em baixos níveis, a divergência não pertinente à ascensão organizada sobre o estado, reforçando o quadro seco. Assim, em 1983, o déficit de chuva aparece como resultado de uma combinação coerente entre aquecimento anômalo no Pacífico e uma circulação atmosférica desfavorável à convecção sobre o Ceará, típico de um evento de EN.

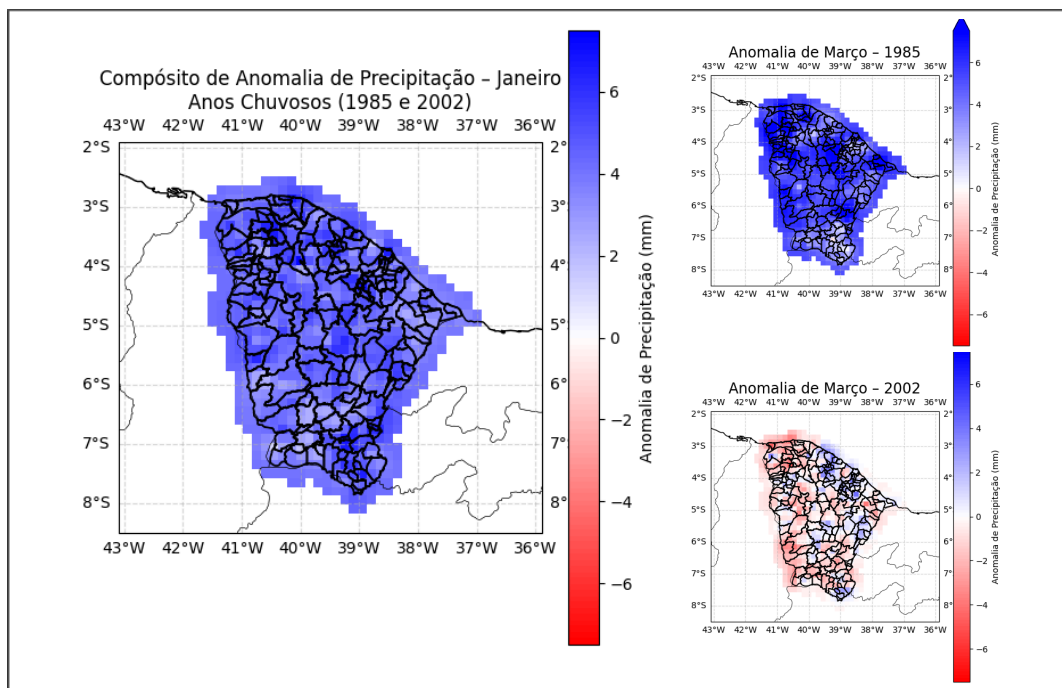
Em janeiro de 2006, na figura 18b, a TSM de dezembro de 2005 indica LN fraca no Pacífico Equatorial, condição que, em muitos anos, tende a corroborar para maior aporte convectivo sobre o Nordeste. No entanto, o Ceará apresenta déficit em janeiro, o que aponta que a resposta pluviométrica não segue automaticamente a “expectativa” baseada apenas na fase do ENOS. Ao olhar o fluxo de massas de ar associados ao conjunto de anos secos,

observa-se um cenário em que a circulação de grande escala não sustenta ascensão sobre o Nordeste: o composto de 2006 e 2015 (figura 18f) mostra, em 500 hPa, um arranjo com ascensão concentrada mais ao sul/sudeste do Brasil, enquanto sobre o Nordeste o sinal é mais fraco ou contrário ao que seria necessário para chuva persistente. Em 925 hPa (figura 18g), o mesmo composto não indica convergência intensa e contínua sobre o Ceará. Em termos práticos, isso significa que, mesmo com um Pacífico tendendo ao resfriamento em 2005, a atmosfera não organizou (sobre o Ceará) ingredientes dinâmicos mais diretamente ligados à ocorrência de chuva.

Em janeiro de 2015 (figura 18c), o mês antecedente (dezembro de 2014) aparece entre neutralidade e EN fraco, com anomalias positivas moderadas no Pacífico Equatorial. Novamente, o Ceará registra déficit, reforçando que, durante a PREC, a precipitação pode variar bastante entre anos com “forçantes oceânicos” diferentes. Aqui, a interpretação fica mais clara quando se inclui a circulação: o composto atmosférico dos anos secos frisa a ausência de um corredor de ascensão bem estabelecido atingindo o Ceará e, em baixos níveis, não se observa um reforço de convergência sobre o estado. Ou seja, a TSM, por si, não descreve o comportamento da precipitação em janeiro nesses casos; o sinal seco aparece quando a atmosfera não favorece a convecção sustentada.

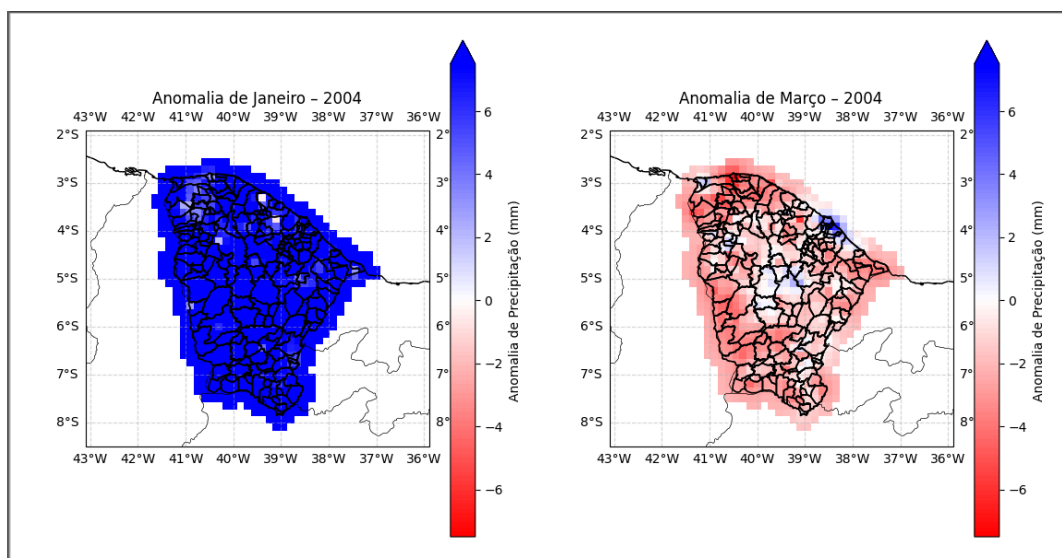
Um ponto adicional aparece ao examinar a TSM no Atlântico fora da faixa tropical. Nos mapas da figura 18 do mês de dezembro que antecedem os episódios secos, embora o Atlântico Tropical Sul não mostre um sinal único e repetitivo na faixa tropical capaz de explicar a semelhança da chuva no Ceará, nota-se que em latitudes mais ao sul (aprox. 30°S–40°S) surgem anomalias térmicas mais coerentes em alguns anos. Esse comportamento pode atuar como condicionante de grande escala e, em certos cenários, influenciar o posicionamento e a formação de sistemas atmosféricos no Atlântico Sul; porém, ele aparece como componente secundário e não como explicação direta e única para o déficit em janeiro.

Figura 19 - Compósito de anomalia de precipitação dos anos chuvosos (1985 e 2002) e cada mês de março, com base nas estações meteorológicas de dados observacionais da FUNCEME.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 20 - Anomalia de precipitação do ano 2004, evento atípico em comparação a quadra chuvosa, com base nas estações meteorológicas de dados observacionais da FUNCEME.

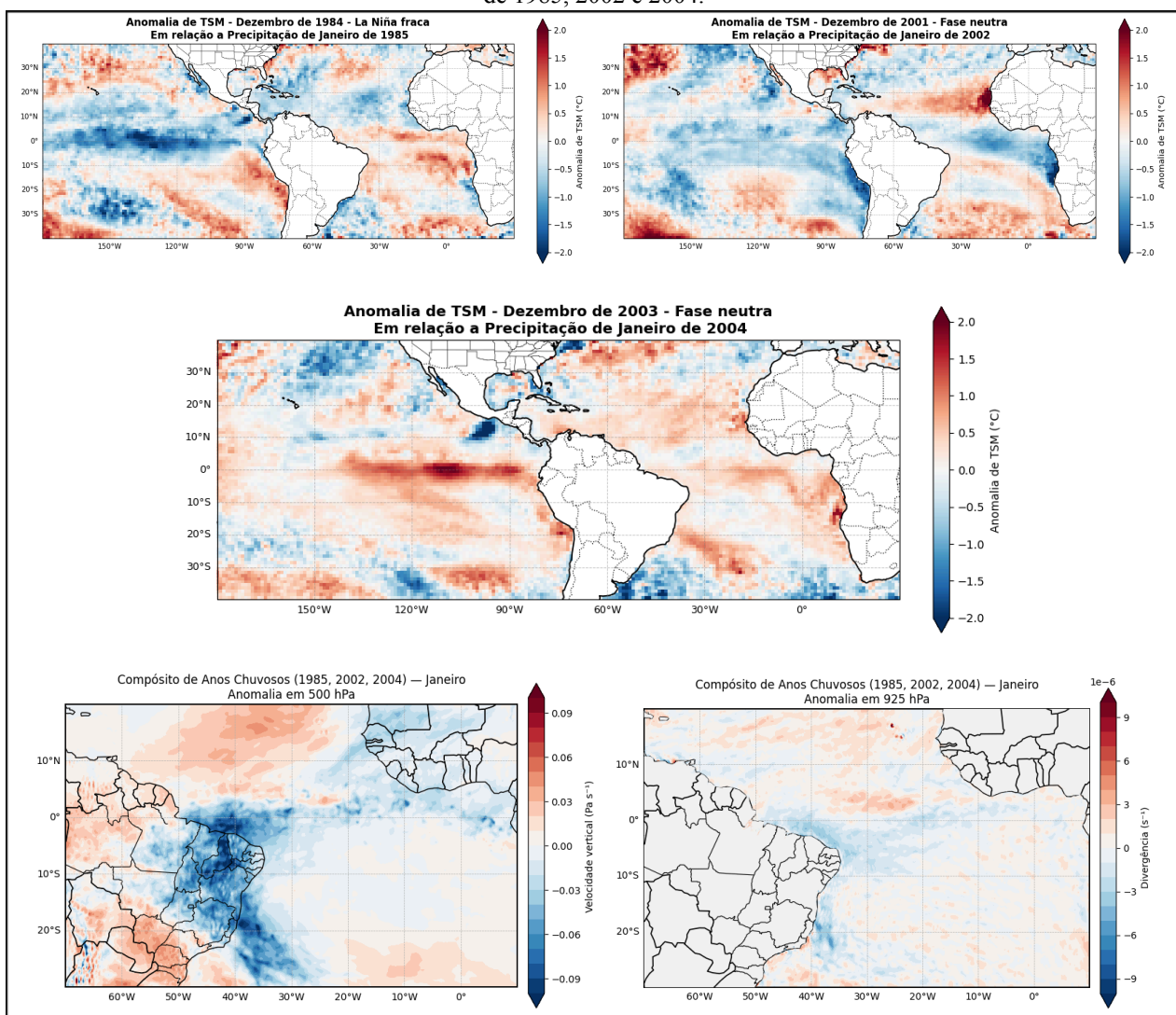


Fonte: Elaborado pela autora.

Ao passar para os episódios de excesso de chuvas em janeiro nas figuras 19 e 20 (1985, 2002, 2004 e 2016), observa-se anomalias com sinal positivo com maior intensidade na parte do Sertão Central e no Cariri, Maciço de Baturité e Litoral Norte. A disparidade observada entre os eventos não decorre da presença de um mesmo padrão de anomalias de

TSM, mas da forma como a atmosfera responde. Nos anos com maior precipitação, os fluxos de movimento apresentam um arranjo espacial que se dirige para cima, sendo coincidente em baixos níveis, permitindo o desenvolvimento de convecção sobre o Ceará independentemente do estado térmico da superfície do mar. Isso fica evidente quando se analisa o compósito de precipitação de janeiro para 1985 e 2002 (figura 19a), que concentra anomalias positivas amplas, e se compara com a TSM de dezembro anterior (figura 21a e 21b): em dezembro de 1984 há LN fraca; em dezembro de 2001 a condição é próxima da neutralidade. Ou seja, dois contextos oceânicos diferentes antecedem janeiro chuvoso.

Figura 21 - Anomalia de TSM de cada ano chuvoso e compósitos de anomalias de VV e DC dos anos chuvosos de 1985, 2002 e 2004.



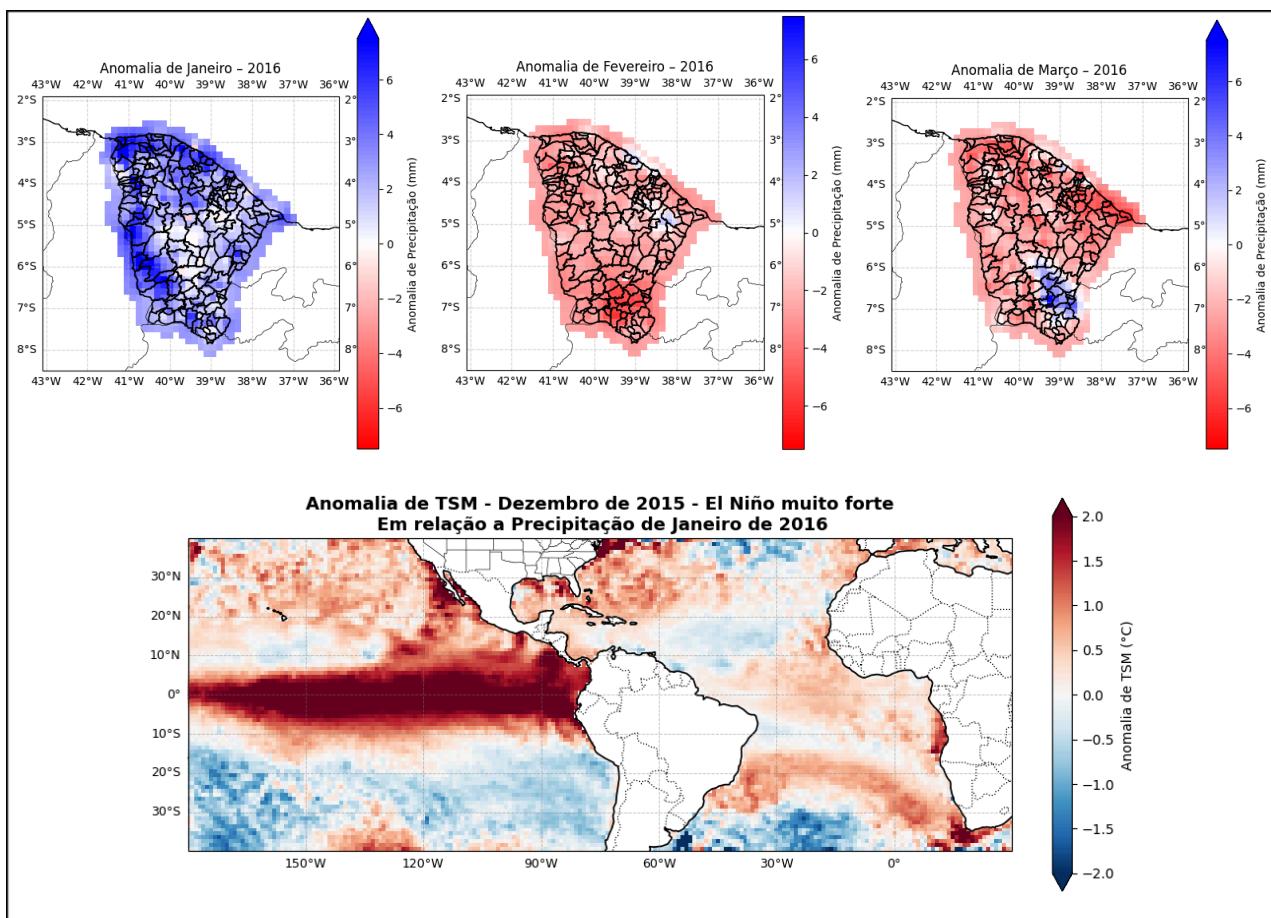
Fonte: Elaborado pela autora.

A diferença aparece quando se observa VV e convergência (figura 21d e 21e): no compósito de anos chuvosos (1985, 2002 e 2004), o movimento vertical em 500 hPa mostra anomalias negativas sobre grande parte do Nordeste e estados adjacentes, sinal compatível

com intensificação de ascensão e maior facilidade para arranjo de nuvens profundas. Em baixos níveis (925 hPa), o sinal favorece um ambiente mais propício à alimentação de umidade e sustentação do movimento com a convergência. Esse conjunto de evidências dá suporte a uma interpretação direta: quando a atmosfera estrutura ascendência sobre o Nordeste, janeiro pode ser chuvoso no Ceará mesmo sem um “marcador oceânico” idêntico entre os anos.

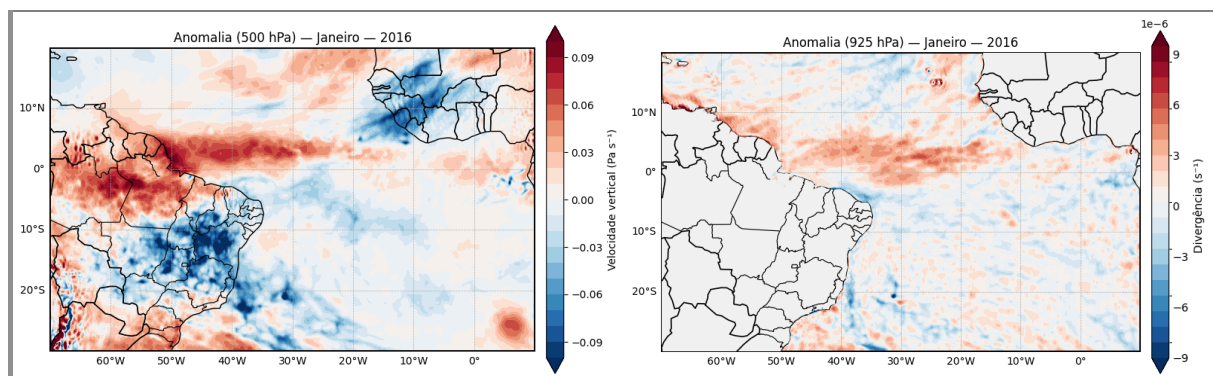
O ano de 2004 nas figuras 20a e 20b reforça bem esse ponto. Em janeiro de 2004, o Ceará apresenta anomalias positivas fortes, mas em março do mesmo ano há inversão para anomalias negativas, indicando que o excesso em janeiro não necessariamente se prolonga com a mesma intensidade ao longo da EST. Na figura 21c, dezembro de 2003 aparece próximo da neutralidade no Pacífico Equatorial. Assim, o caso de 2004 mostra um janeiro chuvoso que pode ocorrer com ENOS neutro, e que depende fortemente dos movimentos das massas de ar circundantes operantes naquele mês, sem garantir continuidade nos meses seguintes.

Figura 22 - Anomalias de precipitação para o ano contrastante de 2016 e anomalia de TSM do final de 2015, com picos de intensidade em dezembro perdurando pelo começo de 2016, sendo considerado um dos eventos de El Niño mais fortes.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 23 - Anomalias de VV e DC para o ano 2016.



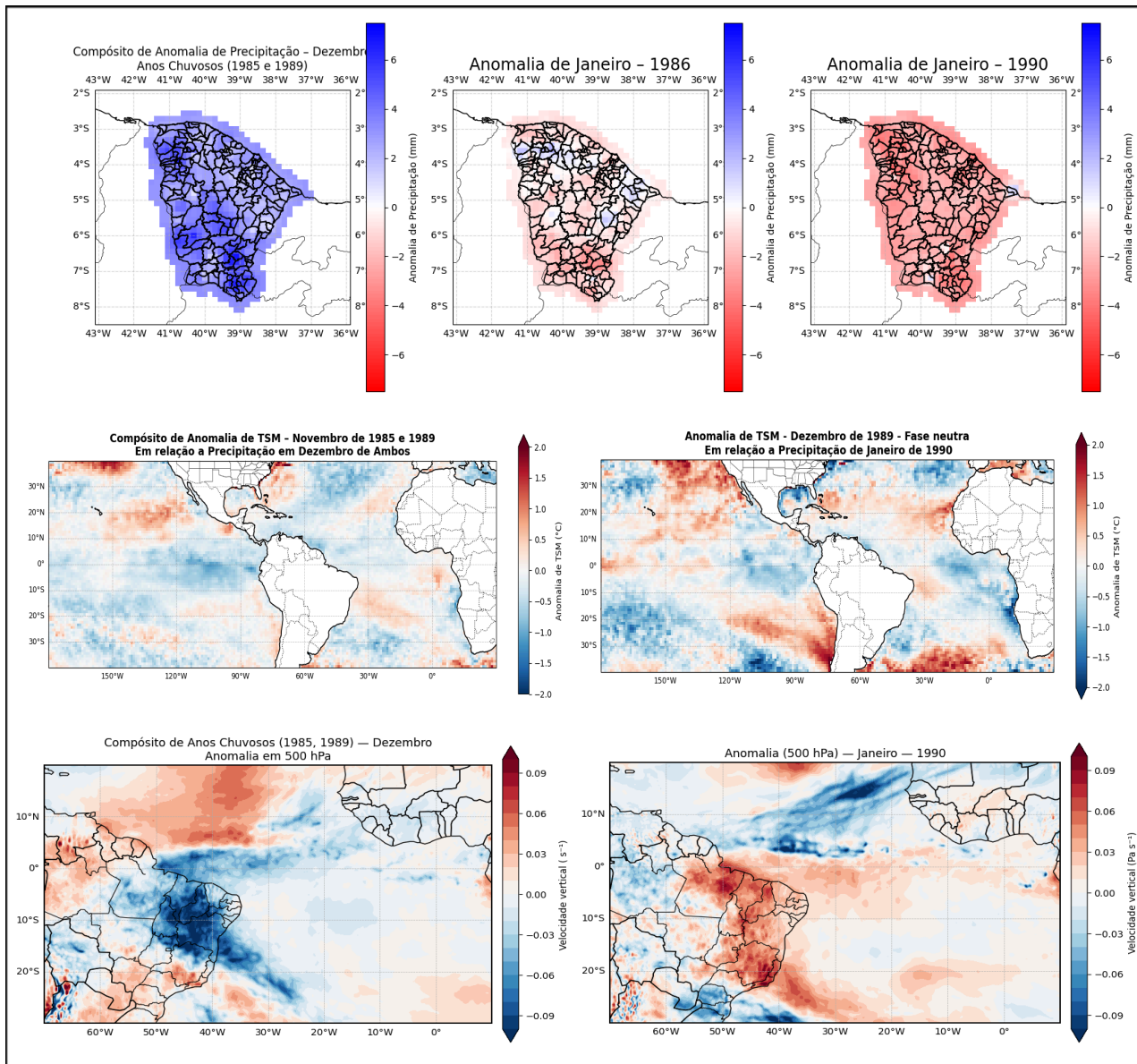
Fonte: Elaborado pela autora.

O contraste mais instrutivo do conjunto é o par 1983×2016 (figura 17 e 18a, e figuras 22), pois ambos estão sob EN muito forte (dezembro de 1982 e dezembro de 2015), mas produzem respostas opostas em janeiro. Em 1983, o Ceará registra déficit extremo e os campos de 500 hPa indicam subsidência sobre o estado, condição típica de inibição convectiva. Em 2016, por outro lado, observa-se um janeiro com anomalias positivas expressivas de precipitação, ao longo da faixa litorânea e nas extremidades do Sertão, Ibiapaba, Jaguaribana e alcançando pontualmente o Cariri, ao mesmo tempo em que a 500 hPa mostra uma faixa de anomalias negativas em um formato côncavo, se estendendo desde o Atlântico Sul em direção ao Atlântico Tropical Sul e alcançando o Nordeste, com ascensão efetiva chegando ao Ceará. Esse detalhe é decisivo: embora o Pacífico aquecido tende a desfavorecer a chuva no Nordeste, em 2016 (figura 23) a circulação de grande escala organizou movimentos ascendentes o suficiente para que ocorra índices elevados. Em baixos níveis, a distribuição de divergência não indica um bloqueio persistente à convecção, o que é compatível com a ocorrência de chuva acima da média.

Esse tipo de disposição dos campos — com uma banda de ascensão se conectando do Atlântico Sul até latitudes tropicais e alcançando o Nordeste — é perceptível claramente a formação do sistema da ZCAS, cuja predominância pode influenciar o Nordeste em determinados episódios, mesmo em cenários de aquecimento anômalo no Pacífico. Essa interpretação está de acordo com o que é discutido por Vasconcelos Júnior (2014) sobre a extensão e efeitos desse sistema sobre a pré-estação, especialmente quando há estabelecimento de convecção e transporte de umidade em escala sinótica.

Por fim, a análise dos eventos com dezembro muito chuvoso (compósito de 1985 e 1989 na figura 24) reforça que a pré-estação pode apresentar contraposição entre meses consecutivos.

Figura 24 - Compósitos de Anomalia de Precipitação para anos semelhantes em dezembro de 1985 e 1989 e seus respectivos janeiros subsequentes. Compósitos de Anomalia de TSM para novembro dos mesmos anos e compósitos de VV para janeiro e para Janeiro de 1990 isolado.



Fonte: Elaborado pela autora.

Em síntese, quando se considera o conjunto de anos analisados, como o resultado da figura 24, a leitura integrada aponta uma conclusão objetiva: a TSM contribui como condicionante de grande escala, com sinais mais previsíveis em algumas janelas e domínios oceânicos, mas a ocorrência efetiva de chuva (ou seca) no Ceará em dezembro e janeiro depende criticamente da configuração atmosférica, especialmente da presença de movimentos ascendentes em médios níveis e do suporte dinâmico da convergência em baixos níveis.

É essa combinação — e não apenas a fase do ENOS — que explica por que anos sob temperaturas do mar semelhantes (como 1983 e 2016) podem produzir respostas pluviométricas tão diferentes no Ceará.

7. CONCLUSÃO

A análise desenvolvida neste trabalho demonstra que a variabilidade da precipitação no Ceará responde de uma forma destoante a diferentes sistemas ao longo do ciclo anual. Ao direcionar a investigação para a pré-estação chuvosa, acentua-se um intervalo climático no qual os controles tradicionalmente associados à chuva no NEB apresentam desempenho limitado, exigindo uma interpretação mais ampla dos processos envolvidos.

Os resultados indicam que, nos meses de dezembro e janeiro, a correspondência entre as anomalias de Temperatura da Superfície do Mar e a precipitação é caracterizada por baixa consistência no retorno da correlação estatística. Esse comportamento sugere que, nesse período, os sinais térmicos dos oceanos não se traduzem diretamente para a pluviometria da PREC do Ceará. Assim, a fase precedente à EST se distingue como um ciclo marcado por elevada variação e reduzida previsibilidade quando considerada apenas a partir de indicadores baseados na TSM.

A avaliação integrada dos anos com extremos de precipitação revela que a ocorrência de chuva persistente, sobretudo no sul do Ceará, está condicionada principalmente à presença de movimentos ascendentes em médios níveis e à convergência do escoamento em baixos níveis. Esses elementos explicam por que anos submetidos a condições semelhantes às anômalas nos oceanos podem apresentar comportamentos pluviométricos contrastantes, como observado nos casos de 1983 e 2016. Nesse contexto, a influência de estruturas de grande escala associadas à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) torna-se explícito, uma vez que sua extensão e intensidade propicia a propagação de bandas convectivas em direção ao nNEB, modulando a precipitação de forma decisiva.

Dessa maneira, os resultados não invalidam a hipótese clássica de que a TSM interfere no regime de chuvas do Ceará, mas apresenta uma limitação à sua eficácia temporal nos meses da PREC. Enquanto as anomalias térmicas de larga escala tendem a ter um domínio mais pertinente na EST propriamente dita, a PREC particulariza-se por uma maior conexão ao comportamento da dinâmica atmosférico e sinótica, interligados à natureza episódica e irregular da precipitação, operando de maneira mais imediata sobre a distribuição e constância dos eventos observados.

Como perspectivas de aprofundamento, destaca-se a incorporação dos campos de vento, essenciais para a compreensão do transporte de umidade e de sua interação com a topografia regional. A presença de cadeias orográficas paralelas ao litoral do Nordeste brasileiro torna oportuno a ascensão do fluxo de movimento de leste, contribuindo para a

ocorrência de chuva orográfica em áreas específicas e influenciando a distribuição espacial entre o litoral, o interior e o sertão. Adicionalmente, a investigação da Oscilação de Madden–Julian desponta como uma abordagem promissora para elucidar a mutabilidade intra-sazonal durante a PREC.

Por fim, os resultados deste estudo apontam que a pré-estação chuvosa no Ceará é um período transitório que constitui um regime climático com características próprias, cuja compreensão demanda a consideração integrada de processos de múltiplas escalas. Reconhecer essa distinção representa um avanço de notável magnitude para o entendimento do regime pluvial e para o aprimoramento das estratégias de monitoramento e previsão nesse período crítico.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 2. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. Disponível em: https://avauea.uea.edu.br/pluginfile.php/275784/mod_resource/content/3/ABS%C3%81BER%2C%20Aziz%20Os%20Dom%C3%ADnios%20de%20Natureza%20no%20Brasil_2.pdf. Acesso em: 18 set. 2025.
- ALVES, José Maria Brabo; FERREIRA FILHO, Walter Martins. Estudo da variabilidade pluviométrica intrasazonal no estado do Ceará. XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1999. **Anais [...]**. ABRH, 1999. p. 2. Disponível em: <https://anais.abrhydro.org.br/job.php?Job=9612>. Acesso em: 7 jan. 2025.
- ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. A variabilidade pluviométrica no setor norte do Nordeste e os eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 7, n. 2, p. 583-592, 1992.
- ALVES, J. M. B.; CAMPOS, J. N. B.; FERREIRA, F. F.; STUDART, T. M. C. As chuvas de janeiro/2004 no Nordeste do Brasil, suas características atmosféricas e seus impactos nos recursos hídricos da região. VII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2004. **Anais [...]**. [S. l.], v. 30, p. 1-19, 2004.
- ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A.; MELLO, N. S. A pré-estação chuvosa do setor Norte e Nordeste brasileiro e sua relação com a temperatura dos oceanos adjacentes. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 8, n. 1, p. 22-30, 1993.
- ALVES, J. M. B.; SOUZA, B. E. A. A relação entre os fenômenos El Niño e La Niña e a distribuição interanual da precipitação no Estado do Ceará. **Notas técnicas**. Monitor Climático, vol.11, nº127, 1997.
- ALVES, R. C. M.; SOUZA, L. P.; MOLLMANN, R. A.; RODRIGUES, B. D. **Descrição e caracterização dos fenômenos atmosféricos mais frequentes no território brasileiro**. Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. 2015.
- AMORIM, R. C. F.; RIBEIRO, A.; LEITE, C. C.; LEAL, B. G.; SILVA, J. B. G. Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas. **Acta Scientiarum: Technology**, v. 30, n.1, p.87- 91, 2008.
- ANDREOLI, R.V., KAYANO, M.T., GUEDES, R.L., OYAMA, M.D., ALVES, M.A.S. A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n.3, 337-344, 2004.
- ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. Multi-scale variability of the sea surface temperature in the Tropical Atlantic. **Journal of Geophysical Research**, 109, C05009, 2004.
- ARAÚJO, L. E. **Análise estatística de chuvas intensas na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande. 2006.

BELÉM, Paulo Jardel Araújo; COSTA, Celme Torres Ferreira da; MELO, Rayanne Bezerra de; PEREIRA, Ana Rute Batista; BATISTA, Pedro Henrique Tavares; SILVA, Wyldevânio Vieira da. Índice de Anomalia de Chuva aplicado ao estudo das precipitações na Região Crajubar - Ceará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 1-19, 2022. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/17518/10117>. Acesso em: 7 fev. 2025

AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B. da & RODRIGUES, M. F. G. Previsão Estatística das Chuvas de Outono no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 13, n. 1, 19-30, 1998.

BRITO, J. I. B.; NOBRE, C. A.; ZARANZA, R. A precipitação da Pré-Estação e a previsibilidade da Estação Chuvosa no Norte do Nordeste. **Revista Climanalise**, v. 6, n. 6, 1991.

CARMO, Maria Vitória Nava Silva do; LIMA, Carlos Henrique Ribeiro. Caracterização Espaço-Temporal das Secas no Nordeste a partir da Análise do índice SPI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 2, p. 233-242, 2020.

CORREIA FILHO, Washington Luiz Félix et al. Diagnóstico da Precipitação e EVI em Dois Eventos de Seca no Nordeste do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 35, p. 102-112, 2018.

COUTINHO DE MELO, Anna Bárbara. **Previsibilidade da precipitação na região semiárida do Nordeste do Brasil, durante a estação chuvosa, em função do comportamento diário das chuvas na pré-estação**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1997.

EMANUEL, Kerry A. **Atmospheric convection**. New York: Oxford University Press, 1994. Disponível em: https://www.lmd.ens.fr/muller/TEACHING_CLOUDS/Emanuel_chp12.pdf. Acesso em: 10 nov. 2025.

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**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.

FUNCEME. **Análise climática da pré-estação chuvosa no Ceará**. FUNCEME, 2020. Disponível em : <http://www.funceme.br/?p=8476>. Acesso em: 5 fev. 2025.

GILL, Adrian E. **Atmosphere–ocean dynamics**. London: Academic Press, 1982. (International Geophysics Series, v. 30). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/bookseries/international-geophysics/vol/30>. Acesso em: 05 set. 2025.

GRIMM, Alice M. **Convecção atmosférica e movimento vertical**. In: Física da Atmosfera, cap. 7. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1999. Disponível em: <https://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap7/cap7-7.html>. Acesso em: 03 dez. 2025.

GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. ENSO and Extreme Rainfall Events in South America. **Journal of Climate**, v. 22, n. 7, p. 1589-1609, 2009.

GUITARRARA, Paloma. Clima semiárido. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/clima-semiarido.htm>. Acesso em: 06 fev. 2025.

HASTENRATH, S. Exploring the Climate Problems of Brazil's Nordeste: **A Review Climate Change**, v. 112, p. 243–251, 2012.

HASTENRATH, S. Variabilidade Interanual e Ciclo Anual: Mecanismos de Circulação e Clima no Setor Tropical Atlântico. **A Review Climate Change**, v. 6, p. 1097–1107, 1984. DOI: 10.1175/1520-0493(1984)112<1097:IVAACM>2.0.CO;2. Disponível em: [https://journals.ametsoc.org/configurable/content/journals\\$002fmwre\\$002f112\\$002f6\\$002f1520-0493_1984_112_1097_ivaacm_2_0_co_2.xml?t%3Aac=journals%24002fmwre%24002f112%24002f6%24002f1520-0493_1984_112_1097_ivaacm_2_0_co_2.xml&tab_body=fulltext-display](https://journals.ametsoc.org/configurable/content/journals$002fmwre$002f112$002f6$002f1520-0493_1984_112_1097_ivaacm_2_0_co_2.xml?t%3Aac=journals%24002fmwre%24002f112%24002f6%24002f1520-0493_1984_112_1097_ivaacm_2_0_co_2.xml&tab_body=fulltext-display). Acesso em: 7 fev. 2025.

HOLTON, James R.; HAKIM, Gregory J. **An introduction to dynamic meteorology**. 5. ed. Oxford: Academic Press, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780123848666/an-introduction-to-dynamic-meteorology>. Acesso em: 27 nov. 2025.

INMET. **El Niño: saiba como foi a atuação do fenômeno no Brasil**. INMET, 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/el-ni%C3%B1o-saiba-como-foi-a-atua%C3%A7%C3%A3o-do-fen%C3%B4meno-no-brasil#:~:text=Sobre%20o%20El%20Ni%C3%B1o&text=O%20fen%C3%B4meno%20n%C3%A3o%20tem%20um,chegasse%20a%20sua%20maior%20intensidade>. Acesso em: 7 fev. 2025

INSIGHTS IAS. **Precipitation: forms, types and distribution of rainfall**. Insights on India, [s. l.], s. d. Disponível em: <https://www.insightsonindia.com/world-geography/physical-geography-of-the-world/climatology/precipitation-forms-types-distribution-of-rainfall/types-of-precipitation/>. Acesso em: 11 nov. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. Cachoeira Paulista: CPTEC/INPE, v. 19, n. 12, dez. 2004. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise>. Acesso em: 12 dez 2025.

IPECE. **Tipos de clima**. Adaptado pelo autor. Fortaleza: IPECE, 2025. Disponível em: <http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/interface/gm.phtml>. Acesso em: 5 fev. 2025.

KAYANO, M.T.; MOURA, A.D. O El Niño de 1982-83 e a questão sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 201-214, 1986.

LUCENA, D. B.; GOMES FILHO, M. F.; SERVAIN, J. Avaliação do impacto de eventos climáticos extremos nos Oceanos Pacífico e Atlântico sobre a estação chuvosa no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 297-312, 2011.

MARENGO, José A.; CUNHA, Ana P.; ALVES, Lincoln. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanalise**, v. 3, n. 1, p. 49-54, 2016.

MARENGO, José A. *et al.* Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas. **Revista Climanalise**, v. 1, p. 385-422, 2011.

MARENGO, J. A. Variabilidade interanual do clima de superfície na bacia amazônica. **International Journal of Climatology**. Chichester, v. 12, p. 853-863, 1992.

MEDEIROS, Felipe Jeferson *et al.* Impacto da variabilidade interanual da precipitação nos reservatórios do semiárido do Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências –UFRJ**, v. 41, p. 731-741, 2018.

METEORED BRASIL. **O que é a Oscilação de Madden-Julian?** Tempo.com, [s. l.], 2018. Disponível em:
<https://www.tempo.com/noticias/divulgacao/o-que-e-a-oscilacao-de-madden-julian.html>.
 Acesso em: 06 dez. 2025.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variation of Sea Surface Temperature, Wind Stress and Rainfall over the Tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, p. 2464-2479, 1996. DOI: 10.1175 /1520 -0442 (1996)009 <2464 :VOSSTW >2.0 .CO ;2 . Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/37678998_Variations_of_Sea_Surface_Temperature_Wind_Stress_and_Rainfall_over_the_Tropical_Atlantic_and_South_America . Acesso em: 3 fev. 2025.

OLIVEIRA, L. S. **Sistema Semiárido: Modelo Estratégico de convivência com a diversidade ambiental na sub-bacia do rio Castro, Ceará – Brasil**. Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2018.

PAEGLE, Julio N.; MO, Kingtse C. Linkages between summer rainfall variability over South America and sea surface temperature anomalies. **Journal of Climate**, v. 15, n. 12, p. 1389–1407, 2002. Disponível em:
https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/15/12/1520-0442_2002_015_1389_lbsrvo_2.0.co_2.xml. Acesso em: 19 out. 2025.

PEREA MARTINS, JOÃO E. M. Gotas em detalhes: Coletor desenvolvido na Unesp registra volume de chuvas, data e horário em que ocorreram. **Pesquisa Online FAPESP**, SP, ed. 92, 2003.

PRADO, Daniel E. As Caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (org.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. p. 3–73. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/284691080_As_Caatingas_da_America_do_Sul.
 Acesso em: 08 set. 2025.

RODRIGUES, Antonio. La Niña: oposto ao El Niño. Saiba quais os impactos do fenômeno no Ceará. **Opinião CE**, 2024. Disponível em:
<https://www.opinioce.com.br/la-nina-oposto-ao-el-nino-saiba-quais-os-impactos-do-fenome-no-no-ceara/>. Acesso em: 6 fev. 2025.

RODRIGUES, Bruno Dias; COUTINHO, Maytê Duarte Leal; SAKAMOTO, Meiry Sayuri; JACINTO, Leandro Valente. UMA ANÁLISE SOBRE AS CHUVAS NO CEARÁ BASEADA NOS EVENTOS DE EL NIÑO, LA NIÑA E NO DIPOLO DO SERVAIN DURANTE A ESTAÇÃO CHUVOSA. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, 2021. DOI: 10.5380/rbclima.v28i0.76238. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/76238>. Acesso em: 4 fev. 2025.

SAMPAIO, M.S.; ALVES, M.C.; CARVALHO, L.G.; SANCHES, L. Uso de Sistema de Informação Geográfica para comparar a classificação climática de Köppen-Geiger e de Thornthwaite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 15., 2011, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: INPE, 2011.

SAMPAIO, Rafaelle Correia. **Estudo das precipitações médias na bacia metropolitana do Estado do Ceará**. 2020. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Unichristus. Fortaleza, 2020.

SANTOS, Paulo Henrique Neves; FERREIRA, Wesley Silva; SANTANA, Bruna Leidiane Pereira. Repercussões do El Niño e La Niña na precipitação do estado de Sergipe - Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/17395>. Acesso em: 7 fev. 2025.

SILVA, José Maria Cardoso da; LEAL, Inara R.; TABARELLI, Marcelo. **Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America**. Cham: Springer International Publishing, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-68339-3>. Acesso em: 30 nov. 2025.

SILVA, Juliana Maria Oliveira. **Utilização de anos-padrão no estudo da variabilidade pluviométrica no município do Crato / Ceará**. 2017. Departamento de Geografia / Universidade Regional do Cariri. Acesso em: 7 fev. 2025.

SOUZA, Ismael Alves de. **A influência da variabilidade climática no avanço e recuo dos processos de desertificação no estado do Rio Grande do Norte**. 1997. 107 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1997. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/>. Acesso em: 12 ago. 2025.

UVO, C.; BERNDTSSON, R. Regionalização e propriedades espaciais da precipitação no estado do Ceará, nordeste do Brasil. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 101, n. D2, p. 4221–4233, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/95JD03235>. Acesso em: 21 out. 2025.

UVO, C.; NOBRE, C. A. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Precipitação no Norte do Nordeste do Brasil. Parte I: A posição da ZCIT no Atlântico Equatorial. **Revista Climanalise**, v. 4, n. 10, p. 39–48, 1989.

VASCONCELOS JÚNIOR, Francisco das Chagas. **Pré-estação chuvosa e a estação chuvosa do Norte do Nordeste do Brasil: aspectos interanuais, intrassazonais e extremos**. 2014. Tese (Doutorado em Meteorologia) — Instituto de Astronomia, Geofísica e

Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://www.iag.usp.br/pos-graduacao/meteorologia/publicacoes/teses-e-dissertacoes/pre-estacao-chuvosa-e-estacao-chuvosa>. Acesso em: 02 dez. 2025.

WALLACE, John M.; HOBBS, Peter V. **Atmospheric science: an introductory survey**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780127329512/atmospheric-science>. Acesso em: 25 set. 2025.

XAVIER, T.; XAVIER, A.; DIAS, P. S.; DIAS, M. A zona de convergência intertropical-ZCIT e suas relações com a chuva no Ceará (1964-98). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 15, n. 1, p. 27–43, 2000.

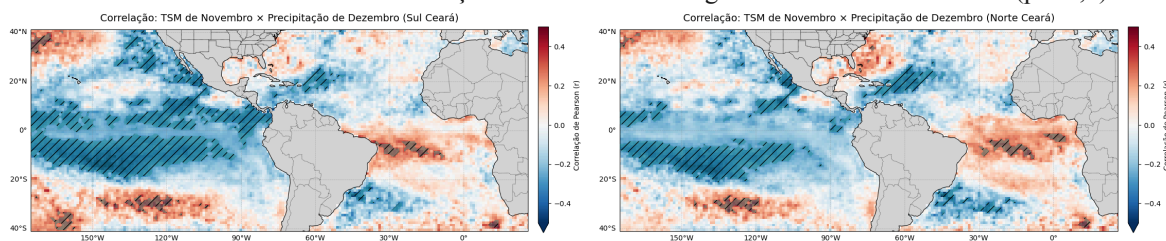
APÊNDICE A

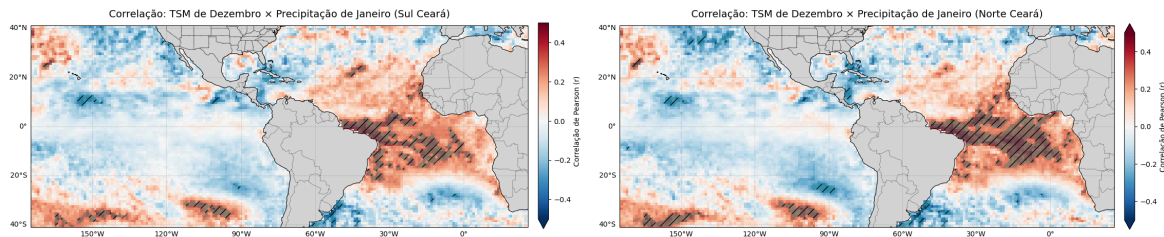
Para o setor sul do Ceará, a correlação entre a TSM e a precipitação apresenta comportamentos distintos conforme o mês e a bacia oceânica analisada. No Atlântico, a relação entre a TSM de novembro e a precipitação de dezembro é fraca e não significativa ($r \approx 0,11$; $p > 0,48$), enquanto no Pacífico observa-se correlação negativa também não significativa no mesmo período ($r \approx -0,29$; $p > 0,06$). Já para o intervalo de dezembro para janeiro, a TSM do Atlântico apresenta correlação positiva estatisticamente significativa ($r \approx 0,32$; $p < 0,05$), indicando associação entre o aquecimento dessa bacia e o aumento da precipitação em janeiro no sul do estado. Em contrapartida, a correlação com a TSM do Pacífico nesse período é praticamente nula e não significativa ($r \approx 0,00$; $p > 0,98$), reforçando a baixa coerência entre essa bacia e a variabilidade da precipitação durante a pré-estação.

No setor norte do Ceará, a TSM do Atlântico também apresenta diferenças marcantes entre os meses analisados. Em novembro, a correlação com a precipitação é fraca e não significativa ($r \approx 0,15$; $p > 0,34$), assim como a relação com a TSM do Pacífico, que se mostra negativa e igualmente não significativa ($r \approx -0,22$; $p > 0,16$). Em dezembro, no entanto, observa-se uma correlação positiva estatisticamente significativa entre a TSM do Atlântico e a precipitação de janeiro ($r \approx 0,36$; $p < 0,05$), sugerindo maior coerência dessa bacia com a chuva no norte do estado nesse período de transição. Para o Pacífico, a correlação em dezembro permanece muito fraca e não significativa ($r \approx 0,02$; $p > 0,91$), confirmando a limitada associação entre a TSM pacífica e a precipitação no norte do Ceará durante a pré-estação chuvosa.

Figura 25 - Mapas de correlação entre a temperatura da superfície do mar (TSM) e a precipitação no estado do Ceará durante a pré-estação chuvosa. Os painéis superiores representam a correlação entre a TSM de novembro e a precipitação de dezembro para os setores sul (esquerda) e norte (direita) do Ceará, enquanto os painéis inferiores mostram a correlação entre a TSM de dezembro e a precipitação de janeiro para os mesmos setores.

As áreas hachuradas indicam correlações estatisticamente significativas ao nível de 10% ($p < 0,1$).

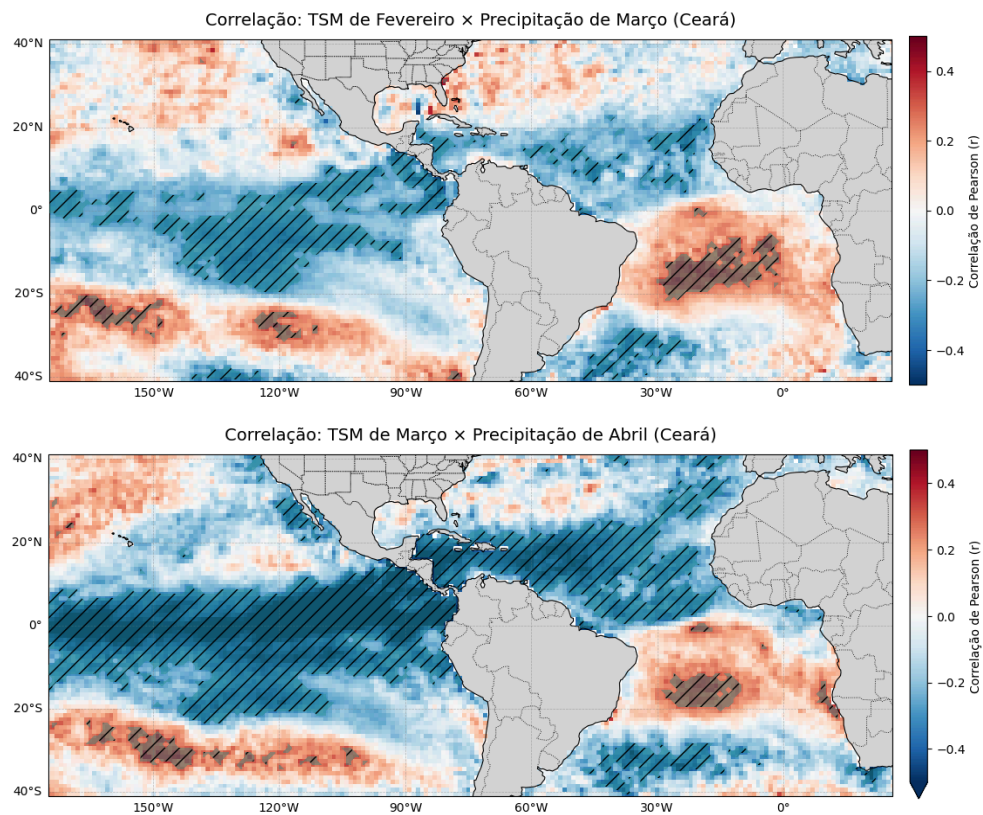




Fonte: Elaborado pela autora.

A análise comparativa com os meses da quadra chuvosa principal mostra diferenças claras no padrão de correlação. Nos meses de fevereiro para março e de março para abril, observa-se maior continuidade espacial das áreas correlacionadas, com presença de regiões estatisticamente significativas tanto no Pacífico Equatorial quanto no Atlântico Tropical. Mostrando clara influência dos eventos de El Niño e La Niña e também do Dipolo do Atlântico Tropical. Ao longo da EST, a relação entre a TSM e a precipitação se apresenta de forma mais definida, enquanto no período de transição essa associação é menos evidente.

Figura 26 - Mapas de correlação entre a temperatura da superfície do mar (TSM) e a precipitação no estado do Ceará durante meses da quadra chuvosa principal. À esquerda, correlação entre a TSM de fevereiro e a precipitação de março; à direita, correlação entre a TSM de março e a precipitação de abril. As áreas hachuradas indicam regiões com correlação estatisticamente significativa ao nível de 10% ($p < 0,1$).

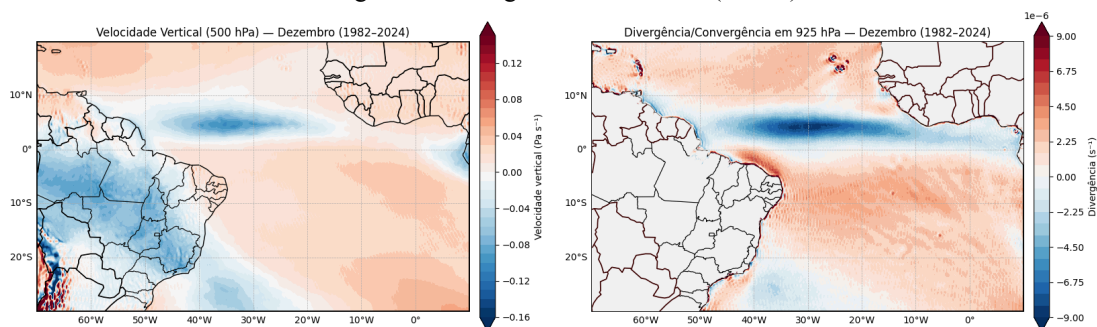


Fonte: Elaborado pela autora.

APÊNDICE B

A climatologia de dezembro evidencia um padrão atmosférico característico do período de pré-estação chuvosa no Nordeste do Brasil. O campo médio de velocidade vertical em 500 hPa mostra predomínio de movimentos descendentes sobre grande parte do território nordestino, com ascensão mais concentrada sobre áreas oceânicas equatoriais. De forma consistente, o campo médio de divergência/convergência em 925 hPa indica convergência mais intensa associada à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a qual permanece posicionada predominantemente no Hemisfério Norte durante esse mês. Essa configuração limita a influência direta da ZCIT sobre o Ceará em dezembro, restringindo sua atuação às latitudes mais ao norte.

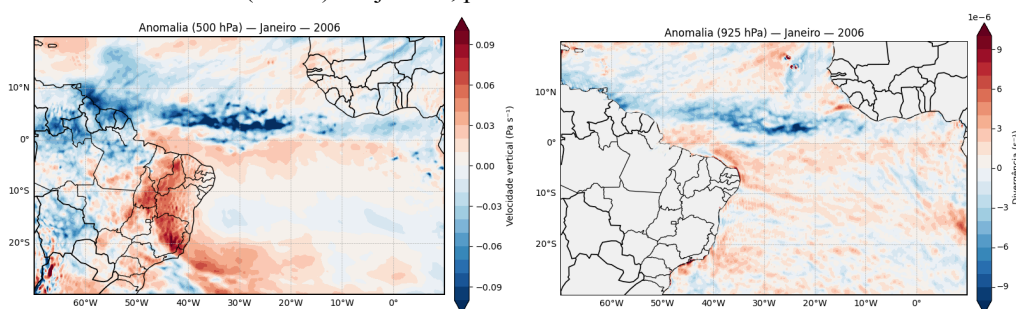
Figura 27 - Climatologia de dezembro (1982–2024) da velocidade vertical em 500 hPa (esquerda) e da divergência/convergência em 925 hPa (direita).

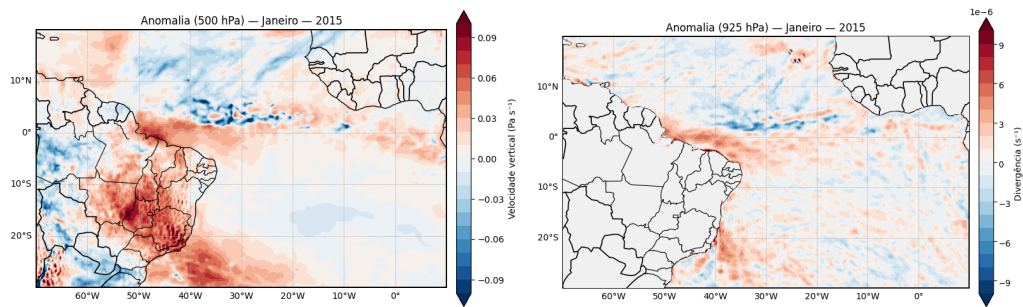


Fonte: Elaborado pela autora.

Nos anos secos analisados, as anomalias de velocidade vertical em 500 hPa indicam predomínio de movimentos descendentes sobre o Nordeste do Brasil, enquanto as anomalias de divergência/convergência em 925 hPa mostram redução da convergência em baixos níveis. Esse padrão atmosférico está associado à inibição da convecção e à ocorrência de anomalias negativas de precipitação em janeiro no Ceará.

Figura 28 - Anomalias de velocidade vertical em 500 hPa (esquerda) e de divergência/convergência em 925 hPa (direita) em janeiro, para anos secos selecionados.

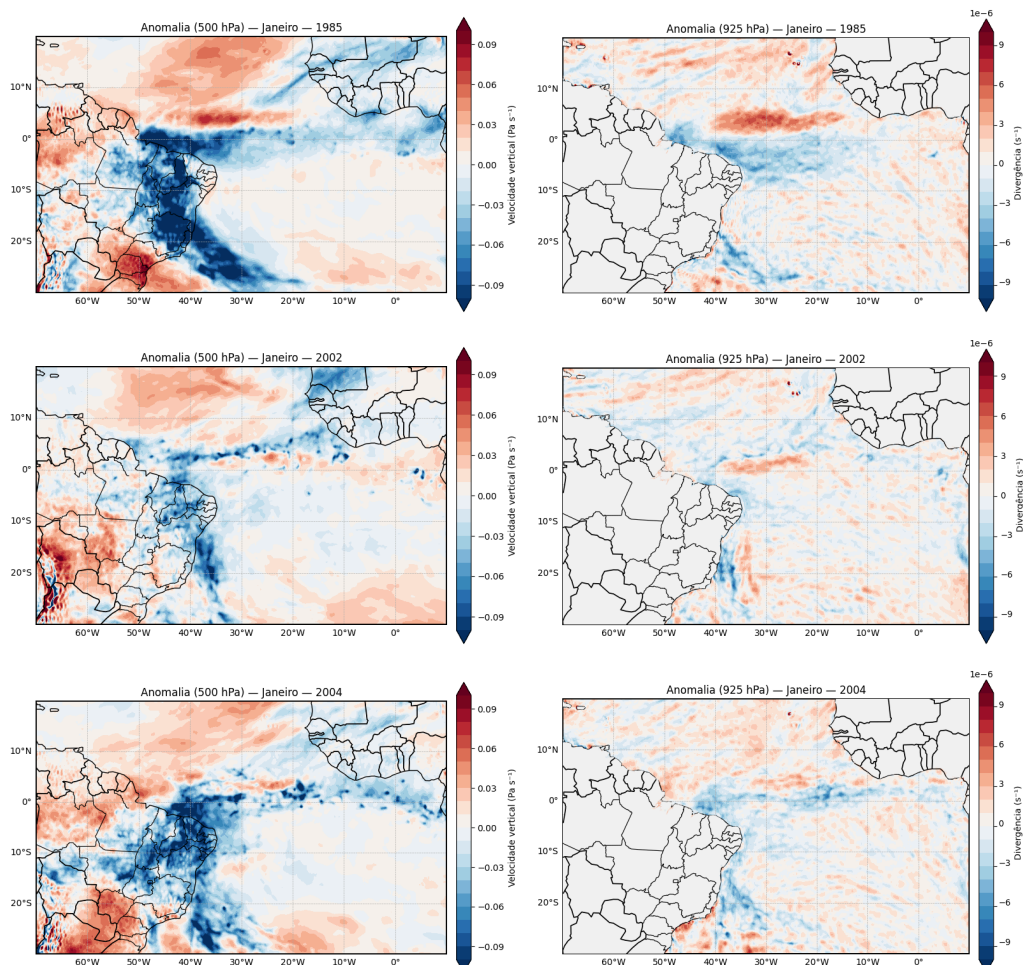


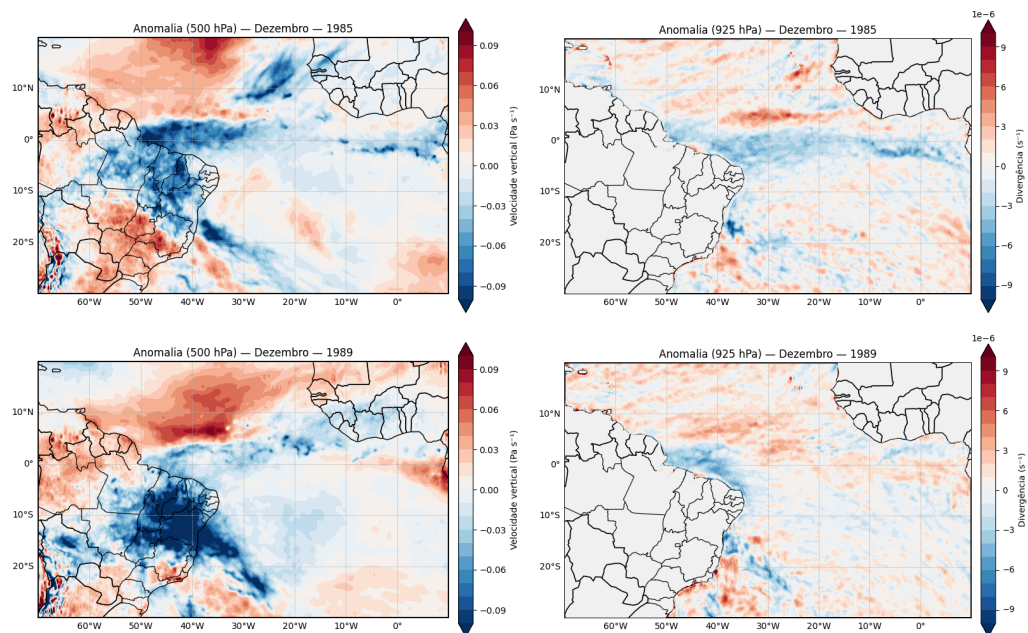


Fonte: Elaborado pela autora.

Nos anos chuvosos analisados, observa-se a presença de fluxo ascendente das massas de ar sobre o Nordeste do Brasil, acompanhado por um padrão favorável à organização da circulação atmosférica. Esse arranjo evidencia a formação de uma circulação associada à Zona de Convergência do Atlântico Sul, que se estende em direção ao Nordeste, contribuindo para a ocorrência de anomalias positivas de precipitação em janeiro no Ceará, tanto nos anos de janeiro quanto de dezembro.

Figura 29 - Anomalias de velocidade vertical em 500 hPa (esquerda) e de divergência/convergência em 925 hPa (direita), para anos chuvosos selecionados (1985, 2002 e 2004 para janeiro e, 1985 e 1989 para dezembro).





Fonte: Elaborado pela autora.