

ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES CMIP6 NA REPRESENTAÇÃO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR NOS EXPERIMENTOS HISTÓRICOS E CENÁRIOS FUTUROS

WELISON DE OLIVEIRA PRATA¹, FERNANDA CASAGRANDE², MARCUS VINICIUS RIBEIRO DE SOUZA³ ROSE ANE PEREIRA DE FREITAS⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – welisonprata99@gmail.com

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - fe.casagrande2@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas -mvrds.fis18@uea.edu.br

⁴Rose Ane Pereira de Freitas – freitas.rose@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) é um dos principais indicadores climáticos e contribui significativamente para a regulação do clima global. Através da sua influência direta sobre a taxa de evaporação, a TSM afeta a quantidade de vapor d'água presente na atmosfera, intensificando a umidade atmosférica e, consequentemente, o ciclo hidrológico (WALLACE & HOBBS, 2006). Entender os padrões de variabilidade da TSM e como ela responde a diferentes forçantes climáticas é necessário para o desenvolvimento de previsões climáticas robustas, especialmente em cenários futuros marcados pelo aquecimento global.

Neste contexto, o Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) contribui significativamente ao proporcionar uma plataforma para a comparação de simulações de alta e baixa resolução, que permitem avaliar o desempenho dos modelos climáticos na representação da TSM e suas interações com o vapor d'água. Esta análise se torna ainda mais relevante na medida em que se busca compreender a influência da TSM sobre as condições atmosféricas em diferentes regiões do planeta, tanto em escalas temporais passadas como futuras.

Sendo assim, este estudo busca analisar as melhorias na representação do vapor d'água e Temperatura a Superfície do Mar (TSM) no Hemisfério Sul, bem como a correlação entre as variáveis, a partir da simulação de modelos de alta e baixa resolução horizontal pertencentes ao projeto CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project, Phase 6) para o tempo passado/presente e cenários futuros.

2. METODOLOGIA

2.1 Região de estudo

A região de estudo deste trabalho tem foco no Hemisfério Sul, abrangendo as latitudes de 0° a 60°S, cobrindo áreas oceânicas e atmosféricas dessa parte do globo. Este enfoque geográfico é determinante, pois a variabilidade climática nesta região, especialmente em relação à TSM, exerce uma influência significativa sobre a circulação atmosférica e os padrões de precipitação. As mudanças na TSM no Hemisfério Sul influenciam diretamente fenômenos como o El Niño–Oscilação Sul (ENOS), que afeta tanto os sistemas atmosféricos locais quanto globais (Willis et al., 2023; Cheng et al., 2022).

A escolha dessa faixa latitudinal também permite uma análise detalhada dos impactos da variabilidade da TSM nas regiões subtropicais e polares do Hemisfério Sul, áreas de grande importância para o clima global, influenciando correntes oceânicas, ventos e os padrões de circulação de grande escala, como a

Circulação de Hadley e a Corrente Circumpolar Antártica (Hersbach et al., 2020). Essas regiões são fundamentais para entender o papel da TSM nas mudanças climáticas em termos de absorção de calor pelos oceanos e redistribuição desse calor para a atmosfera.

2.2 Dados de Reanálise

Os dados de reanálise utilizados neste estudo provêm do conjunto ERA5, produzido pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF). A reanálise ERA5 fornece dados atmosféricos e da superfície terrestre com uma resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, abrangendo desde 1950 até os dias atuais. Este conjunto de dados é amplamente utilizado para validar simulações climáticas, oferecendo uma representação detalhada de variáveis atmosféricas e oceanográficas em escala global. As reanálises combinam observações de satélites e dados in situ com modelos numéricos para fornecer uma descrição coerente da variabilidade climática ao longo do tempo (Hersbach et al., 2020).

2.3 Modelos Climáticos e do Sistema Terrestre

O estudo utiliza simulações climáticas do CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6), com foco nos experimentos de alta e baixa resolução. O CMIP6 inclui diversos modelos climáticos de instituições globais, como o Hadley Centre e o ECMWF, que permitem simulações acopladas à oceano-atmosfera com diferentes níveis de resolução. O HighResMIP é um dos principais conjuntos de experimentos dentro do CMIP6 que se concentra em avaliar o impacto da resolução horizontal na simulação de processos atmosféricos e oceânicos (Haarsma et al., 2020).

2.4 Experimentos

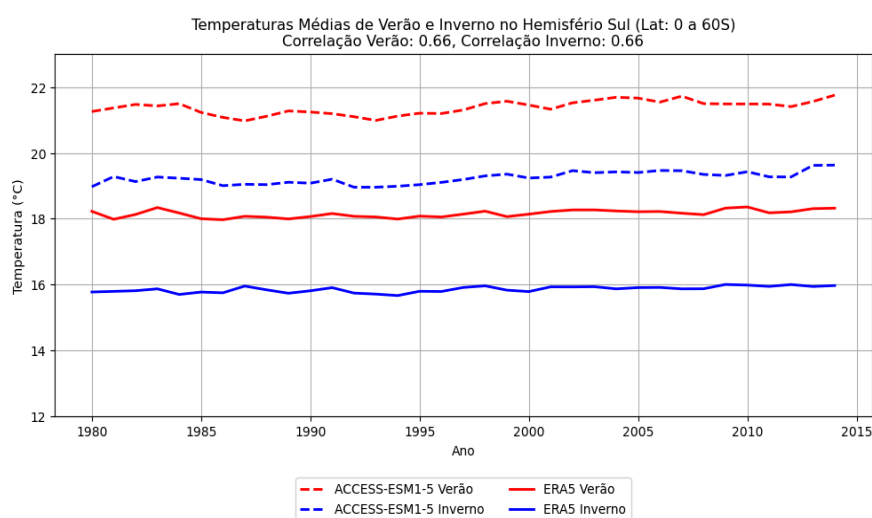
Os experimentos numéricos deste estudo incluem tanto simulações históricas (1980-2014) quanto cenários futuros (2015-2100), seguindo o protocolo estabelecido pelo CMIP6. O experimento histórico permite avaliar a capacidade dos modelos em reproduzir as condições climáticas passadas, utilizando os dados de reanálise ERA5 como referência. Para os cenários futuros, são utilizados os caminhos socioeconômico SSP5-8.5, que simulam diferentes níveis de emissão de gases de efeito estufa e suas consequências sobre a TSM e o vapor d'água (O'Neill et al., 2016). Esses experimentos são importantes para prever como as mudanças na TSM afetarão o clima em várias escalas espaciais e temporais.

O foco principal é a análise sazonal da TSM em simulações históricas (1980-2014) e projeções futuras (2015-2100), baseadas no cenário SSP5-8.5. As simulações foram comparadas a dados de reanálise atmosférica, utilizando o conjunto ERA5 como referência (HERSBACH et al., 2020).

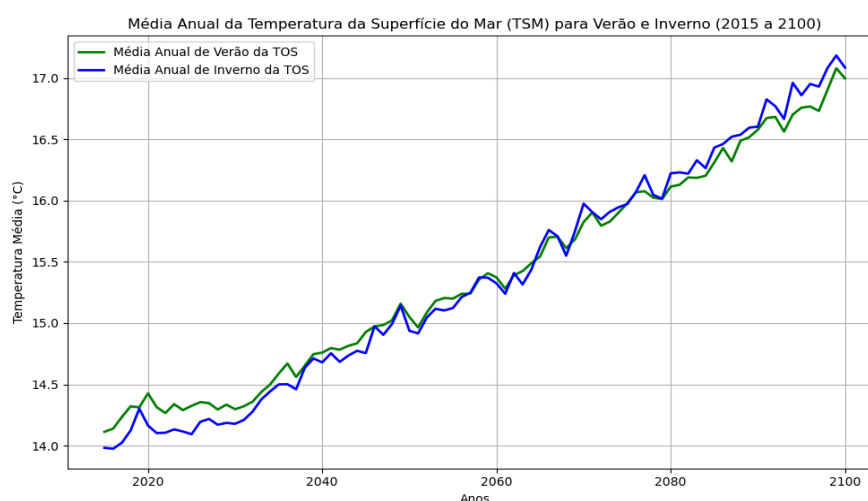
Neste estudo, as simulações do CMIP6 são avaliadas para investigar as variações sazonais e anuais da TSM. A validação dos resultados das simulações é feita com base em dados do ERA5, que oferece uma resolução de $0,25^\circ$ e permite uma análise detalhada dos oceanos (Hersbach et al., 2020). Os modelos de alta resolução usados em projetos como o HighResMIP mostraram ser mais precisos na representação de processos de mesoescala, o que pode melhorar a previsão de eventos como ondas de calor marinhas e anomalias de TSM (Haarsma et al., 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas simulações históricas (Figura 1a), observou-se uma correlação moderada de 0,66 entre as temperaturas médias mensais da TSM no Hemisfério Sul, para ambas as estações, ao comparar os modelos ACCESS-ESM1-5 e ERA5 no período de 1980 a 2014. Esse resultado sugere uma performance consistente dos modelos tanto no verão quanto no inverno. A correlação equivalente nas duas estações pode indicar que os modelos capturam de forma semelhante as variações sazonais da TSM, apesar de diferentes processos atmosféricos e oceânicos que influenciam as estações de maneira distinta.



(a)



(b)

Figura 1. Temperatura da Superfície do Mar (a) Temperaturas médias mensais de inverno e verão no Hemisfério Sul entre 1980 e 2014, comparando os modelos ACCESS-ESM1-5 e ERA5, (b) Projeções futuras da TSM (2015-2100) para os meses de verão e inverno de 2015 a 2100.

A Figura 1b apresenta as projeções futuras da TSM entre 2015 e 2100, de acordo com o cenário SSP5-8.5, que pressupõe um aumento significativo das

emissões de gases de efeito estufa (O'NEILL et al., 2016). Os resultados mostram que a TSM apresenta uma tendência de aumento expressivo até 2100. Observando-se o ciclo nota-se um aumento consistente na TSM em ambas as estações ao longo do período com aumentos e declínios sazonais. Embora a TSM no verão seja ligeiramente superior à do inverno, a diferença entre as duas diminui progressivamente com o tempo. Esse aquecimento constante reflete as tendências associadas às mudanças climáticas globais, indicando uma menor variabilidade sazonal e potenciais impactos em sistemas climáticos e ecossistemas marinhos.

4. CONCLUSÕES

A inovação deste trabalho está na análise detalhada da performance dos modelos climáticos, com foco na comparação entre simulações históricas de TSM no Hemisfério Sul. O estudo identificou uma correlação consistente para ambas as estações, destacando uma boa precisão dos modelos na captura das variações sazonais. Além disso, as projeções futuras indicam uma redução da variabilidade sazonal, sugerindo impactos significativos no clima global e nos ecossistemas marinhos. A pesquisa avança o conhecimento sobre respostas climáticas no contexto das mudanças globais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHENG, L. et al. Another year of record heat for the oceans. *Advances in Atmospheric Sciences*, Amsterdam, v.40, p.963-974, 2023.

HERSBACH, H. et al. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Washington, v.146, n.730, p.1999-2049, 2020.

O'NEILL, B. C. et al. The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, Göttingen, v.9, p.3461-3482, 2016.

SCHMIDT, G. A. et al. Rising Sea Surface Temperatures and Global Climate Impacts. *Nature Climate Change*, New York, v.13, p.432-443, 2023.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. *Atmospheric Science: An Introductory Survey*. Amsterdam: Elsevier, 2006.

WILLIS, J. et al. The Ocean Has a Fever. *NASA Earth Observatory*, 2023.