

---

## VI – ARTIGOS CIENTÍFICOS

---

### ANÁLISE DA TENDÊNCIA DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR E FLUXOS DE CALOR NO ATLÂNTICO SUDOESTE ENTRE OS ANOS DE 1959 E 2020.

*Pedro Henrique Ainsworth de Oliveira e Souza*<sup>1</sup>  
*Fabíola Valéria Barreto Teixeira*<sup>2</sup>

#### RESUMO

O ambiente subtropical apresenta características interessantes para o estudo de sistemas meteorológicos, em virtude da atuação de fenômenos de diversas escalas e a interação oceano-atmosfera serem significativos para a dinâmica da região. Dentre os diversos elementos relevantes para a análise e previsão do tempo desse ambiente, especialmente no que se refere à modelagem numérica, a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) merece destaque. Estabelecer relações entre anomalias de TSM, ciclo de vida de tempestades, regime de precipitação na costa sul-sudeste da América do Sul e fluxos de calor no Atlântico é um assunto de extrema relevância para a compreensão e análise do tempo e do clima na América do Sul e no Oceano Atlântico. Sob esta ótica, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise de séries temporais de TSM e fluxos de calor latente

---

<sup>1</sup> Oficial do Corpo da Armada, Graduado em Ciências Navais pela Escola Naval. Aperfeiçoado no Curso de Hidrografia para oficiais (CAHO). Atualmente é Oficial do Grupamento de Navios Hidroceanográficos. Email: ainsworth@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@marinha.mil.br



e calor sensível, da base de dados do ECMWF (*European Centre for Medium Range Forecasts*), procurando identificar tendência nas séries temporais e relacionar as variações da TSM com os fluxos de calor. Foi verificada uma tendência positiva nas anomalias de TSM na região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM) e os fluxos de calor latente e calor sensível mostraram associação bastante consistente com essas anomalias positivas de TSM. A tendência de aumento da TSM no período de 1959 a 2020 na região da CBM foi constatada tanto por regressão linear quanto pelo teste estatístico de *Mann-Kendall* com nível de confiança de 95%. Também foi observada tendência de aumento da TSM no Atlântico Sudoeste. Contudo, nesta área, não houve a confirmação estatística.

**Palavras-chave:** Temperatura da Superfície do Mar. Oceano Atlântico Sudoeste. Tendência da TSM. Fluxos de Calor. Séries Temporais.

## ABSTRACT

The subtropical environment presents exciting characteristics for the study of meteorological systems due to the performance of phenomena of different scales and the ocean-atmosphere interaction, which are significant for the region's dynamics. Among the various relevant elements for the analysis and weather forecast of this environment, especially numerical modeling, the Sea Surface Temperature (SST) deserves to be highlighted. Establishing relationships between SST anomalies, storm lifecycle, precipitation regime on the south-southeast

coast of South America and heat fluxes in the Atlantic is a subject of extreme relevance for the understanding and analysis of weather and climate in South America and the Atlantic Ocean. From this perspective, this work aimed to carry out a time series analysis of SST and latent and sensible heat fluxes from the ECMWF (*European Centre for Medium Range Forecasts*) database, trying to identify trend in the time series and to relate the variations of the SST with the heat fluxes. A positive trend was verified in the SST anomalies in the Brazil-Malvinas Confluence (BMC) region. Furthermore, the latent and sensible heat fluxes showed a very consistent association with these positive SST anomalies. The upward trend in SST from 1959 to 2020 in the BMC region was verified using linear regression and the Mann-Kendall statistical test with a 95% confidence level. An increasing trend of SST was also observed in the Southwest Atlantic. However, in this area, there was no statistical confirmation.

**Keywords:** Sea Surface Temperature. Southwest Atlantic Ocean. SST Trends. Heat Fluxes. Time Series.

## 1. INTRODUÇÃO

O ambiente subtropical apresenta características interessantes para o estudo de sistemas meteorológicos, em virtude da atuação de fenômenos de diversas escalas e a interação oceano-atmosfera serem significativos para a dinâmica da região. Dentre os diversos elementos relevantes para a análise e previsão do tempo desse ambiente, especialmente no que se

refere à modelagem numérica, a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) merece destaque (SEBA, 2011).

Diversos estudos, como Diaz *et al.* (1998), Teixeira (2000), Chaves e Nobre (2004), Cataldi *et al.* (2010), Freitas e Souza (2013), Leyba *et al.* (2019) e Pezzi *et al.* (2022), indicam relações importantes entre a TSM e a ocorrência de fenômenos meteorológicos de diversas escalas, como ciclogêneses, eventos de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), fluxos de calor na camada limite planetária, entre outros.

Analisando sistemas meteoceanográficos severos ocorridos na porção sudoeste do Atlântico Sul nas décadas recentes, em especial os fenômenos associados à formação ou deslocamento de ciclones, a influência da TSM e dos fluxos de calor na interface oceano-atmosfera merece atenção (SILVA e REBOITA, 2021 e PEZZI *et al.*, 2022).

De acordo com Dourado e Caltabiano (2005), os fluxos de calor são elementos fundamentais no acoplamento entre o oceano e a atmosfera e, não obstante, parte essencial para a modulação da camada limite atmosférica. Indissociável dos fluxos, encontra-se a TSM, visto sua relação direta com os processos de transferência de calor para a atmosfera e, conseqüentemente, com o balanço de energia dos oceanos (SEBA, 2011). Tendo em vista a relação de retroalimentação entre a TSM e os fluxos de calor na interface atmosfera-oceano, tem-se que os eventos diretamente relacionados a qualquer um desses fatores estarão interligados entre si.

Dal Piva *et al.* (2008), analisando o desenvolvimento de um forte ciclone, verificaram que a ausência dos fluxos de calor latente e de calor sensível na interface ar-mar gera uma camada mais seca e fria próxima à superfície, que diminui a intensificação do ciclone, apontando para a importância daqueles fluxos para a preparação de um ambiente favorável a uma ciclogênese intensa. Além disso, é apontado por Gozzo (2014) e Oliveira (2019) que, apesar de não haver uma relação causal comprovada entre maiores valores de TSM e a ocorrência das tempestades subtropicais, estas interagem com as características do sistema de forma a alterar ou intensificar o mesmo, afetando o deslocamento ou a transição de fase dos sistemas. Entretanto, resultados mais recentes de Marrafon *et al.* (2022) mostraram maior frequência de gênese de ciclones e maior ocorrência de ciclones subtropicais sobre TSM com valores entre 24°C e 26°C.

Em termos dos modos de variabilidade sazonal no Atlântico Sul, uma análise importante é o impacto da variação da posição geográfica da Confluência Brasil-Malvinas (CBM), que representa o encontro da água tropical da corrente do Brasil com a água fria da corrente das Malvinas que oscila entre as latitudes de 30°S (inverno) e aproximadamente 40°S (verão) (PICKARD e EMERY, 1990; CATALDI, 2008). Nos meses de outono, quando há maior frequência de eventos de ciclogênese subtropical, observa-se que a posição da CBM está localizada mais ao sul, nas proximidades da latitude de 40°S, reduzindo o gradiente térmico na superfície na costa sul-sudeste da América do Sul (EVANS e BRAUN, 2012).



Acerca dos eventos ciclogênicos, estudos de Gozzo (2014) com dados da reanálise ERA-Interim (*ECMWF Reanalysis*), apontam que mais de 33% dos ciclones que ocorrem sobre a região próxima aos estados do sul e sudeste do Brasil durante o verão são de natureza híbrida. Essa região compreende a área denominada como RG1 no estudo de Reboita *et al.* (2010), sendo considerada como uma das três mais ciclogênicas do Atlântico Sul. Na figura 1 estão representadas as regiões ciclogênicas identificadas por Reboita *et al.* (2010). Os retângulos identificados na figura como ASW e CBM, representam as áreas de interesse deste trabalho. Estas áreas estão sujeitas a variações sazonais do posicionamento da CBM e, conseqüentemente, às variações de TSM.

Outro estudo abordando a relação entre TSM do Atlântico Sudoeste e ciclones é o de Freitas e Souza (2013). Eles realizaram a análise da influência da anomalia da TSM sobre o deslocamento de tempestades em latitudes médias e altas para um cenário de clima futuro. Seus resultados indicaram que o aumento da TSM naquelas latitudes possui relação com o deslocamento das trajetórias dos ciclones (*Storms Track*) mais para o sul. Ou seja, mudanças nos padrões da TSM em latitudes médias e altas influenciam na redistribuição da atividade ciclônica no cenário climático futuro.

Abordando um pouco mais da associação entre TSM do Oceano Atlântico Sul

e o tempo na costa sul-sudeste da América do Sul, Diaz *et al.* (1998) perceberam importantes associações entre a TSM do Atlântico Sudoeste e o regime de precipitação no sul do Brasil e Uruguai, concluindo que previsões operacionais da TSM são muito relevantes para a avaliação da precipitação nessas regiões. Já Cataldi *et al.* (2010) indicaram que anomalias positivas de TSM na região da CBM acarretaram em redução da precipitação no sul do Brasil e em condições favoráveis para o posicionamento da ZCAS no norte da Região Sudeste do Brasil.

Uma preocupação constante nos estudos de clima é a análise de tendência da TSM, pois o oceano representa um grande reservatório de energia do sistema climático. Gille (2008), usando perfis de temperatura coletados na década de 1990 para o Oceano Antártico, e comparando com perfis coletados desde 1930, mostrou uma tendência de aquecimento oceânico em todas as profundidades até 1000 m, para o período avaliado. A região da Corrente Circumpolar Antártica concentrou os maiores aquecimentos.

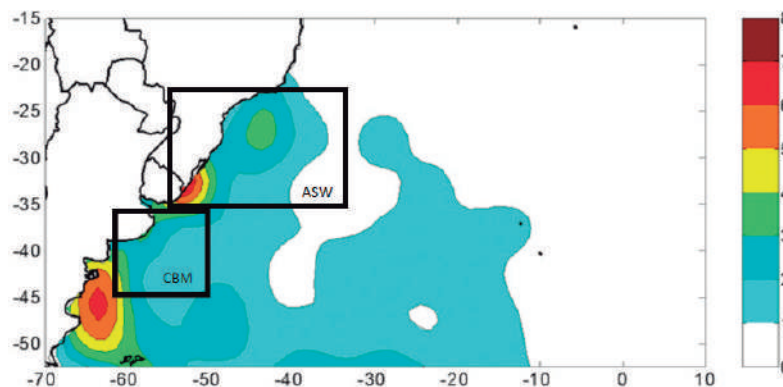


Figura 1 – Regiões com maior densidade anual de ciclogêneses na costa sul-sudeste do Brasil, de acordo com Reboita *et al.* (2010). Os retângulos identificados como ASW e CBM representam as regiões de interesse deste trabalho. Fonte: Adaptado de Reboita *et al.* (2010).

Considerando a região de interesse deste trabalho, o estudo realizado por Lian *et al.* (2018) investigou a existência de tendências na TSM global para o período de 1881 a 2013, usando oito diferentes conjuntos de dados. De acordo com o trabalho, foi verificada a existência de uma consistente tendência de aquecimento no Atlântico Sudoeste. Os autores ressaltaram que para o Pacífico Norte e o Atlântico Norte as tendências não foram tão consistentes.

Relacionando a tendência de aumento da TSM com os fluxos de calor no Atlântico Sul, Leyba *et al.* (2019) identificaram correspondência entre a intensificação dos fluxos de calor do oceano para a atmosfera e o aumento da TSM, no período de 1982 a 2015. Além disso, eles apontaram a região do limite sudoeste da Corrente do Brasil, próximo à costa da América do Sul, com os maiores valores de fluxo, indicando as anomalias de TSM como a principal forçante para o crescimento dos fluxos de calor.

Dada a relevância da interação entre TSM, fluxos de calor e sistemas meteorológicos no Oceano Atlântico Sudoeste, esse trabalho teve por objetivo realizar uma análise de séries temporais de TSM e fluxos de calor latente e de calor sensível, procurando identificar tendências nas séries e relacionar o comportamento dos fluxos de calor com as anomalias de TSM.

## 2. DADOS E METODOLOGIA

### 2.1. Dados, regiões de interesse e séries temporais

Os dados utilizados neste trabalho foram da base de dados ERA5 (*ECMWF Reanalysis*), quinta geração de reanálise (HERSBACH *et al.*, 2020 e C3S, 2017). As variáveis utilizadas foram as médias mensais da temperatura da superfície do mar e dos fluxos superficiais de calores latente e sensível, no período de janeiro de 1959 a dezembro de 2020.

Para o processamento e análise dos dados, foram construídas séries temporais das variáveis já citadas. Estas séries temporais foram definidas a partir de médias em duas regiões de interesse no Atlântico Sudoeste. A primeira área foi denominada ASW e compreende as latitudes de 22°S a 35°S e longitudes de 035°W a 055°W. A segunda área foi denominada CBM e compreende as latitudes de 35°S a 45°S e longitudes de 050°W a 060°W. As áreas aqui definidas representam as regiões de interesse deste trabalho, tendo sido selecionadas devido a importância para interação entre o oceano e a atmosfera no oceano Atlântico Sudoeste, sendo muito relevante para estudos de ciclogênese na costa brasileira (REBOITA *et al.*, 2010) e pela presença da Confluência Brasil-Malvinas, encontro de duas correntes com diferenças de temperatura e salinidade, e considerada uma das regiões mais energéticas dos oceanos (CHELTON *et al.*, 1990). Na figura 2 está representado o campo da climatologia anual da TSM obtida a partir dos 62 anos de reanálise. Os retângulos destacados na figura indicam as áreas ASW, retângulo maior, e CBM, retângulo menor.

A área ASW engloba o litoral sul-sudeste do Brasil, com valores médios anuais de TSM variando entre, mais ou





menos, 18°C e 26°C. E a área CBM, mais ao sul, engloba a região associada à variação meridional da CBM.

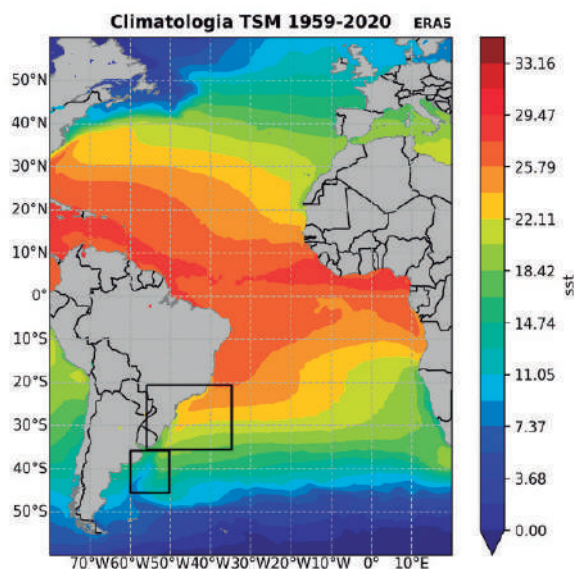


Figura 2 – Climatologia da TSM (1959-2020), em °C, obtida a partir dos dados de reanálises do ECMWF. Os retângulos representados na figura indicam as áreas de interesse deste trabalho, sendo: CBM o retângulo menor e ASW o retângulo maior. Fonte: ERA5/ECMWF

Os dados de médias mensais de 62 anos de TSM foram usados para calcular médias climatológicas mensais, trimestrais e anual. Após o cálculo das médias climatológicas foram obtidas anomalias

mensais, trimestrais e anual da temperatura da superfície do mar.

Também foram construídas as séries temporais das anomalias de TSM e dos fluxos de calor nas áreas ASW e CBM. Visando maior detalhamento das séries temporais e avaliação das tendências, o período total de estudo foi dividido em dois blocos. O primeiro de janeiro de 1959 a dezembro de 1999 e o segundo de janeiro de 2000 a dezembro de 2020.

Nas figuras 3a e 3b são apresentadas as anomalias de TSM obtidas para as séries temporais das médias nas áreas ASW e CBM, respectivamente. Nas figuras estão assinaladas linhas azuis para facilitar a visualização dos valores máximos e mínimos de cada série. Nota-se que, após o ano 2000, aumentou a frequência de anomalias superiores a 3°C na área ASW e superiores a 4°C na área CBM. Também percebe-se que ocorrem menos valores mínimos inferiores a -3°C na área ASW e não há mínimos inferiores a -4°C na área CBM. Essas características motivaram a divisão da análise das séries em dois blocos conforme já mencionado.

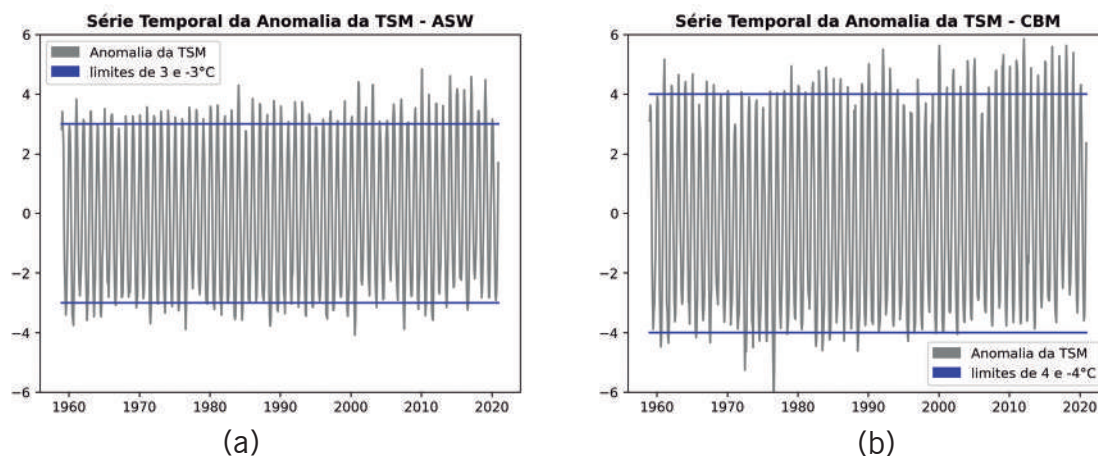


Figura 3 – Séries temporais da média mensal de anomalias da TSM, em °C, para (a) área ASW e (b) área CBM. As linhas azuis servem como referência para identificar os valores máximos e mínimos de anomalia em cada área

Além das médias climatológicas e suas respectivas anomalias, também foram calculadas médias móveis das séries temporais, com uma janela de 36 meses, visando avaliar a variabilidade interanual daquelas séries. As retas de tendência para as séries das médias móveis foram obtidas por regressão linear, como uma análise preliminar dos dados.

Buscando verificar as tendências observadas por regressão linear nas séries temporais da TSM, foi empregado o Teste de *Mann-Kendall* que é um teste não-paramétrico e muito usado para detecção de tendências significativas em séries temporais (LOPES e DA SILVA, 2013).

## 2.2. Teste de *Mann-Kendall*

De maneira geral, testes para a detecção de tendências em séries temporais podem ser classificados como paramétricos ou não-paramétricos. Os primeiros necessitam que as variáveis sejam independentes e atendam a uma distribuição normal, enquanto os últimos necessitam apenas da relação de independência entre variáveis. Nesse sentido, foi utilizado o teste de *Mann-Kendall* (MANN, 1945; KENDALL, 1975), que é um teste aconselhado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliação da tendência em séries temporais de dados ambientais (LOPES e DA SILVA, 2013).

A análise aplicada no teste tem como base duas hipóteses: a hipótese nula ( $H_0$ ) ou hipótese alternativa. A hipótese nula significa que não existe tendência na série de dados, e a hipótese alternativa indica que existe uma tendência

que pode ser positiva (crescimento) ou negativa (decréscimo).

Para uma série temporal de  $n$  dados, a equação que define o método é dada por:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (1)$$

Sendo  $n$  é o número de dados,  $x_j$  e  $x_i$  representam os valores da série de dados e  $\text{sign}(x_j - x_i)$  é dada por:

$$\text{sign}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0, & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1, & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Dada uma série temporal extensa,  $S$  tenderá para uma distribuição normal com média  $E[S]=0$  e variância  $\text{Var}[S]$ , dada por:

$$\text{Var}[S] = \frac{1}{18} \left\{ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q [t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \right\} \quad (3)$$

Onde  $t_p$  é o número de dados com valores iguais em certo grupo;  $q$  é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados em um grupo  $p$ .

A estatística do teste de *Mann-Kendall* é baseada no valor da variável  $Z_{MK}$ , calculado conforme a equação a seguir:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}[S]}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}[S]}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Quando  $Z_{MK}$  apresenta valores positivos, a tendência é de crescimento, enquanto resultados negativos indicam decréscimo. As tendências são obtidas e verificadas para um nível de significância  $p$ .



O não atendimento deste, implica na hipótese nula ( $H_0$ ).

No presente trabalho, foram empregadas rotinas da biblioteca *pymannkendall* disponível para linguagem *Python*.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Temperatura da Superfície do Mar: climatologia e séries temporais

A climatologia de 62 anos mostrou a movimentação meridional da Confluência Brasil-Malvinas ao longo do ano (figuras não mostradas), e com posição média em torno da latitude de 40°S.

A análise das médias mensais, trimestrais e anual das anomalias da TSM mostraram valores diferentes de zero principalmente no setor sudoeste do Oceano Atlântico, junto a costa leste da América do Sul. O passo seguinte, foi separar os conjuntos das médias em dois períodos de dados, conforme descrito na seção anterior. O primeiro bloco iniciando em janeiro de 1959, e terminando em dezembro de 1999. O segundo intervalo

compreendendo de janeiro de 2000 a dezembro de 2020. A distribuição horizontal das anomalias médias mostrou ano após ano um crescimento no sul do oceano Atlântico. As figuras 4a e 4b representam as médias das anomalias anuais para os dois blocos de dados.

Analisando as anomalias da Figura 4a, nota-se que o primeiro período (1959-1999) apresenta a maioria dos valores médios próximos de zero, com alguns valores sensivelmente negativos no Atlântico Sudoeste, na área denominada de CBM (retângulo menor). Diferente desse comportamento, no bloco de dados para o período entre 2000 e 2020 (Figura 4b), percebe-se anomalias positivas nas duas áreas de interesse destacadas pelos retângulos, com valores em torno de +0,5°C na ASW e superando +1,0°C na CBM. Vale citar que valores positivos de anomalia média se estendem por todo o sul do Atlântico Sul, na faixa entre as latitudes de 40°S e 50°S. Estudos anteriores, tais como Gille (2008), Lian *et al.* (2018) e Leyba *et al.* (2019) detectaram anomalias positivas de TSM para a mesma região.

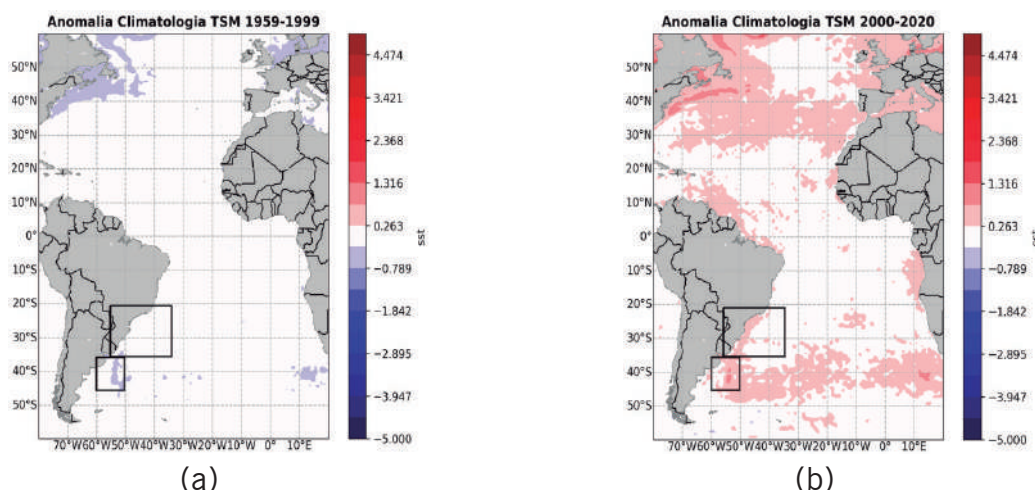


Figura 4 – Média anual das anomalias de TSM, em °C, para os períodos: (a) 1959-1999 e (b) 2000-2020. Os retângulos indicam as regiões denominadas neste estudo de ASW (retângulo maior) e CBM (retângulo menor)



Os maiores valores de anomalias positivas da TSM no Atlântico Sudoeste foram detectados na região da Confluência Brasil-Malvinas. Como a posição da CBM apresenta uma variação sazonal, uma hipótese para ocorrência de anomalias positivas de TSM na costa leste da América do Sul é um possível deslocamento da região da confluência, fazendo com que águas superficiais mais quentes tenham sofrido mudança na posição climatológica.

Foi realizada uma verificação preliminar do possível deslocamento da CBM a partir do cálculo do gradiente meridional da TSM média mensal. As figuras 5a, 5b e 5c representam, respectivamente, a média de 62 anos, a média de 1959-1999 e a média de 2000-2020, do gradiente meridional da TSM. Pode-se notar que não há variação significativa do posicionamento das feições observadas na costa leste da América do Sul. O gradiente na região da CBM varia entre os valores de  $-1^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$  a  $3^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$ , tanto para a média de 62 anos quanto para as médias dos períodos antes e após o ano 2000, apresentando apenas uma ligeira intensificação do gradiente na região da CBM, no período após o ano 2000.

Seguindo com as análises, na Figura 6 estão representadas as médias móveis de 36 meses para as séries temporais da anomalia da TSM nas áreas de estudo ASW e CBM. Na Figura 6a estão reproduzidos os dados da área ASW, onde observa-se uma espécie de degrau na série da média móvel a partir do ano 2000. Este incremento está de acordo com a discussão apresentada para a série original da anomalia de TSM apresentada na seção 2.1. Nota-se ainda que os valores das anomalias de TSM são

positivos, mas muito próximos de zero entre 2005 e 2012. Já na área CBM (Figura 6b), percebe-se que o aumento da média móvel das anomalias de TSM após o ano 2000 é mais nítido e consolidado, sendo que depois de 2015, essas anomalias permanecem acima de  $+0,5^{\circ}\text{C}$ .

Devido ao crescimento observado nas médias móveis das anomalias de TSM, a investigação sobre o comportamento da série de dados prosseguiu com o cálculo das retas de tendência usando regressão linear. Estas retas estão desenhadas na Figura 6 em diferentes cores para cada intervalo de tempo.

Considerando a série completa com 62 anos de dados, percebe-se uma leve tendência de aumento das anomalias (reta na cor preta na Figura 6). Dividindo o período total em dois intervalos de dados, 1959-1999 e 2000-2020, percebe-se que na área CBM, a reta obtida por regressão linear (linha laranja na Figura 6) tem uma evidente inclinação positiva no período posterior ao ano 2000. Na área ASW, a tendência estimada por regressão linear separadamente para os dois intervalos de dados e para o período de 62 anos não é conclusiva pois os coeficientes angulares tem sinais opostos. Ou seja, a inclinação das retas antes e após 2000 tem coeficiente angular negativo enquanto a série completa tem coeficiente angular positivo. Apesar de aparentemente contraditório, este resultado é explicado pela grande variação positiva na anomalia de TSM entre 1998 e 2002. Percebe-se que entre 1959 e 1999 as anomalias são quase todas negativas. Mas entre 2000 e 2002, a anomalia de TSM chega a  $+0,5^{\circ}\text{C}$ , voltando a cair até o ano 2012, sem, contudo, atingir valores negativos.

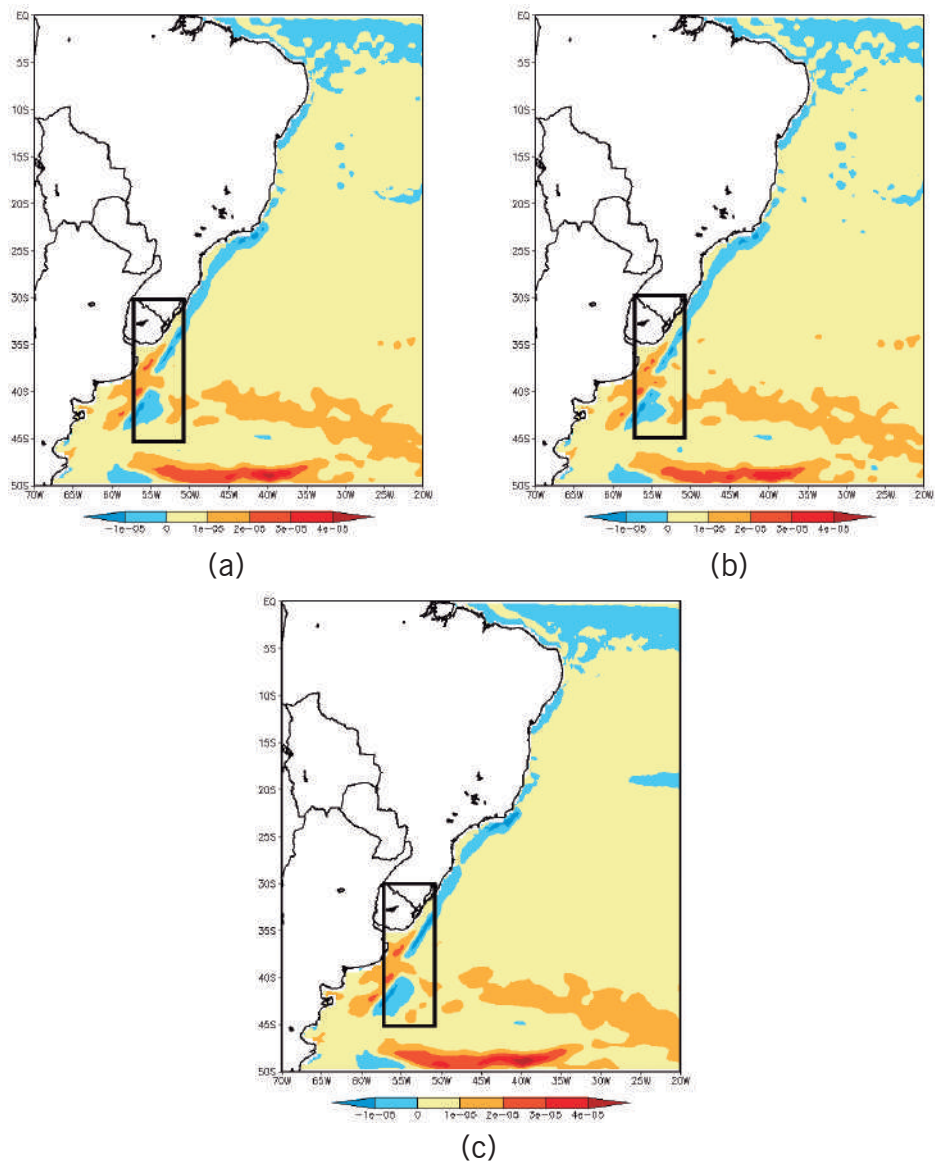


Figura 5 – Gradiente meridional da TSM, em °C/km, (a) média de 62 anos, (b) média de 1959 a 1999 e (c) média de 2000 a 2020. O retângulo indica o deslocamento meridional típico da CBM ao longo do ano

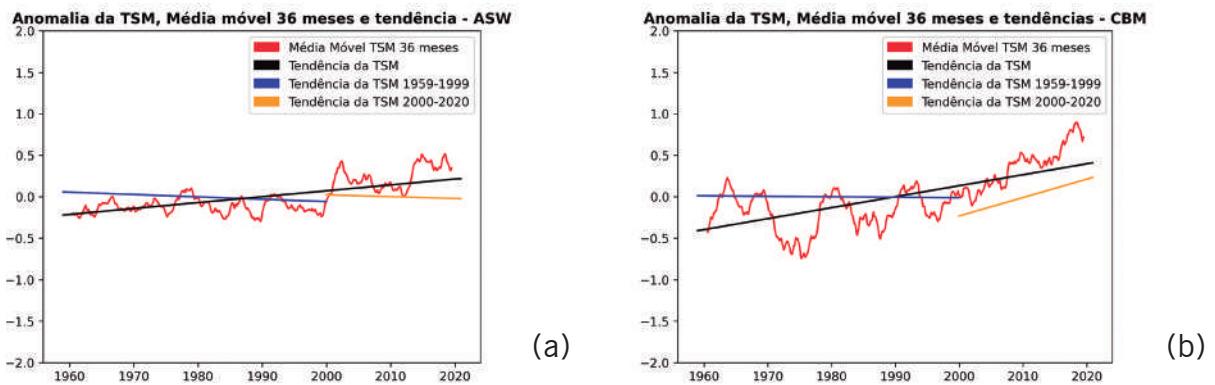


Figura 6 – Série temporal da média móvel de 36 meses da anomalia de TSM, em °C, nas áreas (a) ASW e (b) CBM, com as retas de tendência obtidas por regressão linear para 62 anos (linha preta), 1959-1999 (linha azul) e 2000-2020 (linha laranja)

### 3.2. Teste de *Mann-Kendall* aplicado às séries temporais da temperatura da superfície do mar

De maneira geral, usando regressão linear, observou-se uma tendência de aumento da TSM na área da CBM tanto para a série histórica (62 anos) quanto para o período pós ano 2000. A taxa de aquecimento da série histórica é  $+0,13^{\circ}\text{C}/\text{dec}$  e quase dobra nas últimas duas décadas, passando a  $+0,24^{\circ}\text{C}/\text{dec}$ . Entretanto, na área ASW essa tendência de crescimento da temperatura não foi conclusiva. A série histórica mostra uma leve tendência de aquecimento, correspondendo a uma taxa de  $+0,071^{\circ}\text{C}/\text{dec}$ . Mas nos períodos pré e pós ano 2000, a tendência mostra um sensível resfriamento com taxas de  $-0,02^{\circ}\text{C}/\text{dec}$  e  $-0,04^{\circ}\text{C}/\text{dec}$ , respectivamente. Conforme discutido na seção anterior, entre 1999 e 2002, há um intenso aquecimento que não foi assimilado pela regressão linear dos períodos isolados, mas que prevalece na série completa. Na Tabela 1 é apresentado um resumo dos resultados da regressão linear.

Após os resultados da regressão linear para as séries de TSM, o teste de *Mann-Kendall* foi aplicado a fim de verificar estatisticamente a hipótese de existência de alguma tendência nos dados. Seguindo a metodologia usada na regressão, a verificação foi realizada para a série histórica e para o intervalo de 2000 a 2020.

De acordo com a descrição do método de *Mann-Kendall* na seção 2.2, a ideia é verificar a presença de alguma tendência positiva ou negativa na série, para um certo nível de significância. Os parâmetros S e ZMK do teste foram calculados e um resumo dos resultados é mostrado na Tabela 2. O nível de significância adotado para considerar a existência de tendência foi  $p = 0,05$ . Dessa forma, quando o valor de p for igual ou inferior à 0,05 a hipótese nula (ausência de tendência) é descartada e a hipótese alternativa (existência de tendência) é confirmada. O sinal da tendência é determinado pelo valor de ZMK, isto é, tendência de aumento para valores positivos e tendência de redução para valores negativos.

Tabela 1 – Coeficiente angular e taxa de variação resultantes da regressão linear das séries temporais das áreas ASW e CBM. A série histórica é composta pelos 62 anos de dados (1959-2020), a série pré 2000 é composta por dados de 1959 a 1999 e a série pós 2000 é composta por dados de 2000 a 2020. As taxas positivas estão hachuradas

		<b>Coeficiente Angular</b>	<b>Taxa de Variação</b>
<b>Série Histórica</b>	<b>ASW</b>	$+5,47 \times 10^{-4}$	$+0,07^{\circ}\text{C}/\text{dec}$
	<b>CBM</b>	$+1,08 \times 10^{-3}$	$+0,13^{\circ}\text{C}/\text{dec}$
<b>Pré 2000</b>	<b>ASW</b>	$-1,51 \times 10^{-4}$	$-0,02^{\circ}\text{C}/\text{dec}$
	<b>CBM</b>	$-4,96 \times 10^{-4}$	$-0,06^{\circ}\text{C}/\text{dec}$
<b>Pós 2000</b>	<b>ASW</b>	$-3,68 \times 10^{-4}$	$-0,04^{\circ}\text{C}/\text{dec}$
	<b>CBM</b>	$+2,02 \times 10^{-3}$	$+0,24^{\circ}\text{C}/\text{dec}$



Tabela 2 – Parâmetros obtidos no teste de *Mann-Kendall* para as séries temporais das anomalias da TSM nas áreas ASW e CBM. A série histórica é composta pelos 62 anos de dados (1959-2020) e a série pós 2000 é composta por dados de 2000 a 2020. A série com tendência de aumento confirmada estatisticamente está hachurada

		S	Z <sub>MK</sub>	p	Tendência
Série Histórica	ASW	+11429,0	+1,688	0,091	-
	CBM	+16618,0	+2,454	0,014	Aumento
Pós 2000	ASW	-254,0	-0,189	0,849	-
	CBM	+1206,0	+0,901	0,367	-

De acordo com os parâmetros S e Z<sub>MK</sub> calculados no teste de *Mann-Kendall*, as três séries temporais de TSM com coeficientes angulares positivos (Tabela 1) apresentaram valores compatíveis com tendência de crescimento. Contudo, apenas a série histórica para a área da CBM teve a tendência validada estatisticamente para um nível de confiança de 0,05. Para os outros conjuntos de dados, a hipótese nula (ausência de tendência) não pode ser descartada.

Um aspecto que deve ser considerado sobre a não validação estatística das séries de dados pós 2000 e da série histórica para a área ASW, é que ciclos sazonais e interanuais presentes nos dados pode ter ocultado sinais associados a possíveis tendências. Portanto, novas verificações podem ser realizadas considerando os dados daquelas séries agrupados por estação do ano.

### 3.3. Fluxos de calor latente e calor sensível do oceano para a atmosfera

Os fluxos de calor sensível e latente dependem do aquecimento e evaporação da superfície. Portanto, se ocorre mais aquecimento da superfície do mar, haverá mais fluxo de calor sensível e latente. O estudo de Leyba *et al.* (2019) discutiu justamente a tendência de crescimento de fluxos de calor sobre o oceano Atlântico Sudoeste e o aumento da temperatura da superfície do mar. A seguir, as séries temporais dos fluxos de calor serão discutidas em busca de aspectos que confirmem a relação entre TSM e fluxos de calor. Na análise dos fluxos, valores negativos indicam transferência de calor da superfície (oceano) para a atmosfera, ou seja, a perda de calor do oceano. Enquanto que valores positivos dos fluxos indicam o sentido inverso para o transporte de calor.

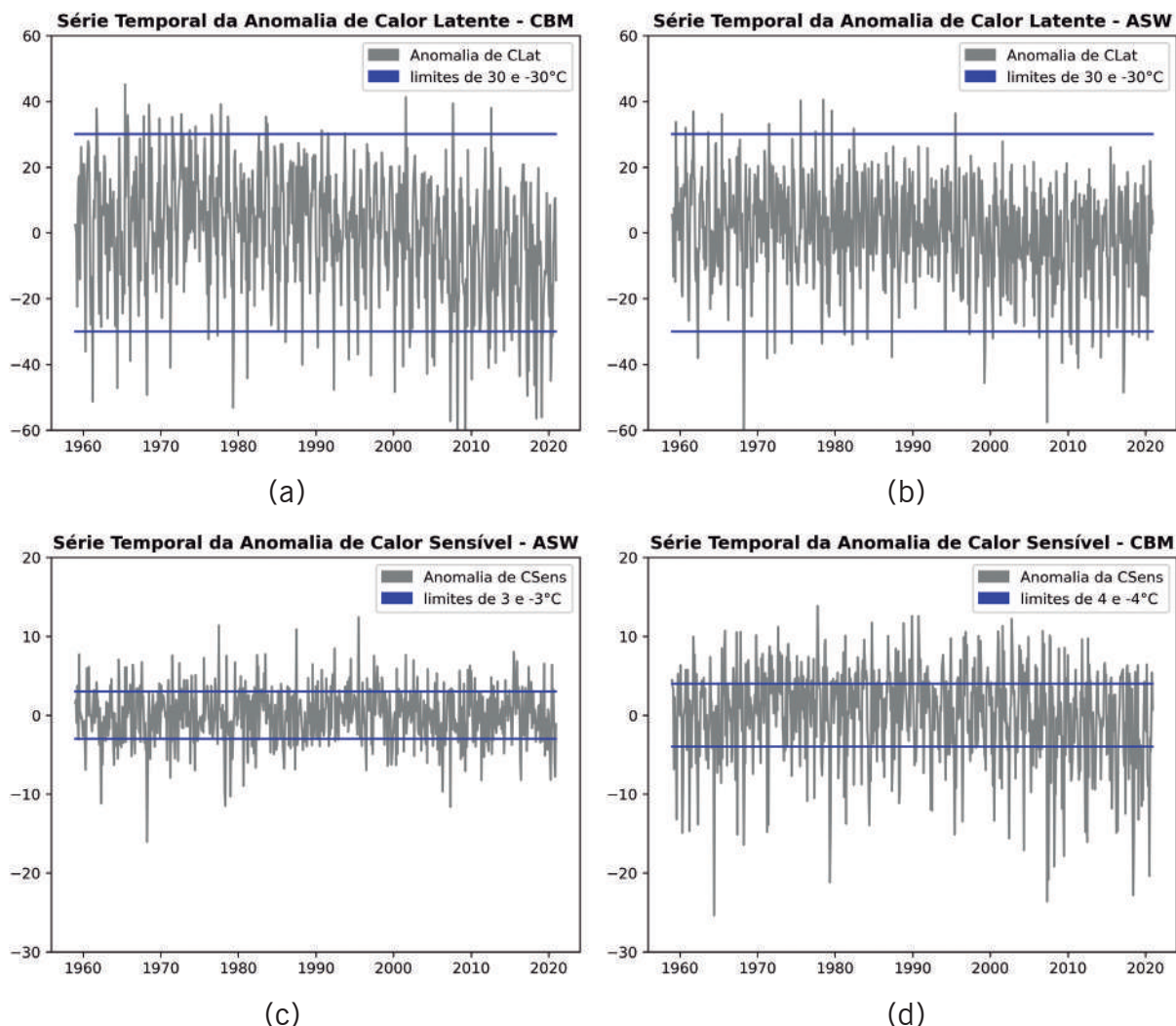


Figura 7 – Séries temporais da média mensal de anomalias do fluxo de calor latente, em  $W/m^2$ , para (a) área ASW e (b) área CBM, e fluxo de calor sensível, em  $W/m^2$ , (c) área ASW e (d) área CBM. As linhas azuis servem como referência para identificar os valores máximos e mínimos de anomalia em cada área

Na Figura 7 são apresentadas as figuras dos fluxos de calor latente e calor sensível para as áreas ASW e CBM. Um aspecto que merece atenção, é que os referidos fluxos na área CBM (Figura 7b e 7d) tem maiores amplitudes que os fluxos da área ASW. Outro ponto interessante é que, após o ano 2000, a área CBM tem mais ocorrências de fluxo de calor latente inferior à  $-30W/m^2$  e fluxo de calor sensível inferior à  $-4W/m^2$ . Esta situação está de acordo com o observado para a anomalia média anual da TSM mostradas na figura 4b, onde são

observados valores positivos na costa sudeste da América do Sul, sendo os maiores valores posicionados na região de atuação da Confluência Brasil-Malvinas.

Para auxiliar a avaliação da variação dos fluxos de calor ao longo da série de dados e suavizar os efeitos sazonais, foi calculada a média móvel destas variáveis, que estão representadas na figura 8. Além da média móvel, na mesma figura, estão representadas as retas de regressão linear para a série histórica e para as séries antes e depois do ano 2000.



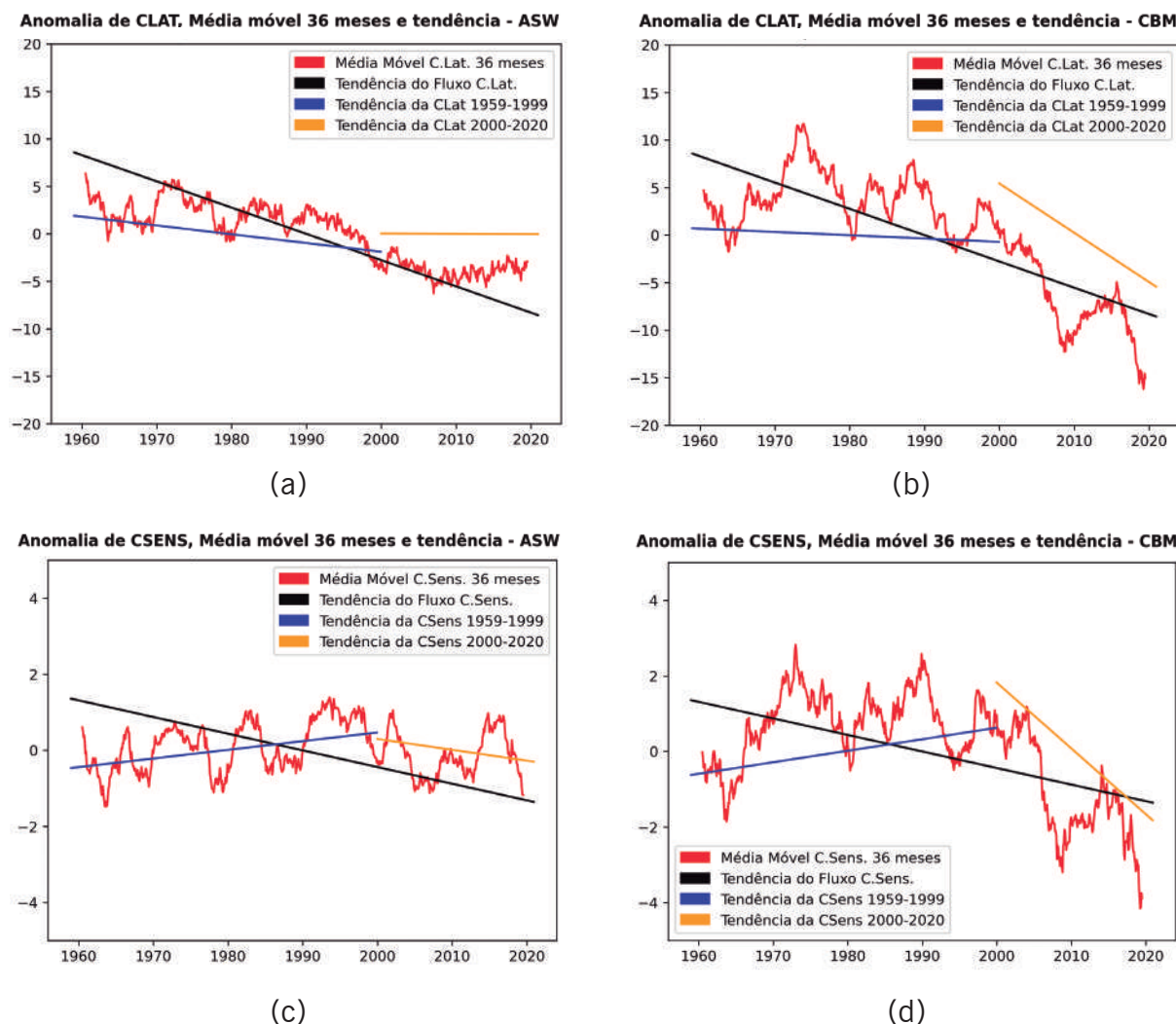


Figura 8 – Série temporal da média móvel de 36 meses da anomalia dos fluxos de calor latente, em  $W/m^2$ , nas áreas (a) ASW e (b) CBM, e fluxos de calor sensível, em  $W/m^2$ , (c) ASW e (d) CBM, com as retas de tendência obtidas por regressão linear para 62 anos (linha preta), 1959-1999 (linha azul) e 2000-2020 (linha laranja)

Observando as séries das médias móveis do fluxo de calor é ainda mais evidente a diferença de amplitude entre os fluxos das áreas ASW e CBM. Lembrando que fluxo negativo implica em fluxo no sentido do oceano para a atmosfera, é interessante notar que as séries de calor latente apresentam uma nítida redução depois do ano 2000, coincidindo com o crescimento das anomalias positivas de TSM discutidas anteriormente. No caso do fluxo de calor sensível, a redução é

mais evidente na série da área CBM e a partir do ano 2005. Na área ASW, a redução é mais discreta que na CBM, e ocorre principalmente entre o ano 2000 e o ano 2010, e após 2018.

A tendência de fluxo de calor do oceano para a atmosfera é mais explícita observando a reta de regressão linear da série histórica para as duas regiões de interesse (reta na cor preta nas figuras 8 a-d). A inclinação das retas da série histórica é negativa em todas as situações.

No caso da tendência dos fluxos depois do ano 2000, na área CBM os coeficientes são negativos tanto para o fluxo de calor latente quanto para o fluxo de calor sensível. Também percebe-se que os valores absolutos de fluxo são bem maiores para a região da CBM que para a região ASW. Ainda na área ASW, observa-se que a reta de tendência de aumento do fluxo de calor sensível do oceano para atmosfera após o ano 2000 tem inclinação semelhante à da reta da série histórica. Já para o fluxo de calor latente, o crescimento na área ASW ocorre ao longo da década de 90, mantendo uma tendência de estabilidade após o ano 2000.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estabelecer relações entre anomalias de TSM, ciclo de vida de tempestades, regime de precipitação na costa sul-sudeste da América do Sul e fluxos de calor no Atlântico é um assunto de extrema relevância para a compreensão e análise do tempo e do clima na América do Sul e no Oceano Atlântico Sul. Sob esta ótica, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise de séries temporais de TSM e fluxos de calor latente e calor sensível, da base de dados do ECMWF, procurando identificar tendências nas séries temporais e relacionar as variações da TSM com as tendências dos fluxos de calor em duas áreas no Atlântico, denominadas neste estudo de ASW e CBM.

Para avaliar a existência de tendência nas séries de TSM foi feita uma regressão linear dos dados e também foi aplicado o teste estatístico de *Mann-Kendall*.

As análises foram realizadas para a série histórica (62 anos de dados), e para os períodos antes do ano 2000 (1959-1999) e após o ano 2000 (2000-2020).

Analisando em primeiro lugar a distribuição espacial da anomalia média anual da TSM nos períodos antes e depois do ano 2000, percebeu-se uma anomalia positiva significativa no Atlântico Sudoeste na média pós ano 2000, sendo os maiores valores localizados na área CBM. Para avaliar um possível deslocamento da região da Confluência Brasil-Malvinas, que faria com que as águas superficiais mais quentes sofressem mudança na posição climatológica, foi calculado o gradiente meridional da TSM média mensal, e não foi verificada variação significativa do posicionamento das feições observadas na costa leste da América do Sul. Os valores mais significativos do gradiente meridional ocorrem na região da CBM, com uma ligeira intensificação do gradiente no período após o ano 2000.

Seguindo com as avaliações, as séries temporais das médias móveis da anomalia de TSM para as áreas ASW e CBM apresentaram um comportamento semelhante em torno do ano 2000, quando esta variável parece sofrer um incremento. Esta tendência foi avaliada num primeiro momento utilizando a reta de regressão linear das séries. No caso das séries históricas, as retas para as duas regiões de estudo mostram inclinação positiva (tendência de aumento). Já avaliando os períodos antes e depois do ano 2000, essa tendência mostra coeficiente nitidamente positivo apenas para a área CBM e após o ano 2000.

O teste de *Mann-Kendall* foi aplicado para verificação estatística de tendência



nas séries temporais de TSM, com significância de 0,05. Apenas na série histórica da área CBM foi confirmada a hipótese de tendência de aumento. No caso da série após o ano 2000 para esta mesma área, não foi possível confirmar a tendência de crescimento da anomalia, mesmo com o coeficiente de regressão linear bastante significativo. Uma explicação para este fato, pode ser a interferência de ciclos sazonais e interanuais nos dados, ocultando sinais associados a possíveis tendências. Reavaliar as tendências das séries por trimestres, pode reduzir este efeito.

Conforme esperado, os fluxos de calor latente e calor sensível mostraram associação bastante consistente com as anomalias positivas de TSM. Observando as séries temporais dos fluxos de calor latente e calor sensível nas áreas ASW e CBM, a segunda apresentou maiores fluxos do oceano para a atmosfera do que a primeira. A CBM foi a área que mostrou

maior anomalia positiva de TSM especialmente após o ano 2000. Outro aspecto interessante, é que nessa região observou-se os maiores gradientes meridionais de TSM, que também influenciam as trocas de calor entre oceano e atmosfera. Outra boa correspondência entre a variação da TSM e os fluxos de calor pode ser notada com a análise da regressão linear, onde as séries históricas dos fluxos de calor latente e calor sensível mostram uma tendência de intensificação do fluxo do oceano para a atmosfera, como resposta às anomalias positivas da TSM.

Como principal resultado deste trabalho, fica a constatação da tendência positiva na série temporal de 62 anos da anomalia de TSM para a área CBM. Com toda certeza, este resultado não é definitivo, mas contribui com a discussão sobre a variabilidade da TSM no Atlântico Sudoeste, e aponta para a necessidade de melhorar a compreensão dos mecanismos de interação entre o oceano e a atmosfera.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CATALDI, M. Estudo Numérico da Influência das anomalias da TSM do Atlântico Sul extratropical e do pacífico equatorial no regime hidrometeorológico das regiões sul e sudeste do Brasil. 2008. p. 225. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.

CATALDI, M.; ASSAD, L.P. de F.; JUNIOR, A. R. T.; ALVES, J. L. D.. *et al.* 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, dez. 2010.



CHAVES, R. R.; NOBRE, P. *Interactions between sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. Geophysical Research Letters*, v. 31, n. 3, p. L03204, 2004.

CHELTON, D.B.; SCHLAX, M.G.; WITTER, D.L.; RICHAMAN, J.G.. *Geosat Altimeter Observations of the Surface Circulation of the Southern Ocean. Journal of Geophysical Research*, v. 95, n. C10, p. 17877-17903, out. 1990.

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.

DAL PIVA, E.; MOSCATI, M. C. DE L.; GAN, M. A. Papel dos fluxos de calor latente e sensível em superfície associado a um caso de ciclogênese na Costa Leste da América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, V. 23, N. 4, P. 450–476, DEZ. 2008.

DIAZ, A. F., STUDZINSKI, C. D., MECHOSO, C. R. *Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. Journal of Climate*, v. 11, N. 2, P. 251–271, FEV. 1998.

DOURADO, M. S.; CALTABIANO, A. C. V. Novos conceitos na definição da temperatura da superfície do mar. In: SOUZA, R. B. *Oceanografia por satélites*. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. p. 136-147.

EVANS, J. L.; BRAUN, A. *A Climatology of Subtropical Cyclones in the South Atlantic. Journal of Climate*, v. 25, n. 21, p. 7328–7340, nov. 2012.

FREITAS, R. A. P. DE; SOUZA, R. B. DE. Influência das anomalias da temperatura da superfície do mar em regiões de latitudes médias e altas na trajetória preferencial dos ciclones extratropicais sob condições climáticas de aquecimento global. *Ciência e Natura*, v. 0, n. 0, p. 449–451, 13 nov. 2013.

GILLE, S. T. *Decadal-scale temperature trends in the Southern Hemisphere ocean. Journal of Climate*. v. 21, n. 18, p. 4749–4765, set. 2008.

GOZZO, L. F. *Ciclones Subtropicais sobre o sudoeste do Atlântico Sul: Climatologia e fontes de umidade*. p. 153. 2014. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014.



HERSBACH, H., BELL, B., BERRISFORD, P., HIRAHARA, S., HORÁNYI, A., MUÑOZ-SABATER, J., NICOLAS, J., PEUBEY, C., RADU, R., SCHEPERS, D., SIMMONS, A., SOCI, C., ABDALLA, S., ABELLAN, X., BALSAMO, G., BECHTOLD, P., BIAVATI, G., BIDLOT, J., BONAVITA, M., DE CHIARA, G., DAHLGREN, P., DEE, D., DIAMANTAKIS, M., DRAGANI, R., FLEMMING, J., FORBES, R., FUENTES, M., GEER, A., HAIMBERGER, L., HEALY, S., HOGAN, R.J., HÓLM, E., JANISKOVÁ, M., KEELEY, S., LALOYLAUX, P., LOPEZ, P., LUPU, C., RADNOTI, G., DE ROSNAY, P., ROZUM, I., VAMBORG, F., VILAUME, S., THÉPAUT, J.N. THE ERA5 GLOBAL REANALYSIS. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. V. 146, N. 730, P. 1999-2049, 2020.

KENDALL, M. G. *Rank correlation measures*. Charles Griffin: London, U.K, p.220, 1975.

LOPES, J. R. F; DA SILVA, D. F. Aplicação do teste de *mann-kendall* para análise de tendência pluviométrica no Estado do Ceará. *Revista de Geografia (UFPE)*, v. 30, N. 3, 2013.

LEYBA, I. M.; SOLMAN, S. A.; SARACENO, M. *Trends in sea surface temperature and air-sea heat fluxes over the South Atlantic Ocean*. *Climate Dynamics*, v. 53, n. 7–8, p. 4141–4153, out. 2019.

LIAN, T., SHEN, Z., YING, J., TANG, Y., LI, J., LING, Z. *Investigating the uncertainty in global SST trends due to internal variations using an improved trend estimator*. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. v. 123, p. 1877– 1895, 2018.

MANN, H. B. *Econometrica*. *The econometric society*, v.13, n.3, p.245-259, 1945.

MARRAFON, V. H., REBOITA, M. S., ROCHA, R. P. da, JESUS, E. M. de. Classificação dos tipos de ciclones sobre o oceano Atlântico Sul em projeções com o RegCM4 e MCGs. *Revista Brasileira de Climatologia*. v. 30, jan-jun 2022.

OLIVEIRA, D. M. DE. Análise Sinótica de Seis Ciclones Subtropicais no Sudoeste do Oceano Atlântico Sul e experimentos numéricos de sensibilidade. 2019. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG. 2019.

PEZZI, L. P. *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*, 16 mar. 2022.

PICKARD, G. L.; EMERY, W. J. *Introductory Descriptive Physical Oceanography*. 5. ed. Oxford: Pergamon Press, 1990. 336 p.





REBOITA, M. S. *et al.* *South Atlantic Ocean cyclogenesis climatology simulated by regional climate model (RegCM3)*. *Climate Dynamics*, v. 35, n. 7–8, p. 1331–1347, dez. 2010.

RISARO, D. B.; CHIDICHIMO, M. P.; PIOLA, A. R. *Interannual Variability and Trends of Sea Surface Temperature Around Southern South America*. *Frontiers in Marine Science*, v. 9, p. 829144, 4 mar. 2022.

SEBA, Walid Maia Pinto Silva e. Impacto da TSM de alta resolução em simulações de previsão numérica do tempo na região da confluência Brasil-Malvinas. 2011. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2011. XXXIV + 145 p.

SILVA, B. A.; REBOITA, M. S. Climatologia do Índice do Potencial de Gênese de Ciclones Tropicais nos Oceanos Adjacentes à América do Sul. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 44, 19 mar. 2021.

TEIXEIRA, Fabiola Valéria Barreto. Estudo da Zona de Convergência do Atlântico Sul com Simulações Estendidas do Modelo Regional Atmosférico RAMS. 2000. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro. 2000.





# ANÁLISE DOS PARÂMETROS DESCRITIVOS DE ONDA COLETADOS POR ONDÓGRAFO DE PRODUÇÃO NACIONAL

*Pedro Octavio Foloni Sousa*<sup>1\*</sup>

*Elias de Castro Nadaf*<sup>2</sup>

*Leonardo Ferraz*<sup>3</sup>

*Luiz Alexandre A. Guerra*<sup>4</sup>

*André L. T. Mendes*<sup>5</sup>

## RESUMO

O presente estudo apresenta uma análise preliminar dos parâmetros descritivos de onda obtidos por dois ondógrafos diferentes: o *MessenOcean* UCMO-1, de fabricação nacional, e o *AXYS Next Wave II*. Ambos os sensores foram instalados no centro de gravidade de uma boia *AXYS 3M* e submetidos a testes de campo, na Baía de Santos, no período entre dezembro de 2022 e abril de 2023. Com o objetivo de avaliar a correlação entre as medições dos sensores, foram plotadas as séries temporais dos parâmetros de cada sensor, bem como seus gráficos de dispersão, e calculadas as métricas estatísticas RMSE, MAE e correlação de *Pearson*. Os resultados mostraram uma correlação forte nas medições da altura de onda, e indicaram a necessidade de realizar esforços analíticos adicionais para descrever as diferenças observadas nos parâmetros direção média de ondas e período de pico.

<sup>1</sup> Oceanógrafo pela USP, M. Sc. Em Dinâmica Costeira pela USP, e colaborador técnico na área de eletrônica do projeto REMO Observacional. Email: p.foloni@gmail.com

<sup>2</sup> Oficial do Corpo da Armada, M. Sc. em Meteorologia e Oceanografia Física pela *Naval Postgraduate School*, e Encarregado da Divisão de Oceanografia Operacional do CHM. Email: nadaf@marinha.mil.br

<sup>3</sup> Engenheiro Mecânico pela UNIP, e colaborador técnico na área de eletrônica do projeto REMO Observacional. Email: leonardo-fg1980@gmail.com

<sup>4</sup> Oficial do Quadro Técnico da Reserva Não Remunerada, Oceanógrafo, D.Sc., e Profissional NS Master PETROBRAS/CENPES. Email: laguerra@petrobras.com.br

<sup>5</sup> Oceanógrafo, D.Sc., e Profissional NS Sênior PETROBRAS/CENPES. Email: andreltm@petrobras.com.br



**Palavras-chave:** medição de ondas, ondógrafo, análise comparativa, Baía de Santos.

## ABSTRACT:

The present study provides a preliminary analysis of the data obtained by two different wave sensors: the Messen-Ocean UCMO-1, made in Brazil, and the AXYS Next Wave II. Both sensors were installed at the center of gravity of an AXYS 3M buoy and subjected to field tests between December 2022 and April 2023. To evaluate the correlation between the sensor measurements, the time series of parameters for each sensor were plotted, along with their scatter plots. Statistical such as RMSE, MAE and Pearson correlation were calculated. The results show a strong correlation in Wave Height, and indicated the need for additional analytical efforts to describe the observed differences in the mean wave direction and peak period parameters.

**Keywords:** wave measurements, wave sensor, comparative analysis, Santos Basin

## 1. INTRODUÇÃO

A medição das ondas do mar é fundamental para diversas aplicações, como previsão de tempo, monitoramento de processos costeiros e projetos de engenharia costeira, entre outras. Atualmente, existe uma ampla variedade de sensores com esse propósito. Esses sensores, comumente chamados de ondógrafos, apresentam diferentes métodos de aquisição,

princípios de funcionamento, precisão e acurácia. Um dos métodos mais aceitos consiste na utilização de acelerômetros combinados com giroscópios e bússolas. Sistemas desse tipo são capazes de reproduzir os principais descritores de onda. No entanto, as incertezas na medição aumentam de acordo com a qualidade desses componentes e o algoritmo de processamento por trás do *hardware*.

De maneira geral, há uma grande carência de informações de ondas na costa brasileira. Dentre os principais entraves, está o alto custo associado à compra e importação de sensores de ondas. Diante dessa problemática, é estratégico promover o desenvolvimento de tecnologias nacionais, visando à redução de custos e ampliação da capacidade de monitoramento meteoceanográfico em Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB).

Nesse contexto, o projeto “Pesquisa e Desenvolvimento para Consolidação da Tecnologia da Boia Meteoceanográfica Nacional” surge como uma iniciativa relevante, visando aprimorar o conhecimento sobre o clima de ondas na costa brasileira. Resultado de uma parceria entre o Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) e a Petrobras, o projeto é parte integrante da Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica (REMO) e tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento de sistemas de medição de ondas, bem como fornecer informações em apoio às atividades de meteorologia e oceanografia do Brasil, visando a segurança da navegação, salvaguarda da vida humana no mar e o aumento da eficiência das operações *offshore*, em conjunto com o Programa Nacional de Boias (PNBOIA).