



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
COORDENADORIA ESPECIAL DE OCEANOGRAFIA
CURSO DE OCEANOGRAFIA

Ana Beatriz Santos da Mata

Ondas de Calor Marinhas na Confluência Brasil-Malvinas: padrões, tendências e implicações

Florianópolis

2025

Ana Beatriz Santos da Mata

Ondas de Calor Marinhas na Confluência Brasil-Malvinas: padrões, tendências e implicações

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Oceanografia do Centro de Ciências Físicas e Matemáticas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Oceanografia.

Orientadora: Prof^a. Regina Rodrigues Rodrigues, Dr^a.

Florianópolis

2025

Ficha catalográfica da identificação da obra elaborada pelo autor, gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.

Mata, Ana Beatriz Santos da
Ondas de Calor Marinhas na Confluência Brasil-Malvinas
: padrões, tendências e implicações / Ana Beatriz Santos
da Mata ; orientadora, Regina Rodrigues Rodrigues, 2025.
36 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia,
Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Ondas de calor marinhas. 3.
Confluência Brasil-Malvinas. 4. Giro de Zapiola. I.
Rodrigues, Regina Rodrigues. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Oceanografia. III. Título.

Ana Beatriz Santos da Mata

Ondas de Calor Marinhas na Confluência Brasil-Malvinas: padrões, tendências e implicações.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel e aprovado em sua forma final pelo Curso de Oceanografia.

Florianópolis, 07 de novembro de 2025.

Coordenação do Curso

Banca examinadora

Prof^a. Regina Rodrigues Rodrigues, Dr^a.
Orientador(a)

Dr^a. Camila Artana
Sorbonne University

Prof. Carlos Alberto Eiras Garcia, Dr.
Universidade Federal do Rio Grande

Florianópolis, 2025.

Aos meus pais, Valdirene e Augusto, que investem diariamente nos meus sonhos e não permitem que eu me afogue em mares revoltos.

Ao meu avô, Waldemar (*in memoriam*), presença viva em mim, que me ensinou muito apenas pelo exemplo, mesmo sem perceber.

Dedico a vocês cada conquista desta travessia.

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui significa muito mais do que concluir uma etapa acadêmica. Foi uma jornada repleta de mergulhos em águas desconhecidas, brisas leves que me renovaram, turbulências que me ensinaram e tantos outros momentos que o oceano me proporcionou. A cada passo, encontrei apoio e carinho, e registro aqui, meus mais sinceros agradecimentos.

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me não me deixar navegar sozinha e por guiar-me para estes sonhos, antes mesmo de eu saber que os tinha.

Aos meus pais, Valdirene e Augusto, que tanto acreditam no meu potencial e nunca mediram esforços para me ver feliz. À minha mãe, devo tudo: minha inspiração, força e coragem, aquela que coloca minha educação em primeiro lugar todos os dias. Ao meu pai, exemplo de resiliência, agradeço pelos incentivos verbalizados e o cuidado em forma de livros e carolinas nos cafés da manhã.

À minha família, que esteve ao meu lado mesmo a quilômetros de distância. A compreensão, torcida e apoio de todos foi fundamental para a conclusão deste trabalho, especialmente vindos da minha prima Tayná, que está sempre por mim.

Às minhas amigas, Patrícia e Giovanna, agradeço por me acolherem nas dores, celebrarem minhas conquistas e me acompanharem em tantas fases da vida. Paty, obrigada por cada palavra e risada compartilhada nesses mais de 16 anos de amizade. Gi, obrigada por topar minhas ideias e estar comigo sempre que possível.

À Bruna, minha dupla dentro e fora da universidade. Nossos estudos, desabafos e aventuras me lembram como é estar em casa e ser amparada. Construimos e realizamos juntas muitos sonhos dessa caminhada universitária.

À Universidade Federal de Santa Catarina por proporcionar um ambiente de aprendizado e oportunidades e aos professores pelo suporte e inspiração, em especial à minha orientadora, Regina, que contribuiu tanto para o meu desenvolvimento pessoal e acadêmico nesses meus dois anos de laboratório.

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e a Rede Nacional de Observação e Monitoramento Oceânico (ReNOMO) pelo incentivo à pesquisa científica.

E, por fim, à esta Ilha - realmente mágica - que pude chamar de lar por quatro anos, onde amadureci e vivi além das expectativas.

“Tente parar o rio e ele transborda”
(BK’)

RESUMO

As ondas de calor marinhas (OCMs) são eventos extremos caracterizados pelo aumento anômalo e persistente da temperatura superficial do mar (TSM) por períodos prolongados. Em decorrência das mudanças climáticas, esses eventos têm se tornado mais frequentes, duradouros, intensos e abrangentes nas últimas décadas, resultando em grandes impactos nos ecossistemas e economia mundial. No Atlântico Sul, um ponto-chave na regulação climática é a Zona de Confluência Brasil-Malvinas (CBM), onde água quente e salina, transportada pela Corrente do Brasil (CB), encontra-se com água fria e rica em nutrientes da Corrente de Malvinas (CM). O encontro dessas massas d'água promove uma frente de elevados gradientes termohalinos, responsável pelo transporte de calor, produtividade primária e atividades de mesoescala, como a formação de vórtices. Dada a importância da região e sua sensibilidade ao aquecimento global, o presente estudo tem como objetivo caracterizar as OCMs e compreender sua influência nos padrões de TSM e deslocamentos meridionais da frente. Para tal, aplicou-se a metodologia padrão, identificando OCMs como picos de calor acima de 90° percentil e duração mínima de cinco dias, considerando uma média climatológica de 1982 a 2023 proveniente dos dados diários de TSM do conjunto OISST, NOAA. Inicialmente, os resultados indicaram alta ocorrência de OCMs entre as latitudes de 38°S e 40°S, justamente onde há forte instabilidade associada à colisão das correntes. A partir de 2000, as águas quentes da CB se estendem para latitudes mais altas, levando ao aumento expressivo de anomalias térmicas e à migração da CBM para o sul. Observou-se que esse deslocamento implica também na distribuição espacial das OCMs e na circulação local, especialmente no Giro de Zapiola. Os resultados reforçam, portanto, a importância do monitoramento de eventos e seus efeitos na CBM e no sistema climático global.

Palavras-chave: Ondas de calor marinhas; Confluência Brasil-Malvinas; Giro de Zapiola.

ABSTRACT

Marine heatwaves (MHWs) are extreme events characterized by anomalous and persistent increases in sea surface temperature (SST) over prolonged periods. As a result of climate change, these events have become more frequent, longer lasting, more intense, and more widespread in recent decades, resulting in major impacts on ecosystems and the global economy. In the South Atlantic, a key point in climate regulation is the Brazil-Malvinas Confluence (BMC), where warm and saline water carried by the Brazil Current (BC) meets cold and nutrient-rich water from the Malvinas Current (MC). The meeting of these water masses promotes a front of high thermohaline gradients, responsible for heat transport, primary productivity, and mesoscale activities, such as vortex formation. Given the importance of the region and its sensitivity to global warming, this study aims to characterize MHWs and understand their influence on SST patterns and meridional shifts of the front. The standard methodology was applied, identifying MHWs as heat peaks above the 90th percentile and lasting at least five days, considering a climatological average from 1982 to 2023 from daily SST data from the OISST dataset, NOAA. Initially, the results indicated a high occurrence of MHWs between latitudes 38°S and 40°S, precisely where there is strong instability associated with the collision of currents. Since 2000, the warm waters of the BC have extended to higher latitudes, leading to a significant increase in thermal anomalies and the migration of the BMC to the south. It was observed that this shift also affects the spatial distribution of MHWs and local circulation, especially in the Zapiola Gyre. The results therefore reinforce the importance of monitoring events and their effects on the BMC and the global climate system.

Keywords: Marine heatwaves; Brazil-Malvinas Confluence; Zapiola Gyre.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Circulação Superficial do Oceano Atlântico Sul.....	17
Figura 2 – Média de TSM (°C) para o período entre 1982-2023.....	18
Figura 3 – Fluxograma do desenvolvimento do trabalho.....	21
Figura 4 – Médias anuais de TSM (°C) entre 1982 e 2023.....	25
Figura 5 – Anomalias anuais de TSM (°C) entre 1982 e 2023.....	26
Figura 6 – Tendência de TSM (°C/década). Áreas hachuradas apresentaram tendências estatisticamente significantes dentro do intervalo de confiança de 95%.....	27
Figura 7 – Propriedades médias das OCMs: a) Frequência (dias/mês), b) Duração (dias/evento), c) Intensidade média (°C) e d) Intensidade acumulada (°C-dias).....	29
Figura 8 – Tendências decadais para as propriedades de OCMs: a) Frequência mensal (dias/mês/década), b) Duração (dias/evento/década), c) Intensidade média (°C/ década) e d) Intensidade acumulada (°C-dias/década). Áreas hachuradas apresentaram tendências estatisticamente significantes dentro do intervalo de confiança de 95%.....	30
Figura 9 – Séries temporais mensais para propriedades médias das OCMs: a) Frequência (dias/ mês), b) Intensidade média (°C) e c) Taxa de ocupação média (%)......	32
Figura 10 – Séries temporais mensais: a) Anomalias de TSM (°C) e b) Posição latitudinal da CBM (°S). Linhas vermelhas expressam as tendências lineares e a linha azul expressa a posição anual da CBM.....	34
Figura 11 – Correlação da Posição da CBM com a) Frequência das OCMs, b) Intensidade média das OCMs e c) Anomalias de TSM. Áreas hachuradas apresentaram correlações estatisticamente significantes dentro do intervalo de confiança de 95%.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 HIPÓTESE.....	19
2 OBJETIVOS.....	20
2.1 OBJETIVO GERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3 METODOLOGIA.....	21
3.1 DADOS.....	21
3.2 OCMs E CBM.....	21
3.3 CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS.....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1 VARIAÇÃO DE TSM.....	24
4.1.1 Médias de TSM.....	24
4.1.2 Anomalias de TSM.....	25
4.1.3 Tendência de TSM.....	27
4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS OCMs.....	28
4.2.1 Propriedades médias das OCMs.....	28
4.2.2 Tendências das OCMs.....	29
4.3 EVOLUÇÃO TEMPORAL.....	31
4.3.1 Correlação de Pearson.....	34
5 CONCLUSÃO.....	37

1 INTRODUÇÃO

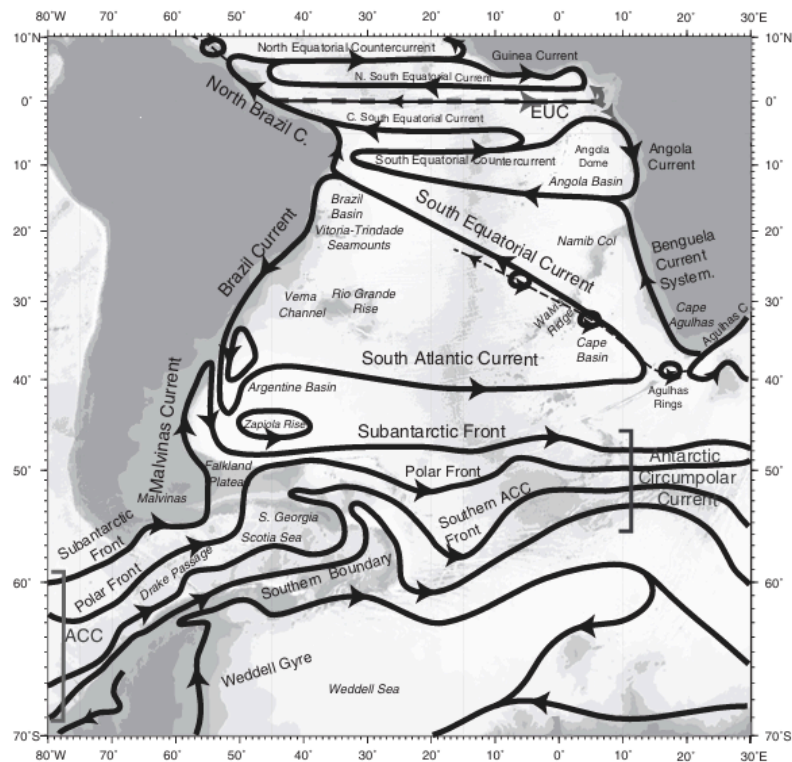
Os oceanos desempenham um papel crítico no sistema climático, sendo a principal fonte de calor e umidade para a atmosfera. Graças à alta capacidade térmica e baixo albedo, a superfície oceânica é responsável por receber cerca de 90% do calor excedente do efeito estufa e, assim, regular gradualmente a temperatura terrestre. No entanto, desde meados do século XX, as constantes emissões de dióxido de carbono, juntamente com outros impactos antropogênicos, têm impulsionado mudanças climáticas significativas (IPCC, 2023). De acordo com Reid *et al.* (2009), o aquecimento registrado nas últimas décadas tem afetado diretamente fatores oceânicos cruciais, como a variabilidade sazonal e decenal do clima, transporte de calor, dinâmica oceânica, estratificação, biogeoquímica e comunidades biológicas. Esses fatores, por sua vez, implicam em retroalimentações importantes. As principais retroalimentações positivas, por exemplo, derivam do aumento das temperaturas. Temperaturas altas causam uma diminuição da solubilidade dos gases, diminuindo a eficiência do oceano em capturar carbono (Boscolo-Galazzo *et al.*, 2018).

Como resultado dessas rápidas transformações, eventos extremos, como ondas de calor, secas, inundações, ciclones e incêndios florestais, tornam-se mais frequentes e intensos, evidenciando a vulnerabilidade de serviços ecossistêmicos essenciais, entre eles, a produção de alimentos, o abastecimento de água, infraestruturas costeiras e saúde pública (IPCC, 2014). O aumento das temperaturas, mudanças nas precipitações e escoamentos, subida do nível do mar e intensificação de extremos geram danos em regiões cada vez mais amplas do planeta (Lange *et al.*, 2020), sobretudo em comunidades mais vulneráveis que historicamente menos contribuíram para a atual conjuntura climática (IPCC, 2023).

As ondas de calor marinhas (OCMs) são eventos extremos ocasionados, em geral, por fluxos ar-mar e advecção horizontal de temperatura ou variabilidade climática de larga escala, como El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (Holbrook *et al.*, 2019; Oliver *et al.*, 2021; Artana *et al.*, 2024). Com base nas definições de ondas de calor atmosféricas (Perkins; Alexander, 2013), Hobday *et al.* (2016) determinaram as OCMs como eventos caracterizados pelo aumento anômalo da temperatura superficial do mar (TSM) por um período prolongado com certa duração,

intensidade, frequência e extensão espacial. Tendo em vista as diferentes escalas e taxas de resposta oceano-atmosfera, uma OCM deve ter duração mínima de cinco dias e temperaturas acima de 90° percentil em relação a uma climatologia de, pelo menos, 30 anos. Essa definição permite maior flexibilidade para aplicações em qualquer período e/ou região, incluindo águas de subsuperfície, estuários e mares fechados, como o Mar Mediterrâneo.

Figura 1 - Circulação Superficial do Oceano Atlântico Sul.

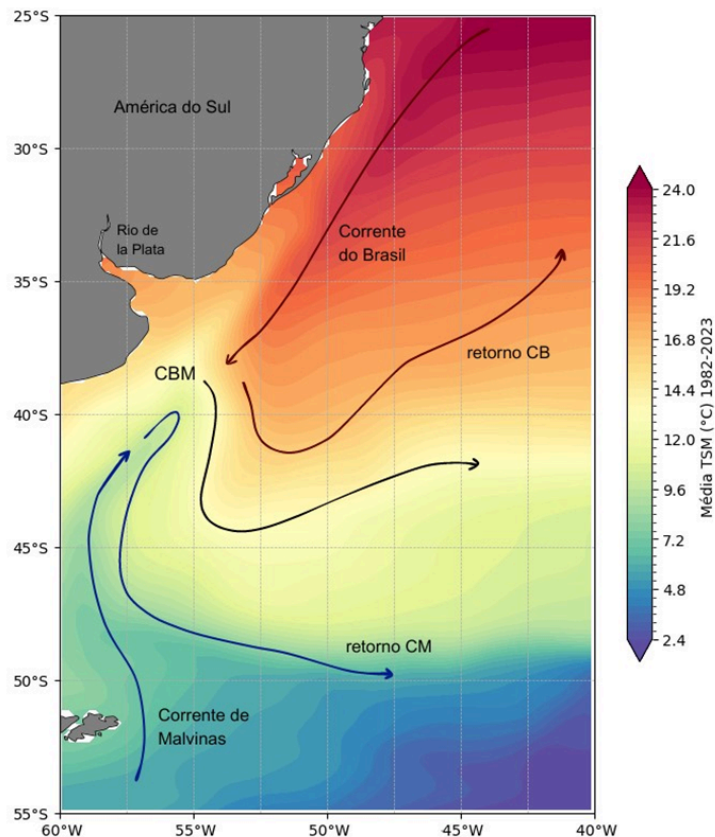


Fonte: Talley (2011).

No Atlântico Sul (Figura 1), uma das regiões mais energéticas e com grande influência sobre fenômenos meteorológicos é a Zona de Confluência Brasil-Malvinas (CBM), onde ocorre o encontro das duas correntes de borda oeste com características distintas (Liu *et al.*, 2024; Russo, 2009; Wainer *et al.*, 2000; Rodrigues *et al.*, 2010). A Corrente do Brasil (CB) origina-se em torno de 10°S a partir da bifurcação da Corrente Sul Equatorial (CSE), transportando água quente e salina em direção ao sul (Rodrigues *et al.*, 2007). Em contrapartida, a Corrente de Malvinas (CM), ou Corrente Falklands, trata-se de um dos braços da Corrente Circumpolar

Antártica, transportando água fria, densa e rica em nutrientes ao longo da costa patagônica em direção ao norte (Gordon; Greengrove, 1986; Liu *et al.*, 2024; Lumpkin; Garzoli, 2011). Em aproximadamente 38°S (Figura 2), essas duas correntes colidem e distanciam-se da costa, compondo a Corrente do Atlântico Sul como parte do Giro Subtropical do Atlântico Sul e formando uma frente com altos gradientes termohalinos que favorecem atividades de mesoescala, incluindo a produção de vórtices importantes (Gordon; Greengrove, 1986; Liu *et al.*, 2024; Stramma, 1991; Signorini, 1978). Ainda assim, a exata localização da CBM pode sofrer variações à medida que ocorrem alterações no transporte das correntes ou no padrão de tensão do vento (Matano *et al.*, 1993; Wainer *et al.*, 2000). Estudos como Lumpkin & Garzoli (2011) e Goes *et al.* (2023), apontaram a variabilidade da confluência em decorrência das anomalias de TSM que impactam diretamente fatores meteo-oceanográficos e a posição da frente.

Figura 2 - Média de TSM (°C) para o período entre 1982-2023.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

Diante da importância na produtividade biológica e circulação oceânica, o Atlântico Sul desempenha um papel crítico no aquecimento, com tendências de TSM ultrapassando 0,3°C por década em algumas localidades (Artana *et al.*, 2024; Rodrigues *et al.*, 2025). Os últimos anos têm sido marcados por extremos com efeitos devastadores. Em 2013/14, bloqueios atmosféricos resultaram em uma OCM intensa e a inibição da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que, por sua vez, acarretou uma severa seca no Brasil, responsável pelo racionamento de água no estado de São Paulo e um surto de dengue que triplicou a mortalidade (Rodrigues *et al.*, 2019). Durante o verão austral de 2017, outra OCM atingiu a costa sudoeste do Atlântico Sul, desencadeada por fluxos extremos de calor atmosférico relacionados à redução dos ventos sobre a plataforma continental do Rio da Prata, resultando em toneladas de peixes mortos e a proliferação de algas ao longo do litoral de Montevideú (Goes *et al.*, 2024; Liu *et al.*, 2024; Manta *et al.*, 2018). Além disso, de acordo com Smith *et al.* (2021), os custos relacionados a eventos individuais de OCM excederam US\$800 milhões em perdas diretas e US\$3,1 bilhões em perdas indiretas de serviços ecossistêmicos.

Embora os impactos de OCMs sejam expressivos e a região seja fundamental na climatologia global, ainda há uma carência de estudos abrangentes que caracterizem esses extremos e compreendam a fundo seus impactos. À medida que as alterações climáticas crescem, o planejamento e implementação de intervenções e políticas bem estruturadas para as zonas costeiras e oceânicas tornam-se essenciais para uma adaptação bem-sucedida. Dessa forma, este estudo parte da proposta de contribuir com o melhor entendimento das OCMs e suas ligações com as variações da confluência, buscando preencher lacunas existentes na literatura e fornecer subsídios para estratégias de adaptação e mitigação.

1.1 HIPÓTESE

O estudo pressupõe que variações na posição da CBM e, conseqüentemente, alterações nas correntes confluentes correlaciona-se com aquecimento oceânico extremo na região e com o aumento e intensificação das OCMs.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar as OCMs na CBM no Atlântico Sul e relacionar os eventos com os padrões de TSM e deslocamentos latitudinais da frente.

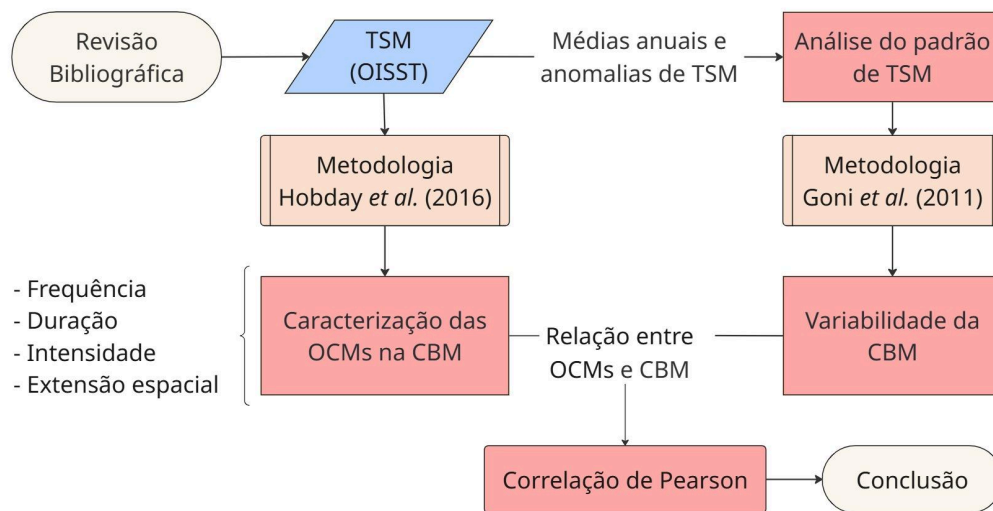
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar o padrão de TSM na área de estudo;
- b) Calcular a posição da CBM e suas variações entre 1982-2023;
- c) Determinar as propriedades das OCMs (frequência, intensidade, duração e extensão espacial) e tendências para o período de 1982-2023 na CBM;
- d) Investigar a relação entre os eventos de OCMs e possíveis deslocamentos meridionais na posição da CBM.

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho consistiu em 4 etapas principais (estudo do padrão de TSM, OCMs, variabilidade da CBM e correlação das variáveis) (Figura 3), aplicadas para o período de 1982 a 2023, especificamente 01/01/1982 a 31/12/2023, na área de 30°S a 50°S e 40°O a 60°O, abrangendo a CBM e imediações.

Figura 3 - Fluxograma do desenvolvimento do trabalho.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

3.1 DADOS

O estudo utilizou como principal base de dados as médias diárias de TSM registradas pelo conjunto de dados climáticos globais Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST), disponibilizados pela NOAA, Estados Unidos, que incorpora observações de diferentes ferramentas (satélites, boias, navios e flutuadores) em uma grade regular com resolução espacial de 0,25° (Reynolds *et al.*, 2007; Huang *et al.*, 2021).

3.2 OCMs E CBM

A identificação das OCMs e suas propriedades foi feita conforme a metodologia proposta por Hobday *et al.* (2016), considerando os episódios com

temperaturas acima do limiar de 90° percentil por, pelo menos, cinco dias consecutivos, assim como descrito anteriormente, baseada em uma climatologia de 1982-2023. A posição da CBM foi calculada como a localização do gradiente meridional máximo de TSM em cima da isóbata de 1000 metros entre as latitudes de 34°S e 41°S, de acordo com a metodologia de Goni *et al.* (2011). Os valores do gradiente de TSM são suavizados usando um filtro de Butterworth com um comprimento de onda de corte de 500 km. Este procedimento permite a remoção de gradientes espaciais associados a vórtices, enquanto preserva apenas o gradiente de TSM associado à CBM. A premissa de usar o gradiente de TSM como a posição da CBM e relacionar a uma eventual migração para o sul com um deslocamento do giro subtropical é que o aquecimento generalizado da TSM na região, devido às mudanças climáticas ou fluxos de ar-mar na região, causaria um aumento na TSM de maneira homogênea na região como um todo e não alteraria a posição do ponto máximo do gradiente de TSM.

A manipulação dos dados foi realizada por meio de scripts em linguagem Python. Para as OCMs, foi utilizado um script adaptado do algoritmo desenvolvido por Eric C. J. Oliver, disponível em <https://github.com/ecjoliver/marineHeatWaves>, que implementa a metodologia de Hobday *et al.* (2016).

Quadro 1 - Métricas analisadas.

Métrica	Descrição
Anomalias de TSM (°C)	Desvios da média climatológica de TSM.
Duração (dias/evento)	Número de dias com OCM considerando o número de eventos.
Frequência (dias)	Soma do número de dias com OCM.
Intensidade média (°C)	Anomalia de TSM média durante o evento de OCM.
Intensidade acumulada (°C-dias)	Soma das intensidades de anomalias diárias durante o evento de OCM.
Taxa de ocupação média (%)	Porcentagem de cobertura por OCMs na área de estudo.

Fonte: adaptado de Hobday *et al.* (2016).

A visualização dos resultados se deu por meio de mapas e/ou séries temporais para diferentes métricas (Quadro 1), calculando suas médias e tendências. Para as tendências, aplicou-se o teste de Mann-Kendall, teste não paramétrico que identifica onde os valores são significantes, com um intervalo de confiança de 95%.

3.3 CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS

Para o estudo da relação entre as variáveis, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r), que quantifica o grau de associação entre dois conjuntos de dados lineares. O coeficiente é uma medida adimensional que varia de -1 (correlação máxima negativa) a +1 (correlação máxima positiva), em que 0 indica falta de correlação. A significância estatística das correlações foi determinada através do valor p , com intervalo de confiança de 95%. Para as correlações com a série temporal da posição da CBM, foram usados valores absolutos de latitude; portanto, correlações positivas implicam um aumento da propriedade em questão com o deslocamento para o sul da CBM.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 VARIAÇÃO DE TSM

4.1.1 Médias de TSM

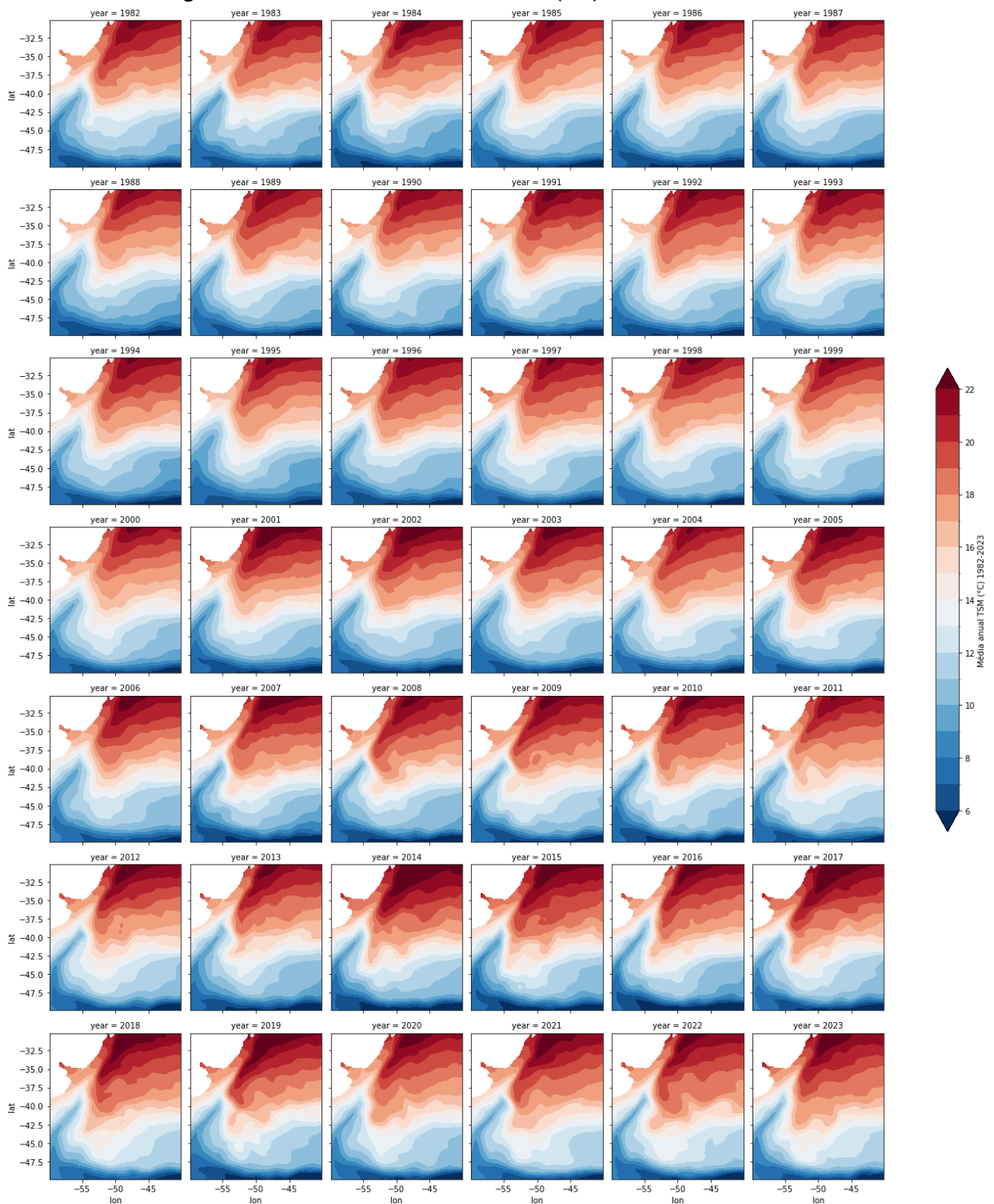
As médias anuais de TSM ($^{\circ}\text{C}$) para o período entre 1982 e 2023 (Figura 4) na região da CBM permitem identificar um padrão térmico regido pelo comportamento das correntes confluentes, CB e CM. Em torno de 38°S , as duas correntes, de características opostas, se encontram e formam a Corrente do Atlântico Sul em direção ao leste com uma temperatura superficial de aproximadamente 13°C .

Ao longo do tempo, o fluxo da CBM apresenta uma tendência de aquecimento e deslocamento para o sul. Nas duas primeiras décadas, as águas com $13/14^{\circ}\text{C}$ localizavam-se, em geral, em $42,5^{\circ}\text{S}$ de latitude, com exceção de anos específicos (1985, 1992 e 1998). A partir dos anos 2000, no entanto, inicia-se uma constante migração dessa faixa de temperatura para latitudes maiores, atingindo o máximo de $47,5^{\circ}\text{S}$ nos últimos seis anos analisados (2018, 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023).

Acredita-se que essa migração da CBM está associada a um maior transporte da CB, levando águas quentes cada vez mais ao sul. As temperaturas máximas de cerca de 22°C , que praticamente não ocorreram nas duas primeiras décadas, passaram a ser registradas anualmente desde 2000, com picos de abrangência em períodos já marcados por intensas OCMs, como 2014/2015 e 2017/2018. De modo geral, observa-se na Figura 4, um deslocamento meridional de $2,5^{\circ}$ para o sul de cada faixa de temperatura correspondente às águas mais quentes, como o fluxo de 18°C .

Em contrapartida, os fluxos de águas mais frias, oriundos da CM, sofreram uma redução em sua abrangência. Conforme ilustrado na Figura 4, o retorno da CM - com temperaturas de $10/11^{\circ}\text{C}$ entre 45°O e 55°O , por exemplo - sofreu um “estrangulamento” significativo: sua extensão espacial passou de $2,5^{\circ}$ de latitude para uma presença praticamente inexistente, à medida que fluxos com águas de 1°C a 2°C mais quentes migraram para a região.

Figura 4 - Médias anuais de TSM (°C) entre 1982 e 2023.

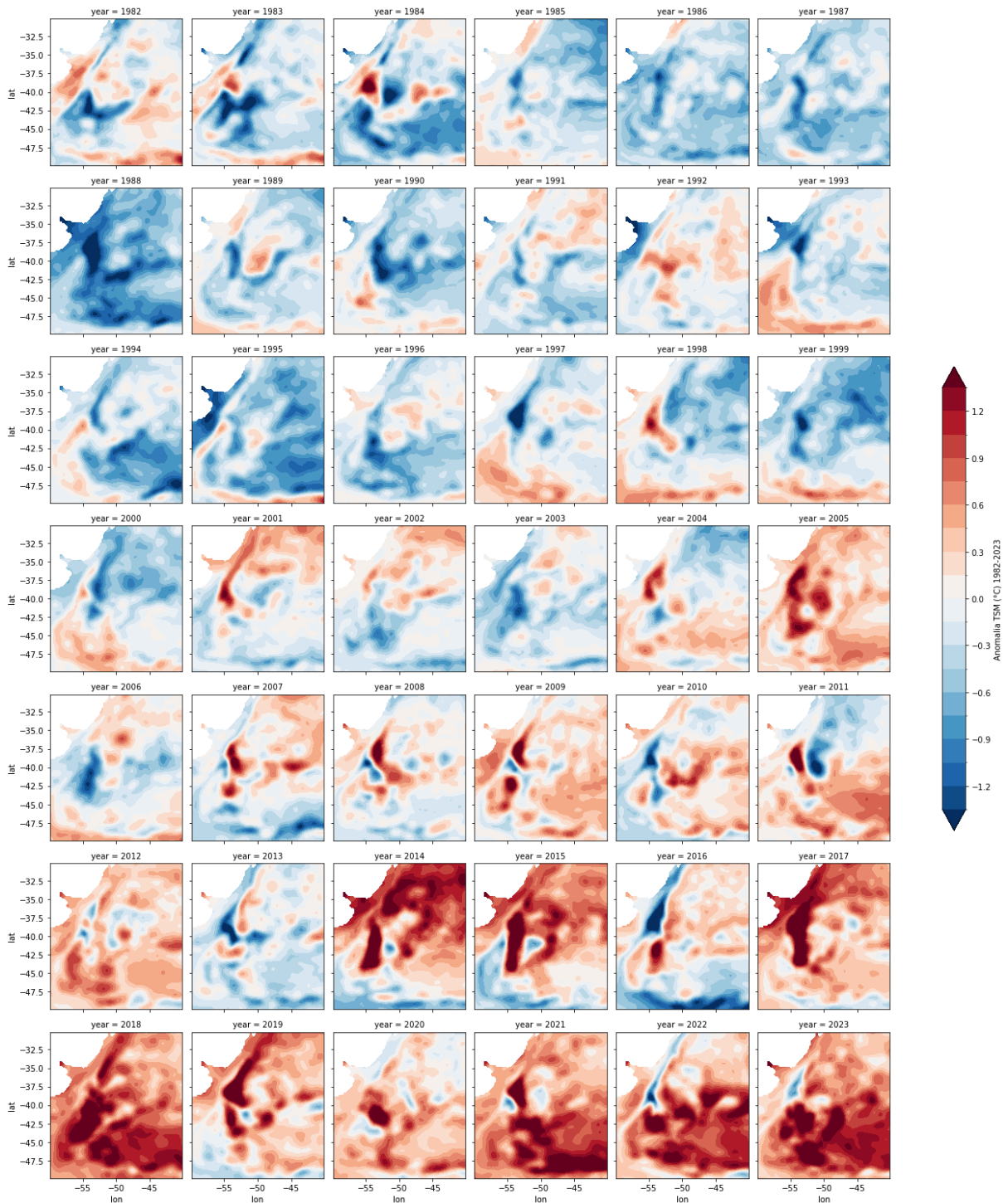


Fonte: elaborado pela autora (2025).

4.1.2 Anomalias de TSM

Os resultados descritos anteriormente ficam mais evidentes quando se analisa as anomalias anuais de TSM de 1982 a 2023 (Figura 5), que expressam os desvios de temperatura média do oceano em relação à climatologia registrada, podendo estar acima ou abaixo da média histórica.

Figura 5 - Anomalias anuais de TSM (°C) entre 1982 e 2023.



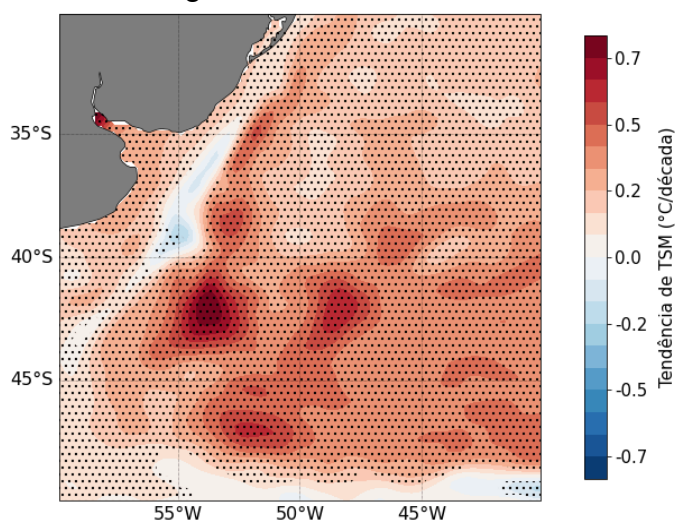
Fonte: elaborado pela autora (2025).

Anomalias negativas foram registradas nos primeiros anos, com valores mínimos de $-1,5^{\circ}\text{C}$ no encontro das correntes e um resfriamento forte em 1988 associado ao fenômeno de La Niña. Após 1992, anomalias positivas tornaram-se mais recorrentes, atingindo até $1,5^{\circ}\text{C}$ acima da média. De 42 anos analisados, 26 (representando 61,9% de todo período) apresentaram predominantemente anomalias positivas, com um aquecimento mais intenso e acelerado a partir de 2014, incluindo o ponto de colisão da CB e CM, que anteriormente mantinha temperaturas mais baixas.

4.1.3 Tendência de TSM

A tendência de TSM ($^{\circ}\text{C}/\text{década}$) para todo o período (Figura 6) evidencia um aquecimento de até $0,8^{\circ}\text{C}$ por década, totalizando um máximo de $3,2^{\circ}\text{C}$ em 40 anos. As maiores tendências se concentram nas áreas da CM e seu retorno, confirmando a predominância da CB em latitudes maiores. Já as tendências negativas permaneceram concentradas próximas da costa com mínimas em torno de $-0,2^{\circ}\text{C}$ por década, totalizando $-0,8^{\circ}\text{C}$ em 40 anos, ou seja, a tendência de resfriamento é quatro vezes menor do que o máximo registrado. Este padrão sugere um afastamento da CB da plataforma continental à medida que a CB alcança latitudes maiores.

Figura 6 - Tendência de TSM ($^{\circ}\text{C}/\text{década}$). Áreas hachuradas apresentaram tendências estatisticamente significantes dentro do intervalo de confiança de 95%.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS OCMs

4.2.1 Propriedades médias das OCMs

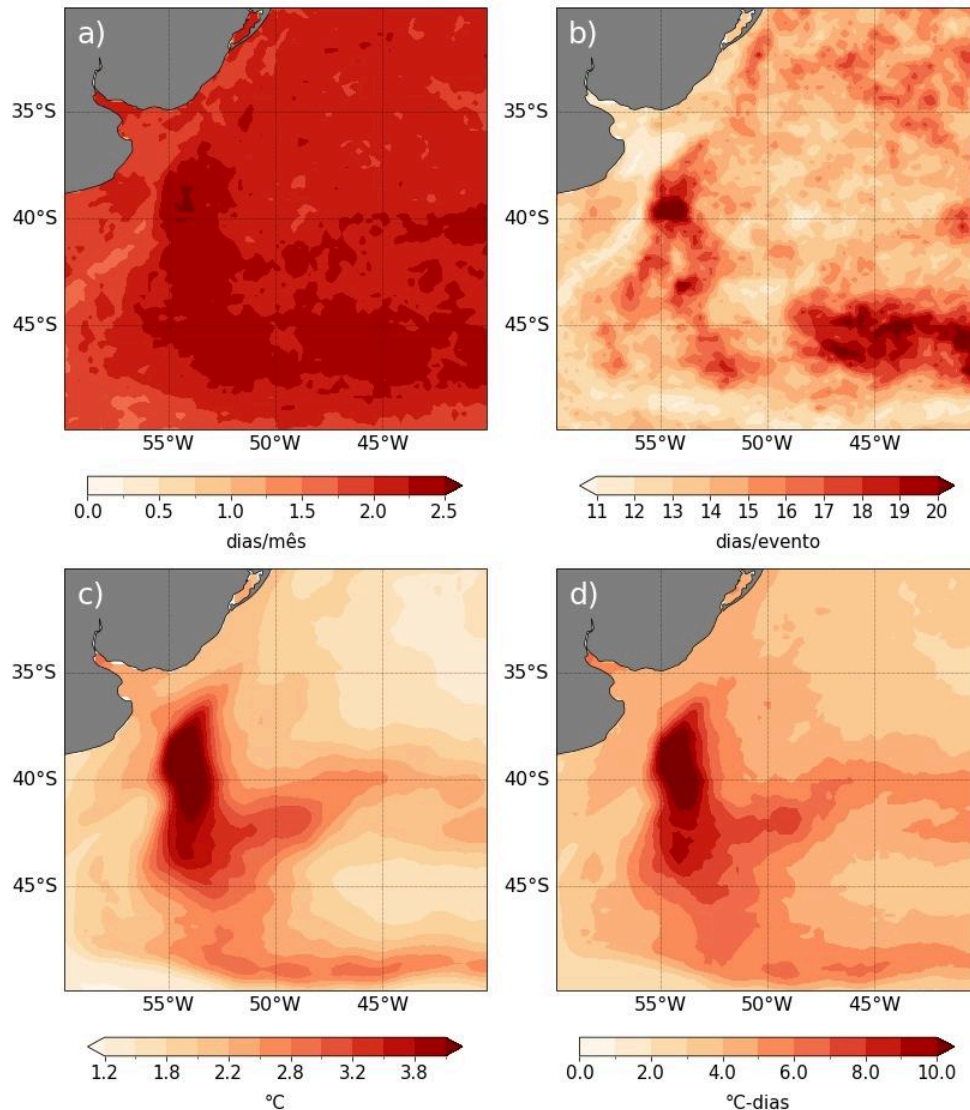
A análise das propriedades médias das OCMs para todo o período revela padrões espaciais bem definidos. Em escala mensal, a frequência média (Figura 7a) corresponde a aproximadamente 2 dias de OCMs por mês em quase toda a área de estudo, com máximos concentrados na zona de confluência das correntes e ao longo do fluxo de retorno da CM. Este valor médio, que considera meses com e sem eventos, corresponde a aproximadamente 7% do tempo total, o que indica, portanto, que a região é frequentemente exposta a condições anômalas.

De forma complementar, a duração por evento (Figura 7b) corrobora essa observação. Enquanto a média geral é em torno de 12 dias, os eventos mais duradouros, que atingem até 23 dias, ocorrem justamente nas regiões mais ativas dinamicamente: o ponto de colisão da CBM e o Giro Anticiclônico de Zapiola (GAZ) (cerca de 45°S e 45°O). A longa duração dos eventos nessas duas localidades, no entanto, está associada a naturezas distintas, ainda que ambas sejam cruciais na regulação climática. Na CBM, esses valores máximos estão provavelmente vinculados à alta energia e instabilidade ocasionada pela intensa atividade de vórtices. Já o GAZ, apesar de apresentar baixa energia cinética turbulenta (EKE), trata-se de uma circulação de grande escala e barotrópica, cujas próprias características criam condições ideais para manter as anomalias positivas por mais tempo.

Similarmente, a análise das intensidades (Figura 7c, 7d) também reforça o impacto das OCMs na região, detalhando a magnitude de cada evento e o efeito cumulativo ao longo do tempo. A intensidade média (Figura 7c) apresentou valores entre 1,2°C e 4,9°C, enquanto a intensidade acumulada (Figura 7d) apresentou mínima em torno 2,0°C-dias e máxima de 12,7°C-dias. Além disso, é possível notar que as duas métricas seguiram um mesmo padrão: intensidades aumentando gradativamente em direção ao encontro das correntes e o fluxo de retorno da CM, com seus picos em 39-40°S e 54°O. Já no GAZ, as intensidades apresentaram valores menores, diferentemente dos resultados obtidos para frequência e, sobretudo, duração, respaldando que a principal fonte de calor que favorece maiores

anomalias na CBM são as águas quentes da CB. Já que o GAZ é alimentado por águas mais frias da CM.

Figura 7 - Propriedades médias das OCMs: a) Frequência (dias/mês), b) Duração (dias/evento), c) Intensidade média ($^{\circ}\text{C}$) e d) Intensidade acumulada ($^{\circ}\text{C}$ -dias).



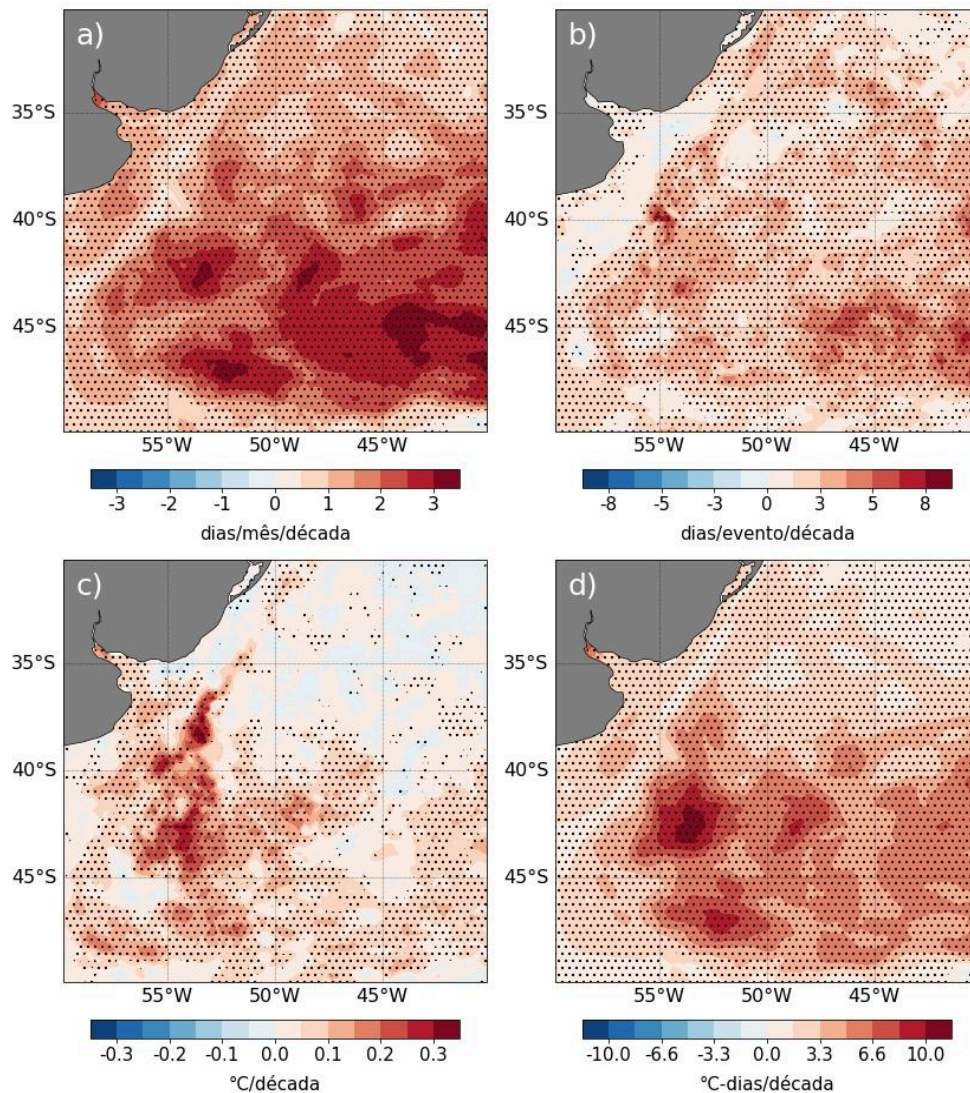
Fonte: elaborado pela autora (2025).

4.2.2 Tendências das OCMs

Após a caracterização inicial dos extremos, foram avaliadas as tendências decenais (Figura 8) para cada propriedade descrita anteriormente (Figura 7). A

frequência mensal (Figura 8a) mostrou uma tendência de aumento de 2 a 3 dias por mês por década, na qual os extremos estão localizados no GAZ. Comparando com a média (Figura 7a), a tendência não teve um valor tão expressivo em 39-40°S e 54°O, mas sim em latitudes levemente maiores, atestando que a CBM migra e mantém as maiores ocorrências de OCMs.

Figura 8 - Tendências decenais para as propriedades de OCMs: a) Frequência mensal (dias/mês/década), b) Duração (dias/evento/década), c) Intensidade média (°C/ década) e d) Intensidade acumulada (°C-dias/década). Áreas hachuradas apresentaram tendências estatisticamente significantes dentro do intervalo de confiança de 95%.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

Para a duração (Figura 8b), foi encontrada uma tendência abrangente de, em média, 3 dias por evento por década, totalizando 12 dias em 40 anos. Em pontos bastante específicos, como 40°S e 55°O, os eventos foram até 8 dias mais duradouros por década, mas que não se sobressaem na área de estudo como um todo.

Para intensidade média (Figura 8c), a tendência foi semelhante à caracterização (Figura 7c), com a magnitude crescente em direção à CBM, onde atingiu até 0,4°C por década. As tendências negativas permaneceram concentradas na área de influência e retorno da CB, indicando uma maior estabilidade e menos ocorrências de OCMs, devido à migração da zona de instabilidade e mistura, onde os eventos se intensificam a cada década. Já a tendência da intensidade acumulada indicou um aquecimento maior a partir de 40°S, com uma variação de 3,3°C-dias por década até 11,6°C-dias por década, e o máximo em 42,5°S e 54°O. Diferentemente das propriedades médias para as intensidades, as tendências apresentaram valores positivos para toda a porção sul da área de estudo, incluindo o GAZ, ou seja, embora os eventos no giro sejam individualmente menos intensos, a alta frequência e duração dos eventos estão contribuindo para um estresse térmico crônico e acumulado.

De modo geral, as tendências evidenciam que as OCMs têm se tornado dramaticamente mais frequentes, duradouras e intensas mais ao sul. Enquanto isso, a porção norte da área de estudo apresentou tendências pequenas a longo prazo. Este padrão evidencia que a migração da frente é responsável pelo aumento das OCMs na região. Se o aumento de extremos de TSM fosse causado por fluxos regionais ar-mar, esperaria-se tendências com o mesmo sinal na área toda.

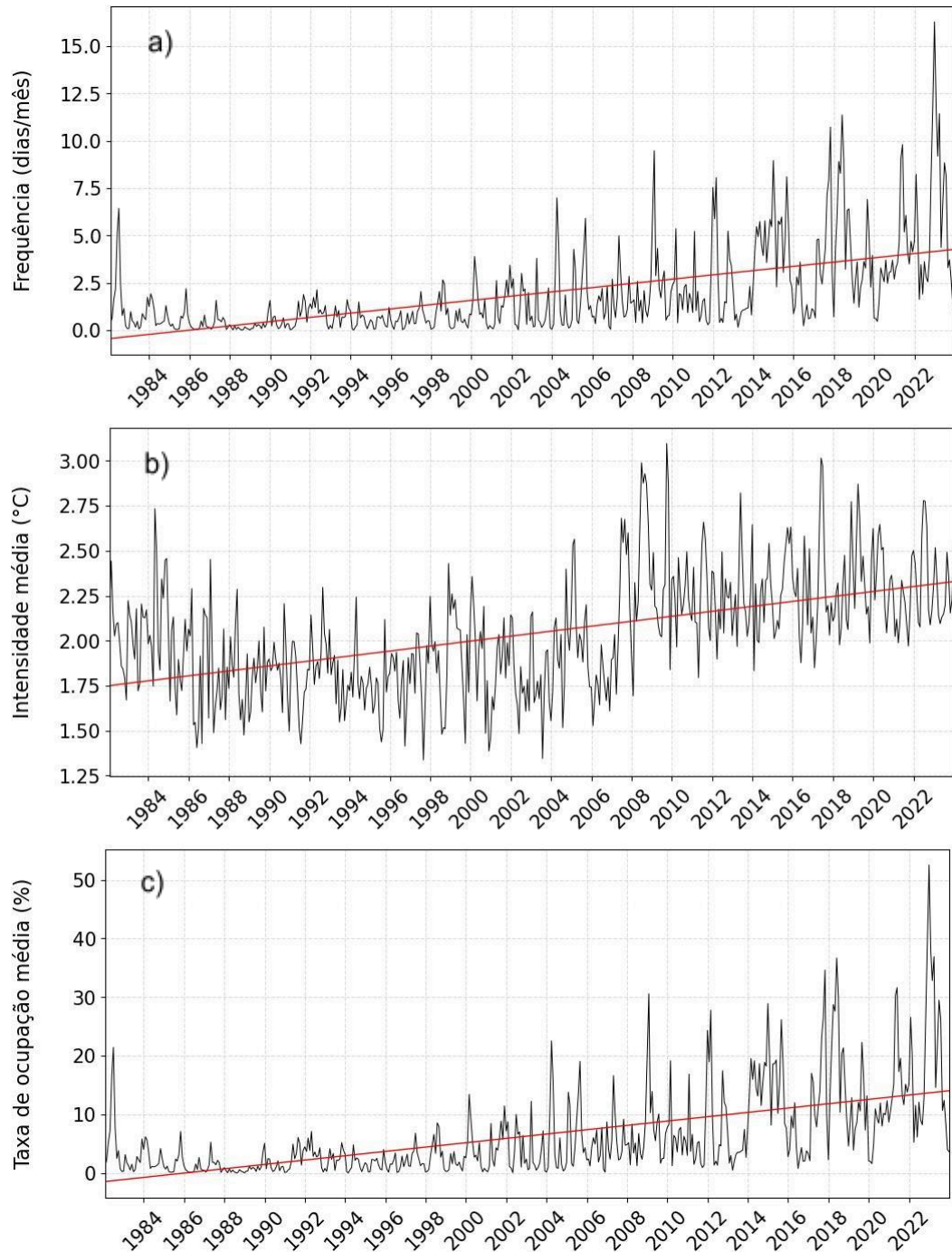
4.3 EVOLUÇÃO TEMPORAL

Além da caracterização das propriedades médias e das tendências decenais, o estudo da variabilidade por meio de séries temporais é primordial para investigar detalhadamente o comportamento das diferentes variáveis, identificando padrões de sazonalidade, flutuações e as anomalias mais significativas.

A Figura 9 apresenta as séries temporais mensais das propriedades associadas às OCMs, feitas as médias para a região de estudo, possibilitando a

análise individual e a relação entre frequência, intensidade média e a extensão espacial (taxa de ocupação).

Figura 9 - Séries temporais mensais para propriedades médias das OCMs: a) Frequência (dias/ mês), b) Intensidade média (°C) e c) Taxa de ocupação média (%). Linhas vermelhas expressam a tendência linear.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

Antes de 2000, os eventos eram esporádicos, com menos de 2 dias por mês (Figura 9a). Em 2004 ocorre um pico com mais de 5 dias de OCM por mês e, a partir de então, os picos se tornam mais altos e frequentes. Desde 2017, estes máximos foram ainda mais expressivos, com mais de 10 dias de OCM por mês até 15 dias por mês em 2023, ou seja, até 50% do período. A única exceção, no entanto, foi durante o ano de 2020, cujos valores foram, comparativamente, baixos, assim como nas duas primeiras décadas de análise.

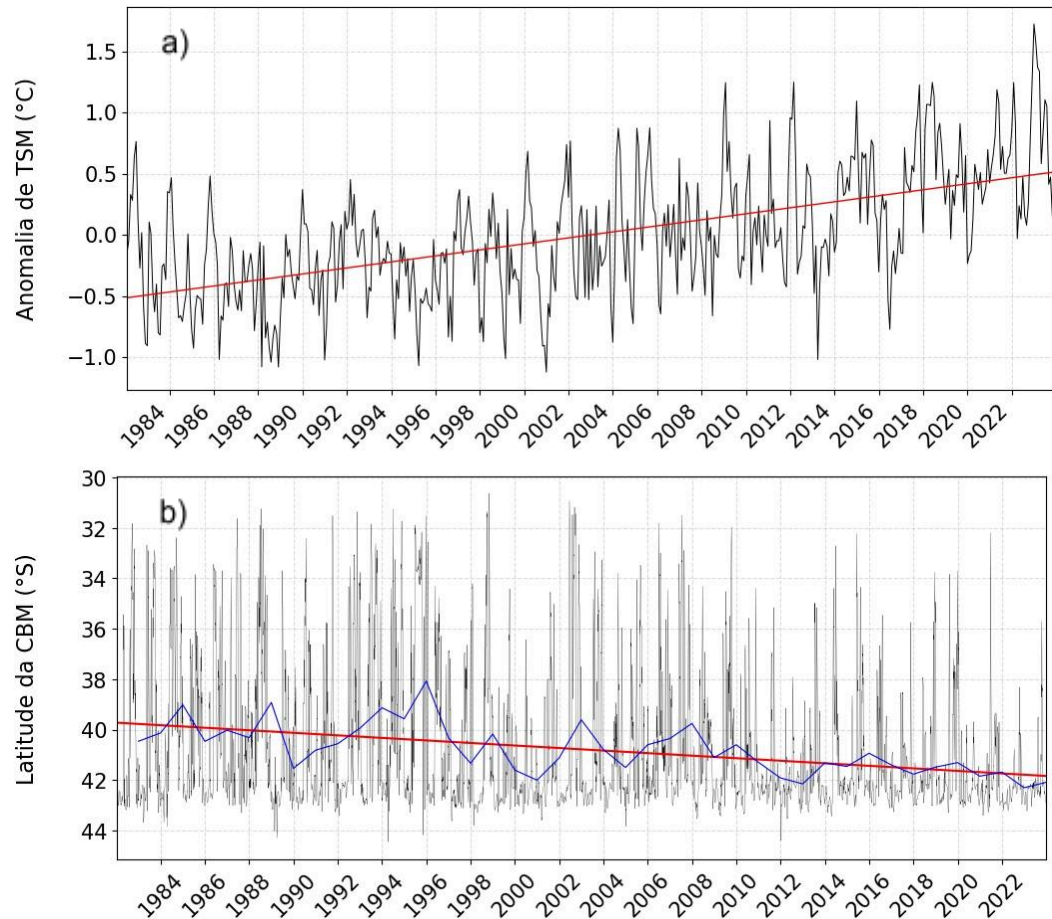
A intensidade média, por sua vez, apresentou muitas flutuações, mas com uma tendência crescente (Figura 9b). Nota-se que desde 2010, as intensidades passaram para outro patamar, variando de $1,75^{\circ}\text{C}$ a $3,0^{\circ}\text{C}$ na região.

Por fim, a taxa de ocupação média expôs que os eventos cobrem áreas cada vez maiores (Figura 9c). Até 2000, a abrangência das OCMs correspondia a até 10% da área total de estudo, com exceção de 1982. Com o início do século XXI, essa porcentagem de ocupação aumentou significativamente, com eventos superando 20% e 30% de cobertura de modo recorrente. Em 2023, a expansão foi ainda mais alta, com uma taxa de até 50% de abrangência durante o mês, simultaneamente ao maior pico de frequência.

De forma similar, as anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$) (Figura 10a) apresentaram uma tendência positiva ao longo das últimas quatro décadas. Até 2002, as anomalias raramente ultrapassavam $0,5^{\circ}\text{C}$. A partir desse ano, os picos passaram a variar entre $0,5^{\circ}\text{C}$ e $1,25^{\circ}\text{C}$, até superar $1,5^{\circ}\text{C}$ em 2023, o último ano analisado. Assim como frequência e taxa de ocupação (Figuras 9a e 9c, respectivamente), esse pico foi bastante discrepante dos demais.

Assim como outros estudos apontaram, as anomalias de TSM influenciam diretamente a posição latitudinal da CBM. A série mensal (Figura 10b) mostra flutuações bem definidas, características da região. Entretanto, os valores anuais, expressos pela linha azul, evidenciam uma gradual migração para sul, a qual é confirmada pela tendência linear com um deslocamento de $0,017^{\circ}$ por década, que equivale a cerca de $0,07^{\circ}$ de latitude, ou aproximadamente 8 km de deslocamento após 40 anos.

Figura 10 - Séries temporais mensais: a) Anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$) e b) Posição latitudinal da CBM ($^{\circ}\text{S}$). Linhas vermelhas expressam as tendências lineares e a linha azul expressa a posição anual da CBM.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

4.3.1 Correlação de Pearson

As relações lineares entre todas essas séries temporais podem ser avaliadas, estatisticamente, pela correlação de Pearson (Tabela 1). Nas correlações com a CBM foram usados valores de latitude absolutos; portanto, correlações positivas indicam aumento das propriedades com a migração para o sul, e vice-versa. As métricas de frequência e ocupação das OCMs estão altamente correlacionadas com as anomalias de TSM, comprovando que o aquecimento superficial do mar aumenta substancialmente a ocorrência e abrangência desses extremos. A intensidade média, por sua vez, apresentou correlações moderadas com as demais métricas de

OCMs e TSM, com valores entre 0,34 e 0,41. Já a posição da frente apresentou apenas correlações fracas, sugerindo, a princípio, que não há uma conexão direta com os eventos. Entretanto, ao considerar que a área de estudo possui, naturalmente, elevada variabilidade espaço-temporal, os valores médios podem representar equivocadamente essas correlações. Nesse contexto, foram empregados mapas de correlação (Figura 11) para uma análise, ponto a ponto, dessas associações e para garantir, assim, uma abordagem mais assertiva.

Tabela 1 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as séries temporais mensais da posição latitudinal da CBM, frequência de OCMs, intensidade média de OCMs, taxa de ocupação média das OCMs e anomalias de TSM. Todos os valores são estatisticamente significativos dentro do intervalo de confiança de 95%.

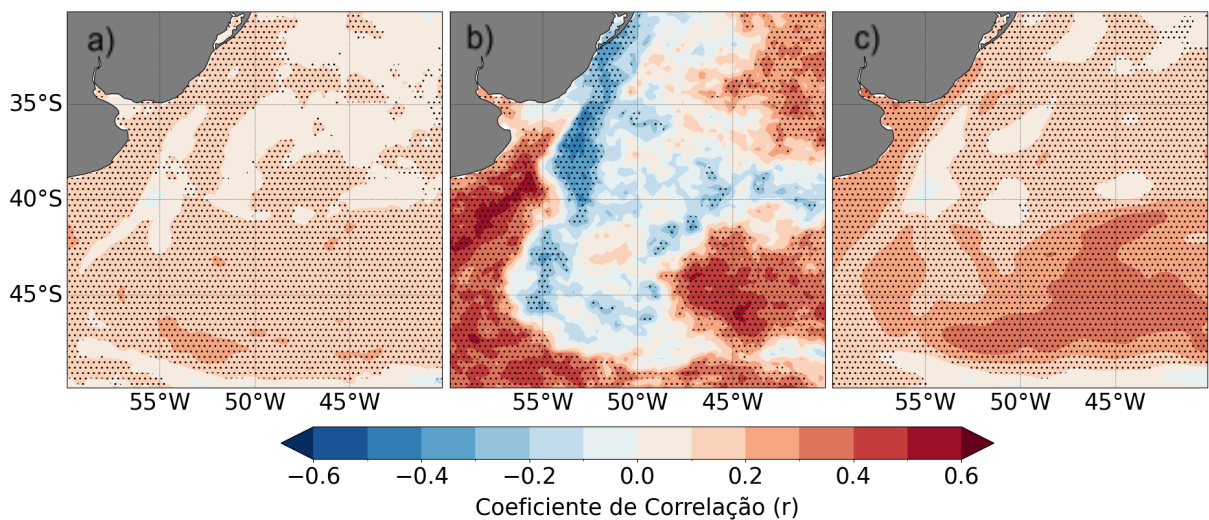
	CBM	Frequência	Int. média	Ocupação	TSM
CBM		0,25	0,19	0,26	0,31
Frequência			0,34	0,99	0,86
Int. média				0,34	0,41
Ocupação					0,86
TSM					

Fonte: elaborado pela autora (2025).

A Figura 11a evidencia que a correlação entre a posição da CBM e a frequência, de fato, é baixa, apresentando valores menores que 0,20 para toda a região, mas na sua maioria são estatisticamente significativos. Contudo, para a intensidade (Figura 11b), é visto que próximo da costa (no fluxo da CM) e no GAZ, há uma forte correspondência, ou seja, à medida que a confluência migra para sul, a intensidade média das OCMs cresce na faixa sul. As tendências negativas, encontradas em aproximadamente 35°-40°S e 53°O, sugerem justamente o oposto: quando a CBM está mais ao norte, há um acúmulo maior de calor no giro subtropical e, portanto, mais OCMs na porção norte. As anomalias de TSM (Figura 11c), apresentaram pontos mais correlacionados na área do GAZ. Quando a CBM se desloca para o sul, o acúmulo de águas frias da CM no GAZ é menor, gerando anomalias positivas. O padrão distinto entre os mapas de correlação da CBM com a

intensidade das OCMs e com a TSM evidencia que as OCMs são influenciadas pela migração da CBM. Já aumentos na TSM ocorrem em toda a região com a migração da CBM indicando que isso está mais associado ao aumento generalizado de TSM na região e menos com a migração da CBM para sul.

Figura 11 - Correlação da Posição da CBM com a) Frequência das OCMs, b) Intensidade média das OCMs e c) Anomalias de TSM. Áreas hachuradas apresentaram correlações estatisticamente significantes dentro do intervalo de confiança de 95%.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

5 CONCLUSÃO

A Confluência Brasil-Malvinas é uma região importante para fluxos de mesoescala e ponto crítico no aquecimento global (Liu *et al.*, 2024). Ainda de acordo com Liu *et al.* (2024), os fluxos oceânicos e fluxos de calor ar-mar são os dois principais impulsionadores de OCMs (37% e 25% do total de eventos, respectivamente) sobre a área. O impacto desses extremos na dinâmica oceânica local é sistêmico: o aquecimento anômalo resulta na extensão da CB e no deslocamento da frente em direção ao polo, que são responsáveis por alterações no balanço de calor e sal e, conseqüentemente, na circulação oceânica e produtividade primária da região.

A presente pesquisa constatou que a localização meridional da CBM normalmente registrada (em torno de 38°S-40°S), já é marcada pela ocorrência de diversas OCMs associadas às grandes diferenças de temperatura e salinidade. Entretanto, conforme as águas superficiais se aquecem, há uma tendência de aumento considerável das propriedades, ou seja, os eventos se tornam mais frequentes, duradouros, intensos e abrangentes. Desde 2000, observa-se que águas quentes, oriundas da CB, se estenderam para latitudes mais altas, favorecendo maiores anomalias de TSM e, assim, uma migração meridional da CBM. Embora a frente apresente uma variabilidade interanual e sazonal já documentada em outros estudos, a posição média, ao longo das últimas quatro décadas, teve uma tendência linear de aproximadamente 0,07° em direção ao sul, ainda que a variabilidade continue a atuar.

Mesmo que não seja o único gatilho para a frequência de eventos que ocorrem na região, essa migração tem favorecido a intensidade e localização deles. A nova posição levou também à migração do epicentro das OCMs, modificando as características do GAZ, ao mesmo tempo que promoveu uma desintensificação de extremos na posição mais ao norte.

Em suma, os resultados demonstram que o deslocamento da CBM e a intensificação dos extremos reconfiguram a dinâmica regional e, portanto, alteram a resposta do Atlântico Sul às forçantes climáticas. Diante da continuidade das tendências de aquecimento global, é provável que a migração persista e seja acompanhada de conseqüências ecológicas e socioeconômicas drásticas, uma vez

que a Bacia Argentina sustenta uma vasta teia alimentar e economias pesqueiras mundiais. Investigar as OCMs na CBM é, portanto, essencial para compreensão de seus impactos multifacetados e fundamentar estratégias de monitoramento e mitigação.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, J. J.; VIDAL, J. M.; BLÁZQUEZ, E. Why Are the High Frequency Structures of the Sea Surface Temperature in the Brazil–Malvinas Confluence Area Difficult to Predict? An Explanation Based on Multiscale Imagery and Fractal Geometry. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 11, n. 6, p. 1096, maio 2023. DOI: 10.3390/jmse11061096.
- ARTANA, C. *et al.* Characteristics and drivers of marine heatwaves in the western South Atlantic. **Communications Earth & Environment**, v. 5, p. 555, out. 2024. DOI: 10.1038/s43247-024-01726-8.
- BARREIRO, M.; SAULO, A. C. N.; LONGO, C. A. S. The Impact of the Malvinas Current on the Southwestern Atlantic Climate. **Journal of Climate**, v. 20, n. 22, p. 5526–5541, nov. 2007. DOI: 10.1175/2007JCLI1824.1.
- BOSCOLO-GALAZZO, F. *et al.* Temperature dependency of metabolic rates in the upper ocean: A positive feedback to global climate change? **Global and Planetary Change**, v. 170, p. 201–212, nov. 2018. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2018.08.017.
- GARZOLI, S. L. Geostrophic velocity and transport variability in the Brazil-Malvinas Confluence. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 40, n. 7, p. 1379–1403, jul. 1993. DOI: 10.1016/0967-0637(93)90118-M.
- GOES, M. *et al.* Modulation of Western South Atlantic Marine Heatwaves by Meridional Ocean Heat Transport. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 129, n. 3, mar. 2024. DOI: 10.1029/2023JC019715.
- GONI, G. J.; BRINGAS, F.; DINEZIO, P. N. Observed low frequency variability of the Brazil Current front. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 116, n. 10, 2011. DOI: 10.1029/2011JC007198.
- GORDON, A. L.; GREENGROVE, C. L. Geostrophic circulation of the Brazil-Falkland confluence. **Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers**, v. 33, n. 5, p. 573–585, maio 1986. DOI: 10.1016/0198-0149(86)90054-3.
- HOBDAY, A. J. *et al.* A hierarchical approach to defining marine heatwaves. **Progress in Oceanography**, v. 141, p. 227–238, fev. 2016. DOI: 10.1016/j.pocean.2015.12.014.
- HOLBROOK, N. J. *et al.* A global assessment of marine heatwaves and their drivers. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 2624, jun. 2019. DOI: 10.1038/s41467-019-10206-z.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Sections. *In*: LEE, H.; ROMERO, J. (ed.). **Climate Change 2023**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2023. p. 35-115. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

LANGE, S. *et al.* Projecting Exposure to Extreme Climate Impact Events Across Six Event Categories and Three Spatial Scales. **Earth's Future**, v. 8, n. 12, nov. 2020. DOI: 10.1029/2020EF001616.

LIU, H. *et al.* Marine heatwaves and cold spells in the Brazil Overshoot show distinct sea surface temperature patterns depending on the forcing. **Communications Earth and Environment**, v. 5, n. 1, dez. 2024. DOI: 10.1038/s43247-024-01258-1.

LUMPKIN, R.; GARZOLI, S. Interannual to decadal changes in the western South Atlantic's surface circulation. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 116, n. 1, 2011. DOI: 10.1029/2010JC006285.

MANTA, G. *et al.* The 2017 Record Marine Heatwave in the Southwestern Atlantic Shelf. **Geophysical Research Letters**, v. 45, n. 22, nov. 2018. DOI: 10.1029/2018GL081070.

MATANO, R. P.; SCHLAX, M. G.; CHELTON, D. B. Seasonal variability in the southwestern Atlantic. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 98, n. C10, p. 18027–18035, out. 1993. DOI: 10.1029/93JC01602.

OLIVER, E. C. J. *et al.* Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 1324, abr. 2018. DOI: 10.1038/s41467-018-03732-9.

PERKINS, S. E.; ALEXANDER, L. V. On the Measurement of Heat Waves. **Journal of Climate**, v. 26, n. 13, p. 4500–4517, jul. 2013. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00383.1.

PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v. 26, p. 1–73, 1991. DOI: 10.1016/0079-6611(91)90006-8.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. de; QUADRO, M. F. L. Uma Revisão dos Processos de Interação Oceano-Atmosfera em Regiões de Intenso Gradiente Termal do Oceano Atlântico Sul Baseada em Dados Observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 428–453, 2016. DOI: 10.1590/0102-778631231420150032.

PIOLA, A. R.; FIGUEROA, H. A.; BIANCHI, A. A. The Brazil-Malvinas Confluence: Water Mass Composition. **Journal of Physical Oceanography**, v. 37, n. 1, p. 131-151, 2007. DOI: 10.1175/JPO2983.1.

REID, P. C. *et al.* Chapter 1 Impacts of the Oceans on Climate Change. *In*: **Advances in Marine Biology**. [S. l.]: Academic Press, 2009. v. 56, p. 1–150. DOI: 10.1016/S0065-2881(09)56001-4.

RODRIGUES, R. R. *et al.* South Atlantic mass transports obtained from subsurface float and hydrographic data. **Journal of Marine Research**, v. 68, n. 6, p. 819-850, 2010. DOI: 10.1357/002224010796673858.

RODRIGUES, R. R. *et al.* Common cause for severe droughts in South America and marine heatwaves in the South Atlantic. **Nature Geoscience**, v. 12, p. 620–626, 2019. DOI: 10.1038/s41561-019-0393-8.

RODRIGUES, R. R. *et al.* Extreme compound events in the equatorial and South Atlantic. **Nature Communications**, v. 16, e3183, 2025. DOI: 10.1038/s41467-025-58238-y.

RUSSO, L. **Interação Oceano-Atmosfera sobre o Atlântico Sudoestes na Região da Confluência Brasil-Malvinas**. 2009. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

SIGNORINI, S. R. On the circulation and the volume transport of the Brazil Current between the Cape of São Tomé and Guanabara Bay. **Deep Sea Research**, v. 25, p. 481–490, 1978. DOI: 10.1016/0146-6291(78)90556-8.

SIQUEIRA, L. F. S. *et al.* Subseasonal Variability of the Brazil Current. **Journal of Climate**, v. 34, n. 8, p. 3041-3058, abr. 2021. DOI: 10.1175/JCLI-D-20-0166.1.

TALLEY, L. D. **Descriptive physical oceanography: an introduction**. Amsterdam: Academic Press, 2011.

WAINER, I.; GENT, P.; GONI, G. Annual cycle of the Brazil-Malvinas confluence region in the National Center for Atmospheric Research Climate System Model. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 105, p. 26167–26177, 2000. DOI: 10.1029/1999JC00013.