



MODULADORES DA VARIABILIDADE DO ATLÂNTICO TROPICAL: UM ESTUDO POR FUNÇÕES ORTOGONAIS EMPÍRICAS

Ramon Batista dos Santos¹; Marcelo Freitas Santini²; Douglas Francisco Marcolino Gherardi³

¹ Laboratório de Estudos do Oceano e da Atmosfera (LOA), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Divisão de Observação da Terra e Geoinformática (DIOTG), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos - SP, Brasil. ramon.santos@inpe.br
<https://orcid.org/0009-0009-0010-919X>

² Laboratório de Estudos do Oceano e da Atmosfera (LOA), Divisão de Observação da Terra e Geoinformática (DIOTG), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos - SP, Brasil.
santini.marcelo@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6760-2247>

³ Laboratório de Estudos do Oceano e da Atmosfera (LOA), Divisão de Observação da Terra e Geoinformática (DIOTG), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos - SP, Brasil.
douglas.gherardi@inpe.br
<https://orcid.org/0000-0003-3471-7213>

RESUMEN. El Océano Atlántico Tropical (AT) influye en los procesos atmosféricos y oceánicos a gran escala, siendo importante en la dinámica climática global. Comprender y describir cuantitativamente la dinámica del AT en función de sus procesos termodinámicos contribuye al desarrollo de modelos del sistema Tierra. Así, este estudio tuvo como objetivo identificar patrones de variabilidad en la temperatura superficial y la salinidad del océano en la profundidad de la capa de mezcla, y cómo se relacionan estas variables. El Método de Funciones Ortogonales Empíricas (EOF) se utilizó en una serie histórica de 28 años del Reanálisis Global de Física Oceánica. Los resultados muestran que la mayor parte de la variación puede explicarse por los primeros tres modos de los EOF: 92,72% para la temperatura, 76,61% para la salinidad y 73,07% para la profundidad de la capa de mezcla. Se observó que el patrón dominante de variabilidad espacial y temporal de la salinidad está relacionado con las descargas de los ríos y la precipitación en la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). En contraste, para la temperatura de la superficie del mar, se identificaron como principales moduladores el Modo Meridional del Atlántico (MMA) y el Modo Ecuatorial del Atlántico Tropical. En cuanto a la profundidad de la capa de mezcla, las influencias mutuas de la temperatura y la salinidad fueron evidentes en los modos EOF. Se concluye que diferentes forzamientos físicos influyen en la termodinámica del AT, destacando el papel de las influencias mutuas en la variabilidad espacio-temporal del sistema océano-atmósfera tropical.

Palabras-clave: Análisis espacio-temporal; GLORYS; Variabilidad oceánica.

RESUMO. O oceano Atlântico Tropical (AT) influencia processos atmosféricos e oceânicos em larga escala, sendo importante na dinâmica climática global. Compreender e descrever quantitativamente a dinâmica do AT com base em seus processos termodinâmicos contribui para o desenvolvimento de modelos do sistema terrestre. Assim, este estudo teve como objetivo identificar padrões de variabilidade da temperatura e salinidade superficiais do oceano a profundidade da camada de mistura, e como estas variáveis se relacionam. Foi utilizado o Método das Funções Ortogonais Empíricas (EOF) em uma série histórica de 28 anos do Global Ocean Physics Reanalysis. Os resultados mostram que a grande parte da variância pode ser explicada pelos três primeiros modos das EOFs: 92,72% para temperatura, 76,61% para salinidade, e 73,07% para profundidade da camada de mistura. Observou-se que o padrão dominante da variabilidade espacial e temporal da salinidade está relacionado com descargas fluviais e a precipitação na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Enquanto para a temperatura da superfície do mar, o Modo Meridional do Atlântico (MMA) e o modo equatorial do Atlântico Tropical foram identificados como principais moduladores. Já para a profundidade da camada de mistura, foram evidentes nos modos EOF as



influências mútuas da temperatura e salinidade. Conclui-se que diferentes forçantes físicas influenciam na termodinâmica do AT, destacando o papel das influências mútuas na variabilidade espaço-temporal do sistema oceano-atmosfera tropical.

Palavras-chave: Análise espaço-temporal; GLORYS; Variabilidade Oceânica.

ABSTRACT. The Tropical Atlantic ocean (TA) influences large-scale atmospheric and oceanic processes and is crucial for global climate dynamics. Understanding and quantitatively describing the AT dynamics based on its thermodynamic processes contribute to the development of Earth system models. Thus, this study aimed to identify patterns of variability in ocean surface temperature and salinity at the depth of the mixed layer, and how these variables relate. The Empirical Orthogonal Functions (EOF) method was used on a 28-year time series of the Global Ocean Physics Reanalysis. The results show that most of the variance can be explained by the first three EOF modes: 92.72% for temperature, 76.61% for salinity, and 73.07% for the depth of the mixed layer. It was observed that the dominant pattern of spatial and temporal variability of salinity is related to river discharges and precipitation in the Intertropical Convergence Zone (ITCZ). In contrast, for sea surface temperature, the Atlantic Meridional Mode (ASM) and the Tropical Atlantic Equatorial Mode were identified as the main modulators. For the mixed layer depth, the mutual influences of temperature and salinity were evident in the EOF modes. It is concluded that different physical forcings influence the TA thermodynamics, highlighting the role of mutual influences in the spatiotemporal variability of the tropical ocean-atmosphere system.

Keywords: Spatio-temporal analysis; GLORYS; Ocean variability.

1. INTRODUÇÃO

O oceano Atlântico Tropical (AT) é uma região de complexidade hidrotermodinâmica devido à sua localização entre os trópicos, o que faz com que receba maior incidência solar e calor em relação às altas latitudes (Hsiung, 1986). Os fluxos de massa e energia são capazes de influenciar e serem influenciados pela dinâmica camada limite atmosférica marinha e pela interação do complexo sistema de circulação oceânica observado na região. Assim, o AT possui um relevante papel na dinâmica do clima global, atuando em processos atmosféricos e oceânicos de larga escala (Lentini *et al.*, 2021), com flutuações nos seus padrões de circulação atmosférica e oceânica interferindo diretamente na posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Esses sistemas são capazes de afetar a convecção atmosférica, modificar os fluxos de calor, massa e momento entre o oceano e a atmosfera, além de influenciar padrões de teleconexão extratropical, que vão desde a modificação dos regimes de vento e precipitação sobre extensas áreas, como a América do Sul, Oceano Índico, África Ocidental e Europa (Nobre, 1996; Lübbecke, 2019; Huang, Schopf, Shukla, 2004).

Conhecer o comportamento de variáveis oceânicas, como temperatura, salinidade e profundidade da camada de mistura, são fundamentais para entender os processos termodinâmicos do oceano Atlântico Tropical. A circulação sobre os trópicos é extremamente sensível às alterações na temperatura da superfície do mar (TSM), uma variável importante para o estudo de processos de interação oceano-atmosfera, que afeta principalmente os fluxos de calor e umidade entre esses dois meios (Lentini *et al.*, 2021). A salinidade, devido à sua contribuição para a flutuabilidade e estratificação da coluna de água, pode também afetar as trocas de calor entre o oceano e a atmosfera (Da-Allada *et al.*, 2013). E a camada de mistura oceânica, por sua vez, controla a relação entre os fluxos ar-mar influenciando os mecanismos de feedback climático (Treguier *et al.*, 2023; Belcher *et al.*, 2012). No mais, essas variáveis oceânicas não afetam somente os processos termodinâmicos, mas também o transporte e distribuição larval de organismos planctônicos, modulando a sobrevivência, o sucesso das espécies e sua conectividade ecológica (Burgess, 2016).

O espectro de frequências dessas variáveis é amplo, englobando a variabilidade intrasazonal, interanual e interdecadal, e sua descrição quantitativa é importante para estudos de processos físicos e para o desenvolvimento de modelagem oceânicas que envolvam diferentes escalas espaciais e temporais (Tzortzi *et al.*, 2016; Whalen, Talley, MacKinnon 2012). A melhor maneira de observar as variações espaciais e temporais das condições superficiais do oceano é por sensoriamento remoto, que permite uma avaliação sinótica da variabilidade desses fenômenos. Somado a isso, o Método das Funções Ortogonais Empíricas (EOF) é uma abordagem estatística amplamente utilizada para identificar correlações significativas entre variáveis, a partir da decomposição de um conjunto de dados em funções de base ortogonais, similar à análise de componentes principais (PCA), o método EOF busca identificar padrões espaciais e projeções temporais (Zhang, Moore, 2014).

Mediante isso, os objetivos deste trabalho foram identificar os padrões de variabilidade da temperatura, salinidade e camada de mistura em uma série histórica de 28 anos, utilizando o método das EOF, na região do oceano Atlântico Tropical. Além disso, buscamos entender os processos físicos que modulam essa variabilidade e correlacionar essas variáveis entre si para identificar e como elas se influenciam mutuamente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo compreende o oceano Atlântico Tropical, entre o Trópico de Câncer a 23°N e o trópico de Capricórnio 23°S e os meridianos 70°O e 20°L (Figura 1). As principais correntes marítimas dessa região são: Corrente Norte Equatorial (CNE); Corrente Sul Equatorial (CSE); Subcorrente Norte do Brasil (SCNB); Corrente Norte do Brasil (CBN); Subcorrente Equatorial Norte (SBNE); Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE); Corrente do Brasil (CB); Corrente de Benguela (CBE); Corrente da Guiné (CG); Corrente das Guianas (CGA) e Subcorrente Equatorial (SCE) (Peterson & Stramma, 1991).

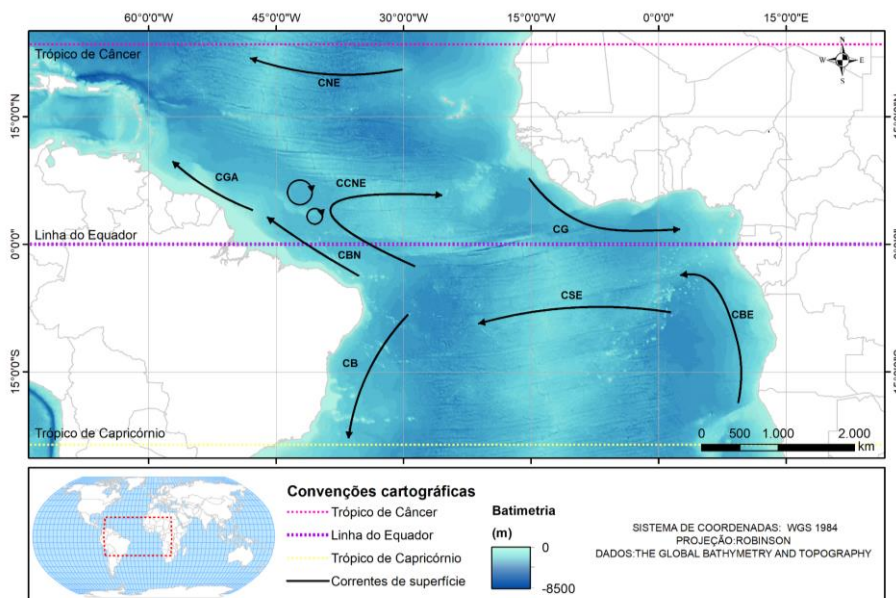


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo referente ao oceano Atlântico Tropical com as principais correntes de superfície (setas) atuantes na bacia Atlântica Tropical.

Fonte: Os autores (2024).



2.2. Aquisição de dados

Foram utilizados produtos do Global Ocean Physics Reanalysis com resolução espacial de $1/12^\circ$ (Aproximadamente 8,30 km nos tópicos) distribuídos pela Copernicus Marine Service do programa espacial da União Europeia (Jean-Michel *et al.*, 2021). Foram adquiridas imagens de médias mensais da temperatura potencial da superfície do oceano (TSM), imagens de salinidade superficial do mar (SSM) e da profundidade da camada de mistura oceânica (PCM), totalizando 1008 imagens, referentes ao período de janeiro de 1993 a dezembro de 2020. O produto GLORYS12 é uma reanálise global que permite resolver processos oceânicos de mesoescala e assimila dados de reanálise do ERA, dados observados de anomalia do nível do mar, temperatura da superfície do mar por satélite, a concentração de gelo marinho e os perfis verticais de temperatura e salinidade in situ (Jean-Michel *et al.*, 2021). Além de fornecerem correções para as tendências de grande escala que evoluem lentamente na temperatura e na salinidade.

2.3. Processamento dados

Os dados foram recortados para o domínio da área de estudo referente ao AT e normalizados para que cada dado tenha uma média zero e um desvio padrão de um, assim os dados originais são padronizados em unidades de desvio padrão. Com os dados normalizados, foi realizado o cálculo das anomalias, retirada a tendência e o ciclo sazonal médio dos dados originais. Nessa etapa, subtrai-se o valor de cada mês pelo respectivo valor do mês climatológico, resultando na remoção da componente sazonal dos dados originais e permitindo a análise das variações temporais restantes. Então, calculou-se a matriz de covariância e em seguida, resolveram-se os autovalores e autovetores da matriz para determinar os componentes principais (PC) e padrões espaciais (EOFs). Os PC gerados foram normalizados e filtrados com uma média móvel de 5 pontos para suavizar flutuações de alta frequência e destacar tendências de longo prazo. A análise de EOF produz padrões e séries temporais que são ortogonais entre si, e resultam de um procedimento estritamente matemático, não sendo baseados na física. Assim, os resultados destacam os padrões de oscilação persistentes na série. A interpretação desses padrões depende da associação do resultado matemático ao conhecimento da física do sistema (Zhang, Moore, 2014). Para esses cálculos, foi utilizado o pacote Python eofs v1.4.0 para análise EOF de dados espaço-temporais (Dawson, 2016).

Por fim, as 3 primeiras componentes principais de cada variável foram analisadas por meio de uma matriz de correlação de Spearman, considerando um nível de significância de 5%. A correlação de Spearman é uma medida não paramétrica de associação entre duas variáveis, que avalia a relação monotônica entre elas, ou seja, se, conforme uma variável aumenta, a outra também aumenta (ou diminui) (Spearman, 1904).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maior parte da variância é explicada pelos três primeiros modos das EOFs, conforme mostrado na Figura 2. Na variância total da TSM, o primeiro modo da EOF explicou 84,09% da variância, seguido pelo segundo modo com 5,64% e o terceiro com 2,99%, totalizando 92,72% da variância da TSM do oceano Atlântico tropical. A SSM é explicada em 76,61% pelas três primeiras EOFs, o primeiro modo capturou a maior parcela da variabilidade, explicando 49,12% da variância total, o segundo modo explicou 22,45%, enquanto o terceiro, 5,03%. Em relação à PCM, os três primeiros modos responderam por 73,07% da variância total, sendo o primeiro modo responsável por 59,05%, o segundo por 10,65% e o terceiro por 3,36%. Os padrões espaciais associados aos modos das EOFs estão apresentados na Figura 3.

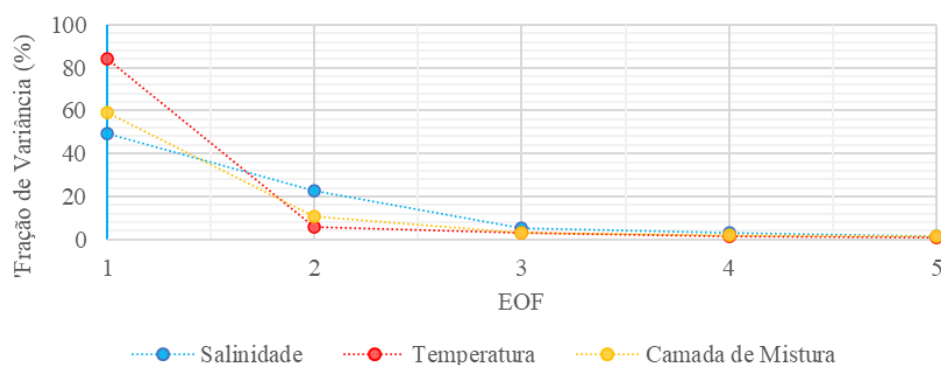


Figura 2. Autovalores das primeiras cinco EOFs indicando o percentual da variância explicada de cada modo. Em azul para SSM, vermelho para TSM e amarelo PCM.

Fonte: Os autores (2024).

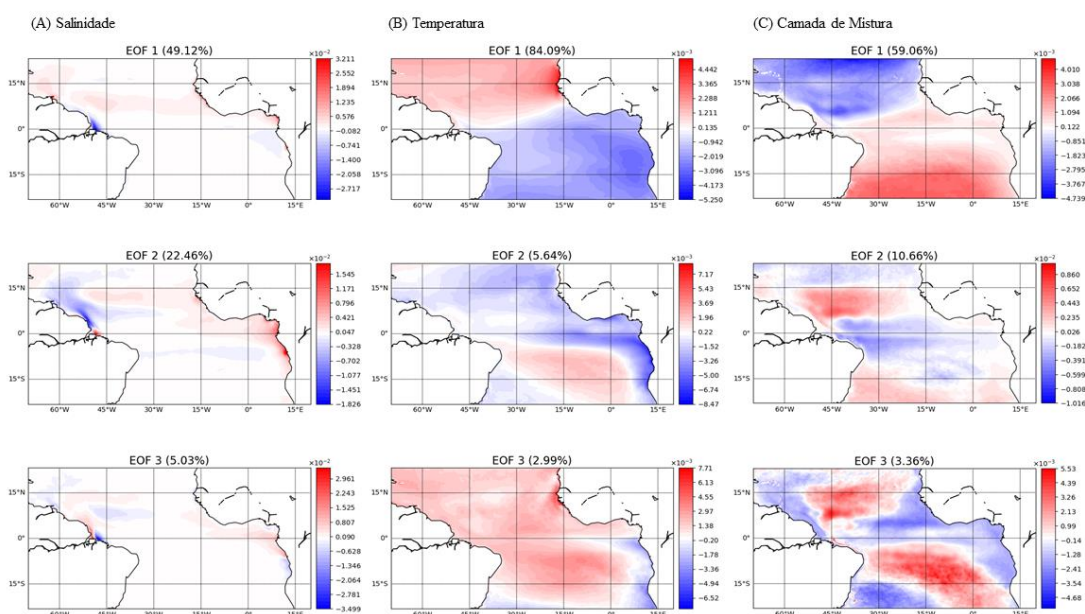


Figura 3. Três primeiras EOFs para (A) salinidade, (B) temperatura e (C) camada de mistura do Atlântico Tropical (1993- 2020). Variância dos modos apresentadas em porcentagem (%).

Fonte: Os autores (2024).

O padrão espacial do primeiro modo (EOF1) da SSM (Figura 3A) sugere a influência da água doce da vazão do rio Amazonas no equador a oeste e pelo rio Congo a leste, na costa leste da África. Há também uma área de anomalias positivas de SSM entre o equador e 15°N, possivelmente associada ao norte da frente de salinidade sob influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) cuja zona de máxima precipitação está presente em torno de 5°N (Simons, 2020). Essa região de máxima precipitação associada ao posicionamento da ZCIT, durante a maior parte do ano, permanece no hemisfério norte, com uma média superior a 2000mm por ano. (Da-Allada *et al.*, 2013) A série temporal dos Componentes Principais correspondentes a este gradiente de salinidade (Figura 4A PC1) apresenta um comportamento anual, ocorrendo picos positivos no primeiro semestre do ano e picos negativos durante o segundo semestre.

Na EOF2, que explica 22,45% da variância da SSM, observa-se um sinal negativo relacionado à grande vazão do Rio Amazonas sob a influência direta da Corrente Norte do Brasil (CNB) e da Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE), afetando assim uma grande parte do Atlântico Tropical. A água da bacia amazônica, ao entrar no Atlântico Tropical, é transportada pela CNB deslocando-se na direção noroeste, adjacente à costa amazônica, durante os meses de julho e agosto, entretanto, quando o transporte da CNB enfraquece, entre abril e maio, a água menos salina é arrastada para leste pela CCNE, levando a um acúmulo de água doce perto da foz do Amazonas e a uma anomalia de salinidade a jusante, perto da costa da Guiana, esse padrão é percebido na EOF2 como um sinal positivo (Gévaudan, Durand, Jouanno, 2022). A série temporal dessa componente (Figura 4A PC2) mostra a interação da sazonalidade na vazão do rio, com os picos positivos ocorrendo no meio do ano, período quando acontece a Retroflexão da corrente Norte do Brasil. O balanço de calor e a variabilidade do vento na superfície do oceano são as forças do escoamento em superfície do oceano, assim o transporte dessas correntes também reflete uma resposta à migração sazonal da ZCIT, resultando em alterações na distribuição dos parâmetros no oceano longo do sistema CNB-Retroflexão (Johns *et al.*, 1998).

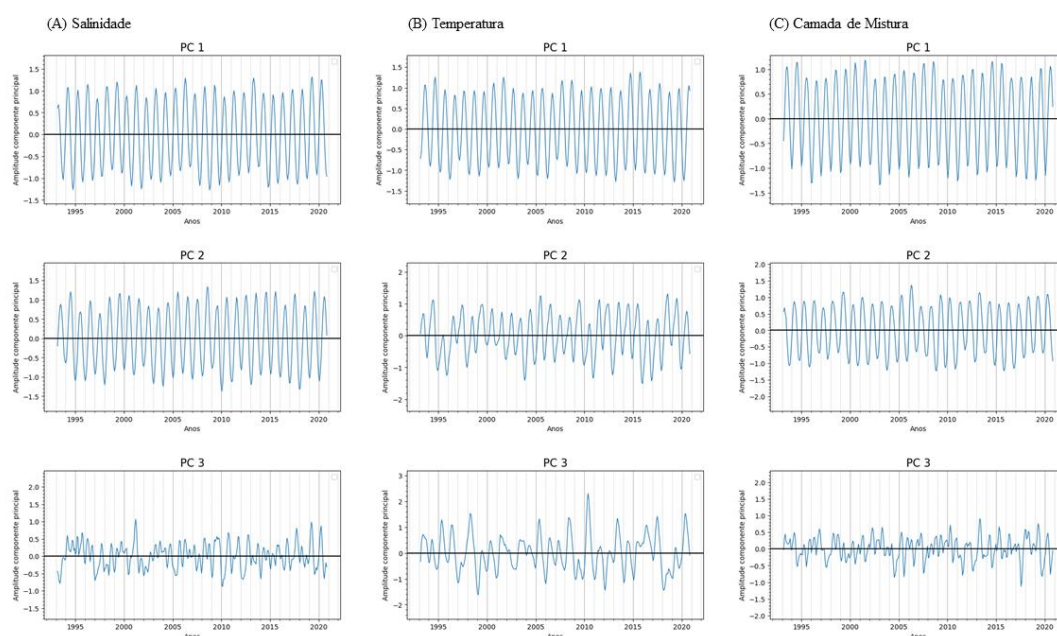


Figura 4. Série temporal dos componentes principais (PC) para (A) salinidade, (B) temperatura e (C) camada de mistura do Atlântico Tropical (1993- 2020).

Fonte: Os autores (2024).

A EOF1 da TSM (Figura 3B) explicou 84,09% da variância total, esse modo está relacionado com o Dipolo do Atlântico Tropical, também chamado de Modo Meridional Atlântico (MMA), caracterizado por anomalias de temperatura da superfície do mar, sendo um pólo sobre a bacia norte do Atlântico Norte Tropical e um pólo de sinal oposto sobre a bacia do Atlântico Sul Tropical (Jiang, Li, 2021; Andreoli, 2003). O principal mecanismo de formação do MMA é o acoplamento entre os campos de TSM, pressão ao nível do mar (PNM) e vento. Durante a fase negativa, são observadas no Atlântico Tropical Norte anomalias negativas de TSM, as quais se relacionam com anomalias positivas de PNM, e ao fortalecimento da alta subtropical do Atlântico Norte, consequente intensificando os ventos alísios de nordeste. Sobre o Atlântico tropical sul temos anomalias positivas de TSM, negativas de PNM com consequente



enfraquecimento da alta subtropical do Atlântico Sul e dos alísios de sudeste, na fase negativa temos o cenário oposto (Cabos *et al.*, 2019; Xie, Carton, 2004).

Na EOF2 da TSM (Figura 4B) com 5,64% de variância explicada, temos um comportamento associado ao modo equatorial do Atlântico Tropical (Atlântico Niño), que apresenta um sinal negativo que estende da costa sudoeste da África em direção à América do Sul no Atlântico equatorial. A formação do Atlântico Niño é influenciada por variações nos ventos alísios, que durante o verão boreal podem enfraquecer, intensificando a ressurgência equatorial, e permitindo que águas mais quentes do oeste se desloquem para o leste ao longo da linha do equador (Andreoli, 2003). Estudos sugerem que o Atlântico Niño apresenta periodicidade interanual, e a fase mais forte desse modo ocorre de junho a agosto, esse comportamento é notado na série temporal dos Componentes Principais (Figura 4B PC2) com os picos positivos sendo nesse período (Brandt, 2011).

Já a EOF3 da TSM com apenas 2,99% da variância, um sinal negativo ao largo do sudoeste de África é observado, onde há um ciclo anual resultante da ressurgência costeira induzida por variações anuais nos ventos alísios ao longo do equador (Carton, Zhou, 1997).

Para a profundidade da camada de mistura, sabe-se que tanto a salinidade quanto a temperatura podem fornecer o gradiente dominante dessa variável (Mignot, Lazar, Cravatte, 2007; Helber, 2012). Assim na EOF1 da PCM (Figura 3C), que responde por 59,06% da variância dos dados, nota-se um padrão dipolo semelhante o EOF1 de TSM, isso acontece porque quando a TSM é elevada, a água de superfície tende a ser menos densa, o que pode resultar em uma camada de mistura mais rasa, pois a estratificação térmica impede a mistura das águas mais profundas e frias com as águas superficiais quentes. Em contraste, quando a TSM é baixa, a água de superfície é mais fria e densa, facilitando a convecção e a mistura vertical, o que pode aumentar a espessura da camada de mistura.

Nas regiões onde a salinidade controla a profundidade da camada de mistura, são formadas as camadas de barreira (Lukas e Lindstrom, 1991). Esse comportamento é percebido tanto na EOF1 na região de descarga do rio Amazonas quanto na EOF2 que apresentou 10,66% das variâncias dos dados. A salinidade afeta a densidade da água: águas mais salinas são mais densas, enquanto águas com menor salinidade são menos densas. Quando a salinidade da água de superfície é alta, a maior densidade favorece a mistura vertical, aumentando potencialmente a espessura da camada de mistura. Por outro lado, se a salinidade da superfície é baixa, a menor densidade da água superficial pode criar uma estratificação mais estável, dificultando a mistura e resultando em uma camada de mistura mais rasa.

Na Figura 5 temos a matriz de correlação de Spearman para os três primeiros componentes principais (PC) das variáveis em análise, os valores não significativos a 5% foram retirados. Os pares de PC com maiores correlações positivas foram a PC2 e PC3 da camada de mistura ($r = 1$), PC1 da camada de mistura com PC2 da Salinidade, PC2 e PC3 da camada de mistura com PC1 da Salinidade ($r = 0,94$), e as maiores correlações negativas foram PC1 da temperatura com PC1 da salinidade ($r = -0,84$), PC1 da Temperatura com PC2 E PC3 camada de mistura ($r = -0,75$).

Um coeficiente de correlação de Spearman de 1 indica uma correlação perfeita e positiva. Isso indica que os valores de PC2 e PC3 da camada de mistura variam de forma idêntica, quando PC2 aumenta, PC3 também aumenta na mesma proporção, e vice-versa. Um coeficiente de 0,94 indica uma correlação muito forte e positiva, logo, à medida que o valor de PC1 da camada de mistura aumenta, o valor de PC2 da salinidade também tende a aumentar. Desta mesma forma, a alta correlação positiva implica que tanto PC2 quanto PC3 da camada de mistura estão

fortemente relacionados com PC1 da salinidade. Esse tipo de correlação pode indicar que essas variáveis estão influenciando-se mutuamente ou sendo influenciadas por um fator comum, sugerindo uma interdependência entre a camada de mistura e a salinidade.

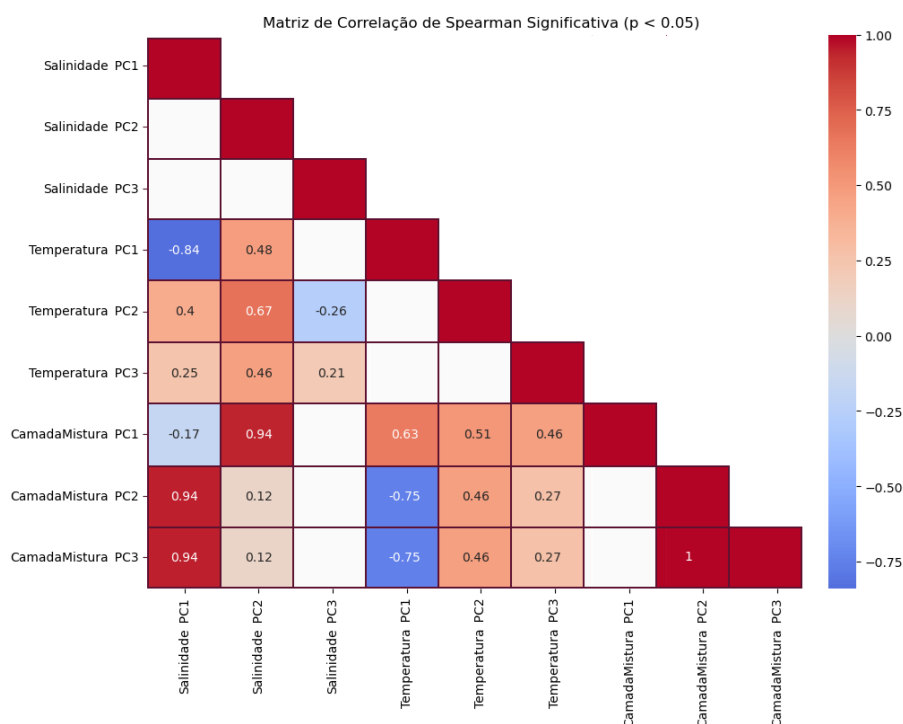


Figura 5. Matriz de correlação de Spearman (5% de significância) entre as séries temporais dos componentes principais (PC) da salinidade, temperatura e camada de mistura.

Fonte: Os autores (2024).

Um coeficiente de correlação de -0,84 tem uma correlação forte e negativa, assim, à medida que PC1 da temperatura aumenta, PC1 da salinidade tende a diminuir, ou o contrário. A correlação de -0,75, forte e negativa, mostra que, à medida que PC1 da temperatura aumenta, os valores de PC2 e PC3 da camada de mistura tendem a diminuir. Esse tipo de relação inversa pode indicar que esses dois componentes principais respondem de maneira oposta a fatores subjacentes, indicando uma relação inversa entre temperatura e a camada de mistura. No mais, as correlações fortes entre diferentes PCs sugerem que as variáveis em análise estão interligadas, como vimos anteriormente, por fatores ambientais como as descargas fluviais e precipitação; por processos físicos e químicos como ressurgência, regime de ventos e padrões climáticos que afetam todas simultaneamente.

4. CONCLUSÕES

Mediante os resultados foi possível concluir que os três primeiros modos das EOFs foram suficientes para explicar os padrões de variabilidade espaço temporal para salinidade, temperatura e profundidade da camada de mistura do oceano Atlântico Tropical. As forças físicas relacionadas com essa variabilidade foram a precipitação, descarga fluvial, fenômenos de ressurgências e padrões climáticos. A Partir da correlação mostrou-se como essas variáveis influenciam e são influenciadas mutuamente. Embora essa seja uma análise prévia para descrever os processos oceanográficos físicos que atuam sobre atlântico tropical, seus resultados servem de apoio para futuros estudos oceanográficos mais complexos.



REFERÊNCIAS

- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. **Evolution of the equatorial and dipole modes of the sea-surface temperature in the tropical Atlantic at decadal scale.** *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 83, n. 3, p. 277-285, 2003. DOI: 10.1007/s00703-002-0568-4
- BELCHER, S. E. et al. **A global perspective on Langmuir turbulence in the ocean surface boundary layer.** *Geophysical Research Letters*, v. 39, n. 18, 2012. DOI: 10.1029/2012GL052932
- BRANDT, P. et al. **Interannual atmospheric variability forced by the deep equatorial Atlantic Ocean.** *Nature* 473, p. 497-500, 2011. DOI: 10.1038/nature10013
- BURGESS, S. C. et al. **When is dispersal for dispersal? Unifying marine and terrestrial perspectives.** *Biological Reviews*, v. 91, n. 3, p. 867-882, 2016. DOI: 10.1111/brv.12198
- CABOS, W.; DE LA VARA, A.; KOSEKI, S. **Tropical Atlantic variability: Observations and modeling.** *Atmosphere*, v. 10, n. 9, p. 502, 2019. DOI: 10.3390/atmos10090502
- CARTON, J. A.; ZHOU, Z. **Annual cycle of sea surface temperature in the tropical Atlantic Ocean.** *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 102, n. C13, p. 27813-27824, 1997. DOI: 10.1029/97JC02197
- DA-ALLADA, C. Y. et al. **Seasonal mixed-layer salinity balance in the tropical Atlantic Ocean: Mean state and seasonal cycle.** *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 118, n. 1, p. 332-345, 2013. DOI: 10.1029/2012JC008357
- DAWSON, A. **eofs: A library for EOF analysis of meteorological, oceanographic, and climate data.** *Journal of Open Research Software*, v. 4, n. 1, 2016.
- GÉVAUDAN, M.; DURAND, F.; JOUANNO, J. **Influence of the Amazon-Orinoco Discharge Interannual Variability on the Western Tropical Atlantic Salinity and Temperature.** *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 127, n. 6, p. e2022JC018495, 2022. DOI: 10.1029/2022JC018495
- HELBER, R. W. et al. **Temperature versus salinity gradients below the ocean mixed layer.** *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 117, n. C5, 2012. DOI: 10.1029/2011JC007382
- HSIUNG, J. **Mean surface energy fluxes over the global ocean.** *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 91, n. C9, p. 10585-10606, 1986. DOI: 10.1029/JC091iC09p10585
- HUANG, B.; SCHOPF, P. S.; SHUKLA, J. **Intrinsic ocean-atmosphere variability of the tropical Atlantic Ocean.** *Journal of Climate*, v. 17, n. 11, p. 2058-2077, 2004. DOI: 10.1175/1520-0442(2004)017<2058:IOVOTT>2.0.CO;2
- JEAN-MICHEL, L. et al. **The Copernicus global 1/12 oceanic and sea ice GLORYS12 reanalysis.** *Frontiers in Earth Science*, v. 9, p. 698876, 2021. DOI: 10.3389/feart.2021.698876
- JIANG, L.; LI, T. **Impacts of tropical North Atlantic and equatorial Atlantic SST anomalies on ENSO.** *Journal of Climate*, v. 34, n. 14, p. 5635-5655, 2021. DOI: 10.1175/JCLI-D-20-0835.1
- JOHNS, W. E. et al. **Annual cycle and variability of the North Brazil Current.** *Journal of Physical Oceanography*, v. 28, n. 1, p. 103-128, 1998. DOI: 10.1175/1520-0485(1998)028<0103:ACAVOT>2.0.CO;2



LENTINI, C. A. D. et al. **Oceanografia física do Atlântico tropical: processos hidrotermodinâmicos**. CIÊNCIAS DO MAR: dos oceanos do mundo ao Nordeste do Brasil, 2021. DOI: 10.5281/zenodo.8341727

LÜBBECKE, J. F. et al. **Equatorial Atlantic variability Modes, mechanisms, and global teleconnections**. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, v. 9, n. 4, p. e527, 2018. DOI: 10.1002/wcc.527

LUKAS, R.; LINDSTROM, E. **The mixed layer of the western equatorial Pacific Ocean**. Journal of Geophysical Research: Oceans, 96(S01), 3343-3357. 1991. DOI: 10.1029/90JC01951

NOBRE, P. **A variabilidade interanual do Atlântico Tropical e sua influência no clima da América do Sul**. Revista Climanalise–Edição comemorativa de, v. 10, 1996.

MIGNOT, J. B. M. C.; LAZAR, A.; CRAVATTE, S. **Control of salinity on the mixed layer depth in the world ocean: 2. Tropical areas**. Journal of Geophysical Research: Oceans, 112(C10).

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

PERRY, G. D.; DUFFY, P. B.; MILLER, N. L. **An extended data set of river discharges for validation of general circulation models**. Journal of Geophysical Research Atmospheres, v. 101, n. D16, p. 21339–21349, 1996. DOI: 10.1029/96JD00932

SPEARMAN, C. The Proof and Measurement of Association between Two Things. The American Journal of Psychology 15, no. 1. 72-101. 1904. DOI: 10.2307/1412159.

SIMONS, A. **Analysis of the Interannual Variability of the Amazon-Orinoco River Plume: and its effects on Sea Surface Temperatures in the Caribbean Sea**. 2020. Dissertação - Delft University of Technology.

TZORTZI, E. et al. **Spatial and temporal scales of variability in Tropical Atlantic sea surface salinity from the SMOS and Aquarius satellite missions**. Remote sensing of environment, v. 180, p. 418-430, 2016. DOI: 10.1016/j.rse.2016.02.008

TREGUIER, A. M. et al. **The mixed-layer depth in the Ocean Model Intercomparison Project (OMIP): impact of resolving mesoscale eddies**. Geoscientific Model Development, v. 16, n. 13, p. 3849-3872, 2023. DOI: 10.5194/gmd-16-3849-2023

WALISER, D. E.; GAUTIER, C. **A satellite-derived climatology of the ITCZ**. Journal of climate, p. 2162-2174, 1993.

WHALEN, C. B.; TALLEY, L. D.; MACKINNON, J. A. **Spatial and temporal variability of global ocean mixing inferred from Argo profiles**. Geophysical Research Letters, v. 39, n. 18, 2012. DOI: 10.1029/2012GL053196

WHITNEY, M. M. **A study on river discharge and salinity variability in the Middle Atlantic Bight and Long Island Sound**. Continental Shelf Research, v. 30, n. 3-4, p. 305-318, 2010. DOI: 10.1016/j.csr.2009.11.011

XIE, S.; CARTON, J. A. **Tropical Atlantic variability: Patterns, mechanisms, and impacts**. Earth's Climate: The Ocean–Atmosphere Interaction, Geophys. Monogr, v. 147, p. 121-142, 2004.

ZHANG, Z.; MOORE, J. C. **Mathematical and physical fundamentals of climate change**. Elsevier, 2014. 494 p. ISBN: 012800066X