



# INFLUÊNCIA REMOTA DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR (TSM) DO ATLÂNTICO SUDOESTE NA ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL (ZCAS)

*Primeiro-Tenente Vinicius Batista da Silva<sup>1</sup>  
Prof.<sup>a</sup> Fabíola Valéria Barreto Teixeira<sup>2</sup>*

## RESUMO

Neste estudo, é investigada a complexa interação entre a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do oceano Atlântico Sudoeste na região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Trinta anos de dados da quinta geração de reanálises do ECMWF (ERA5) de parâmetros atmosféricos e da TSM foram usados para a construção de médias climatológicas e anomalias, bem como para análise de três eventos de ZCAS. Os eventos analisados foram divididos em duas configurações: a primeira, em que a superfície do oceano tem temperatura acima do normal em todo o entorno da região da CBM, e a segunda, apresentando um significativo gradiente horizontal de TSM na região da CBM. No primeiro tipo, a ZCAS apresentou a configuração típica, posicionando-se sobre o litoral do Sudeste do Brasil. No segundo, a posição da ZCAS ficou ao norte da configuração típica, estabelecendo-se com o ramo oceânico entre o litoral do Nordeste do Brasil e o norte da região Sudeste.

<sup>1</sup>Oficial do Corpo da Armada, Graduado em Ciências Navais pela Escola Naval. Atualmente, exerce a função de Ajudante da Divisão de Hidroceanografia do Navio Hidroceanográfico "Garnier Sampaio" (CHN-4). Email: [vinicius.batista@marinha.mil.br](mailto:vinicius.batista@marinha.mil.br)

<sup>2</sup>Professora Associada - Meteorologia. Graduada na UFRJ, com mestrado em Ciências Atmosféricas pela COPPE e doutorado em Modelagem Computacional no Laboratório Nacional de Computação Científica. Email: [fabiola.teixeira@gmail.com](mailto:fabiola.teixeira@gmail.com)

**Palavras-chave:** ZCAS; TSM; Oceano Atlântico Sudoeste; CBM.

## ABSTRACT

In this study, the complex interaction between Sea Surface Temperature (SST) of the Southwest Atlantic Ocean in the region of the Brazil-Malvinas (Falkland) Confluence (BMC) and the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) was investigated. Thirty years of data from the fifth generation of the ECMWF reanalysis (ERA5) of atmospheric parameters and SST were used to construct climatological means and anomalies and to analyze three SACZ events. The analyzed events were categorized into two configurations: the first, in which the ocean surface water has a temperature above normal throughout the BMC region, and the second, characterized by a significant horizontal SST gradient in the BMC region. In the first type, the SACZ presented a typical configuration, positioning itself on the coast of southeastern Brazil. Second, the SACZ shifted northward from its usual location, with its oceanic branch extending between Brazil's northeastern coast and the northern sector of the southeast region.

**Keywords:** SACZ; SST; Southwest Atlantic Ocean; Brazil-Malvinas (Falkland) Confluence.

## 1. INTRODUÇÃO

O oceano Atlântico Sudoeste compreende a área que se estende por toda a costa sudeste da América do Sul, na região entre 28°S-50°S e 030°W-060°W (GRAMCIANINOV, 2012). Do ponto de vista meteorológico, trata-se de uma região bastante energética, uma vez que é nela que são formados muitos sistemas frontais e ciclones que atuam nas áreas costeiras desse continente (REBOITA et al., 2010).

Para compreender a formação daqueles eventos sinóticos, é fundamental entender a importante interação entre oceano e atmosfera na região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM). Esta região do Oceano Atlântico Sul está localizada aproximadamente entre as coordenadas 38°S e 42°S e 050°W e 055°W, onde a Corrente das Malvinas (fria e rica em nutrientes) encontra a Corrente do Brasil (quente e salina). Assim, forma-se uma intensa zona de convergência e de interações de massas de água com características diferentes (CATALDI et al., 2010). O forte gradiente de temperatura da superfície do mar na região da CBM e sua interação com massas de ar frio, que se deslocam do polo Sul para latitudes mais baixas, é um fator que favorece a formação ou intensificação de sistemas frontais e ciclones. Estes eventos sinóticos afetam as condições meteorológicas nas regiões costeiras da Argentina, do Uruguai e do Brasil (REBOITA et al., 2010).

Para o Brasil, um fenômeno meteorológico relevante é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A ZCAS é uma prolongada área de convergência de ventos e de umidade (KODAMA, 1992, 1993; QUADRO, 1994; CARVALHO et al., 2002, 2004), que atua desde a região Amazônica, passando sobre o Sudeste do Brasil e se estendendo até o Atlântico, durante a primavera e verão, causando chuvas fortes e prolongadas. A ocorrência da ZCAS favorece a combinação da dinâmica da mesoescala e da escala sinótica, ocasionando períodos chuvosos prolongados, episódios de chuva extrema, inundações e deslizamentos de terra (REBOITA et al., 2017).

De acordo com Pezzi et al. (2022), outro fator de destaque na região do Atlântico Sudoeste é a influência da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os fenômenos meteorológicos. A TSM



pode afetar a circulação atmosférica através de fluxos de calor e umidade, tornando importante seu monitoramento e previsão.

A TSM do Atlântico Sudoeste afeta a atmosfera de várias maneiras. Anomalias positivas são uma importante fonte de calor e umidade para a atmosfera adjacente, através dos fluxos de calor sensível e latente. Pezzi et al. (2009), com estudos baseados em coletas oceanográficas e meteorológicas, concluíram que a TSM pode modular os eventos na Camada Limite Atmosférica Marinha (CLAM) na Região do Atlântico Sudoeste. Vale lembrar que as anomalias da TSM não configuram uma característica sine qua non para a ocorrência de ZCAS, mas estudos indicam que podem afetar o regime de precipitação, influenciando o posicionamento e a intensidade da chuva da ZCAS (TEIXEIRA, 2000; CATALDI et al., 2010).

Como ponto de partida deste trabalho, a ocorrência de prolongadas chuvas sobre a Bahia, com alagamentos de cidades inteiras, chamou a atenção para o posicionamento da ZCAS mais a norte da sua posição climatológica sobre a região Sudeste do Brasil. Buscando contribuir com os estudos sobre ZCAS, este trabalho teve como principal objetivo analisar a influência remota da TSM do Atlântico Sudoeste sobre o posicionamento da ZCAS. Para tanto, foram analisados três eventos de ZCAS com diferentes características de TSM, sendo eles: janeiro de 2005, dezembro de 2017 e março de 2020, buscando-se identificar configurações que pudessem indicar uma relação entre a dinâmica de formação, manutenção, posicionamento e intensidade da precipitação associada à ZCAS e as anomalias de TSM no Atlântico Sudoeste.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA NA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS

Mais de 70% da superfície da Terra é coberta por água, sendo que mares e oceanos correspondem a 97% desse percentual. Assim, é correto afirmar que os oceanos representam uma importante reserva de calor para o sistema climático, devido a sua alta capacidade térmica. Segundo Xue et al. (2000), a interação entre o oceano e a atmosfera pode influenciar processos atmosféricos de mesoescala e de escala sinótica, associados à frontogênese, intensificação de sistemas frontais, geração de nuvens e zonas de precipitação. Porém, mesmo na ausência de perturbações atmosféricas, o gradiente térmico horizontal na superfície do mar modula a profundidade e a estabilidade na CLAM. Assim, a TSM mostra-se fundamental para a compreensão de fenômenos meteorológicos de diversas escalas (PEZZI et al., 2016).

No Atlântico Sudoeste observa-se a Confluência Brasil-Malvinas, caracterizada por contrastes de temperatura e de salinidade do encontro entre as correntes do Brasil e Malvinas (Figura 1). A Corrente do Brasil (CB) é uma corrente oceânica tropical que flui ao longo da costa leste do Brasil, transportando águas quentes e salinas em direção à Argentina. Já a Corrente das Malvinas (CM) flui do estreito de Drake na direção norte, transportando águas subantárticas, mais frias e mais densas (PETERSON; STRAMMA, 1991).

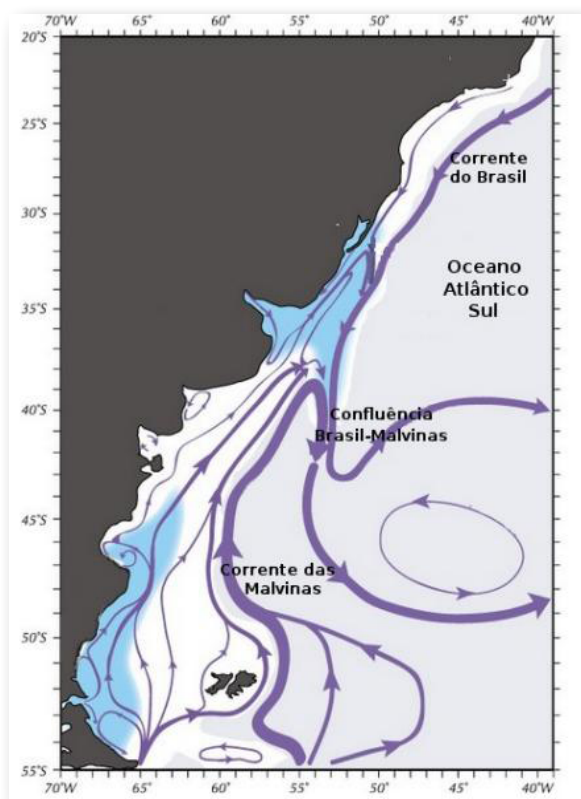


Figura 1- Diagrama esquemático da circulação oceânica no Oceano Atlântico Sudoeste. Fonte: Moura (2017), adaptado de Strub et al. (2015).

Nas proximidades do paralelo 38°S, a CB se encontra com a CM e distancia-se da costa em direção a leste, gerando uma dinâmica dominada por vórtices e meandros de mesoescala que tornam a região uma das mais energéticas dos oceanos (CHELTON et al., 1990). Os contrastes térmico e salino entre as massas de água na CBM geram gradientes de temperatura na atmosfera, afetando a formação de frentes e de ciclones (PEZZI et al., 2016).

Analisando os dados de TSM do Atlântico Sul, Leyba et al. (2019) estudaram os fluxos de calor neste oceano entre os anos de 1982 e 2015 e, entre outros resultados, identificaram uma tendência de aumento da TSM no sudoeste do Atlântico Sul. Eles atribuíram esse aumento da TSM à intensificação e migração para oeste do ASAS

(Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul). O trabalho de Souza e Teixeira (2023), usando 60 anos de dados da reanálise ERA5, também identificou uma tendência de aumento da TSM do Atlântico Sul. Além disso, esse crescimento apresenta tendências distintas antes e depois do ano 2000, sendo maior a partir do ano 2000.

## 2.2 ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL

A ZCAS pode ser definida como uma banda de nebulosidade duradoura orientada no sentido noroeste-sudeste, mantida por uma grande e prolongada zona de convergência de umidade sobre o Brasil. Essa configuração se estende desde a Amazônia até o oceano Atlântico Sudoeste e está associada a fortes precipitações, principalmente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil (ESCOBAR, 2019).

Sabe-se que a ZCAS está relacionada a características observadas em diferentes níveis da atmosfera. Pode-se destacar: Alta da Bolívia (AB) sobre o continente e Vórtice Ciclônico de Altos Níveis sobre o litoral do Nordeste (VCAN-NEB) bem definidos (REBOITA et al., 2010); zona de convergência em baixos níveis (KODAMA, 1992) persistente por ao menos três dias (ESCOBAR, 2019). Além disso, apresenta um significativo gradiente de temperatura potencial equivalente em 850 hPa; na média troposfera, o campo de velocidade vertical ômega ascendente (negativo) aparece praticamente em fase com o fluxo convergente em 850 hPa; e um sistema frontal que favorece a convergência de umidade em baixos níveis, possuindo caráter quase estacionário ao longo da costa (ESCOBAR, 2019). Na Figura 2, é possível observar a influência da configuração da AB e do VCAN-NEB favorecendo a divergência em altos níveis durante a ocorrência de ZCAS em janeiro de 2005.

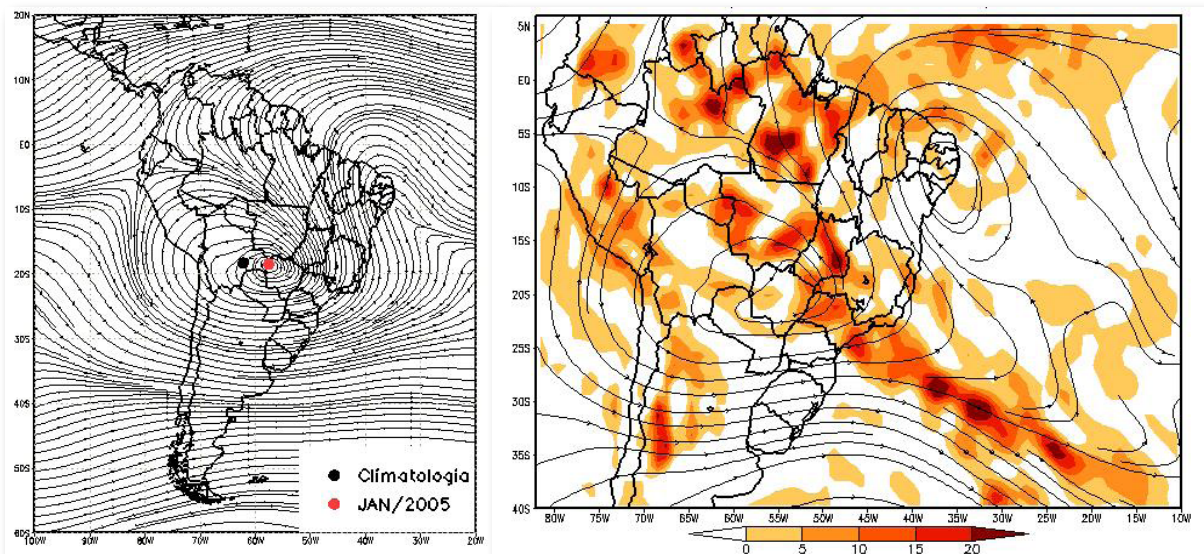


Figura 2- Configuração das linhas de corrente em 200 hPa sendo (A) a média de janeiro de 2005 e (B) a média para o período de 17 a 21 de janeiro de 2005. Em (A), os pontos coloridos indicam a posição climatológica da AB (ponto preto) e a posição média em janeiro de 2005 (ponto vermelho). Em (B), o hachurado representa a divergência. Fonte: Boletim Climanalise do CPTEC/INPE.



Figura 3- Ocorrência de ZCAS em dezembro de 2021. (A) Carta sinótica de superfície do CPTEC e (B) inundações em Itabuna (BA) devido à ZCAS. Fonte: (A) INPE e (B) Reuters.

Barreiro et al. (2002) sugerem que aproximadamente 60% da variabilidade da precipitação associada à ZCAS é explicada pela variabilidade interna da atmosfera, enquanto a TSM estaria relacionada à variabilidade remanescente. Outro resultado importante deste trabalho é a detecção de dois diferentes modos de configuração da ZCAS. O primeiro tem como forçante a anomalia de TSM do Atlântico Sul (também objeto de estudo neste artigo) e o segundo, a anomalia de TSM do Pacífico.

Barcellos e Quadro (2019) analisaram eventos extremos de precipitação na região de ocorrência da ZCAS nos meses de novembro a março entre os anos de 1987

e 2016. Eles identificaram 184 episódios de ZCAS, totalizando 1118 dias. Ou seja, uma média de 38,38 dias/ano de ZCAS. Entretanto, eles também observaram que existem padrões distintos antes e depois de 2004. Entre 1987 e 2003, a média é de 35,06 dias/ano de ZCAS e, de 2004 a 2016, a média aumenta para 43,08 dias/ano. Quadro et al. (2016) identificaram o aumento de dias de ZCAS por ano até 2016, mas não encontraram evidências que expliquem esse aumento.

De acordo com Cataldi et al. (2010), anomalias de TSM na região da CBM intensificam sistemas de baixa pressão transientes naquela região, causando alterações na CLAM e criando condições

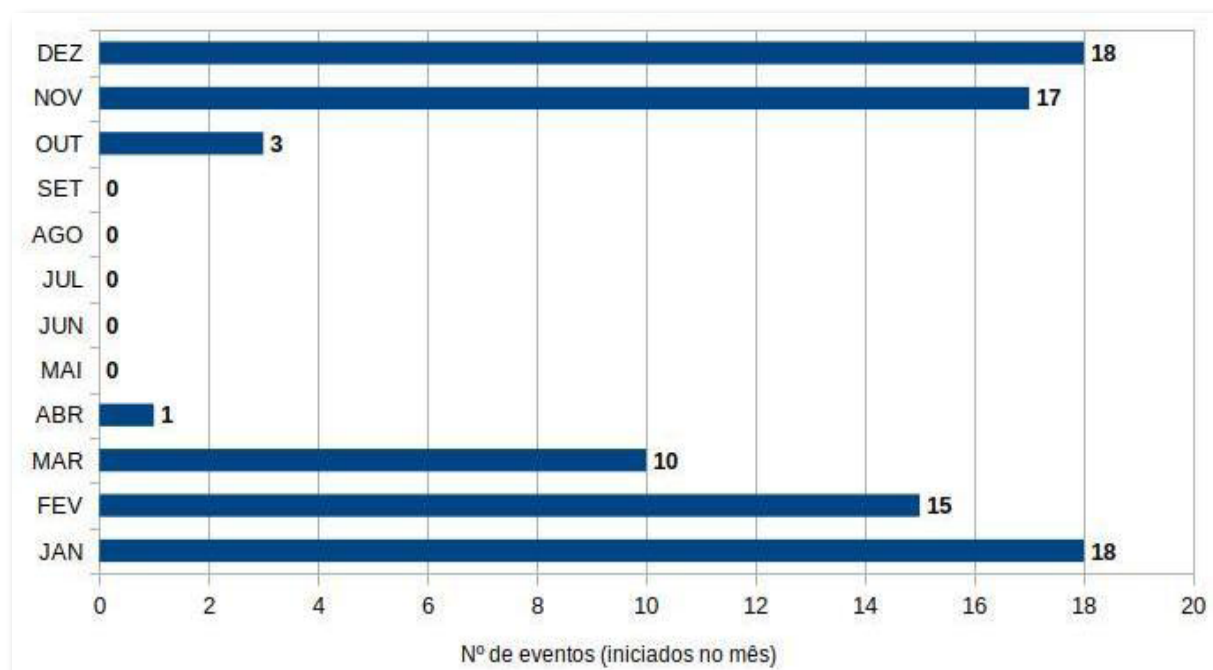
favoráveis para a configuração de ZCAS na região Sudeste do Brasil. Eles propõem que maior convergência e aumento do movimento vertical ascendente na região da CBM causam anomalia de ar descendente sobre a região Sul do Brasil, favorecendo a estiagem no local. Por sua vez, esse padrão causa também anomalia de movimento ascendente na região Sudeste, com a configuração de um cavado sobre o estado do Rio de Janeiro. Essa perturbação observada na região Sudeste, devido a anomalias de TSM na CBM, sugere que diferentes condições de TSM na Confluência possam, remotamente, também modificar a posição da ZCAS.

Um levantamento realizado pelo Serviço Meteorológico Marinho (SMM) contabilizou os eventos de ZCAS de 2010 até janeiro de 2023. No período levantado, os meses de maior frequência de ZCAS foram dezembro e janeiro, com dezoito ocorrências cada um, seguidos dos meses de novembro e fevereiro, com dezessete e quinze eventos, respectivamente. O mês de março apresentou

um número de eventos bem inferior aos anteriores, com dez casos contabilizados (Figura 4A).

Observando a frequência anual de eventos (Figura 4B), percebe-se que os anos de 2018 e 2021 foram aqueles que apresentaram o maior número de ocorrências, com nove episódios. Com base no acompanhamento do SMM, a média anual é de aproximadamente seis eventos por ano.

Até o ano de 2022, foram oito anos com total de eventos igual ou inferior à média e cinco anos com número de eventos superior à média. Os anos 2017 e 2020, que representam dois dos três casos analisados neste trabalho, tiveram oito eventos, dois acima da média. O terceiro caso estudado é o ano de 2005, que não fez parte do levantamento do SMM, mas que totalizou nove eventos de acordo com dados levantados pelo CPTEC/INPE. Destaca-se, ainda, que o período chuvoso (outubro a março) de 2017-2018 foi o mais ativo em termos de ocorrências de ZCAS, com onze episódios contabilizados (Figura 4C).



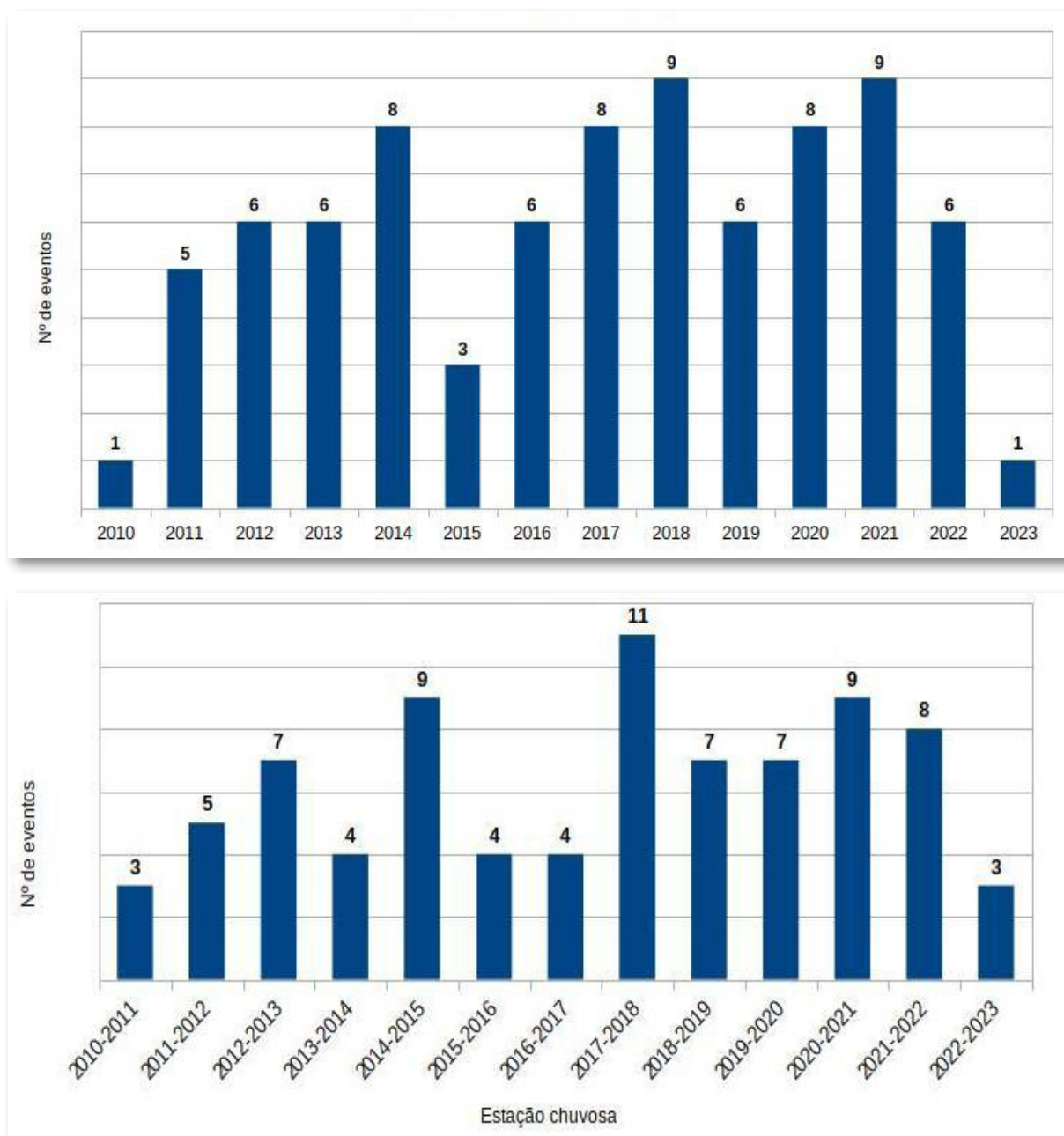


Figura 4- Compilação de eventos de ZCAS de 2010 a 2023 Fonte: Relatório interno do SMM/CHM. Imagens cedidas pelo SMM.

### 3. DADOS E METODOLOGIA

Neste trabalho, foi utilizada a base de dados ERA5 (C3S, 2017 e HERSBACH et al., 2023), quinta geração de reanálises atmosféricas do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Foram extraídos dados diários, com intervalos de seis horas, de 1991 a 2020, para construção de médias climatológicas, anomalias, bem como para descrição e análise dos eventos selecionados de ZCAS. Foram utilizados dados das componentes meridional e zonal do vento, altura geopotencial, movimento vertical (ômega) e umidade específica em diferentes níveis de pressão, além de dados de precipitação e TSM. O processamento destes dados, a elaboração de séries temporais, campos horizontais e cortes verticais foram realizados por meio do Grid Analysis and Display System (GrADS), software gratuito que permite a visualização e manipulação de dados em grade, bem como a realização de análises estatísticas e de cálculo de tendências.

Em conjunto com as reanálises, foram utilizadas imagens de satélite e relatórios de análises do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), do CPTEC e do INMET para caracterização e descrição dos episódios de ZCAS.

Os três eventos de ZCAS escolhidos para análise apresentaram diferentes configurações de TSM no Atlântico Sul e ocorreram em anos com um total de eventos anuais acima da média. São eles: janeiro de 2005, dezembro de 2017 e março de 2020. Esses casos foram analisados em busca de padrões que estabelecessem alguma relação entre as características da ZCAS e as anomalias de TSM do Atlântico Sudoeste.

Para avaliar as variações de TSM no Atlântico Sudoeste, foi elaborada uma série temporal com valores médios desta variável na área entre as latitudes 35°S-45°S e longitudes 050°W-060°W dos 30 anos considerados. Após o cálculo da TSM média na área da CBM, foi obtida a média móvel de 36 meses e sua anomalia, com a intenção de identificar as tendências interanuais desta variável. A série temporal da média móvel de 36 meses da anomalia da TSM está representada na Figura 5.

Com base na Figura 5, nota-se uma tendência de ascensão nos valores de anomalia de TSM entre 1995 e 2019. Até 2005, a anomalia de TSM é negativa por quase todo o período. Entretanto, de 1995 até 2006, é visível a tendência de crescimento das anomalias, conforme representada pela linha azul. O ano de 2017 encontra-se num contexto de elevação da TSM, conforme representado em amarelo, com temperaturas acima da média. O ano de 2020 possui anomalias positivas, entretanto, em um período que indica tendência de queda da TSM.

Uma observação relevante é que a série temporal com as anomalias da TSM do Atlântico Sudoeste apresenta uma tendência de aumento a partir do final da década de 90. É interessante lembrar que Barcelos e Quadro (2019) identificaram o aumento do número de dias/ano com eventos de ZCAS também a partir do início dos anos 2000.

De fato, para estabelecer uma relação direta entre aumento de dias de ZCAS e crescimento da anomalia de TSM do Atlântico Sudoeste são necessárias evidências mais robustas. Porém, outros estudos, como Venegas et al. (1997) e Bombardi et al. (2014), já indicaram a existência de interligações entre a TSM do Atlântico Sudoeste e ZCAS.

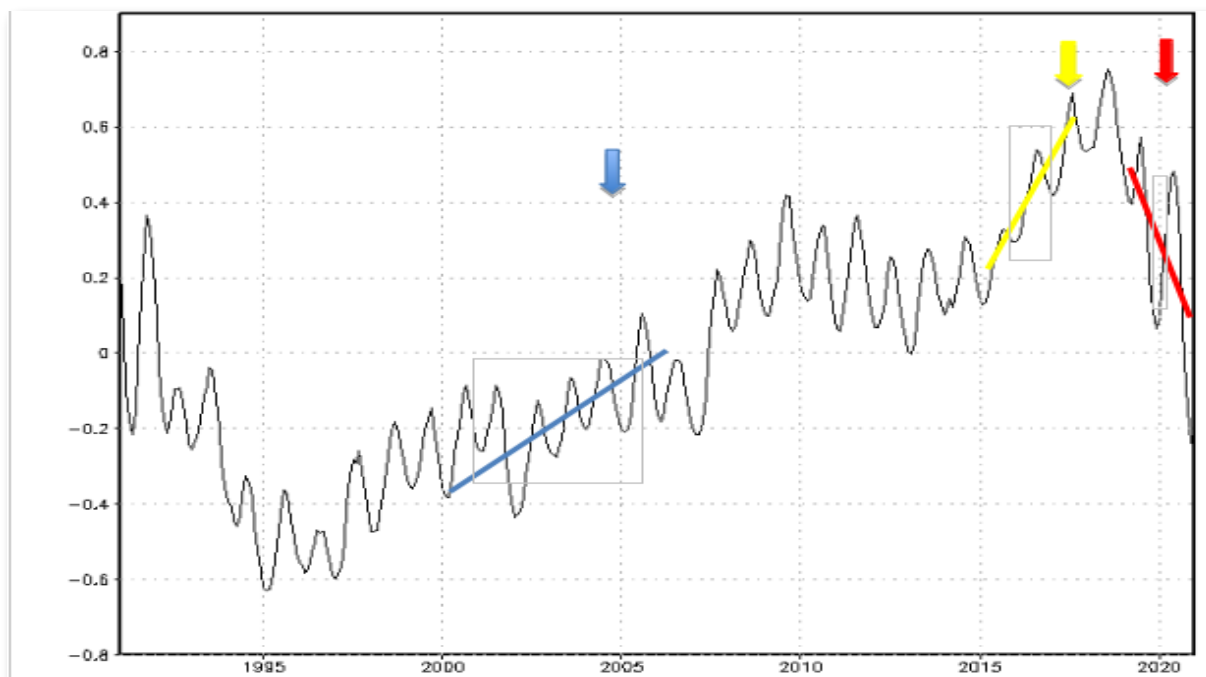


Figura 5- Série Temporal da média da anomalia de TSM entre as latitudes 35°S-45°S e longitudes 050°W-060°W entre 1991 e 2020. Fonte: Elaboração própria a partir de dados do ECMWF.

## 4. DESCRIÇÃO DOS EVENTOS

A definição dos três eventos estudados levou em consideração a série temporal da média da TSM no Atlântico Sudoeste que, conforme Leyba et al. (2019) e Souza e Teixeira (2023), apresenta tendência de crescimento a partir do final do século XX. Assim, todos os casos estudados são posteriores ao ano 2000.

O primeiro ano selecionado foi 2005, que está no início da série temporal com tendência de crescimento da anomalia de TSM (Figura 5). Os outros dois anos são 2017, em que se observa o valor máximo da média de TSM, e 2020, em que a tendência desta variável parece inverter/estabilizar.

### 4.1 Período entre 17 e 22 de janeiro de 2005

O primeiro episódio de ZCAS analisado ocorreu entre os dias 17 e 22 de janeiro de 2005 e esteve associado a uma frente fria sobre o oceano na região Sudeste do Brasil. Na Figura 6A, está representada a média de linhas de corrente em 200 hPa para os cinco dias do evento de ZCAS. Observou-se a AB bem configurada sobre o Mato Grosso do Sul e o VCAN sobre a região Nordeste do Brasil. A divergência em altitude provocada pela AB e pelo VCAN favoreceu o alinhamento do escoamento de noroeste para sudeste e a convergência de umidade, ambos em 850 hPa, caracterizando o Jato de Baixos Níveis (JBN) e ajudando a manter a convecção úmida sobre o Centro-Oeste, Sudeste e Norte do Brasil.

O retângulo vermelho na Figura 6B destaca a região de convergência de umidade em baixos níveis associada ao evento de ZCAS. Na figura, identifica-se a orientação noroeste-sudeste do escoamento a partir da região Norte do Brasil até o sudoeste do Atlântico, atravessando grande parte da região Sudeste do País. No início do evento, a convergência de massa e umidade na região da ZCAS ocorreu em sua posição climatológica sobre a região Sudeste do Brasil (CARVALHO et al., 2002).

Na área destaca na Figura 6C, observa-se um cavado continental sobre a região Sul

do Brasil no campo de altura geopotencial e o movimento vertical ascendente em 500 hPa durante os dias do evento. Analisando a figura, nota-se que as linhas de fluxo com orientação noroeste-sudeste estão praticamente em fase com o movimento vertical em 500 hPa. A associação de fenômenos meteorológicos em todos os níveis, como o cavado na média troposfera, a divergência em altitude e a intensificação da convergência de massa e umidade em baixos níveis desde a Amazônia até o oceano, deram suporte ao evento de ZCAS. Na Figura 6D, observa-se o efeito da configuração atmosférica sobre a formação da nebulosidade associada ao evento.

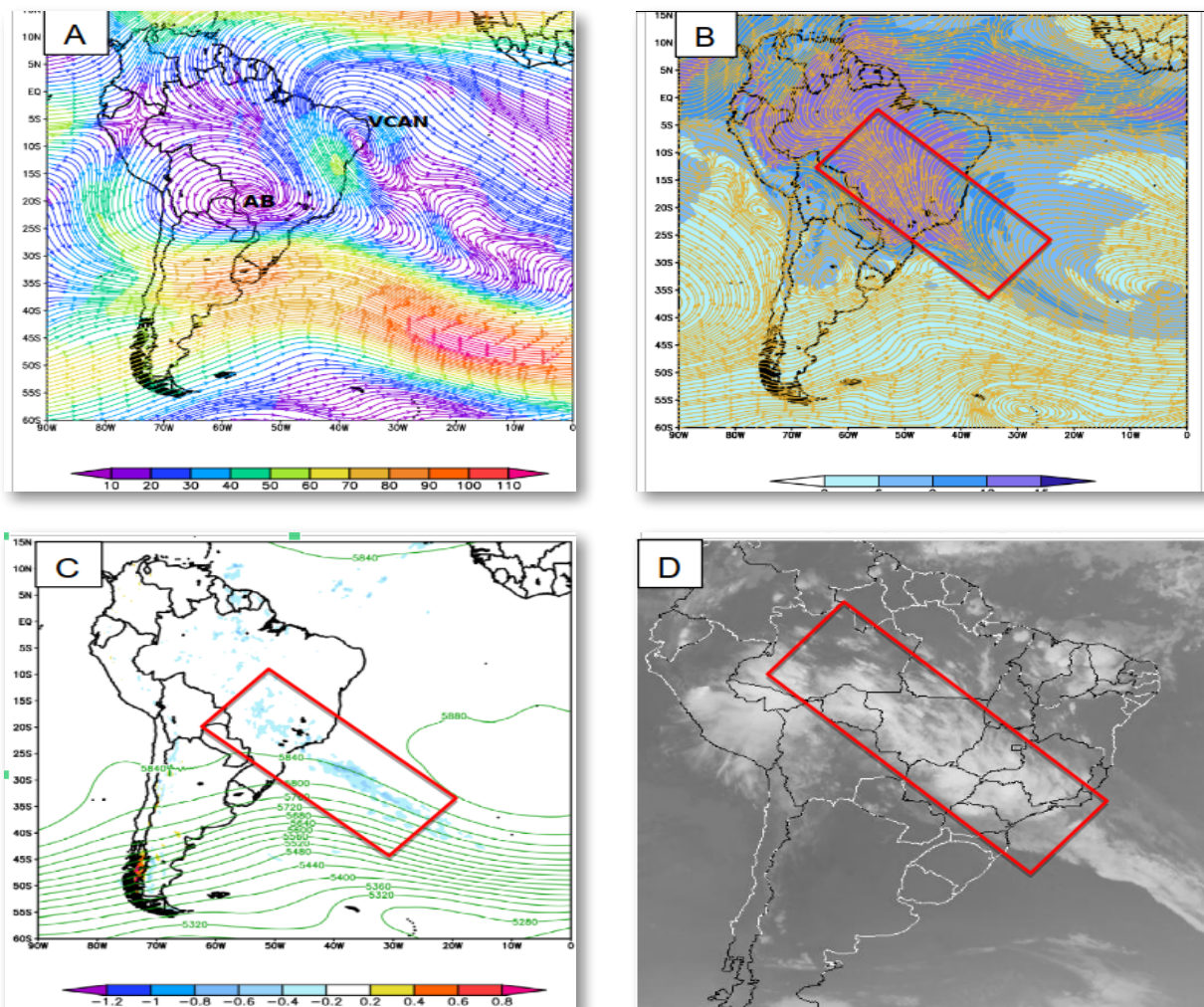


Figura 6- Valores médios entre os dias 17 e 22 de janeiro de 2005: (A) Linhas de corrente e intensidade do vento em nós (cores) em 200 hPa, sinalizados a AB e o VCAN; (B) Linhas de corrente e umidade específica em g/kg (hachurado colorido) no nível de 850 hPa; (C) Altura geopotencial (m) e velocidade vertical ômega (hPa/s) em 500 hPa; e (D) Imagem de satélite Goes-12 correspondente às 0000Z do dia 17 de janeiro de 2005. Fonte: elaboração própria a partir de dados do ECMWF e (D) CPTEC/INPE.



O evento de janeiro de 2005 teve duração de cinco dias e, segundo o Boletim Climanálise do CPTEC, os acumulados de precipitação (dados observados nas estações meteorológicas do INMET) excederam os 125

mm no Estado de São Paulo, no noroeste do Paraná e no sudeste de Minas Gerais. A Figura 7 apresenta o total de precipitação entre os dias 17 e 22 de janeiro, obtido a partir dos dados de reanálise ERA5.

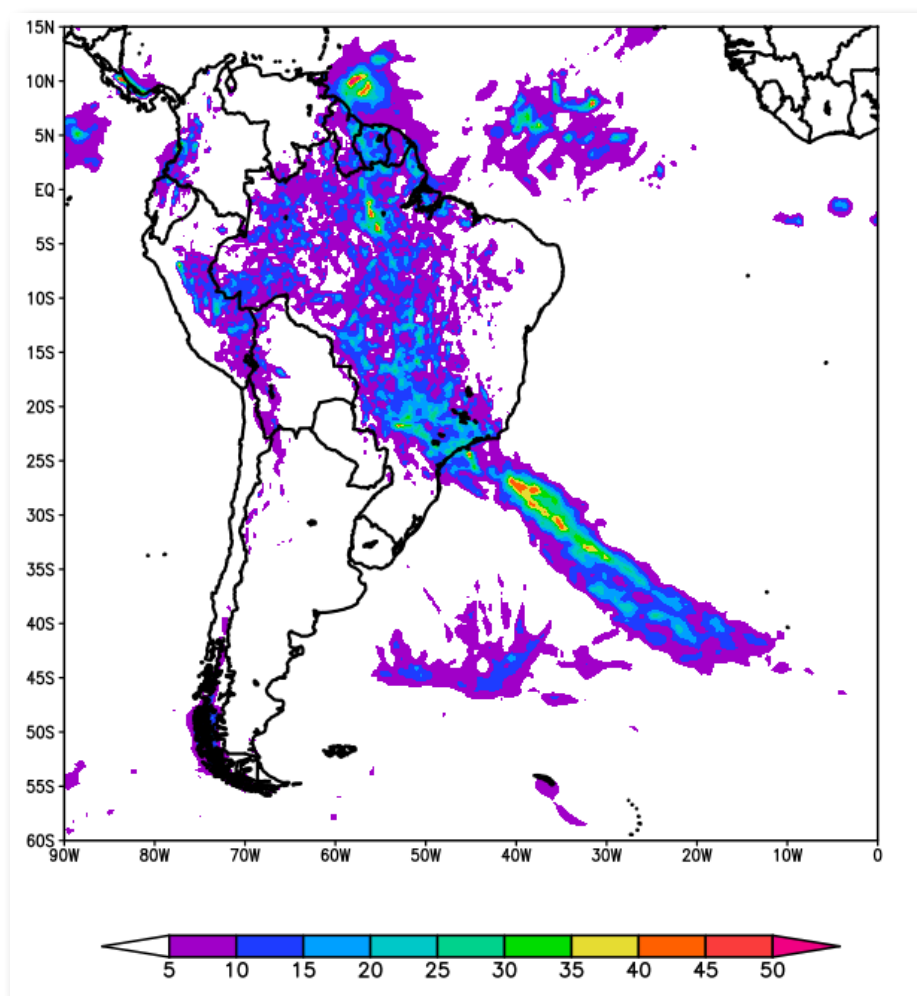


Figura 7- Precipitação total (mm/dia) para o período entre 17 e 22 de janeiro. Fonte: elaboração própria a partir de dados do ECMWF.

De acordo com a Figura 8A, no dia 10 de janeiro de 2005, uma semana antes do episódio de ZCAS, há uma extensa área do Atlântico Sudoeste com anomalia positiva da TSM (área destacada em azul representa a região da CBM). Esse aquecimento das águas na região da CBM

se manteve nos dias que antecederam o episódio, como se observa no dia 14 (Figura 8C) e no dia 17 (Figura 8D), dia da configuração da ZCAS. Ou seja, o primeiro evento de ZCAS analisado está inserido num contexto de TSM acima da média na região da CBM.

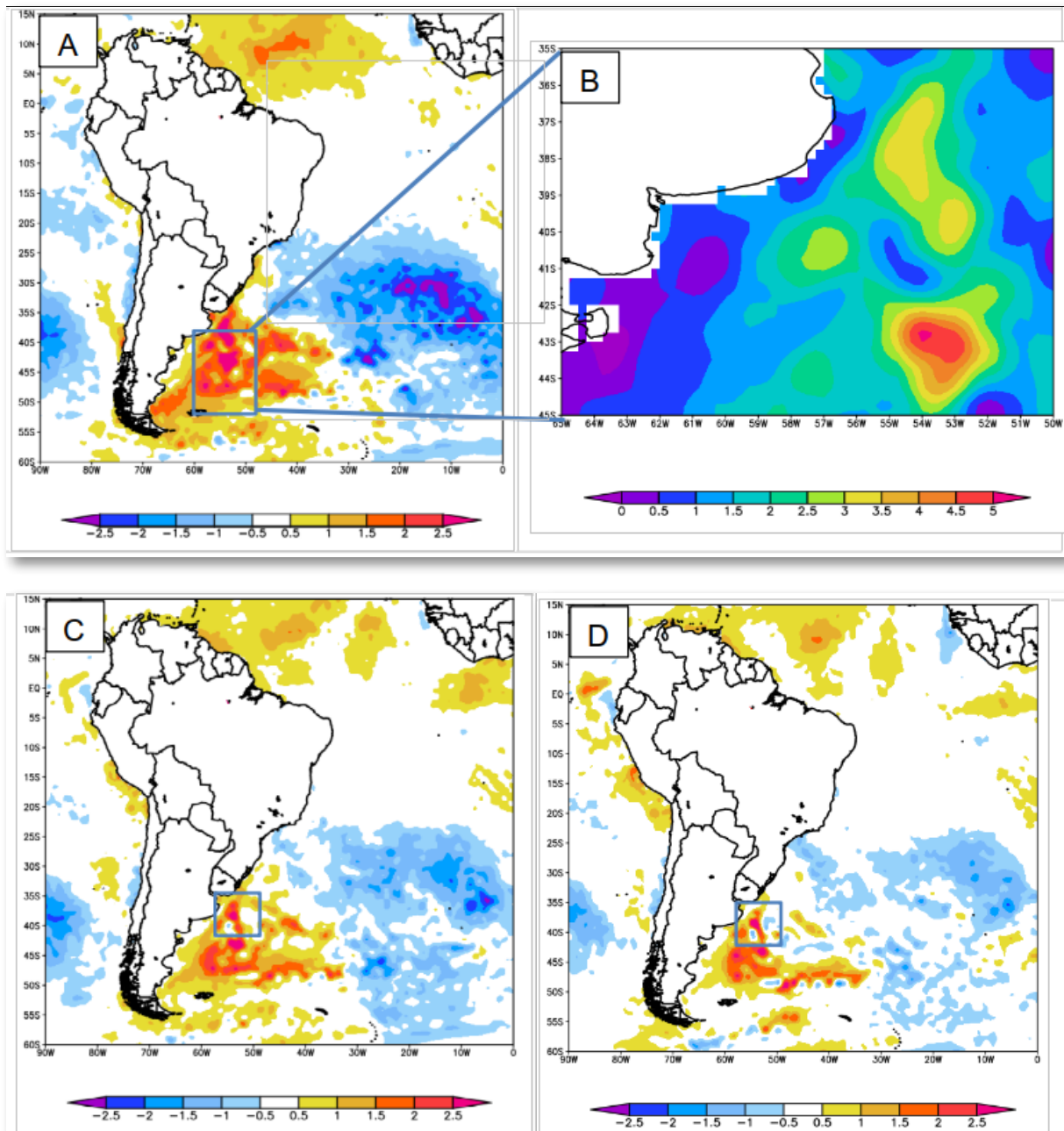


Figura 8- Anomalias da TSM em °C para o dia 10 (A); Anomalias da TSM no dia 10 para a região entre as latitudes 35°S-45°S e as longitudes 50°W-65°W, nas proximidades da CBM (B); Anomalias da TSM para os dias 14 (C) e 17 de janeiro de 2005 (D).

Nas Figuras 9A e 9B, estão destacadas em vermelho as regiões próximas à costa brasileira cuja TSM diminuiu durante o episódio de ZCAS. No último dia de ZCAS (Figuras 9C e 9D), ainda é possível notar anomalias positivas na região da CBM, o que favorece a

convecção sobre o oceano e a reduz sobre o continente. Em complemento, o aquecimento no sul do Atlântico Sudoeste e o resfriamento na região do ASAS pode aumentar o gradiente de temperatura entre as regiões subtropical e extratropical e influenciar a corrente de jato.

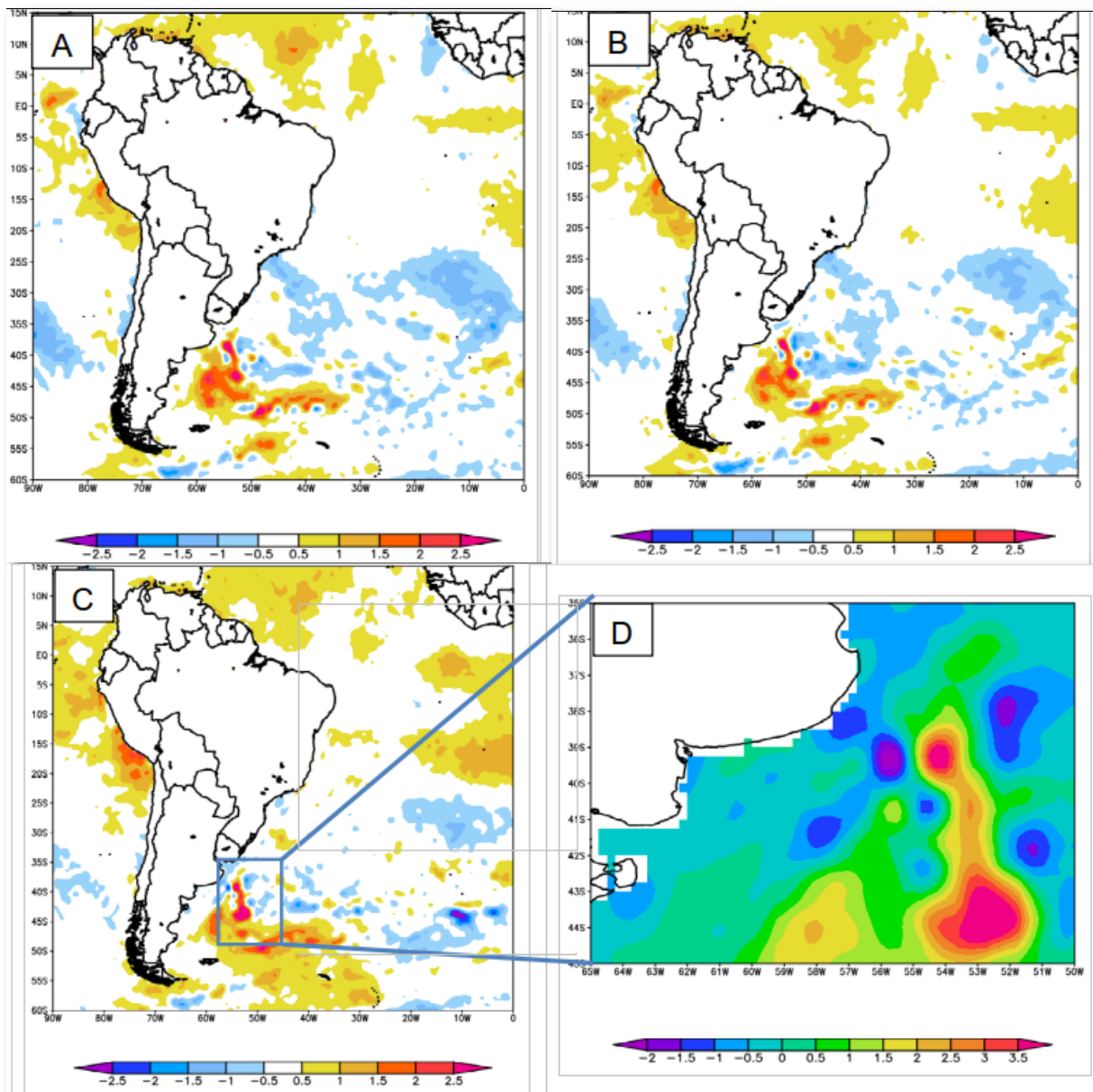


Figura 9- Anomalias da TSM em °C para os dias 18 (A), 19 (B) e 22 de janeiro de 2005 (C); e Anomalias da TSM em °C no dia 22 para a região entre 35°S-45°S e 50°W-65°W, nas proximidades da CBM (D). Fonte: elaboração própria a partir de dados do ECMWF.

## 4.2 Período entre 8 e 16 de dezembro de 2017

O segundo episódio de ZCAS analisado ocorreu entre os dias 8 e 16 de dezembro de 2017 e esteve associado com a atuação de um cavado sobre o oceano ao norte da região Sudeste do Brasil, que deu suporte dinâmico à convergência de

massa em baixos níveis. É possível observar na média de linhas de corrente em 200 hPa para os dias deste evento de ZCAS a AB configurada sobre o Estado do Mato Grosso e o VCAN presente a leste da região Nordeste do País (Figura 10A).

A divergência em altitude provocada pela atuação da AB e do VCAN na costa leste do Nordeste favoreceram o alinhamento noroeste-sudeste em baixos níveis, intensificando o escoamento associado ao JBN e aumentando a convergência em baixos níveis. Na Figura 10B, além das linhas de corrente na baixa troposfera, pode-se identificar os altos valores de umidade específica desde a região Amazônica até o litoral da Região Sudeste do Brasil.

Durante os dias do evento de ZCAS, observa-se um cavado no campo de altura geopotencial em 500 hPa sobre a região continental e oceânica, aproximadamente na altura do Estado do Espírito Santo. Já o campo de velocidade vertical ômega, também em 500 hPa (Figura 10C), indica ascensão de massa em duas porções: a primeira praticamente em fase com o fluxo

convergente, com alinhamento noroeste-sudeste desde o Centro-Oeste até o litoral sul da Bahia, e a segunda mais a leste sobre o Oceano Atlântico. A associação entre o cavado e o movimento ascendente em 500 hPa, assim como a convergência de umidade associada à ZCAS em baixos níveis posicionaram-se a norte de suas posições climatológicas, isto é, mais a norte da região Sudeste.

O caráter estacionário do cavado em 500 hPa foi um fator importante para a intensificação da convergência de umidade ao norte do Espírito Santo. Associado às demais características meteorológicas já citadas, a ZCAS se configurou com uma banda de nebulosidade presente sobre as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Nordeste do País, destacada na área do retângulo vermelho na Figura 10D.

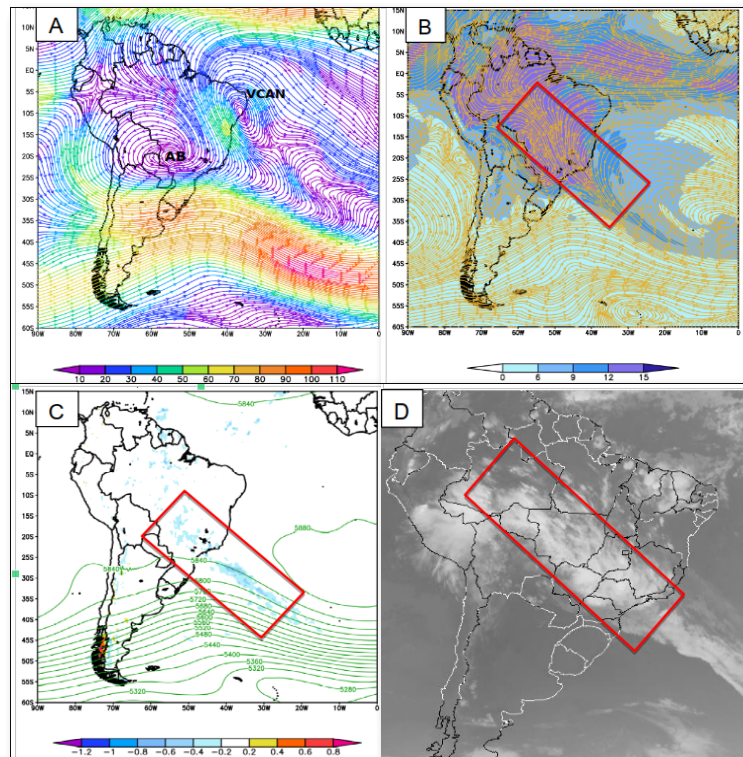


Figura 10- Valores médios entre os dias 8 e 16 de dezembro de 2017: (A) Linhas de corrente e intensidade do vento em nós (cores) em 200 hPa, sinalizados a AB e o VCAN; (B) Linhas de corrente e umidade específica em g/kg (hachurado colorido) no nível de 850 hPa; (C) Altura geopotencial (m) e velocidade vertical ômega (hPa/s) em 500 hPa; e (D) Imagem de satélite Goes-13 às 0000Z do dia 8 de dezembro de 2017. Fonte: elaboração própria a partir de dados do ECMWF e (D) CPTEC/INPE.

Fonte: CHM e CPTEC/INPE.



As áreas de instabilidades associadas à ZCAS alinhadas a um cavado atmosférico deram início a uma ciclogênese subtropical na manhã do dia 09. De acordo com o Relatório Pós-Evento do SMM, do CHM, o ciclone foi classificado como Tempestade Subtropical (TS) devido aos ventos com intensidade superiores a 33 nós e nomeado como “Guará”, conforme preconizado na publicação NORMAM-701/DHN.

O episódio de ZCAS teve duração de nove dias e, segundo dados das estações do INMET, os totais acumulados de chuva excederam os 120 mm na cidade de Linhares-ES e 142,8 mm na cidade de Itapaci-GO, sendo observados os maiores índices de precipitação no norte das regiões Centro-Oeste e Sudeste. Utilizando os dados de reanálise ERA5, a Figura 11 representa o total de precipitação entre os dias 8 e 16 de dezembro. Nela, observa-se a precipitação associada à ZCAS desde a região Norte, passando pela Centro-Oeste e norte da região Sudeste, atipicamente alcançando o Estado da Bahia.

Cabe citar que nos meses de novembro e dezembro de 2017 ocorreram

cinco episódios de ZCAS, entre os dias 11 e 15 de novembro, 19 e 20 de novembro, 1º e 3 de dezembro, 8 e 16 de dezembro e do dia 30 de dezembro ao início de 2018.

A sucessão de episódios de ZCAS gerou um extenso período chuvoso na primavera/verão de 2017/2018. Iniciando a análise das condições de TSM pela Figura 12A, no dia 1º de dezembro de 2017, uma semana antes do episódio de ZCAS, nota-se na região da CBM um intenso gradiente de anomalia da TSM (área destacada em azul representa a região da CBM). Na costa da Argentina e do Uruguai, observa-se águas mais frias do que a média também no dia 1º de dezembro. Esse resfriamento das águas na costa argentina e uruguaia vai diminuindo com o passar dos dias, contudo, o gradiente de anomalias na região da CBM permanece ao longo dos dias que antecedem o episódio de ZCAS, como se observa no dia 04 (Figura 12C) e no dia 08 (Figura 12D), dia da configuração da ZCAS. Ou seja, o segundo evento analisado está inserido num contexto de forte gradiente de anomalia de TSM na região da CBM nos dias que precederam o início da ZCAS.

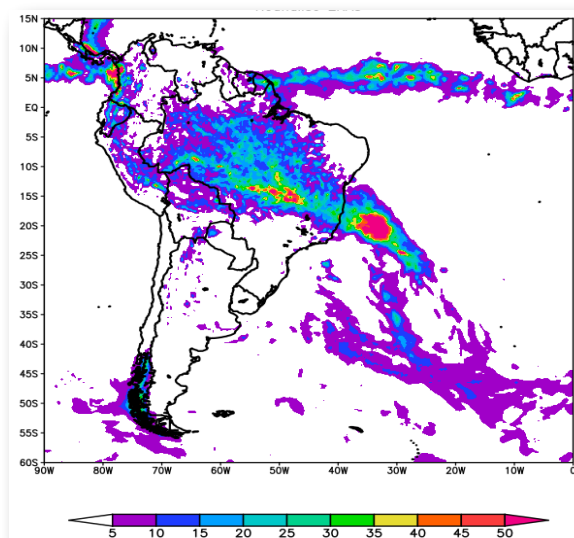


Figura 11- Precipitação total (mm/dia) para o período entre 8 e 16 de dezembro. Fonte: elaboração própria a partir de dados do ECMWF.

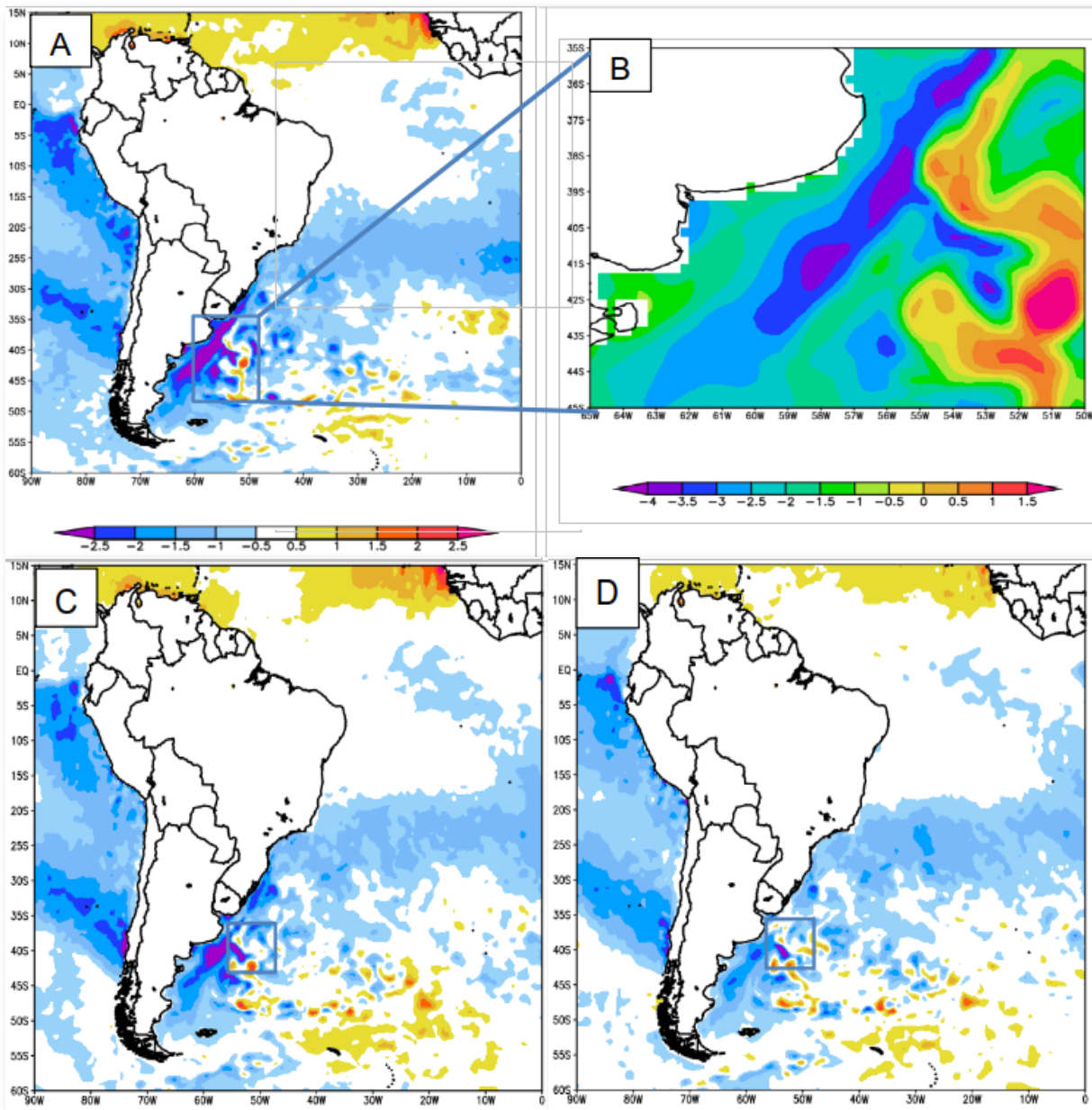


Figura 12- Anomalias da TSM em °C para o dia (A) 1º de dezembro; (B) Anomalias da TSM no dia 1º para a região entre as latitudes 35°S-45°S e as longitudes 50°W-65°W, nas proximidades da CBM; Anomalias da TSM em °C para os dias (C) 04 e (D) 08 de dezembro de 2017. Fonte: elaboração própria a partir de dados do ECMWF.

Nos dias que antecedem a formação deste episódio de ZCAS e logo no início do evento, percebe-se águas mais frias do que a média em toda porção central do Atlântico

Sul. Este resfriamento anômalo das águas pode estar relacionado à nebulosidade da sequência de configurações de ZCAS entre novembro e dezembro de 2017. No dia 11 de



dezembro (Figura 13A), percebe-se na área destacada em vermelho que o resfriamento anômalo das águas se estende até a costa do Nordeste devido à formação da ZCAS mais ao norte que a posição climatológica neste episódio. Ainda no dia 11, observa-se que o gradiente da anomalia de TSM ainda é considerável na região da CBM.

No último dia de atuação da ZCAS (Figuras 13B e 13C), ainda existem anomalias positivas e negativas na região da CBM, porém

o gradiente das anomalias fica mais atenuado se comparado aos dias iniciais. A atenuação da anomalia negativa de TSM pode estar relacionada com o efeito da subsidência de ar na retaguarda da ZCAS. Possivelmente por isso, no último dia de atuação da ZCAS, há o aumento de áreas do Atlântico Sudoeste com anomalias positivas. Além disso, ainda no dia 16 de dezembro, nota-se uma região de anomalia positiva na foz do Rio da Prata.

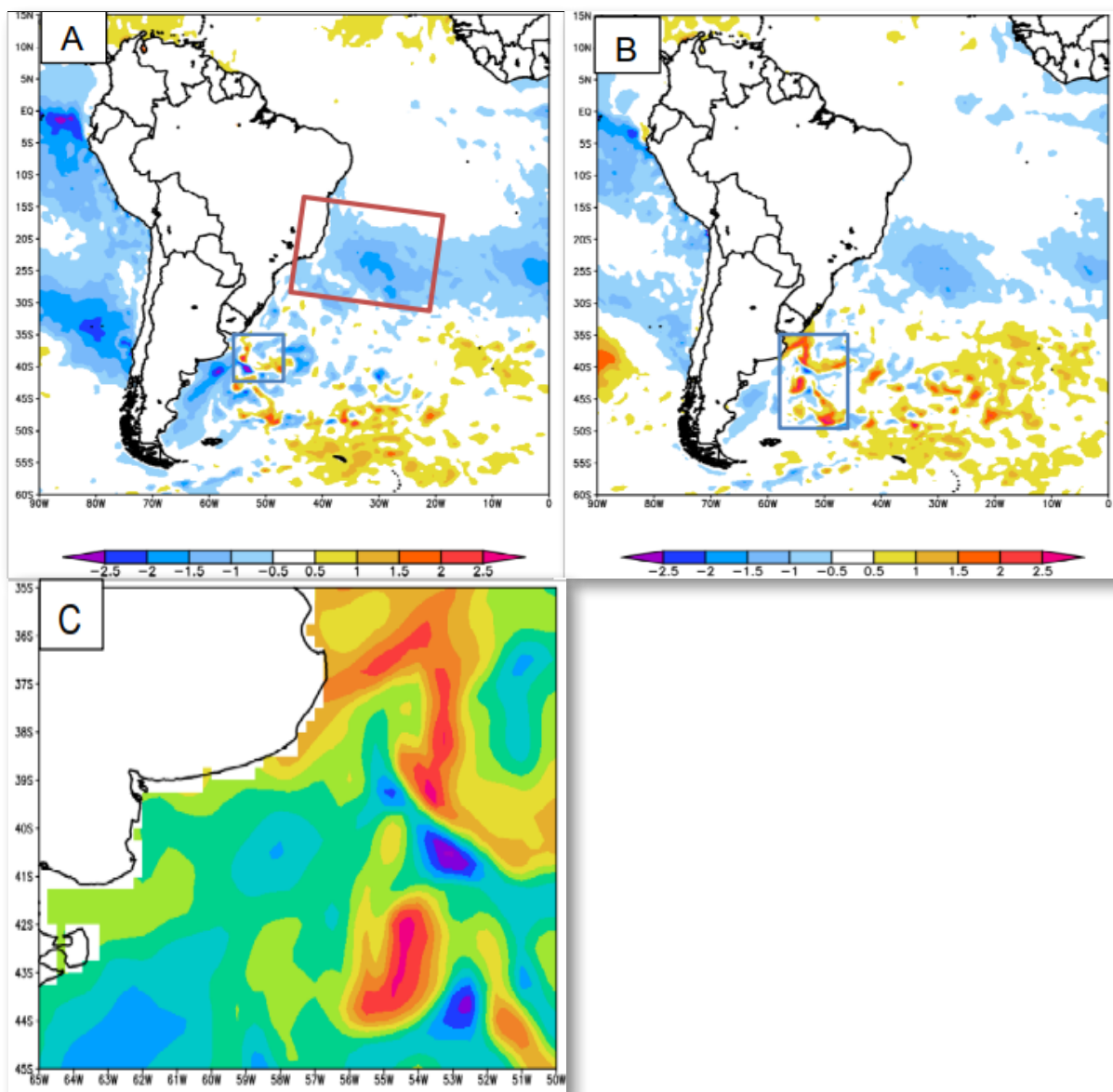


Figura 13- Anomalias da TSM para os dias (A) 11 e (B) 16 de dezembro de 2017; (C) Anomalias da TSM em °C no dia 16 para a região entre as latitudes 35°S-45°S e as longitudes 50°W-65°W, nas proximidades da CBM. Fonte: elaboração própria a partir de dados do ECMWF.

### 4.3 Período entre 28 de fevereiro e 9 de março de 2020.

O terceiro episódio de ZCAS analisado ocorreu entre os dias 28 de fevereiro e 9 de março de 2020 e esteve associado com a atuação de uma frente fria sobre o oceano na região Sudeste do Brasil. Na Figura 14A, que representa as características médias dos dias de ZCAS deste episódio, observa-se em 200 hPa a AB bem configurada sobre a região amazônica e o VCAN configurado a leste da região Nordeste.

Na Figura 14B, nota-se que a divergência em altitude causada pela AB e pelo VCAN induz um alinhamento do escoamento em 850 hPa da região Norte do Brasil até o Sudeste, numa orientação norte-sul na região Norte e noroeste-sudeste sobre o Centro-Oeste e norte-sul

até o Sudeste (em destaque no retângulo vermelho). A combinação da divergência em altitude com o escoamento da baixa troposfera favoreceu a convergência em baixos níveis, dando suporte de umidade para o estabelecimento da ZCAS sobre a região sudeste do Brasil.

Observa-se, na Figura 14C, um cavado no campo de altura geopotencial em 500 hPa, sobre o centro-sul do Brasil. Na mesma figura, está representado o movimento vertical na média troposfera, onde ocorrem movimentos ascendentes ao longo do eixo do cavado em 500 hPa em fase com o escoamento de 850 hPa.

Na Figura 14D, nota-se a nebulosidade estendendo-se desde o oeste da região Amazônica até o oceano próximo da costa do Espírito Santo e no sul da Bahia, como resultado da configuração da ZCAS.

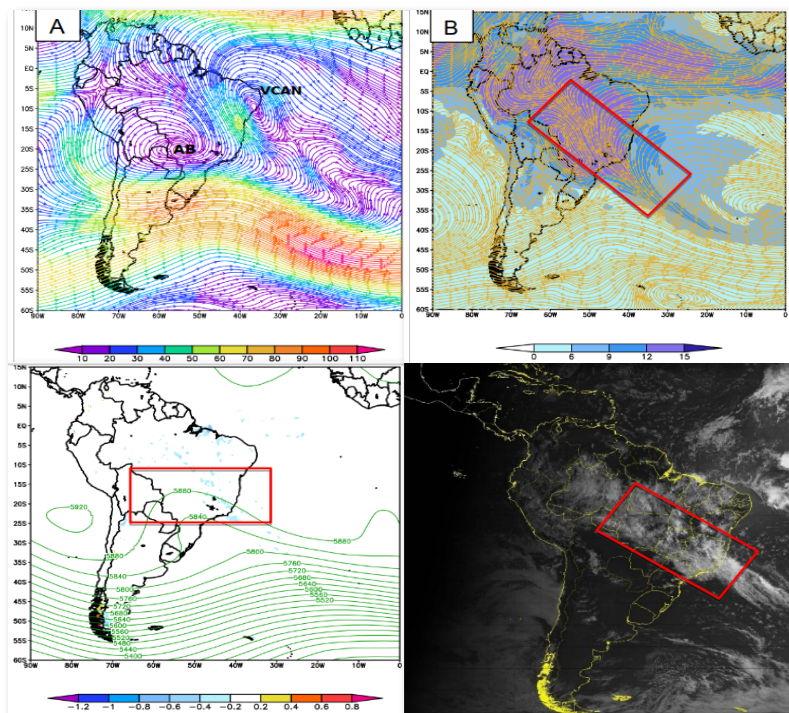


Figura 14- Valores médios entre os dias 28 de fevereiro e 9 de março de 2020: (A) Linhas de corrente e intensidade do vento em nós (cores) em 200 hPa, sinalizados a AB e o VCAN; (B) Linhas de corrente e umidade específica em g/kg (hachurado colorido) no nível de 850 hPa; (C) Altura geopotencial (m) e velocidade vertical ômega (hPa/s) em 500 hPa e (D) Imagem de satélite Goes-13 correspondente às 1200Z do dia 28 de fevereiro de 2020. Fonte: elaboração própria a partir de dados do ECMWF e (D) CPTEC/INPE.



O evento analisado teve duração de dez dias e, segundo as estações do INMET, os totais de precipitação excederam os 157 mm na cidade de Vitória-ES e 187 mm na cidade de Manhuaçu-MG. Utilizando os dados de reanálise ERA5, a Figura 15 representa o total

de precipitação para o período entre os dias 28 de fevereiro e 9 de março. Observa-se que o campo de precipitação se estendeu desde a região Norte, passando pela Centro-Oeste e norte da Região Sudeste, alcançando o estado da Bahia.

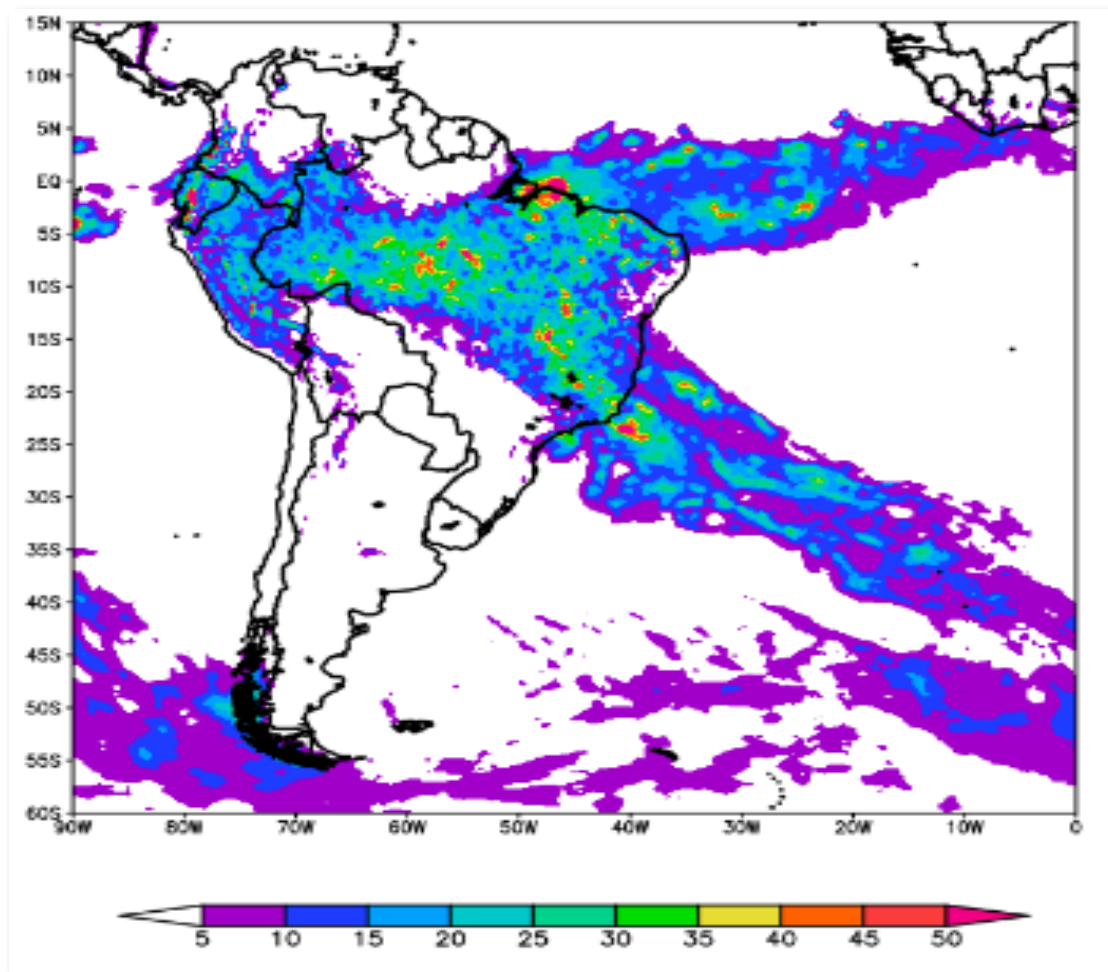


Figura 15- Precipitação total (mm/dia) para o período entre 28 de fevereiro e 9 de março. Fonte: elaboração própria a partir de dados do ECMWF.

Analisando a Figura 16A, referente ao dia 21 de fevereiro de 2020, uma semana antes do início do terceiro episódio de ZCAS, nota-se que um intenso gradiente de anomalia da TSM na região da CBM (área destacada em azul). Os valores máximos de anomalia positiva e negativa foram de +2,5°C e -4°C respectivamente (Figura 16B). Este gradiente significativo da anomalia de

TSM na região da CBM se manteve nos dias que antecederam o episódio de ZCAS, como se observa no dia 25 (Figura 16C) e no dia 28 (Figura 16D), quando teve início o evento. Assim, é possível afirmar que o terceiro caso analisado está inserido num contexto semelhante ao segundo no que diz respeito à disposição espacial das anomalias na região da CBM, nos dias que antecederam o início do episódio.

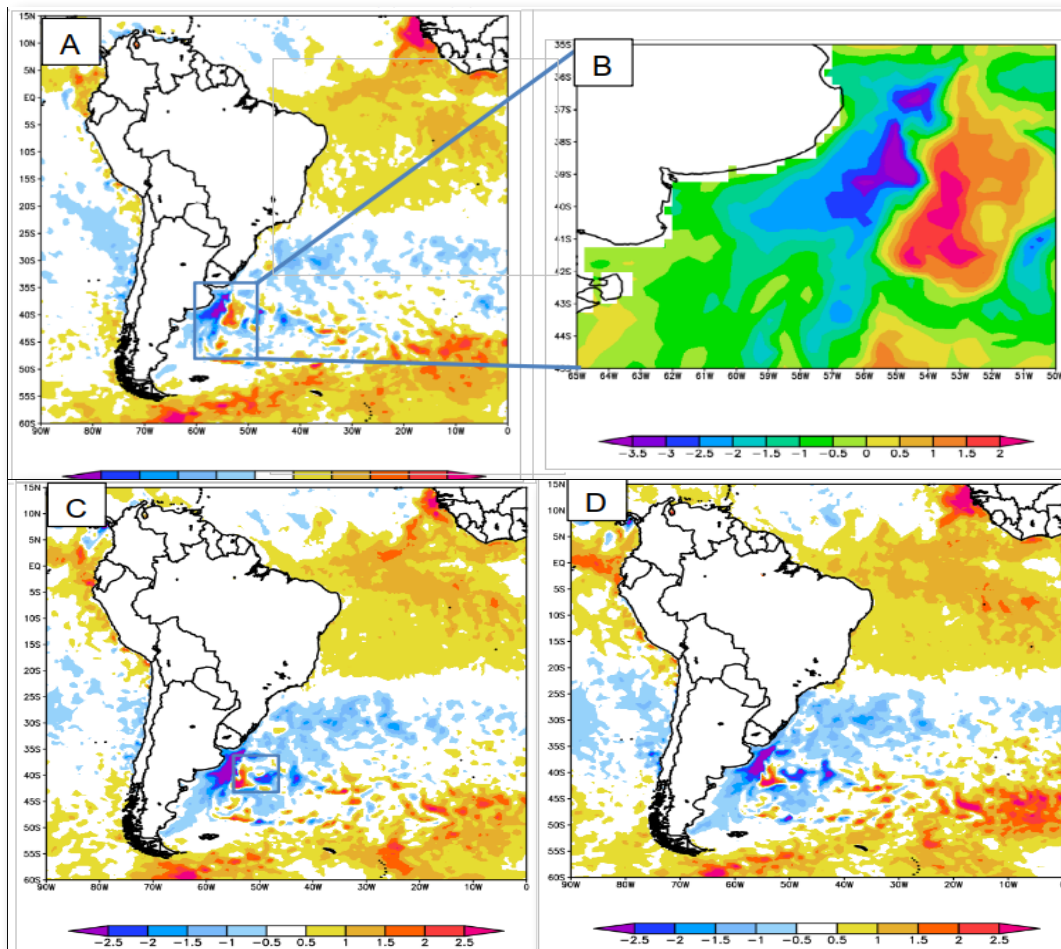


Figura 16- Anomalias da TSM em °C para o dia (A) 21 de fevereiro; (B) Anomalias da TSM no dia 21 para a região entre as latitudes 35°S-45°S e as longitudes 50°W-65°W, nas proximidades da CBM; Anomalias da TSM para os dias (C) 25 e (D) 28 de fevereiro de 2020. Fonte: elaboração própria a partir de dados do ECMWF.

Antes do início do evento e nos primeiros dias de ZCAS (Figura 16A), é possível notar águas mais frias do que o normal em toda porção central do Oceano Atlântico Sul e mais quentes do que a média na porção norte deste oceano. O resfriamento anômalo das águas na porção central se intensifica com o passar dos dias durante a ocorrência da ZCAS, possivelmente em virtude da nebulosidade associada ao evento. No dia 5 de março (Figura 17A), na área destacada em vermelho, nota-se o resfriamento anômalo das águas na costa da região Sudeste do Brasil. Neste mesmo dia, ainda é possível observar o gradiente de TSM na região da CBM, contudo ocorre enfraquecimento da

anomalia negativa na costa da Argentina.

No último dia de ZCAS (Figuras 17B e 17C), nota-se mudança na configuração das anomalias positivas e negativas de TSM, com valores entre +3,5°C e -3°C. Um aspecto observado neste ano são as anomalias positivas no norte do Atlântico Sul e negativas no Atlântico subtropical. Essa configuração favorece um aumento do aquecimento da atmosfera tropical e resfriamento da atmosfera subtropical, que pode influenciar a posição e intensidade da corrente de Jato Subtropical (JST). Variações do JST podem influenciar a posição da ZCAS (CAVALVANTI e SHIMIZU, 2012; COLLAZO et al., 2023 e FIALHO et al., 2023).

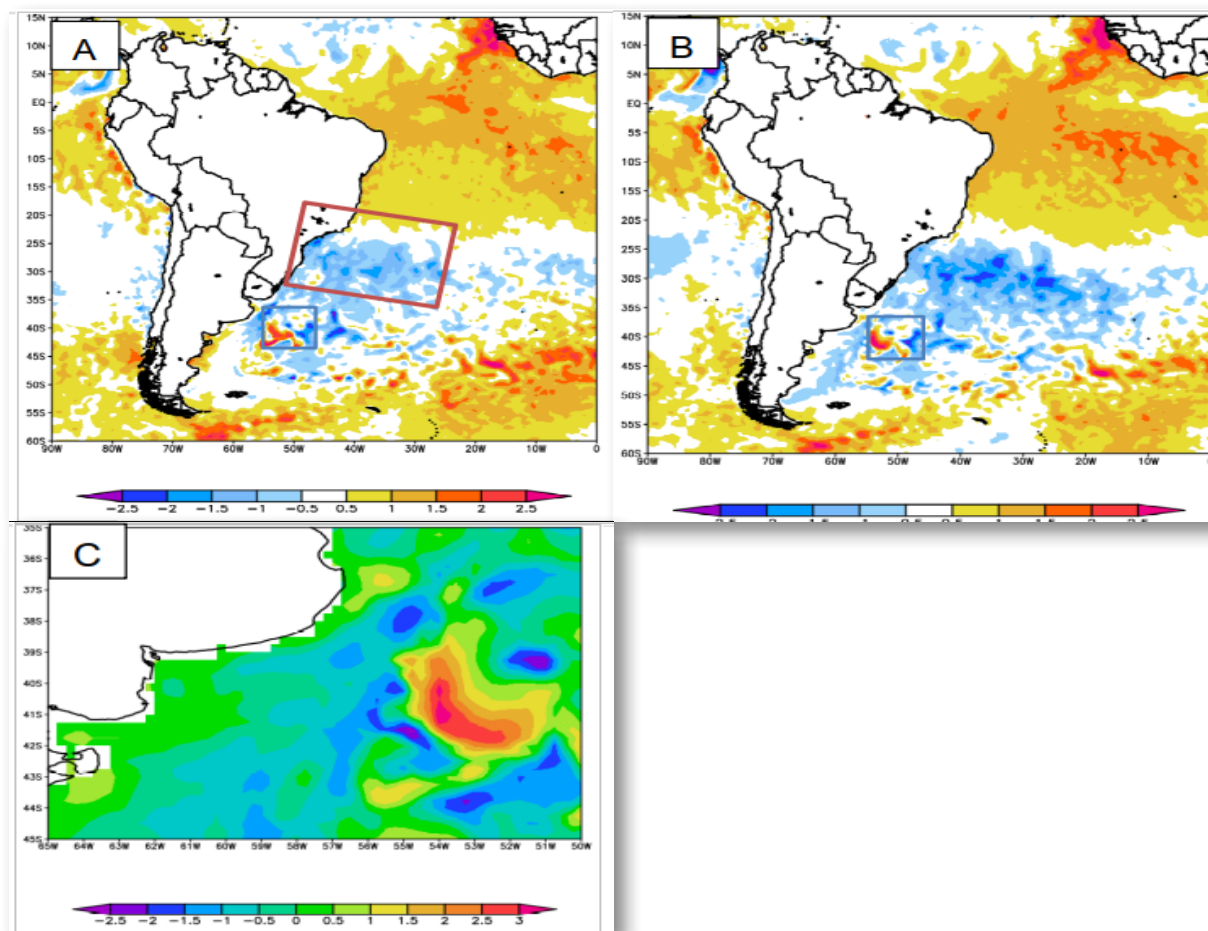


Figura 17- Anomalias da TSM para os dias (A) 05; (B) e (C) 9 de março de 2020 Fonte: elaboração própria a partir de dados do ECMWF.

Observando as anomalias de TSM de 2005, 2017 e 2020, percebe-se a presença de configurações distintas em cada um dos eventos estudados. Em 2020, são percebidas anomalias positivas no Atlântico Tropical e negativas na faixa subtropical (entre 25°S e 30°S). Em 2017, a configuração é diferente, com anomalias negativas no Atlântico Tropical e anomalias positivas ocorrendo em latitudes extratropicais (a sul de 30°S) e principalmente no Atlântico Sudoeste. Já em 2005, há novamente anomalias positivas na região tropical, mas inferiores a 1°C e longe da costa brasileira, bem como anomalias negativas ao longo da faixa subtropical. Contudo, de forma geral, em 2005, as anomalias são positivas no Atlântico Sudoeste próximo à costa da América do Sul.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para melhor compreender a influência remota da TSM na região do oceano Atlântico Sudoeste, foram realizadas comparações entre os três eventos estudados para evidenciar suas semelhanças e divergências, como forma de identificar diferentes configurações que possam atender ao objetivo deste trabalho. Após a análise de características individuais identificadas nos casos estudados, os eventos foram divididos em duas configurações: a primeira (janeiro de 2005) em que as águas da superfície do oceano têm temperatura acima do normal em todo o entorno da região da CBM, e a segunda, que apresenta um relevante gradiente horizontal de TSM na região da

CBM (eventos de dezembro de 2017 e de fevereiro/março de 2020).

O parâmetro escolhido para a discussão foi a anomalia de ômega (velocidade vertical em coordenadas isobáricas). As anomalias do movimento vertical foram obtidas em relação à média de trinta anos (não apresentada). A partir da análise deste parâmetro, procurou-se identificar o real impacto dos episódios de ZCAS nas células meridionais de circulação. O meridiano 048oW foi usado como referência, pois contempla as proximidades da CBM nas latitudes mais altas e o posicionamento do ramo continental da ZCAS nas latitudes mais baixas.

### 5.1 Primeira configuração: anomalias positivas de TSM na região da CBM

No evento de janeiro de 2005, o dia 20 foi escolhido para análise porque havia

grande atividade convectiva associada à ZCAS e a ocorrência de anomalia positiva da TSM na região da CBM. Na Figura 18, notam-se anomalias negativas do movimento vertical de -1 Pa/s em torno da latitude 45°S e anomalias positivas na região Sul do Brasil (35°S). Na região Sudeste (25°S), ocorreram anomalias negativas de ômega associadas ao deslocamento de uma frente fria que contribuiu para o posicionamento da ZCAS sobre a região.

Assim, após configurado o episódio, o movimento descendente de ar na região Sul do Brasil pode ser atribuído à combinação da subsidência na dianteira da região da CBM (consequência da convecção em 45°S) e do ar descendente na retaguarda da ZCAS. Neste evento, sugere-se que as águas mais quentes na região da CBM criaram condições favoráveis para a configuração de ZCAS sobre a região Sudeste do Brasil.

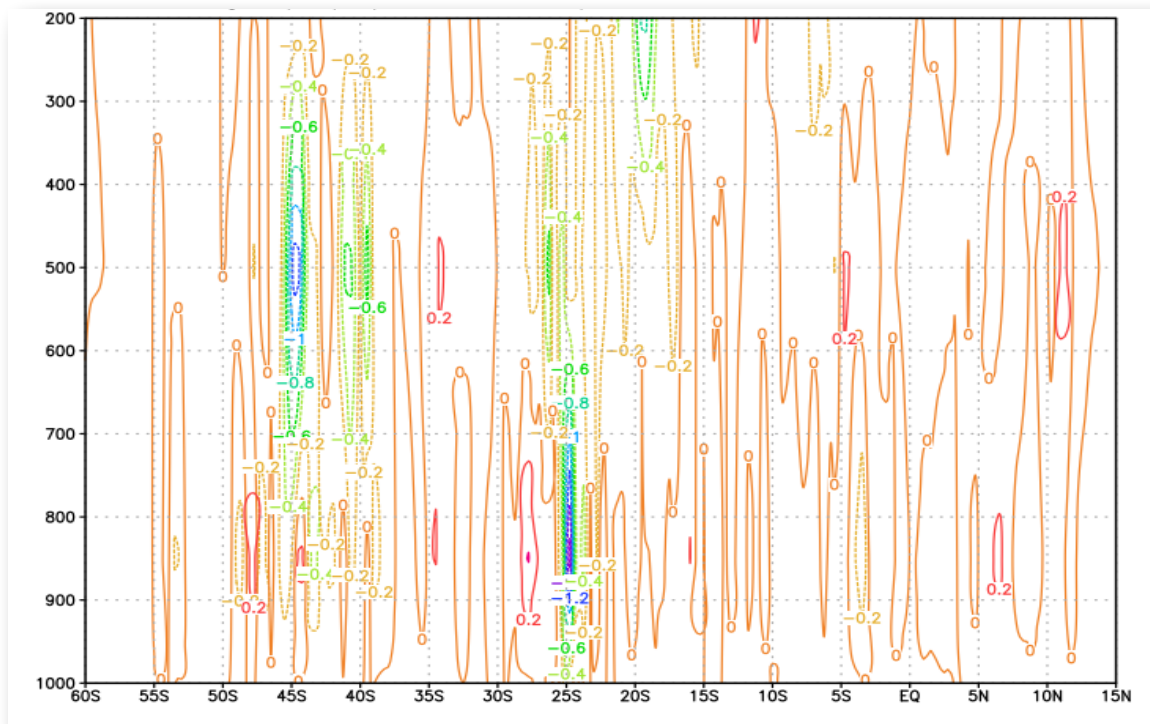


Figura 18- Corte vertical meridional de ômega (Pa/s), em 48°W e entre as latitudes 60°S e 15°N, no dia 18 de janeiro de 2005  
Fonte: elaboração própria a partir de dados do ECMWF.



A partir da Figura 6A (seção 4.1), observa-se outro aspecto interessante: o JST é menos intenso junto à costa da América do Sul e mais intenso no sudoeste do Oceano Atlântico. Assim sugere-se que pode haver uma teleconexão entre o aquecimento da superfície do oceano na costa da América do Sul e a redução do gradiente meridional de temperatura na região costeira, influenciando a intensidade do JST e, por consequência, a divergência em altitude que dá suporte à ZCAS. Também se nota que o eixo do JST está nas proximidades de 30°S de latitude, favorecendo que a ZCAS se

posicione à nordeste do jato, ou seja, sobre o Sudeste do Brasil.

## 5.2 Segunda configuração: intenso gradiente de TSM na região da CBM

Para a análise da segunda configuração identificada, foram utilizados os dias 10 de dezembro de 2017 e 1º de março de 2020. Ambos os dias foram escolhidos porque havia intensa convecção associada à ZCAS, assim como na configuração anterior. Nos eventos de 2017 e 2020, o modo de TSM identificado foi de intenso gradiente de TSM na região da CBM

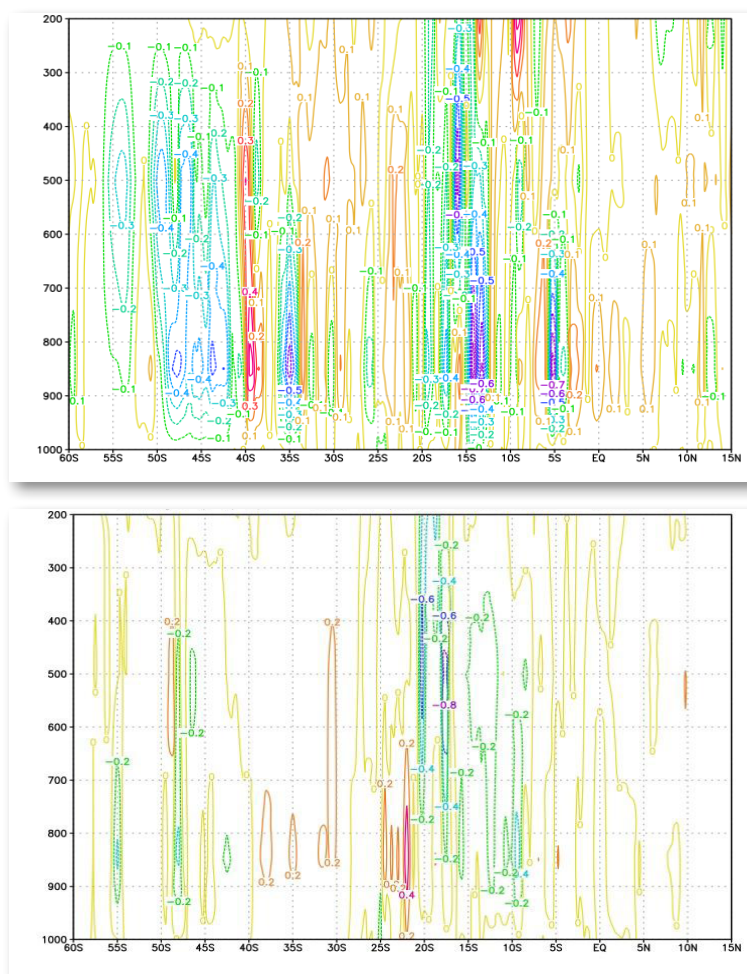


Figura 19- Corte vertical meridional de  $\omega$  (PA/s), em 48°W e entre as latitudes 60°S e 15°N nos dias (A) 10 de dezembro de 2017 e (B) 28 de fevereiro de 2020. Fonte: elaboração própria a partir de dados do ECMWF.

Nas Figuras 19A e 19B, observam-se valores ligeiramente negativos na região da CBM (45°S) e, em ambos os casos, mais anomalias negativas sobre o norte da região Sudeste do Brasil (20°S) e sobre o sul da região Nordeste (15°S-10°S), ligeiramente defasados da configuração analisada na seção 5.1. As anomalias do movimento vertical na região da CBM, referentes ao segundo tipo de configuração, possuem módulos menores se comparados aos valores observados no episódio de janeiro de 2005 (Figura 18), possivelmente porque as anomalias positivas de TSM são mais discretas (2017 e 2020).

Nos eventos de 2017 e 2020, houve o estabelecimento da ZCAS em latitudes em torno de 15°S-20°S. A partir das Figuras 10A e 14A, das seções 4.2 e 4.3, percebe-se que o JST está mais ao norte do que no caso de 2005. O posicionamento mais ao norte parece estar relacionado com o gradiente meridional de TSM entre a região equatorial e subtropical antes e no início da formação da ZCAS. Note que, conforme a Figura 12 (caso de 2017), a TSM é mais fria que o normal na costa do sudeste e com valores próximos ao normal na região equatorial. Já na Figura 16 (caso 2020), a TSM é mais quente que o normal no equador e mais fria que o normal na costa sul-sudeste do Brasil. Assim, a divergência em altitude que dá suporte à convergência em superfície e ao movimento vertical ascendente, condições necessárias à configuração de um episódio de ZCAS, posicionou-se em latitudes mais baixas, no norte da região Sudeste e sul da região Nordeste.

Depois da ZCAS estabelecida mais ao norte, sugere-se que a convecção da zona de convergência favorece movimento descendente na retaguarda do sistema, o que favorece o aquecimento do oceano em latitudes subtropicais. Note que a anomalia positiva da TSM na costa sudoeste do

Atlântico aumenta sua área com a evolução dos eventos de ZCAS.

Destaca-se ainda que, no episódio de ZCAS de 2020, foi observado aquecimento do Atlântico Tropical, que pode ser confirmado pela presença de anomalias positivas de TSM na região. Este fato pode ter influenciado o transporte de umidade do oceano tropical para o continente, aumentando a precipitação continental.

Portanto, a configuração da TSM na região da CBM tem potencial de alterar a circulação meridional, induzindo ou inibindo os movimentos verticais de ar e de modificar o posicionamento da ZCAS. Isto é, anomalias positivas de TSM na região da CBM favoreceram a posição da ZCAS sobre a região Sudeste, enquanto nos casos em que há forte gradiente de TSM na região da CBM, a posição da ZCAS tende a ser mais ao norte, corroborando com os testes realizados por Cataldi et al. (2010). Além disso, após estabelecida a ZCAS, formaram-se regiões de movimento descendente de ar na retaguarda da ZCAS, o que, associado ao movimento descendente na dianteira da região da CBM tem potencial de interferir na manutenção da ZCAS

## 6. CONCLUSÃO

A complexa interação entre a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do oceano Atlântico Sudoeste na região da Confluência Brasil-Malvinas e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) desempenha um papel importante na dinâmica da precipitação da América do Sul. Mas, apesar do assunto ZCAS ser altamente difundido, a teleconexão entre esse tipo de evento e as anomalias de TSM do Atlântico Sul ainda possui lacunas importantes.

A TSM na região da CBM exerce uma influência significativa na atmosfera,



afetando a circulação da América do Sul e contribuindo para a formação de sistemas de baixa pressão. E a TSM do Oceano Atlântico Sul como um todo desempenha um papel relevante na configuração da ZCAS. O presente trabalho buscou contribuir com os conhecimentos acerca da ZCAS, investigando possíveis relações entre a ocorrência de anomalias da TSM no Atlântico Sudoeste e a dinâmica da formação e posicionamento da ZCAS.

Foram analisados três eventos de ZCAS ocorridos em: janeiro de 2005, dezembro de 2017 e fevereiro/março de 2020, utilizando dados observados e as reanálises ERA5.

Séries temporais da TSM foram construídas, e os padrões observados nos períodos dos eventos de ZCAS selecionados foram analisados em busca de indicadores de alguma relação entre a TSM no Atlântico Sudoeste e a ZCAS.

A série temporal de trinta anos da TSM na região da CBM indicou uma tendência de aumento a partir da década de 90. Mais recentemente, essa tendência parece ter se estabilizado. De forma geral, observou-se uma variação da TSM média na região da CBM de aproximadamente +0,5o C entre 2000 e 2017. A partir de 2018, há um decréscimo da TSM, rompendo a tendência de aquecimento mencionada anteriormente.

Nos três eventos analisados, observou-se que a distribuição da umidade específica sobre a América do Sul nos meses estudados apresentou máximos que coincidem com os máximos de precipitação. O escoamento de ar que transporta umidade do norte do continente para o centro-sul tem orientação similar à faixa de precipitação. Ou seja, fica clara a importância da convergência de umidade na ZCAS para a precipitação dos eventos estudados. Além disso, notou-se que o aquecimento

do Atlântico Tropical observado no evento de 2020 pode ter favorecido o aumento da precipitação continental.

A relação TSM do Atlântico e ZCAS é complexa. As análises, entretanto, destacaram alguns pontos importantes. A configuração das anomalias de TSM do sul do Atlântico Sul parece estar relacionada às variações da circulação geral na América do Sul.

No primeiro evento, ocorrido em janeiro de 2005, observou-se um aquecimento significativo das águas nas proximidades da região da CBM. Neste caso, a ZCAS se desenvolveu apresentando uma configuração típica, em que a Zona de Convergência esteve alinhada desde a região Amazônica, posicionando-se sobre o litoral do Sudeste do Brasil. Durante o evento, a TSM próximo à costa do Sudeste reduziu devido à nebulosidade associada à ZCAS, mas as anomalias positivas na região da CBM se mantiveram.

No segundo e terceiro episódios, ocorridos em dezembro de 2017 e fevereiro/março de 2020, observou-se um gradiente de anomalias da TSM na região da CBM. Essa configuração pode ter alterado o padrão típico de circulação atmosférica, deslocando o JST para latitudes mais ao norte que no caso de 2005. Por conseguinte, a ZCAS ancorou-se a norte da posição climatológica, estendendo-se desde a região Norte do Brasil para o oceano, onde ela se posicionou desde o litoral sul da região Nordeste até o litoral norte da região Sudeste. Nos casos de 2017 e 2020, após o estabelecimento da ZCAS, as condições atmosféricas favoreceram o aumento da TSM no Atlântico Subtropical (Figuras 13 e 17), tanto na borda sul do ASAS, quanto na costa da América do Sul, próximo à foz do rio da Prata.

Portanto, os resultados deste estudo apontaram a relevância da TSM do Atlântico Sudoeste como um fator a ser considerado na dinâmica dos eventos de ZCAS. Ou seja, sugere-se que existe um mecanismo de

interação entre a configuração das anomalias de TSM do Atlântico Sudoeste e variações do movimento vertical que influenciam a posição e a intensidade dos eventos de ZCAS aqui estudados.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARCELLOS, D. R.; QUADRO, M. F. L. Classificação de eventos extremos de precipitação quanto sua intensidade, persistência e abrangência na região das ZCAS. *Metodologias e Aprendizado*, v.2, p.76–81, 2019.

BARREIRO, M.; CHANG, P.; SARAVANAN, R. Variability of the South Atlantic Convergence Zone Simulated by an Atmospheric General Circulation Model. *Journal of Climate*, v. 15, p. 745-763, 2002.

BOMBARDI, R.; CARVALHO, L.; JONES, C.; REBOITA, M. Precipitation over eastern South America and the South Atlantic Sea surface temperature during neutral ENSO periods. *Climate Dynamics*, v. 42, p. 1553-1568, 2014.

CARVALHO, L. M. V., JONES, C., LIEBMANN, B. Extreme Precipitation Events in Southeaster South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. *Journal of Climate*, v. 15, p. 2377-2394, 2002.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal and Interannual Activity and Extreme Rainfall. *Journal of Climate*, v. 17, p. 88-108, 2004.

CATALDI, M.; CAMARGO, R.; KAYANO, M. T. Estudo da influência das anomalias da TSM do Atlântico Sul Extratropical na região da Confluência Brasil Malvinas no regime hidrometeorológico de verão do Sul e Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 4, p. 513-524, 2010.

CAVALCANTI, I.; SHIMIZU, M. Climate fields over South America and variability of SACZ and PSA in HadGEM-ES. *American Journal of Climate Change*, v.01, p. 132-144, 2012.

CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA (CHM). Carta Sinótica. Niterói, RJ, 2023.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC) - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Carta Sinótica. São José dos Campos, São Paulo, 2021.

CHELTON, D. B.; SCHLAX, M.G.; WITTER, D.L.; RICHMANN, J.G. Geosat altimeter observations of the surface circulation of the Southern Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 95, n. C10, p. 17877-17903, 1990.



COLLAZO, S.; GARCÍA-HERRERA, R.; BARRIOPEDRO, D. Summer upper-level jets modulate the response of South American climate to ENSO. *Climate Dynamics*, 2023. Disponível em: < <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06955-9>>. Acesso em 05 out 2023.

Copernicus Climate Change Service (C3S). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS). 2017. Disponível em: < <https://cds.climate.copernicus.eu/#!/home>>. Acesso em 14 mar 2023.

ESCOBAR, G. J. C. Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS): Critério de detecção para uso em centros operacionais de previsão de tempo. Nota Técnica - INPE, 2019.

FIALHO, W.; CARVALHO, L.; GAN, M.; VEIGA, S. Mechanisms controlling persistent South Atlantic Convergence Zone events on intraseasonal timescales. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 152, p. 75-96, 2023

GRAMCIANINOV, C. B. Variabilidade da Corrente do Brasil na região da Confluência Brasil-Malvinas através de simulações numéricas. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade de São Paulo, 2012.

HERSBACH, H., BELL, B., BERRISFORD, P. et al. ERA5 hourly data on pressure levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 2023.

KODAMA, Y. Large-scale common features of Sub-tropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: characteristics of Subtropical Frontal Zones. *Journal of Meteorological Society of Japan*, v. 70, n. 4, p. 813-835, 1992.

KODAMA, Y. Large-scale common features of Sub-tropical Convergence Zones (The Baiu Frontal Zone, The SPCZ, and the SACZ). Part II: conditions of the circulation for generating the STCZs. *Journal of Meteorological Society of Japan*, v. 71, n. 5, p. 581-610, 1993.

LEYBA, I.; SOLMAN, S.; SARACENO, M. Trends in sea surface temperature and air-sea heat fluxes over the South Atlantic Ocean. *Climate Dynamics*, v. 53, p. 4141-4153, 2019.

MARINHA DO BRASIL. Normas da Autoridade Marítima para Atividades de Meteorologia Marítima - NORMAM-701. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Niterói, RJ, 2023.

MOURA, R. Mecanismos de estabilidade da Camada Limite Atmosférica Marinha na região da Confluência Brasil-Malvinas. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.

NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K., C. Alternating Wet and Dry Conditions over South America During Summer. *Monthly Weather Review*, v. 125, p. 279-291, 1997.

PETERSON, R.G.; STRAMMA, L. Upperlevel circulation in the South Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, v. 26, p. 173, 1991.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. de; ACEVEDO, O.; WAINER, I.; MATA, M. M.; GARCIA, C. A. E.; CAMARGO, R. de. Multiyear measurements of the oceanic and atmospheric boundary layers at the Brazil-Malvinas confluence region, *Journal of Geophysical Research.*, v. 114, 2009.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. D.; QUADRO, M. F. A review on the oceanatmosphere interaction processes in regions of strong sea surface temperature gradients of the South Atlantic Ocean based on observational data. *Revista Brasileira De Meteorologia*, v.102, p. 428-453, 2016.

PEZZI, L.P.; Quadro, M.F.L.; Lorenzetti, J.A. et al. The effect of Oceanic South Atlantic Convergence Zone episodes on regional SST anomalies: the roles of heat fluxes and upper-ocean dynamics. *Climate Dynamics*, v. 59, p. 2041–2065, 2022.

QUADRO, M. F. de L. Estudo de Episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

QUADRO, M. F. L.; PEZZI, L. P.; ROSA, E. B. O climanálise e o monitoramento da ZCAS nos últimos 30 anos. *Revista Climanalise*, edição comemorativa 30 anos, 2016.

REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

REBOITA, M.S.; MARIETTO, D.M.G.; SOUZA, A.; BARBOSA, M. Caracterização atmosférica quando da ocorrência de eventos extremos de chuva na região sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia*, [S.l.], v. 21, ago. 2017.

SOUZA, P.H.A.O.; TEIXEIRA, F.V.B. Análise da tendência de temperatura da superfície do mar e fluxos de calor no Atlântico Sudoeste entre os anos de 1959 e 2020. *Anais Hidrográficos*, t. 80, 2023.

STRUB, P.T.; JAMES, C.; COMBES, V.; MATANO, R.P.; PIOLA, A.R.; PALMA, E. D.; SARACENO, M.; GUERRERO, R.A.; FENCO, H.; RUIZ-ETCHEVERRY, L.A. Altimeter-derived seasonal circulation on the southwest Atlantic shelf: 27°–43° S. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 120, n. 5, p. 3391-3418, 2015.

TEIXEIRA, F.V.B. Estudo da Zona de Convergência do Atlântico Sul com Simulações Estendidas do Modelo Regional Atmosférico RAMS. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro. 2000.

VENEGAS, S. A.; MYSAK, L. A.; STRAUB, D. N. Atmosphere-Ocean coupled variability in the South Atlantic. *Journal of Climate*, v. 10, p. 2904-2920, 1997.

XUE, H.; PAN, Z.; BANE, J.M. A 2D coupled atmosphereocean model Study of air-sea interactions during a cold air advection over the Gulf Stream. *Monthly Weather Review*, v. 128, p. 973-966, 2000.