



ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS

Monografia Para Obtenção de Grau de Licenciatura em Oceanografia

**Influência do EKE na Variabilidade espaço e temporal da concentração da clorofila-a no
Canal de Moçambique**

Autor:

Nelson Sérgio Sebastião



ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS

Monografia Para Obtenção de Grau de Licenciatura em Oceanografia

**Influência do EKE na Variabilidade espaço e temporal da concentração da clorofila-a no
Canal de Moçambique**

Autor:

(Nelson Sérgio Sebastião)

Supervisora:

(MSc. Anabela Colaço Cafermane)

Avaliador:

(Lic. Anselmo Júnior Chaúque)

Presidente do Júri:

(MSc. Banito Bene Magestade)

Quelimane, 2024

Dedicatória

Dedico este trabalho:

À Deus por ter me mostrado o caminho a verdade e a vida .

*Ao meu avó **Sebastião Mahachela** (Em memória)*

*Aos meus pais **Sérgio Sebastião e Maria Manuel Fernando.***

*Aos meus irmãos:**Silvia,Flávio,Tássia,Marten e Riold** a minha querida avó **Josefa Manuel***

Agradecimentos

O Senhor é meu pastor e nada me faltará, desde já agradeço a todos aqueles que cruzaram o meu caminho nessa longa caminhada, os que me acompanharam até a conclusão da presente Licenciatura, o meu muitíssimo obrigado:

Aos meus pais, pelo apoio moral, financeiro, e nas minhas opções profissionais estou ligeiramente grato, a minha família pelo apoio moral e financeiro - MUITÍSSIMO obrigado; -

A minha orientadora MSc. Anabela Colaço Cafermane que sempre mostrou-se disponível e paciente em ajudar e em dar sugestões necessárias para materialização do trabalho – o meu muitíssimo obrigado.

Agradeço a todos docentes da Escola superior de Ciências Marinhas e Costeiras da Universidade Eduardo Mondlane com especial importância à MSc, Noca Furaca, Ph.D. Hélder Machaieie, MSc, Banito Majestade, MSc, Carlota Emílio, Ph.D. Avelino Langa, MSc Fernando Saíde, MSc, Teófilo Ferraz, MSc Célio Machaieie, Lic. Nélio, Ph.D., Fialho Nehama, Ph.D. Maria Helena e Professor António Mubango Hogueane o meu muito obrigado pelos ensinamentos

A todo grupo de estudantes que comigo ingressou em 2019 dos cursos de (Biologia Marinha, Química Marinha e Geologia Marinha) e em especial ao meu curso, Oceanografia – Muito obrigado companheiros;

Aos meus companheiros longa vida académica a todos Sualéh, Wilder, Michone, Zarco, Flavio TJ, Lucamba, Amilton Pedro, Amilton Roberto, Nhatugues, Salmo, Veloso Mpilanha, Edilson Zimila, Jhon Sunday, Osumane, Mario, Joshon, Rui, Zefanias, Eufrasia .

Aos meus amigos: Candido Taimo, Khaled Romeu, Helio Massirela, Osvaldo Ronda, Billy Nobregas, em especial a senhorita Floyd Sobral por tudo e toda a equipe de Sporting de Cundula FC.

- À Cidade de Quelimane, Zambézia – Kanimambo, Thanks, Merci, Gracias, Muito obrigado.

Declaração de honra

Eu, Nelson Sérgio Sebastião, declaro por minha honra que esta monografia nunca foi apresentada a uma outra Universidade para obtenção de qualquer grau académico e que ela constitui do resultado do meu esforço individual. Cada ideia trazida de outros trabalhos foi devidamente citada e referenciada. Esta monografia é apresentada na sequência do cumprimento dos requisitos para obtenção do grau de Licenciatura em Oceanografia, na Universidade Eduardo Mondlane.

Quelimane, 2024

O Autor: _____

(Nelson Sérgio Sebastião)

Resumo

A circulação oceânica no canal de Moçambique apresenta um padrão de circulação dominada pela sazonalidade, com maior destaque para os vórtices anticiclônicos. Não há evidências conclusivas na literatura sobre a origem dos vórtices ciclônicos nesta região. A frequência de ocorrência de vórtices de meso escala é bastante regular demonstrando que estes são intensificados à superfície, propagando-se para Sul. Dada a escassez de observações, na região do canal de Moçambique, para melhor compreensão da circulação oceânica, até então existem dúvidas sobre a natureza dos padrões de circulação oceânica no Canal de Moçambique, sendo que o seu padrão de circulação ainda não está bem definido, foi determinada a variação sazonal do campo médio da CHL-a e EKE, e ainda avaliar a variabilidade espaço - temporal da clorofila através das EOF. O EKE mostrou um padrão de circulação com variações sazonais, onde no inverno a EKE , apresenta -se com baixas velocidades na ordem de $0.02ms^{-1}$ e no verão o EKE apresentou-se com altas velocidades na ordem de $0.06ms^{-1}$, a CHL-a na região Norte e Sul é conduzida por mecanismos com sazonalidade e no Centro sem. Para a média da circulação oceânica no inverno a corrente de Moçambique não parece se fazer presente, por apresentar baixas velocidades $0.02ms^{-1}$ e por outro lado a média de verão a corrente de Moçambique é visivelmente representada com velocidades até $0.1m.s^{-1}$. De modo geral a CHL-a é elevada no inverno $0,5mg.m^{-3}$ e baixa no verão $0,3mg.m^{-3}$, no presente estudo conclui-se que a região Centro ao longo do canal de Moçambique apresenta maiores concentrações da clorofila-a na ordem de $0,5mg.m^{-3}$, e as menores medias nas regioes Norte e Sul com concentrações abaixo de $0,3mg.m^{-3}$.

Palavra chave: Concentração da clorofila, Circulação Oceânica, Canal de Moçambique, Energia Cinetica Turbulenta.

Abreviaturas, Símbolos e Unidades

Simbolos	Abreviaturas	Simbolos	Unidades
EKE	Energia cinetica turbulenta	° C	Graus celcius
CHL-a	Clorofila-a	Ug	Velocidades geostroficas
MZC	Mozambique Channel	$m. s^{-1}$	Metros por segundo
CMEMS	Copernicus Marine Environmental Monitoring Service	Rxy	Corelação de pearson
EOF	Funções impiricas ortogonais	$mg. m^{-3}$	Miligramas por metro cubico
HN	Hemisferio Norte	V	Velocidade geostrofica meridional
HS	Hemisferio Sul	U	Velocidade geostrofica zonal
NCEP	Campos de tensão de monção do vento dos Centros Nacionais de Previsão Ambiental		
SODA	Assimilação Simples de Dados do Oceano		
MODIS/Aqua	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer		
EOS	Earth observing system		
NASA	National aeronautics and space adminstration		
SEC	Corrente Sul Equatorial		
EMC	Corrente Este de Madagáscar		
EACC	Corrente da Costa Leste Africana		
SEMC	Sudeste de Madagáscar		
EACC	Corrente Costeira de África Oriental		

Índice

Agradecimentos.....	II
Declaração de honra.....	III
Resumo.....	IV
1. CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Problematização.....	2
1.3. Justificativa.....	3
1.4. OBJECTIVOS.....	4
1.4.1. Objectivo geral.....	4
1.4.2. Objectivos específicos.....	4
2. CAPITULO II: REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1.1. Clorofila –a no canal de Moçambique.....	5
2.1.2. Funções empíricas ortogonais.....	6
2.1.3. Regime dos ventos no canal de Moçambique.....	7
2.1.4. Padrão da circulação oceânica no canal de Moçambique.....	8
2.1.5. Vórtices no canal de Moçambique.....	9
2.1.6. Sistema de correntes das agulhas.....	9
3. CAPÍTULO III: METODOLOGIA.....	11
3.1.1. Metodologia.....	11
3.1.2. Descrição da área de estudo.....	11
3.1.3. Oceanografia no canal de Moçambique.....	11
3.1.4. Velocidades geostróficas zonais (u), meridional (v).....	12
3.1.6. Materiais e aquisição de dados.....	13
3.1.7. Métodos.....	13
3.1.8. Variação sazonal do campo médio da concentração da clorofila e EKE no canal de Moçambique.....	13
3.1.9. Cálculo da energia cinética turbulenta.....	14
3.1.10. Análise por funções empíricas ortogonais EOF.....	14
3.1.11. Avaliar a influência do EKE na distribuição da CHL-a.....	15
3.1.12. Diagrama de HOVMÖLLER.....	15
4. CAPITULO IV: RESULTADOS.....	16
4.1.1. Resultados.....	16
4.1.2. Variação sazonal do campo médio do EKE ao longo do canal de Moçambique.....	17

4.1.3.	Variação sazonal do campo médio da concentração da clorofila , ao longo do canal de Moçambique.....	20
4.1.4.	Variabilidade espacial e temporal da concentração da clorofila da superfície do mar através da aplicação EOF	22
4.1.5.	Avaliar a influência do EKE na distribuição da concentração da clorofila.	24
4.1.6.	Diagramas de Hovmöller.....	25
4.1.7.	Discussão	26
5.	CAPITULO V: CONCLUSÕES	30
5.1.1.	Conclusões.....	30
5.1.2.	Recomendações	31
5.2.	Referências bibliográficas	32
5.3.	Anexos:.....	38

1. CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

Vários são os processos físicos que interagem no meio marinho tais como ventos, ressurgência costeira, frentes oceânicas e vórtices de meso escala, estes processos afetam diretamente a dinâmica dos ecossistemas marinho. O canal de Moçambique é caracterizado pelo escoamento de diversas massas de água, que são determinadas pelo sistema de correntes oceânicas, a hidrodinâmica, confere a esta região uma elevada importância ecológica local, regional e global pois os vórtices de meso escala são conhecidos por tornarem as zonas oligotróficas do oceano aberto em áreas produtivas através da injeção de nutrientes trazidos do fundo e da advecção das águas costeiras (Emílio, 2020). Dada a escassez de observações na região do Canal de Moçambique, a modelagem numérica vê-se necessária para melhorar a compreensão da circulação oceânica no sudoeste tropical do Oceano Índico Collins; et al (2012), Braby; et al (2016), Halo & Raj; (2020); e particularmente compreender a influência do sistema de correntes no transporte de nutrientes no Canal de Moçambique.

A circulação no Canal de Moçambique apresenta um padrão de circulação dominado pela sazonalidade, onde durante o período de Inverno a circulação ao longo do canal, é condicionada pela fusão de células de circulação de pequena escala dando origem os vórtices de meso escala no Verão (Ternon et al,2014). Há já algum tempo que existem dúvidas sobre a natureza dos padrões da circulação no Canal de Moçambique, apresentando um padrão de circulação ainda não bem definido (Shouten, et al 2003). A dúvida sobre o padrão da circulação no Canal de Moçambique está associada a complexidade de atividades de meso escala como os vórtices de meso escala, Lutjerharms, (2006), que desempenham um papel importante na circulação oceânica através do transporte, mistura de temperatura e salinidade, (Lee, 2006).

O Canal de Moçambique é caracterizado por intensa atividades de vórtices de meso escala, dominado principalmente por vórtices anticiclónicos, no entanto, não há evidências conclusivas na literatura sobre a origem dos vórtices ciclónicos nesta região, Chelton,et al (2011). Tanto os vórtices ciclónicos como os anticiclónicos são característicos dinâmicos importantes para os ecossistemas marinhos, geralmente trazem águas profundas e ricas em nutrientes para superfície do oceano, Lathuiliere,et al (2011). A frequência de ocorrência de vórtices de meso escala é bastante regular demonstrando que estes vórtices são intensificados à superfície, propagando-se para Sul.Os vórtices de meso escala transportam calor, sal, e nutrientes considerados suficientes para modificar as massas de água (Swart et al. 2010).

Um estudo de comparação de transporte observado e modelado, apresenta ciclo sazonal e frequências de vórtices nos estreitos do canal Van der Werf et al. (2010). Na zona Norte verificou-se uma corrente continua ao longo da costa Moçambicana que resulta CSE, está corrente também mostrou-se com uma forte intensidade onde é considerada como influência da profundidade Halo; et al.,(2014). Actualmente, o papel dos vórtices no Canal de Moçambique no ecossistema local está a ser investigado por levantamentos hidrográficos, (Ternon, et al. 2013).

De acordo com Castelão e Johns; (2011), as grandes estruturas anticiclónicas que se propagam ao longo do MZC são na verdade anéis, a principal forçante da circulação no Canal de Moçambique, é o vento, Zhang et al., (2016). Análises da distribuição da concentração da clorofila poderiam ser empregadas como indicador de biomassa do fitoplâncton Pérez et al. (2005), na qual constituem uma importante ligação entre os níveis mais elevados de produtividade primária, representando assim uma importante fonte de alimento para varias espécies marinhas (Rissik et al., 1997 Champalbert et al., 2005).O estudo da abundância e composição da clorofila pode contribuir para o entendimento dos padrões de distribuição e desova de espécies visitantes e residentes, determinando a importância de uma região como um berçário (Chute & Turner, 2001).

É nesta perspectiva que será usado a ferramenta EOF de modo a explorar a variabilidade da concentração da clorofila ao longo do Canal de Moçambique. Este método é visto como sendo uma ferramenta robusta para estudar a variabilidade espacial e temporal, onde nos permite dar uma descrição detalhada de variáveis em modos estatísticos, estes modos estatísticos são extraídos por meio de matriz de covariância podendo definir locais com padrões de variabilidade espaço e temporal similares.

O presente trabalho, tem como objectivo analisar o padrão da circulação oceânica e a variabilidade da concentração da clorofila-*a* no canal de Moçambique ao longo do canal de Moçambique num período de 21 anos (janeiro de 2002 a dezembro de 2022).

1.2. Problematização

O Canal de Moçambique é uma região oceânica conhecida por sua complexa dinâmica oceânica e pela presença de fenómenos como vórtices e correntes intensas influenciados por processos de circulação oceânica em larga e meso escala Halo *et al.* (2014). Um desses processos é a energia cinética turbulenta (EKE-Eddy Kinetic Energy), que está directamente relacionada com a intensidade e distribuição de vórtices e movimentos turbulentos no oceano (Swart et al. 2010). A variação na concentração da clorofila-*a*, é um indicador de produtividade primaria e de saúde do

Influência do EKE na variabilidade espaço e temporal da concentração da clorofila-ano Canal de Moçambique

ecossistema marinho, está intimamente ligada a essas dinâmicas oceânicas, mas a relação entre o EKE e a distribuição espaço-temporal da clorofila-a no Canal de Moçambique ainda não está bem compreendida. O problema centralizado neste presente trabalho é investigar como está definida a variação espaço-temporal do EKE e da concentração da clorofila-a ao longo do canal de Moçambique. Busca também compreender quais são os padrões espaço-temporais predominantes da EKE e da concentração da clorofila-a ao longo do Canal de Moçambique, tendo em conta que, as alterações ocorridas ao longo dos anos são importantes para compreensão das condições atuais de produtividade primária e conhecer o comportamento da mesma no futuro, e se existe uma relação entre a intensidade do EKE e os picos máximos ou mínimos na concentração da clorofila-a em diferentes períodos sazonais e de que maneira os processos meso escalares, como vórtices e frentes oceânicas, associados a EKE, afectam a distribuição de nutrientes e, conseqüentemente a biomassa fito planctónica.

Compreender a relação entre o EKE e a variabilidade da clorofila-a é crucial para auxiliar a gestão sustentável dos recursos marinhos e manejo das pescas na região do Canal de Moçambique e para o monitoramento das mudanças climáticas e suas conseqüências na produtividade primaria.

O presente estudo de pesquisa busca responder a seguinte questão:

Qual é a influência do EKE na variabilidade espaço e temporal da concentração da clorofila-ano Canal de Moçambique

1.3. Justificativa

Este déficit bibliográfico desenvolvido ao longo do Canal de Moçambique, limita-se por falta de conhecimentos científicos por parte da comunidade local, porém os já existentes se limitam em estudar a variabilidade da concentração da clorofila no sensor MODIS/Aqua na região Norte do Canal de Moçambique como é o caso de David e Mugana,(2022). Entretanto, o presente estudo apesar de não ser exclusivo, abrange toda região do Canal de Moçambique, com os resultados deste trabalho poderá se saber como é que o MZC responde ao padrão da circulação oceânica no que concerne a parâmetros físicos da água do mar assim como biológicos (clorofila), devido a natureza que advém desses sistemas, a comunidade científica tem imprimido grandes esforços para estudá-los.

O conhecimento sobre a distribuição do fitoplâncton em termos da concentração da clorofila em águas oceânicas é importante para os estudos de produtividade primária Lunghrust e Harrison, (1989), estudos da dinâmica dos oceanos e correntes costeiras Tyler e Stumpf, (1989), entre outros,

Influência do EKE na variabilidade espaço e temporal da concentração da clorofila-ano Canal de Moçambique

como importantes forçantes na determinação da concentração da clorofila. Os dados de Sensoriamento remoto fornecem informações com alta resolução espacial e temporal e também em larga escala, vindo a minimizar os problemas de amostragem convencional relativos à variação espacial e temporal da biomassa do fitoplâncton (Perry, 1986).

1.4. OBJECTIVOS

1.4.1. Objectivo geral

Analisar a influência do EKE na variabilidade espaço e temporal da concentração da clorofila-ano Canal de Moçambique

1.4.2. Objectivos específicos

- Determinar a variação sazonal do campo médio da CHL-a e EKE;
- Avaliar a variabilidade espaço - temporal da clorofila da superfície do mar através das EOF;
- Avaliar a influência do EKE na distribuição da concentração da clorofila .

2. CAPITULO II: REVISÃO DE LITERATURA

2.1.1. Clorofila –a no canal de Moçambique

A variabilidade da concentração da clorofila no final da década de 1970, mas nenhuma medição foi relatada para águas offshore, (Mordasova, 1980). Estudos mais recentes utilizando climatologia de satélite demonstraram um ciclo sazonal na concentração da clorofila, com máximo no inverno e mínimo no verão figura 1, com concentrações variando de $0,15 - 0,3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (Lévy, 2004). A Clorofila é um dos pigmentos dentre os demais responsáveis pelo processo de fotossíntese, se apresenta em todos os tipos e grupos taxonômicos de algas, sendo sua concentração um indicativo da existência de biomassa, (Freitas, 2014).

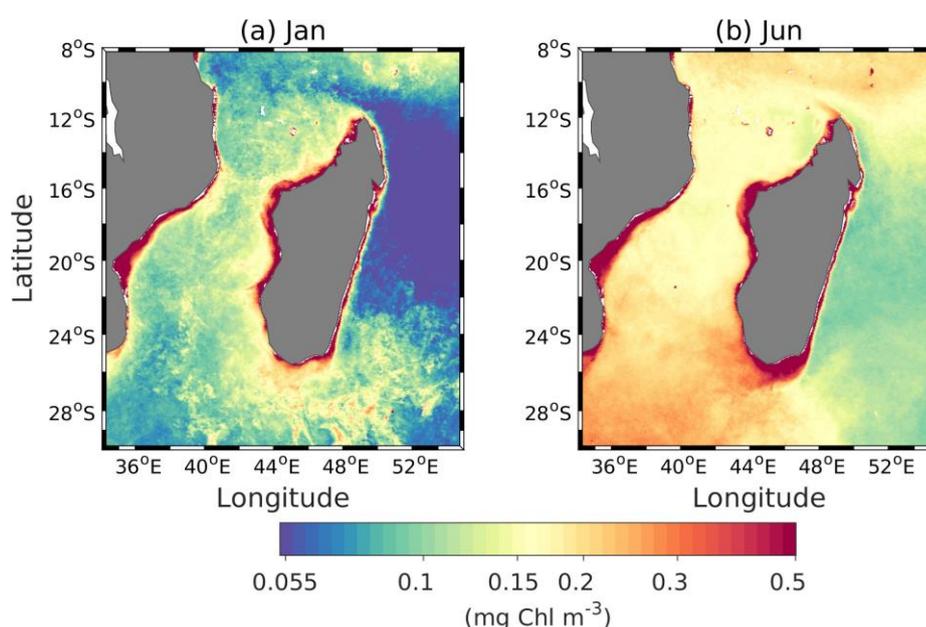


Figura 1: Concentrações da clorofila superficial no Canal de Moçambique referente à climatologia MODIS param os meses de (a) Janeiro e (b) Junho. Fonte: (Langa, 2018).

O tipo mais comum das clorofilas é a clorofila-a, está é considerada a principal variável indicadora da ocorrência da produtividade primaria em ambientes aquáticos, é um indicador de biomassa das algas, que pode chegar a representar de 1 a 2% do peso das algas planctônicas (Gonçalves, 2008). A base da productividade primária nos oceanos é a existência de nutrientes e a luz do sol para que ocorra a fotossíntese. A concentração dos nutrientes aumenta com a profundidade (Zhao et al., 2008). A sazonalidade mostrou um aumento na concentração da clorofila (CHL-a) de $0.14 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ para $0.28 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ na mudança de estação segundo outros autores este aumento deve-se à ressurgência provocada pelo vento no estudo feito por (Zhao et al., 2008).

Estudo estatístico, que envolve a junção entre a concentração da clorofila da superfície do mar e as dinâmicas físicas oceânicas, no canal de moçambique, mostra elevada covariância conduzida, pela sazonalidade na concentração da clorofila, com o objectivo de compreender a concentração da clorofila identificaram três mecanismos, para melhoria no seu estudo, para a parte norte do canal de Moçambique sendo influenciado principalmente pelos seguintes forçantes: elevação ciclónica, de águas profundas ricas em nutrientes, no núcleo dos giros ciclónicos, interação entre giros, que geram uma forte mistura central favorável à produção de fitoplâncton e advecção de mar alto de águas enriquecidas de clorofila, no centro do canal de Moçambique no banco de Sofala exclusivamente, a concentração da clorofila é influenciada pela passagem de giros de propagação em direção a sul do canal de Moçambique (Tew-kai e Marsac, 2008).

2.1.2. Funções empíricas ortogonais

Camus, (2014) afirma que as funções empíricas ortogonais (EOF) determinam um padrão espacial e temporal de variabilidade que apresenta o máximo de covariância (de uma variável qualquer de uma série temporal para todos os pares de um conjunto de dados de cada ponto. Por outro lado, a variabilidade restante da composição das EOF é objeto da mesma composição com a diferença de que o segundo padrão de EOF deve ser ortogonal ao primeiro (ou seja, não correlacionado), tanto no tempo quanto no espaço. Na prática, somente os primeiros modos de EOF têm resultado robusto ou fisicamente significativo, o presente estudo usa as funções empíricas ortogonais EOF para detetar a variabilidade espaço temporal da concentração da clorofila na região em estudo.

Como produto final, a análise EOF atribui uma percentagem de 0 a 100% para cada auto vetor, onde os valores resultantes representam a influência de alguma forçante na distribuição de dados, em geral, a maior parte da variância dos dados é explicada pelas primeiras 3 componentes principais das EOF. O ciclo anual relativo ao primeiro modo da componente principal é evidente, acusando picos de máximas durante o período de inverno e mínimo durante o período de verão. Outros estudos notaram a dominância do ciclo anual nas séries de concentração da clorofila (Sarraceno, Provost, & Piola, 2005).

Assim a variabilidade da concentração da clorofila nas partes norte do canal de Moçambique (10°s - 16°s) é dominada pelo ciclo sazonal, com o início do afloramento marcado por um pequeno aumento na clorofila durante o mês de Junho a Agosto, atingindo um pico mínimo nos meses de Dezembro a Fevereiro (Lévy et al.,2007). Nos primeiros modos espaciais a concentração da clorofila ocorre de forma similar aos modos EOF 1 a 3, onde sinaliza a variabilidade da

Influência do EKE na variabilidade espaço e temporal da concentração da clorofila-ano Canal de Moçambique

concentração da clorofila em função da latitude evidenciada. Além disso, observa-se que existe uma maior variabilidade no domínio apresentado na grade de (12°S a 16°S) comparada a região costeira devido a dinâmica de vórtice desta região do canal. Nas séries EOF a amplitude temporal da componente principal pode-se observar que somente o primeiro modo é responsável por explicar aproximadamente 33.01% da variabilidade, associados ao ciclo anual. As duas séries estão em fase com resultados máximos de variabilidade nas regiões adjacentes à linha de costa, enquanto nas regiões do mar aberto a clorofila apresenta menores valores na sua variabilidade.

Na região costeira estão os ambientes mais abundantes em termos de nutrientes, devido ao afloramento do fitoplâncton em regiões da plataforma, assim como a influência de descargas costeiras, no geral, a variabilidade da concentração da clorofila é fortemente dominada pela sazonalidade com aumento gradualmente a sul do canal. A sudeste de Madagáscar, uma área central com amplitude sazonal relativamente mais fraca é encontrada na margem sul do corrente leste de Madagáscar que flui em direção aos polos ao longo da plataforma leste de Madagáscar.

2.1.3. Regime dos ventos no canal de Moçambique

A circulação de grande escala no canal de Moçambique é influenciada pelo regime de ventos que é dominado pelas monções no hemisfério norte (HN), enquanto no hemisfério sul (HS), é dominado pelos ventos alísios, ventos do Norte e do nordeste do sistema dominam durante o verão austral (outubro a fevereiro), marcado por valores elevados do stress do vento no inverno, cerca de 0.1 N m⁻², baixando para valores de aproximadamente de -0.04 N m⁻² no período de verão, (Langa, 2018).

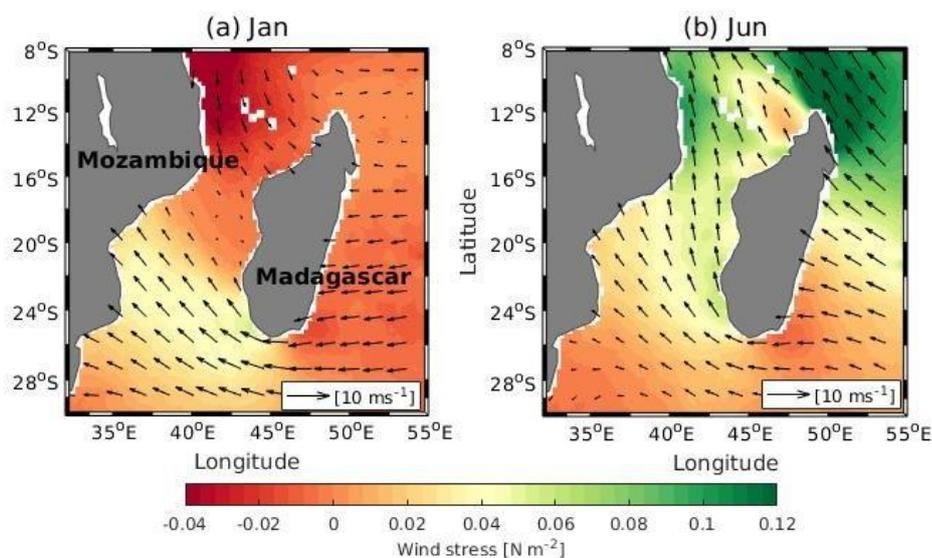


Figura 2: Stress e velocidade do vento, mostrando as diferenças na direção e magnitude do vento entre os meses de (a) janeiro e (b) junho. Os dados foram obtidos da climatologia QSCAT. Fonte. (Langa, 2018).

Durante o regime de monções de inverno dois tipos de sistemas, de pressão atmosférica dominam o canal de Moçambique: um sistema de alta pressão (anticiclónica) e um sistema de baixa pressão (depressão ciclónica), em geral as zonas dominadas por uma grande ressurgência (upwelling), são caracterizadas por uma Termocline pouco profunda, enquanto no caso inverso é mais profunda, a inversão dos ventos é muito importante para a variabilidade da circulação de larga escala no oceano Índico, principalmente no HN e ao longo do sector equatorial (Fernando, 2019).

2.1.4. Padrão da circulação oceânica no canal de Moçambique

A Corrente Equatorial Sul (CSE) é braço da corrente que tem origem no norte do canal de Moçambique, da circulação de larga escala (giro subtropical) que é induzida pelo vento (alta subtropical), que se bifurca no continente aos 12°S de latitude, formando a Corrente costeira de África Oriental (EACC) em direção ao Equador e a Corrente de Moçambique (MC), na direção sul, a leste de Madagáscar pela Madagáscar (SEMC), e assim, conectando ao sistema de correntes das agulhas. (fig.3) (Schouten et al., 2003).

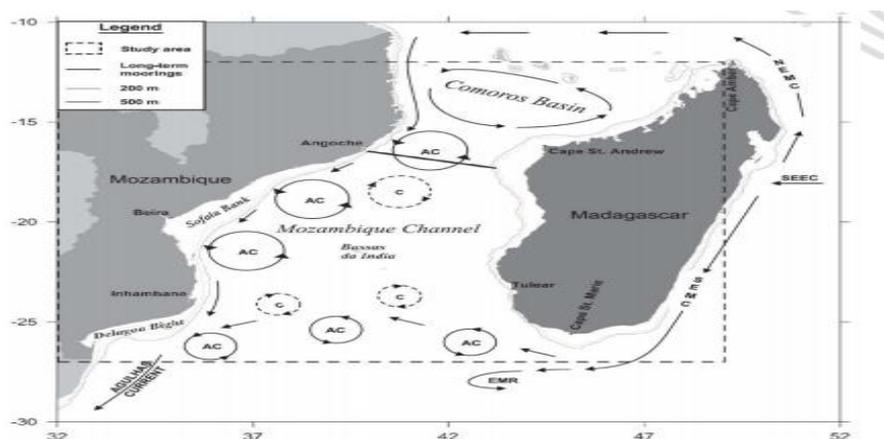


Figura 3: padrão da circulação geral no canal de Moçambique. Legenda: banco de Sofala (BS) corrente sul equatorial (CSE), correntes nordeste e sudeste de Madagáscar (NEMC e SEMC), vórtices do canal de Moçambique (MCE), corrente da costa leste africana (EACC), corrente das agulhas (AC). Adaptado de (Schouten et al., 2003).

As instabilidades da (CSE) originam vórtices de meso escala na região norte, de onde se deslocam em direção ao centro do canal (Backeberg e Reason, 2010). Os vórtices de meso escala na região norte do canal de Moçambique são anticiclônicos e estão localizados próximo à costa Moçambicana. Do outro lado do canal, próximo à costa de Madagáscar, predominam os vórtices ciclônicos que se deslocam para o continente, interagindo com os vórtices anticiclônicos antes de se dirigir para o centro do canal (Collins et al., 2014).

2.1.5. Vórtices no canal de Moçambique

Vórtices oceânicos podem ser definidos como feições de circulação fechada relativamente persistente que carregam as propriedades físicas e biológicas da região de formação Pilo, (2013). Em uma média de 4 por ano, os vórtices anticiclônicos propagam-se em direção ao polo em trajetórias muito regulares do lado oeste do canal ao longo da costa Moçambicana e atingem amplitudes máximas (com anomalias em torno de 30 cm) entre 20°S e 30°S (Schouten *et al.*, 2005).

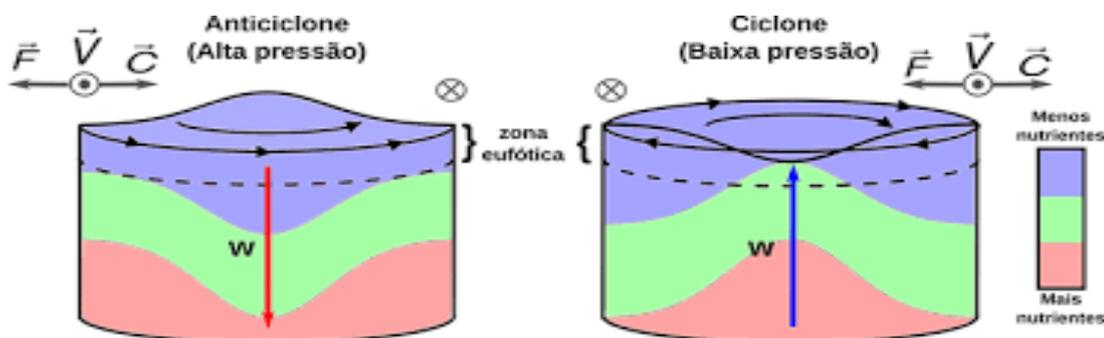


Figura 4:Esquema de vórtices ciclônicos e anticiclônicos no hemisfério sul

Onde: f é a força gerada pela diferença de pressão entre o centro e a borda do vórtice (sempre aponta para pressão mais baixa), essa força é equilibrada pela força gerada pela rotação da terra (força de Coriolis) fonte: Adaptado. (Nhatuguês,2023).

No hemisfério Sul (Norte), os vórtices ciclônicos apresentam sentido de giro horário (anti-horário) enquanto os anticiclônicos apresentam sentido anti-horário (horário). Os vórtices anticiclônicos (ciclônicos) são ainda caracterizados por suas águas interiores mais quentes (frias) do que aquelas que circunvizinham a feição, ou seja, estes vórtices são também reconhecidos por possuírem núcleo quente (frio), o que os torna passíveis de identificação radiométrica por sensores embarcados em satélites, seus centros são de alta (baixa) pressão, possuindo anomalias positivas (negativas) da superfície do mar, (João, 2022).

2.1.6. Sistema de correntes das agulhas

A corrente das agulhas (AC) é a corrente de contorno oeste que fecha o giro subtropical do oceano indico, ela flui para Sul ao longo da costa leste africana, contorna o extremo Sul do continente e se projeta para o oceano Atlântico entre as longitudes 16°S e 20°S, onde reflete no sentido anti-horário e retoma para o oceano Indico Lutjehrms e Vanballegooyen, (1988), com um giro anticiclônico com diâmetro médio de 341 a 72 km onde marca o retorno da corrente das Agulhas no oceano Indico.

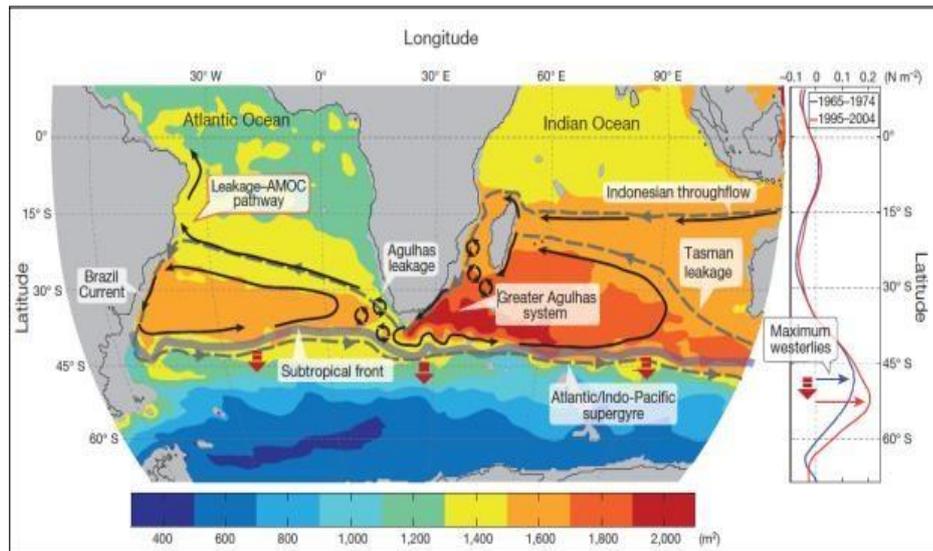


Figura 5:Esquema de circulação oceânica incorporando os giros subtropicais do índico sul e do atlântico sul. Fonte: Adaptado de (Beal et al. 2011).

São emitidos vórtices quentes que derivam através do oceano Atlântico Sul inicialmente na direção noroeste, esses vórtices transferem energia e massas de águas com temperaturas e salinidades, características do oceano Indico para o giro subtropical do atlântico sul. Este é considerado um dos sistemas mais energéticos do oceano mundial, possuindo grande importância na ligação entre o oceano Indico e o oceano Atlântico (Ruijter et al., 1999; Matano e Beal, 2003.).

3. CAPÍTULO III: METODOLOGIA

3.1.1. Metodologia

3.1.2. Descrição da área de estudo

O Canal de Moçambique situa-se no ocidente do Oceano Índico, entre Moçambique e a Ilha de Madagáscar (Figura 6). No Norte, o Canal de Moçambique é limitado pela Corrente Equatorial Sul (SEC) que sofre bifurcação entre os paralelos 12°S de latitude, formando a Corrente costeira da África Oriental (EACC) em direção ao Equador e a Corrente de Moçambique (MC) na direção sul (Langa, 2018). No Sul, pela Corrente do Sudeste de Madagáscar (SEMC), e assim, conectando ao sistema de Correntes das Agulhas (Shouten et al. 2003).

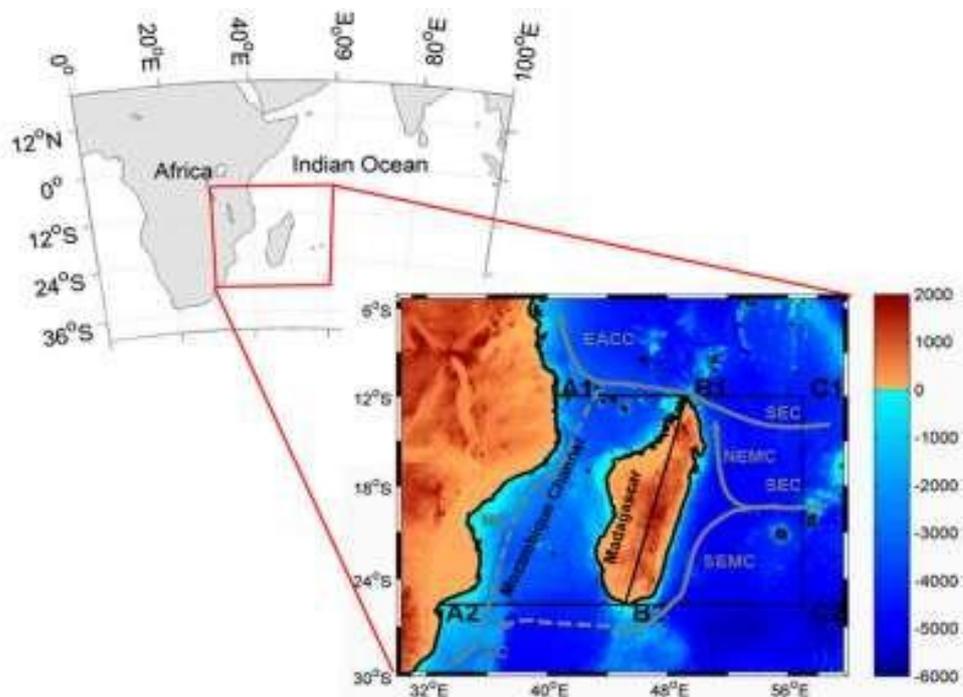


Figura 6: Representação esquemática da circulação e batimetria na região do canal de Moçambique. O canal de Moçambique, onde é limitado por dois países nomeadamente Moçambique no Oeste e Madagáscar no Leste. Fonte: (Schouten et al. 2003).

3.1.3. Oceanografia no canal de Moçambique

As temperaturas e salinidades das massas de água encontradas ao longo de todo o Canal de Moçambique variam entre 20°C a 29°C na superfície do mar, respetivamente (Lutjeharms,2007). Ao longo do ano, o Norte do Canal de Moçambique, entre 12° S a 20° S, destaca-se como o local mais quente de todo o sudoeste do oceano Índico. Nessa região, o intervalo de temperatura durante o

Influência do EKE na variabilidade espaço e temporal da concentração da clorofila-ano Canal de Moçambique

verão, varia de 28 °C a 29 °C e no inverno de 25 °C a 26 °C (Lutjeharms, 2006). Ao Sul de 25 a 30° S variando de 26 °C a 27 °C no verão e de 22 °C a 23 °C no inverno, (Shouten et al. 2003). Segundo Schott, et al. (2009) a profundidade definida pelos isotermas de 20 °C (típica para oceanos tropicais de Termo clina média) varia de 70 m a 220 m, com maiores variações observadas no norte do canal do que no sul. Os vórtices também são formados na ponta sul de Madagáscar, sendo que alguns, deslocam-se para o norte ao longo da costa oeste de Madagáscar (Schouten, 2003).

Algumas vezes um giro mais amplo também é formado, circulando em volta das Ilhas Cômores, frequentemente, os vórtices são gerados em pares que se movem em direção sul ao longo do canal, sendo que 4 a 6 pares podem ser formados no período de um ano Paloschi, (2016). Com a influência dos ventos das monções do corrente sul equatorial (SEC) no limite norte do canal de Moçambique (localizado a cerca de 10°s de latitude), as velocidades podem atingir mais de 0.1 ms^{-1} durante o inverno austral, quando os ventos são mais fortes (Emílio, 2020).

No verão austral, a velocidade do corrente sul equatorial (SEC) raramente atinge a velocidade de 1 *m.s*. Nos 10°S de latitude, a corrente sul equatorial (SEC) ramifica-se, formando a corrente do ms^{-1} deste de Madagáscar (SEMC), dirigindo-se para o norte e torna-se a principal forçante da corrente de Moçambique direcionada para o Sul. A região Norte do canal de Moçambique também está sob influência dos ventos monsonicos que se estendem até aos 18°s de latitude (Emílio, 2020).

3.1.4. Velocidades geostróficas zonais (u), meridional (v)

Os dados de velocidades geostróficas estão disponíveis no COPERNICUS MARINE ENVIRONMENT MONITORING SERVICE (CMEMS) no site <http://marine.copernicus> . Esses dados foram obtidos, através do satélite, com resolução espacial de (0.25°×0.25°).

3.1.5. Clorofila-a

Dados de concentração da clorofila (CHL-a) foram adquiridos em diferentes produtos, nomeadamente com uma resolução espacial de 4km de médias mensais MODIS/aqua (*MODERATE RESOLUTION IMAGING SPECTRORADIOMETER*) a partir da página do *ocean color* (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>).

Tabela 1: descrição dos dados

Parâmetro	Provedor	Sensor	Resolução		Período em análise
			Temporal	Espacial	
Concentração da clorofila (Chl-a) (mg/m^3)	NASA	Modis/aqua	Mensal	~4km	2002-2022
Velocidades geostroficas zonais e meridionais	CMEMS	Copernicus	Mensal	0.25° × 0.25°	

3.1.6. Materiais e aquisição de dados

3.1.7. Métodos

O procesamento dos dados das velocidades geostroficas zonais e meridionais e da concentração da clorofila do presente estudo foram lidas e processados através da linguagem de programação do software denominado “MATLAB R2018a”, que é uma das boas e poderosas ferramentas para a realização de pesquisas com conjuntos de dados via satélite, ainda mais porque produz cálculo científico, possui uma rapidez na execução de código, permite a publicação da informação num website com mais facilidade, além disso produz resultados em gráficos bem como mapas.

3.1.8. Variação sazonal do campo médio da concentração da clorofila e EKE no canal de Moçambique

A análise sazonal do campo médio da concentração da clorofila e EKE considerou-se duas estações do ano, onde foram seleccionados:

Verão → dezembro, janeiro e fevereiro;

Inverno → junho, julho e agosto;

A partir de dados mensais correspondente ao período de 21 anos de 2002 a 2022 foram gerados mapas das médias mensais e desvio padrão da concentração de clorofila e EKE, de verão e inverno especificamente para a região do canal de Moçambique.

A média do campo médio da concentração da clorofila e médias resultantes das intensidades do EKE (equação 2) e direções para duas componentes da corrente para Norte (v) e Este (u), foram calculados usando as seguintes fórmulas:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{Equação 2: Média aritmética}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{Equação 3: Desvio padrão}$$

$$d = \arctang\left(\frac{u}{v}\right) \quad \text{Equação 4; Direcção das correntes}$$

3.1.9. Cálculo da energia cinética turbulenta

Como forma de parametrizar as feições de meso escala a energia cinética turbulenta foi calculada. Para o cálculo foram utilizados os dados de anomalia da velocidade geostrófica, que representam a variabilidade associada ao campo médio de velocidades, gerada em sua maioria por vórtices e meandros. O método utilizado foi o mesmo proposto por Ducet et al. (2000), o qual estima a energia cinética turbulenta a partir dos dados de anomalia da velocidade geostrófica zonal (v_g) e meridional (u_g) no canal de Moçambique, conforme a equação abaixo:

$$EKE = \frac{1}{2} [U_g^2 + V_g^2] \quad (m^2 s^{-2}) \quad \text{Equação 1: energia cinética turbulenta}$$

Onde:

EKE – energia cinética turbulenta

3.1.10. Análise por funções empíricas ortogonais EOF

A função empírica ortogonal (*Empirical Orthogonal Function – EOF*) é uma análise de componentes principais (ACP), aplicada, principalmente em meteorologia e climatologia, para a compreensão de padrões espaciais dos dados. O objectivo do uso de ACP é tentar reduzir o número de variáveis do conjunto de dados, para facilitar a análise Wilks,(2006). Para o cálculo das EOF é necessário transformar a matriz de dados em três dimensões, considerando n mapas para cada tempo $t = 1 \dots N$, onde cada mapa contém medidas de localização $m = 1 \dots M$, uma vez que todos locais contribuem para análise.

Influência do EKE na variabilidade espaço e temporal da concentração da clorofila-ano Canal de Moçambique

A matriz espacial m possui latitude e longitude, formando uma matriz tridimensional com o tempo. Além disso é necessário realizar análise combinatória na matriz entre latitude e longitude para criar outra matriz f com duas dimensões ($F = M \times N$).

No presente estudo as EOF atribuem uma percentagem de 0 a 100% para cada Auto vetor, que corresponde a variância observada que explica este Auto vetor. Em geral, a maior parte da variância dos dados é explicada pelas primeiras componentes principais da EOF.

3.1.11. Avaliar a influência do EKE na distribuição da CHL-a

Avaliar o EKE a fim de aferir a influência do parâmetro EKE na concentração da clorofila, correspondentes ao período de 21 anos de janeiro de 2002 a dezembro de 2022.

3.1.12. Diagrama de HOVMÖLLER

Com base nas séries temporais obtidas foram geradas matrizes tempo-longitude para a CHL, e EKE no programa MATLAB R2018, onde aplicou-se a função CONTOURF sobre as matrizes, gerando, dessa forma, os respetivos diagramas de HOVMOLLER. Para a avaliação dos ciclos anual e sazonal da CHL e EKE, para a série considerada (2002-2022), foram gerados diagramas de HOVMOLLER através dos perfis traçados para as diferentes longitudes (36°E 38°E 40°E 42 °E) junto da costa Moçambicana.

4. CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1.1. Resultados

A (figura 7) apresenta a variação sazonal da magnitude e direcção do EKE para os meses de verão, e no inverno no MZC. No limite Norte do canal verifica-se que o EKE influencia a Corrente Sul Equatorial (SEC), proveniente da região equatorial, onde é mais intensa durante o verão, com velocidades na ordem de $0.06ms^{-1}$ assim como, no limite Sul com a Corrente Sul Equatorial de Madagáscar (SMEC), com intensidade do EKE superior, $0.06ms^{-1}$ em relação ao período de inverno com intensidades na ordem de $0.02m.s^{-1}$ e $0.03m.s^{-1}$ relativamente baixa. Ainda para os meses de verão o mês de Fevereiro, apresenta baixa EKE com velocidades a baixarem até $0.02ms^{-1}$ devido ao facto de estar a aproximar-se a próxima estação do ano. A corrente Sudoeste de Madagascar surge através da ramificação da Corrente Sul Equatorial que sofre bifurcação entre os paralelos $12^{\circ}S$ de latitude.

Por outro lado, baixas intensidades de corrente de cerca de $0.02m.s^{-1}$ na região Centro do canal foram registrados para os meses de inverno, com presença quase que inexistente de vórtices em quase todo canal, destacando-se o mês de Agosto em que se observa correntes fortes bem a norte do canal de Moçambique, e o início da formação de vorticidades, mas para os meses de Julho e Junho o EKE, tem tendência de se propagar do Norte ao Centro do canal de Moçambique, dando a sua continuidade de circulação no Sul do canal de Moçambique.

Visto que os meses de verão estão associados a maior energia cinética turbulenta devido a maior predominância dos vórtices de meso escala, logo destaca-se a predominância dos giros anticiclónicos e para os meses de inverno porque estão associados a menor energia cinética turbulenta destaca-se a predominância dos giros ciclónicos, locais com menor baixa energia cinética turbulenta, informa que o oceano é caracterizado por uma circulação estacionaria.

4.1.2. Variação sazonal do campo médio do EKE ao longo do canal de Moçambique

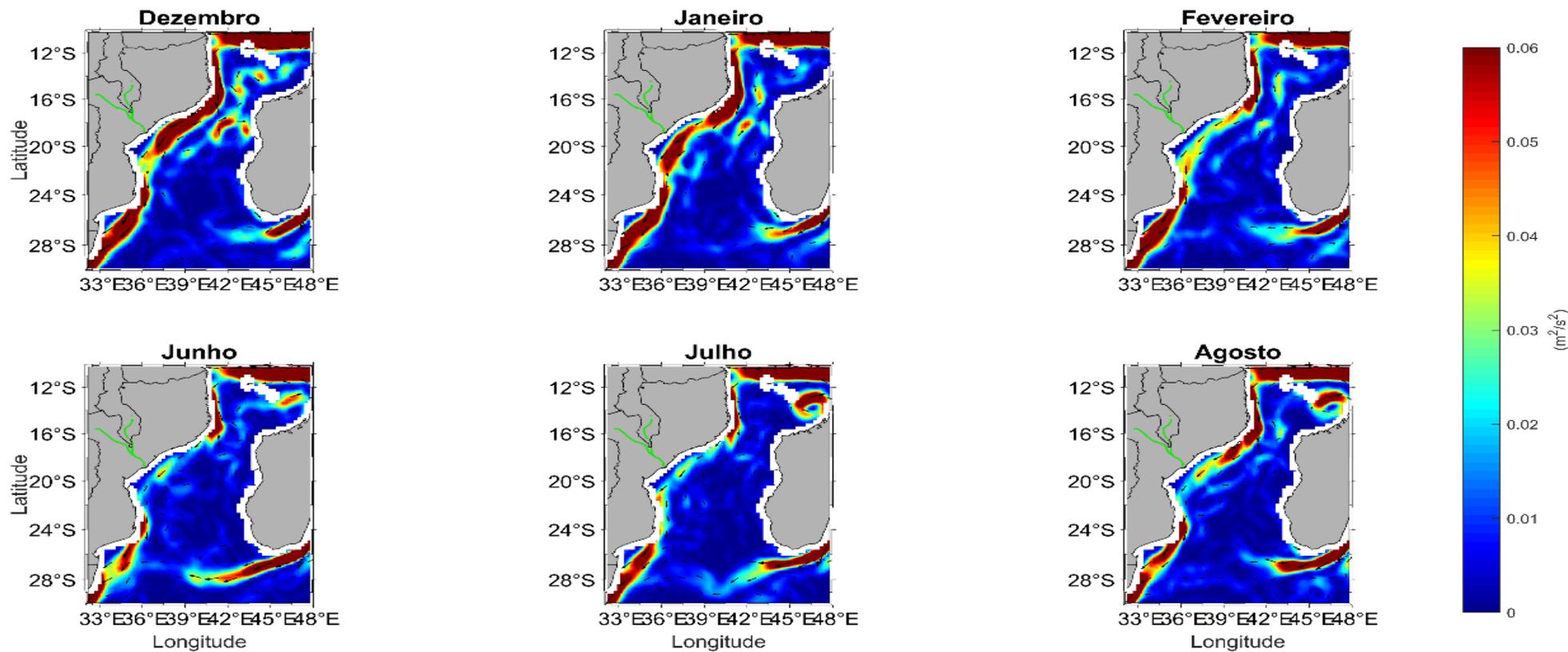


Figura 7:Variação sazonal do campo médio do EKE na região do canal de Moçambique em função dos meses inverno (Junho, Julho e Agosto) e verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro).Os vetores indicam a direcção predominante do fluxo, a cor de fundo indica sua velocidade expressa em **m.s**.

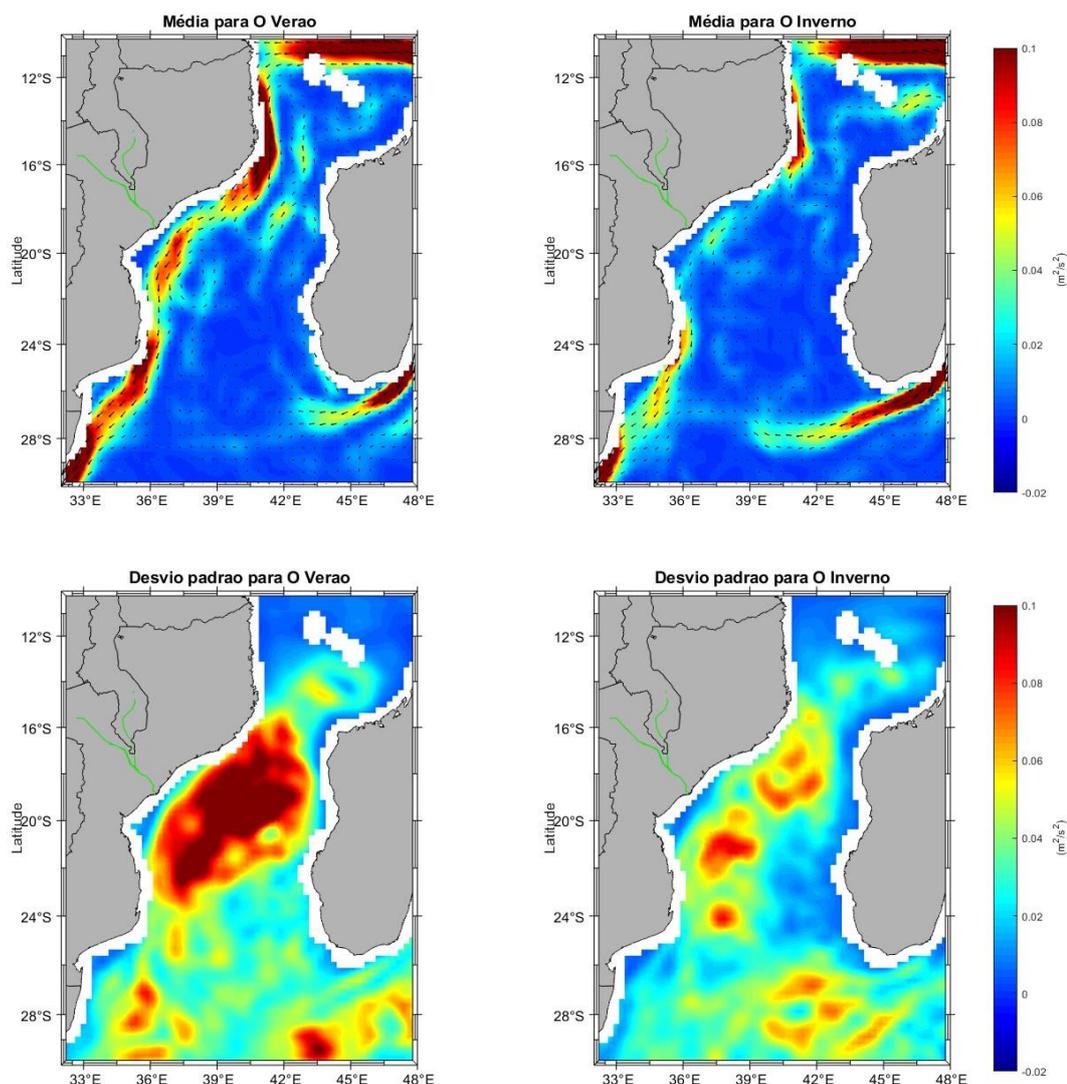


Figura 8: Distribuição da media e desvio padrão de verão e inverno de 21 anos do EKE, referentes aos meses de verão e inverno na região do canal de Moçambique nos períodos 2002 á 2022. Os vectores indicam a direcção predominante do fluxo, a cor de fundo indica sua velocidade expressa em $m \cdot s^{-1}$.

Nesta distribuição da média de longo termo do EKE, fig.8. os vectores poderiam indicar a existência de uma corrente continua que se dirige a Sul ao longo da plataforma Moçambicana. Mas está corrente não se faz sentir para a media de inverno devido a variações sazonais, tornado a corrente visível para a media das correntes no verão, com velocidades superiores na ordem de $0.1m \cdot s$. Nota-se ainda uma corrente de grande magnitude no Sudeste de Madagáscar, a Corrente Sudeste de Madagáscar, que flui para o Sul com velocidades na ordem de $0.1m \cdot s$, sendo visível para as duas estações tanto no verão como no inverno. Esta corrente surge através da Corrente Sul Equatorial que sofre bifurcação na costa leste de Madagáscar, perto de $12^{\circ}S$, ela dirige-se a região Sul do canal e exerce uma forte influência no padrão descontínuo da circulação do canal e contribui

Influência do EKE na variabilidade espaço e temporal da concentração da clorofila-ano Canal de Moçambique

para a ocorrência de giros anticiclônicos quando se encontra com as correntes que vem do Norte do canal. Os resultados da variância e desvio padrão do EKE fig.8, mostram particularmente, na quebra da plataforma e no oceano aberto ao longo da região Centro aos (16°S -20°S) respetivamente, locais com maior fluxo de energia cinética turbulenta, associado a vórtices de meso escala que se desenvolve de forma recorrente nesta região do canal, desta forma o desvio padrão de EKE de verão revela claramente esse resultado onde apresentam máximos valores de EKE registados na ordem de $0.1ms^{-1}$, diferente do desvio padrão de inverno onde não é visível de forma clara os resultado do desvio padrão do EKE no inverno , com as velocidades abaixo de $0.02m.s^{-1}$.

Os resultados apresentados na fig.9. são referentes a variação sazonal do campo médio da concentração da clorofila no MZC numa série temporal compreendida de 2002 a 2022 do presente estudo, usando uma técnica convencional baseada em Sensoriamento remoto foi possível mapear a variação da concentração da clorofila ao longo do canal de Moçambique, como pode se verificar na fig.9, os resultados obtidos apontam a região norte do canal precisamente aos 12°S ate 16°S que há uma clara sazonalidade para as duas estações do ano, onde para os meses de inverno a concentração da clorofila observada era mais elevada, estimada até $0.3mg.m^{-3}$.e para os meses de verão a sazonalidade é caracterizada por valores abaixo da média, da concentração da clorofila .

Contrariamente da região Norte no Centro do canal aos 18°S até aos 19°S na região junto a costa (Banco de Sofala) apresenta valores constantes para as duas estações do ano tanto no verão como no inverno, o que dita o pressuposto de que na região centro do canal de Moçambique não se verifica nenhuma sazonalidade nos padrões de distribuição da concentração da clorofila, os valores apresentados são maiores na ordem de $0.5mg.m^{-3}$.

De modo geral a concentração da clorofila, apresenta máximos no inverno que no verão em todo canal pode se observar claramente na fig.9. Em comparação com as regiões norte, e sul do canal de Moçambique verifica-se, maior aumento da concentração da clorofila na mudança de estação, sobretudo próximo à costa de Moçambique precisamente na região centro (Banco de Sofala), precisamente onde durante o inverno se verifica o triplo da concentração da clorofila, na ordem de $0.5mg.m^{-3}$, que no verão comparativamente na ordem de $0.3mg.m^{-3}$.

A semelhança do que se verificou no norte do canal também se notou uma clara sazonalidade para região sul do canal com valores bem definidos para a estação do inverno na ordem $0.3mg.m^{-3}$, e valores médios no verão $0.2mg.m^{-3}$. A diferença de magnitude evidenciada de verão para o inverno é maior na região sul do canal, precisamente aos 24°S onde registou-se maior concentração da clorofila no inverno e médio no verão.

4.1.3. Variação sazonal do campo médio da concentração da clorofila, ao longo do canal de Moçambique

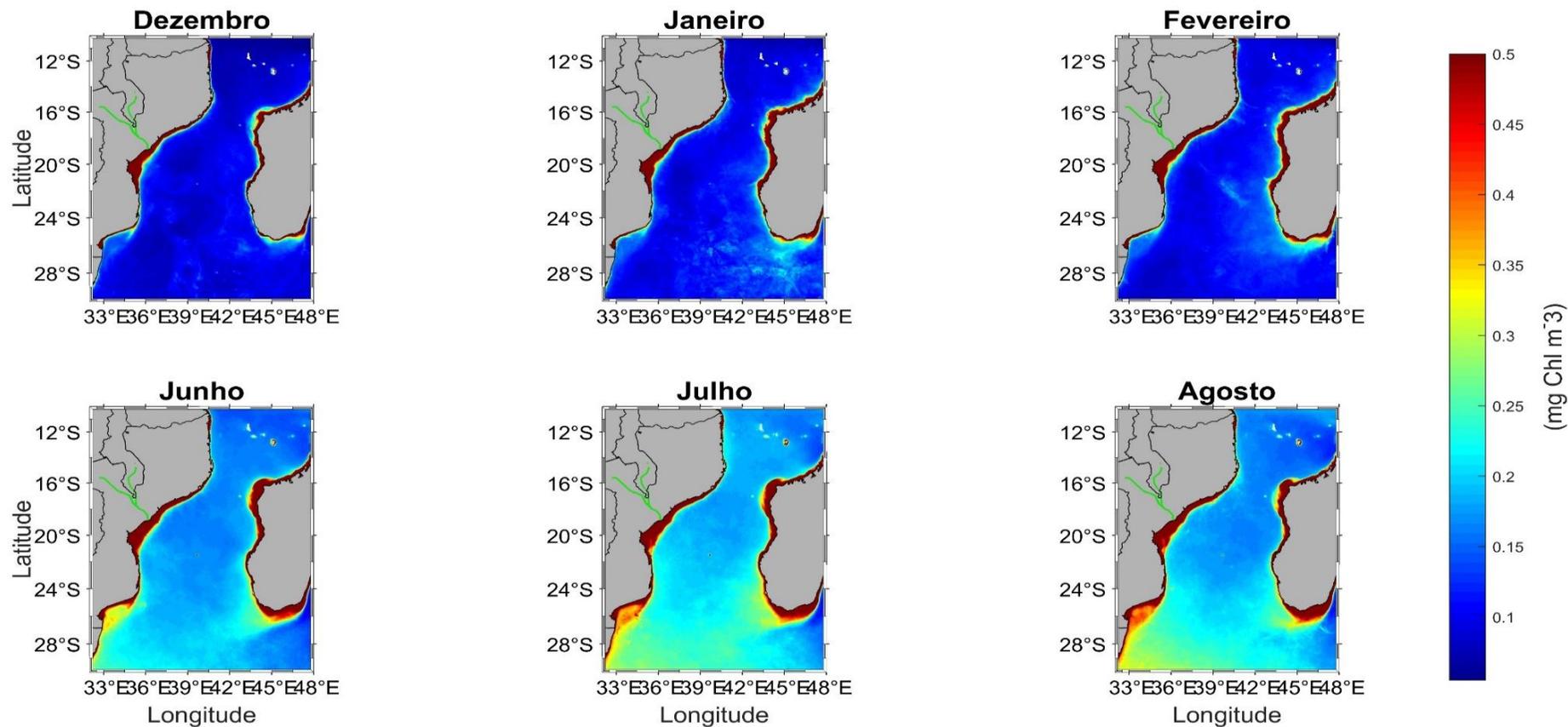


Figura 9: Distribuição da variação sazonal do campo médio da concentração da clorofila, no Canal de Moçambique em função dos meses, Inverno (junho, julho e Agosto) e Verão (Dezembro, Janeiro e fevereiro).A cor do fundo indica a concentração da clorofila expressa em mg.m^{-3} .

Influência do EKE na variabilidade espaço e temporal da concentração da clorofila-ano Canal de Moçambique

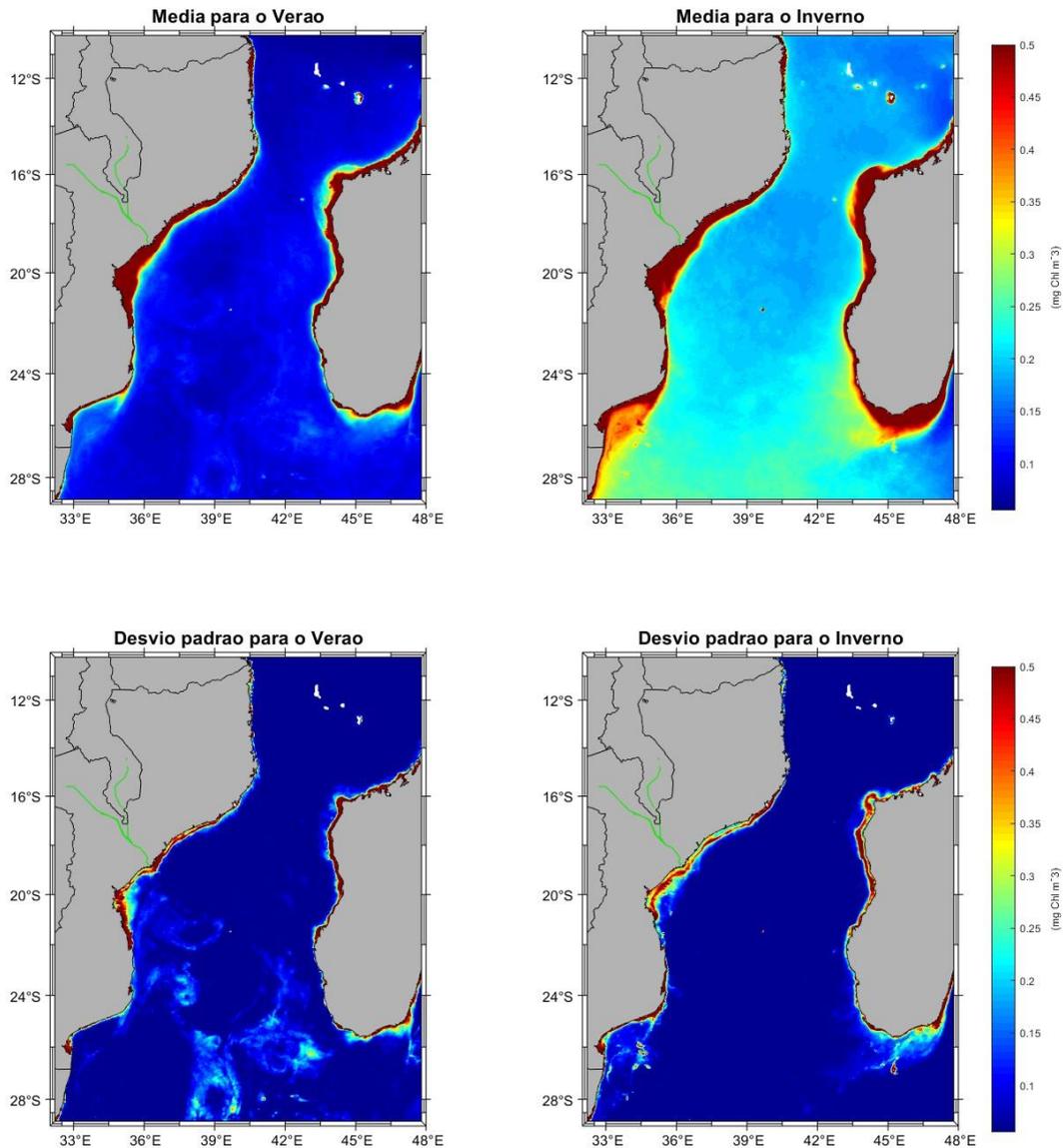


Figura 10: Distribuição da média e desvio padrão da concentração da clorofila, no canal de Moçambique nos períodos compreendidos de 2002 á 2022, referentes ao período de inverno e verão. A cor do fundo indica a concentração da clorofila, expressa em mg. m^{-3} .

A fig.10: representa as médias da concentração de clorofila no canal de Moçambique onde variam significativamente entre o verão e o inverno devido às mudanças sazonais , para os meses de verão, a media da concentração da clorofila tende a ser relativamente baixa , aproximadamente de 0.2 e 0.4mg. m^{-3} e para os meses de inverno , a media da concentração da clorofila tende a ser mais alta, aproximadamente de 0.4 a 0.5mg. m^{-3} .Esses resultados da media mostram que foram observadas na costa Moçambicana ao longo da plataforma continental do banco de Sofala, com valores elevados na ordem 0.5mg. m^{-3} as maiores concentrações de clorofila, para as duas estacoes do ano.As médias no norte, sul e este da ilha de Madagáscar apresentam valores entre 0.1 e

0.3 mg. m^{-3} à semelhança do MZC, sendo estas regiões caracterizadas com menor média (0.1 e 0.3 mg. m^{-3}) principalmente nas regiões norte do MZC e da ilha de Madagáscar. O desvio padrão da concentração da clorofila está localizado na região costeira de Moçambique e da ilha de Madagáscar comparativamente às regiões adjacentes (mar aberto).

4.1.4. Variabilidade espacial e temporal da concentração da clorofila da superfície do mar através da aplicação EOF

As percentagens associadas aos modos estatísticos da variabilidade explicada para a clorofila obtidos na aplicação de EOF na matriz de dados filtrados, onde os primeiros três modos explicam variância total para concentração da clorofila ao longo do canal de Moçambique. A variabilidade revelada pelo primeiro modo EOF do campo de concentração da clorofila contém 33.01% da variância que representa uma variação de larga escala na concentração de clorofila ao longo de uma determinada região.

O segundo modo EOF detém 24.10% da variância, onde reflete principalmente a variabilidade anual que é muito pequena aqui em comparação com a variabilidade sazonal. O terceiro modo EOF do campo da concentração da clorofila da superfície do mar explica 14.57% da variância, podendo representar variações sazonais na concentração de clorofila, os níveis mais elevados da concentração da clorofila ocorreram durante 2002, 2003, 2006, 2019, e 2020, respetivamente, a concentração da clorofila no canal atinge o pico máximo em agosto-setembro, que é o inverno austral e a variabilidade espacial é particularmente claro na parte central do canal de Moçambique.

Influência do EKE na variabilidade espaço e temporal da concentração da clorofila-ano Canal de Moçambique

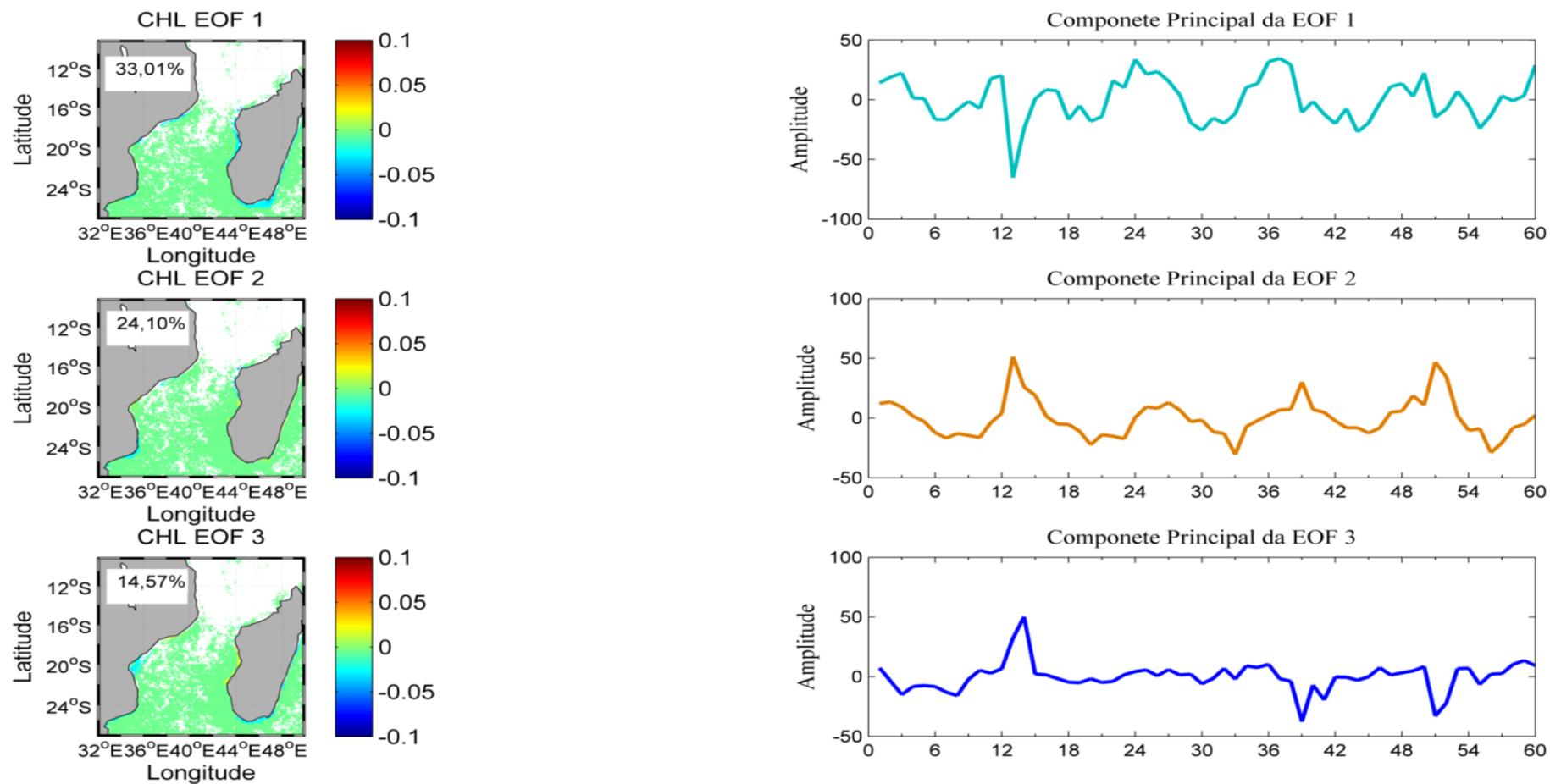


Figura 11: Modos espaço-temporal da variabilidade da clorofila ao longo do canal de Moçambique e as séries temporais associadas à amplitudes das EOF.

4.1.5. Avaliar a influência do EKE na distribuição da concentração da clorofila.

Para a região Norte, nas latitudes entre a grade 12°S a 16°S o EKE mostrou-se a influenciar na distribuição da clorofila, de 2003 até 2011, o EKE mostrou-se com altas velocidades, até 0.1ms^{-1} de igual modo tendo influenciado na CHL-a que por sua vez teve seus valores altos de até $0.2\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, para o ano de 2012, o fluxo do EKE e CHL-a mostrou-se relativamente baixo, com velocidades do EKE abaixo de 0.02ms^{-1} e CHL-a, abaixo de $0.02\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, por outro lado os anos seguintes de 2013, 2014, e 2015 os dois parâmetros mostram seus perfis elevados, com o EKE e CHL-a, com valores elevados, para o EKE, com velocidades até 0.1ms^{-1} e CHL-a, $0.2\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, de 2016 a 2017, voltou a mostrar velocidades baixas de EKE e baixas CHL-a, para completar os anos em estudo de 2017 até 2022, houve aumento significativo da CHL-a $0.15\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, elevadas velocidades do EKE acima de $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

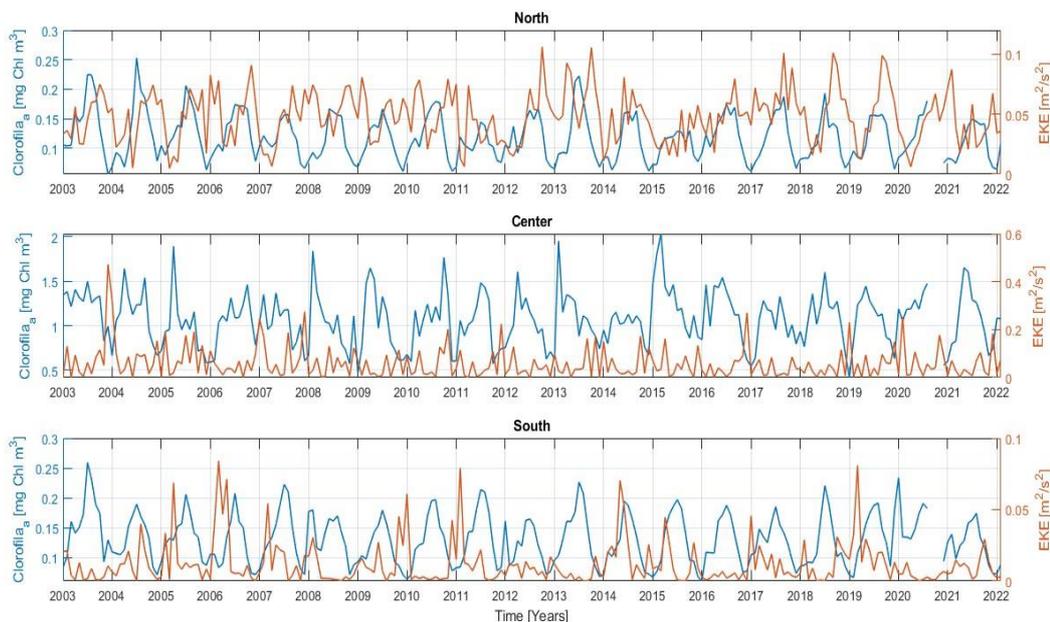


Figura 12: Serie temporal dos padrões de circulação oceânica e concentração da clorofila.

Para a região Centro, nas latitudes entre a grade 16°S a 20°S o EKE mostrou-se com pico máximo a atingir velocidades, até 0.4ms^{-1} , de 2004 para 2022 o EKE, teve sua velocidade a manter no Centro do canal, influenciando de forma não directa na concentração da clorofila-a, e por sua vez a CHL-a teve seus valores altos de até $0.5\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ para toda serie temporal de 2003 até 2022. Para a região Sul, nas latitudes entre a grade 20°S a 28°S, teve seus valores de CHL-a elevados na ordem de $0.25\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, para todos os anos em estudo de 2003 até 2022, de igual modo as velocidades do EKE mostraram-se com seu pico maximo nos anos

2005,2006,2007,2010,2011,2014,2015,e 2019, influenciando desta forma a concentração da clorofil-a.

4.1.6. Diagramas de Hovmöller

A **fig.13.** ilustra os diagramas de Hovmöller do EKE e clorofila observada através dos dados do MODIS-Aqua durante os anos de 2002 a 2022, ao longo das longitudes 36°E 38°E 40°E 42 ° E na costa Moçambicana. O eixo horizontal representa a posição espacial, os padrões de circulação podem influenciar a distribuição espacial da clorofila. O diagrama pode mostrar gradientes de concentração da clorofila, ao longo de diferentes longitudes onde pode-se observar variações sazonais na concentração da clorofila.

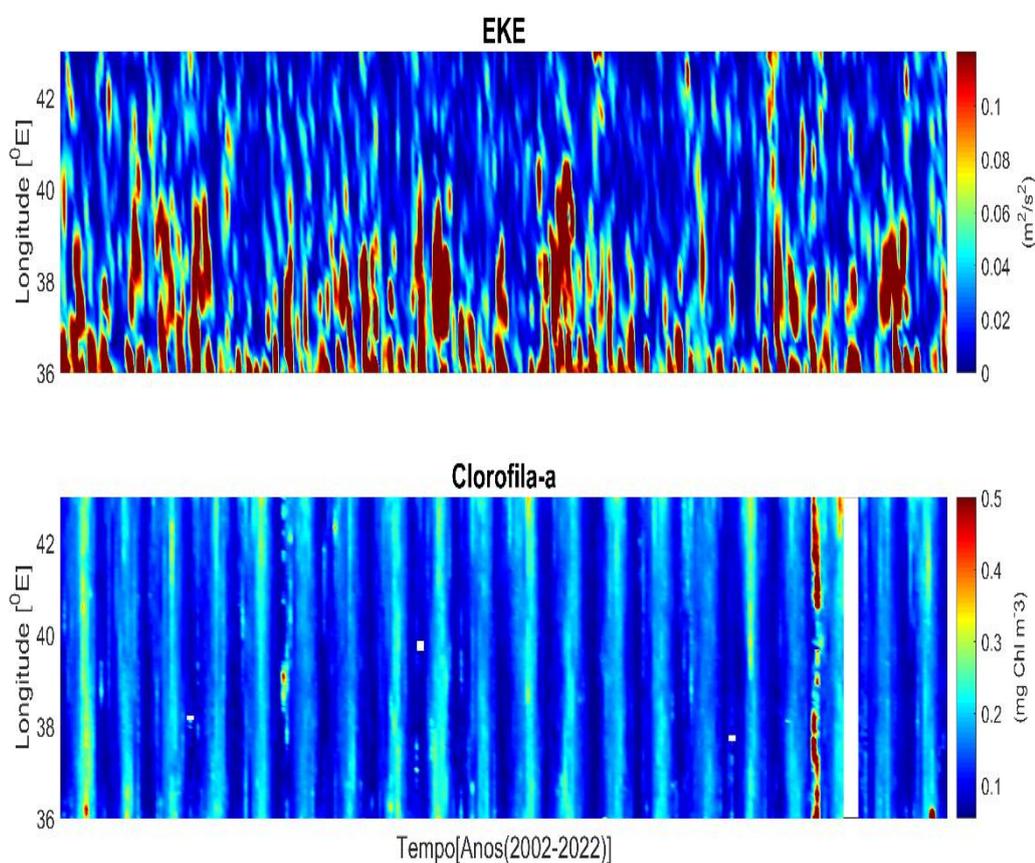


Figura 13:diagramas de Hovmöller do EKE e clorofila , de toda serie temporal em estudo de 2002 a 2022.

4.1.7. Discussão

A variação sazonal do campo médio da concentração da clorofila nas regiões Norte e Sul do Canal de Moçambique, demonstra ser conduzida por mecanismos com padrões de sazonalidade, enquanto a secção Central é conduzida por mecanismos sem padrões de Sazonalidade, estes resultados foram confirmados por um estudo realizado por Tew-Kai & Marsac,(2009), onde com objectivo de compreender a CHL-a,descrevem que a CHL-a está associado a varios factores, na parte Norte: elevação ciclónica de águas profundas ricas em nutrientes no núcleo dos giros ciclónicos, interacção entre giros que geram uma forte mistura central favorável à produção de fitoplâncton e advecção de mar alto de águas enriquecidas de clorofila, no Banco de Sofala e Delagoa Bight, está associada pela passagem de giros de propagação em direcção a Sul.

A corrente sul equatorial (CSE) exerce uma forte influência na distribuição da concentração da clorofila-a, o mesmo resultado foi confirmado por um estudo efetuado por Schouten *et al.*, (2003), que demonstra que as intrusões da (CSE) no canal de Moçambique apresentam um ciclo sazonal, transportando clorofila, elevadas concentrações nas massas de água da superfície tropical durante o inverno e baixas concentrações de clorofila nas massas de água da superfície subtropical durante o verão.

A base da produtividade primária nos oceanos é a existência de nutrientes e a luz do sol para que ocorra a fotossíntese. A concentração dos nutrientes aumenta com a profundidade (Zhao *et al.*, 2008). A sazonalidade mostrou um aumento na CHL-a de $0.14\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, para $0.28\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, na mudança de estação ,este aumento deve-se a ressurgência provocada pelo vento (Zhao, et al., 2008). De modo geral a concentração da clorofila é elevada no inverno $0.5\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, e baixa no verão $0.3\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, o mesmo resultado de máximos de inverno e mínimos de verão foram confirmados por uma modelagem e estudo de satélite realizado por Omta et al., (2009), Tew-Kai e Marsac (2009), onde demonstraram que a concentração da clorofila estava abaixo dos níveis normais de 0.15 a $0.3\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, Lévy, (2004), quando os anticiclónicos eram predominantes no canal, mas a concentração da clorofila foi aumentando quando os redemoinhos ciclónicos eram dominantes acima de níveis até $0.5\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

O resultado das médias mensais da concentração da clorofila, de verão e inverno, para todos os 21 anos analisados (2002-2022), na região de estudo, mostram que foram observadas na costa Moçambicana ao longo da plataforma continental do banco de Sofala, CHL-a elevados na ordem de ($0.5\text{mg}\cdot\text{m}^3$) especificamente, contrariamente ao MZC. Estudo realizado por Weimerskirch et al.,

(2004), reforça dizendo, que no Centro do canal de Moçambique, a dinâmica de meso escala conduzido por giros ciclônicos e anticiclônicos aumentam/reduzem a biomassa fitoplanctônica .

Os mesmos resultados de elevada CHL-a no Centro do canal foram constatados por Boge (2006) e Manhice (2014) que descrevem que a elevada concentração da clorofila ao longo da região Centro do canal de Moçambique são principalmente derivadas das elevadas cargas de nutrientes injetadas pelos rios, a correr para o banco, como é o caso principal do rio Zambeze, e também por meio do sistema da dinâmica de vórtices (especialmente os ciclônicos que no hemisfério Sul, apresentam ressurgência no seu Centro) fazendo com que os nutrientes ascendam à superfície tornando está uma zona de maior produtividade primária, desta forma sendo a grande forçante para a determinação da concentração da clorofila no Sul do canal de Moçambique.

O resultado mostra que as correntes, tem sua origem na região Norte do canal de Moçambique, influenciado principalmente pela topografia do fundo Halo, et al., (2014) e pelos ventos Zhang, et al (2016), propagando-se para Sul com velocidades variáveis, durante este trajeto, as correntes possibilitam a ocorrência de vórtices de meso escala ao longo do canal, onde enfraquecem as feições num processo comum resultando na divisão dos vórtices em feições menores (Halo, et al., 2014). A Corrente Sul Equatorial (CSE), desempenha um papel fundamental na ocorrência de vórtices ciclônicos e anticiclônicos no canal de Moçambique, este giro ciclônico e anticiclônico no canal de Moçambique foi constatado por Schouten et al., (2003); Collins et al., (2014) e Halo et al., (2014) que sugerem que, a predominância dos vórtices ciclônicos no inverno (Junho-Julho-gosto) está associada a instabilidade baroclínica e a predominancia dos vórtices anticiclônicos no verão (Dezembro-Janeiro-Fevereiro) está associada a instabilidade barotrópica.

Na distribuição da média de longo termo da EKE os vetores indicam a existência de uma corrente continua que se dirige a Sul ao longo da plataforma Moçambicana. A junção da Corrente Sul Equatorial com a Corrente Nordeste de Madagáscar, formam a Corrente de Moçambique, propagando-se em direção ao Sul do canal de Moçambique, embora a corrente de Moçambique pareça não fazer-se presente, para a media de inverno, a corrente de Moçambique (CM) apresentou baixas velocidades na ordem de $0.02m.s$, porém, após análise do resultado da média de verão das intensidades, a corrente de Moçambique ficou visivelmente representada com velocidades até $0.1m.s$, facto este, que se assemelha ao resultado reportado por (Schouten, et al. 2003, Emilio, 2020).

De igual modo ainda nos resultados da média, tanto no verão e inverno nota-se claramente uma corrente de grande magnitude no sudeste de Madagáscar, a Corrente Sudeste de Madagáscar

Influência do EKE na variabilidade espaço e temporal da concentração da clorofila-ano Canal de Moçambique

(CSM), que flui para o sul, com velocidades superiores na ordem de $0.1m.s$, o mesmo resultado foi constatado por Collins, Hermes, & Reason, (2014) que descrevem que esta corrente surge através da Corrente Sul Equatorial (CSE) que sofre bifurcação na costa leste de Madagáscar, perto de $12^{\circ}S$, ela dirige-se a região Sul do canal e exerce uma forte influência no padrão descontínuo da circulação do canal e contribui para a ocorrência de giros anticiclónicos quando se encontra com as correntes que vem do Norte do canal.

Os resultados da variância e desvio padrão do EKE fig.9. mostram particularmente, na quebra da plataforma e no oceano aberto ao longo da região centro aos ($16^{\circ} S -20^{\circ} S$) respetivamente, como o local com maior fluxo de energia cinética turbulenta associado a vórtices de meso escala que se desenvolve de forma recorrente nesta região do Canal, onde o desvio padrão de EKE de verão revela claramente esse resultado que apresentam máximos valores de EKE registados na ordem de $0.1m.s$, diferente do desvio padrão de inverno onde não é visível de forma clara, os resultado do desvio padrão do EKE no inverno, apresentam velocidades abaixo de $0.02m.s$. O resultado revelado para o desvio padrão de verão foi confirmado por Halo *et al.* (2014) que relata que durante suas investigações constatou que os vórtices de meso escala predominantes na região Centro do canal apresentam maior energia cinética turbulenta associado ao seu diâmetro em comparação com as regiões norte e sul do canal de Moçambique.

O primeiro modo das EOF foi responsável por explicar 33.01% de variância, este resultado foi confirmado por um estudo estatístico envolvendo interações biofísicas realizado por Tew-Kai & Marsac, (2009) que demonstram que somente o primeiro modo EOF explica a variância total da concentração da clorofila em uma determinada região e que o 5 e o 6 modo não mostrado, a percentagem estatística explicada é muito baixa em comparação com a variação sazonal. A serie temporal mostra diferentes comportamentos em todo canal de Moçambique sobre a influência do EKE sobre a CHL-a, onde, na parte Sul e Norte o EKE, influencia diretamente na distribuição da concentração da clorofila-a, e no Centro do canal o EKE, propaga-se de forma constante, com velocidades constantes, não superiores, mas por outro lado a concentração da clorofila-a mostrou-se com elevadas concentrações atingindo picos até $0.5mg.m^{-3}$, pelo facto de estar associado a varios outros factores que possibilitam na produtividade primaria no Banco de Sofala.

Sabe-se que no Centro do canal não ocorrem variações sazonais da concentração da clorofila, no entanto as elevadas concentrações são na ordem de $0.5mg.m^{-3}$, em comparação com Norte e Sul. Com o diagrama de hovmoller foi possível verificar que os padrões de circulação podem influenciar a distribuição espacial da clorofila. O diagrama ainda mostra gradientes de concentração

Influência do EKE na variabilidade espaço e temporal da concentração da clorofila-ano Canal de Moçambique

da clorofila, ao longo de diferentes longitudes onde pode-se observar variações sazonais na concentração da clorofila, a velocidade do EKE, com diagrama de hovmoller pode ser estimado até 0.1m.s, e para gradientes da concentração da clorofila estima-se concentrações até $0.5mg.m^{-3}$.

5. CAPITULO V: CONCLUSÕES

5.1.1. Conclusões

O presente trabalho analisou a influência do EKE na variabilidade da concentração da clorofila-a no Canal de Moçambique, os resultados apresentados durante a realização e pesquisa do trabalho, permitiram chegar as seguintes conclusões:

- A variação sazonal do campo medio da CHL-a, nas regiões Norte e Sul demonstra ser conduzida por mecanismos com padrões de sazonalidade e a parte Central demonstra ser conduzida por mecanismos sem padrões de sazonalidade, de igual modo a CHL-a apresenta máximos no inverno até $0,5 \text{ mg. m}^{-3}$, e mínimos no verão $0,2 \text{ mg. m}^{-3}$.
- Para a media da CHL-a , tanto no verão , como no inverno é elevada na região Centro , no Banco de Sofola, especificamente , CHL-a até $0,5 \text{ mg. m}^{-3}$, e menores medias no Norte e Sul.
- As variações sazonais do EKE representadas são de maxima intensidades do EKE no verão ate 0.06 m. s^{-1} , com origem no Norte do canal , influenciando desta forma na ocorrência de vortices de meso escala, com destaque para os giros e anticiclonicos, e baixas velocidades da EKE no inverno abaixo de 0.02 m. s^{-1} , com predominancia dos giros ciclonicos.
- A media da EKE mostra uma corrente continua, denominada corrente de Moçambique (CM) , propagando-se para Sul, está corrente de Moçambique é mais intensa no verão com velocidades na ordem de 0.1 m. s^{-1} ., e no inverno a corrente de Moçambique não se faz presente devido a baixas velocidades 0.02 m. s^{-1} . Para o desvio padrão da EKE, é evidente maior EKE no verão com velocidades até 0.1 m. s^{-1} , na região Centro do canal, associado a maior predominancia dos vortices de meso escala predominantes na quela região , e para o inverno, o desvio padrão não é evidente no canal de Moçambique por apresentar baixas velocidades até 0.02 m. s^{-1} .
- As funções impiricas ortogonais revelam que somente o primeiro modo EOF's é responsavel por explicar a variância total .
- Com as series temporais foi possível verificar variabilidade interanual, da CHL-a, e EKE com maior ocorrência destacada nos anos de 2010, 2013, 2016 e 2019, deixando claro que em alguns anos nesse período em estudo foi marcado pela diminuição da concentração da clorofila, e baixa velocidade do EKE e outros foi possível observar, elevadas concentrações da clorofila até $0,5 \text{ mg. m}^{-3}$, e maiores velocidades do EKE até, 0.1 m. s^{-1} .

5.1.2. Recomendações

Para trabalhos futuros: Recomenda-se para a comunidade científica que seja feita a modelação da clorofila-a baseando-se em dados colhidos *in situ*, em relação as marés, SST ou ventos no canal de Moçambique.

5.2. Referências bibliográficas

Backeberg, B. C., & Reason, C. J. (2010). *A connection between the South Equatorial Current north of Madagascar and Mozambique Channel Eddies* (Vol. 37). GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS.

Barale, V. (s.d.). Sea surface colour in the field of biological oceanography. *International Journal of Remote Sensing*. 12(4):781-793, 1991.

Boge. (2006). *Time Series analysis of the Chlorophyll content in the Mozambique Channel using GIS and remote sensing. Master's Thesis in Geography, Department of Geography, University of Bergen, pp 157.*

Braby, L., Backeberg, B. C., Ansrøge, I., Roberts, M. J., Krug, M., & Reason, C. J. (s.d.). *Observed eddy dissipation in the Agulhas Current. . Geophysical Research Letters, 8146-8149. 2016.*

Camus, P., Menéndez, M., Méndez, F. J., Izaguirre, C., Espejo, A., Cánovas, V., . . . Medina, R. . (2014). *A weather-type statistical downscaling framework for ocean wave climate. Journal of Geophysical Research: Oceans DOI 10.1002/2014JC010141.*

Castelão, G.P., Johns, W.E. (2011). *Estrutura da superfície mar do Norte do Brasil aneis de correntes derivados de observacoes de perfil de corrente Doppler acustico abordo e atracado .J. Geofísica . Res.116, C01010.*

Chelton, D. B., Schlax, M. G., & Samelson, R. M. (2011). *Global observations of nonlinear mesoscale eddies. Progress in Oceanography.*

Chelton., D. B., Gaube., P., Schlax., M. G., Early., J. J., & Samelson, R. M. (2011). *The Influence of Nonlinear Mesoscale Eddies on Near-Surface Oceanic Chlorophyll.* Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.

Chiang, T.-L., Wu, C.-R., & Oey, L.-Y. (2010). Typhoon Kai-Tak: An Ocean's Perfect Storm. *Journal of Physical Oceanography*, 221-233.

Collins, C., Hermes, J. C., & Reason, C. J. (2014). Mesoscale activity in the Comoros Basin from satellite altimetry and a high-resolution ocean circulation model. *Journal of Geophysical Research*, 119, 4745 - 4760.

Collins, C., Reason, C. J., & Hermes, J. C. (2012). *Scatterometer and reanalysis wind products over the western tropical Indian Ocean*. *Journal of Geophysical Research*, vol. 117, c03045, doi:10.1029/2011jc007531, 2012.

Costa, M., Galvão, S., & Novo, E. (1998). Quantificação espacial de Clorofila a na Água do Mar utilizando dados do sensor TM/Landsat-5: região Costeira de Ubatuba, SP. Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto., São Paulo.

David, S. M. (2022). *Padrao da temperatura da superficie do mar da clorofila do sensor MODIS/Aqua na regioao Norte do Canal de Mocambique*. Universidade Eduardo Mondlane.

DE RUIJTER et al., 1999; MATANO e BEIER, 2003. (s.d.). *A kinematic analysis of the Indian/Atlantic interocean exchange", Deep-Sea Research II v. 50, pp. 229-249.*

Dohan & Maximenko (2010). (2010). *Mean dynamic topography of the ocean derived from satellite and drifting buoy data using three different techniques J. Atmos. Oceanic Technol., 26, 1910-1919, doi:10.1175/2009JTECHO672.1.*

Emery, W.J. and Thomson, R.E. (2001). *Data Analysis and Methods in Physical Oceanography*. Elsevier, New York.

Emilio, C. A. (2020). *Campos de Vento e Circulação oceânica no Canal de Moçambique: perspectivas a partir de diferentes estimativas. Quelimane.: Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras -UEM, Tese de mestrado.*

Fernando, L. R. (2019). *Análise das correntes à superfície na região norte do Canal de Moçambique*. universidade eduardo mondlane.

Halo, I., Backeberg, B., Penven, P., Ansorge, I., Reason, C., & Ullgren, J. (2014). *Eddy properties in the Mozambique Channel: A comparison between observations and two numerical ocean circulation models*. Department of Oceanography, University of Cape Town, Rondebosch 7701, South Africa; Nansen-Tutu Centre for Marine Environmental Research, University of Cape Town, Rondebosch 7701, South Africa.

Halo, I., Backeberg, B., Penven, P., Ansorge, I., Reason, C., & Ullgren, J. E. (2014). *Eddy properties in the Mozambique Channel: A comparison between observations and two numerical ocean circulation models. ElSevier, 38-53.*

Influência do EKE na variabilidade espaço e temporal da concentração da clorofila-ano Canal de Moçambique

Halo, I., Penven, P., Backeberg, B., Ansorge, I., Shillington, F., & Roman, R. (2014). *Mesoscale eddy variability in the southern extension of the East Madagascar Current: seasonal cycle, energy conversion terms, and eddy mean properties*. Journal of Geophysical Research: Oceans.

João, S. L. (2022). *Padrão da Temperatura da Superfície do Mar e Circulação Oceânica no Canal Moçambique a partir de reanálise e observação por Satélite*.

Júnior, O. A. (2023). *influência do sistema de correntes oceânicas no transporte de calor no canal de mocambique.universidade eduardo mondlane*.

Lathuiliere, C., Levy, M., Echevin, V. (2011). *Impacto dos fluxos verticais impulsionados por redemoinhos na abundancia do fitoplancton na camada eufotica* .*J.Plancton.Res.*33,827-831.

Lutjeharms e Vanballegooyen ,1988. (s.d.). *The Retroflection of the Agulhas Current"*, *Journal of Physical Oceanography*, v. 18,pp. 1570-1583.

LEE., M.-M., NURSER., A. J., COWARD., A. C., & CUEVAS, A. B. (2006). *Eddy Advective and Diffusive Transports of Heat and Salt in the Southern Ocean*. Southampton, United Kingdom: Journal Of physical oceanography.

Lévy, M., Klein, P., . (2004). A variabilidade de baixa frequência da dinâmica de mesoescala explica parte da variabilidade espectral do fitoplâncton e do zooplâncton? *Processo. Roy. Soc. Londres Ser. A* 460-2046, 1673-1683.

Longhurst, A.R.; Harrison, W.G. (1989). The biological pump: Profiles of plankton production and consumption in the upper ocean. *Progress in Oceanography*, 22:47-123, 1989.

LUTJEHARMS, J. R. (2006). *The Coastal Oceans of South- Eastern Africa*. In *The Sea*, Volume 14B, editors: A. R. Robinson and K. H. Brink, Harvard University Press, Cambridge, MA, pp. 783-834.

Lutjeharms, J. R., & Ballegooyent, C. V. (1984). Topographic control in the Agulhas Current system. *Deep Sea Research*, 31(11), 17.

Lutjeharms, J. R. (2006). *The coastal oceans of south- Eastern Africa*. (e. A.-8. Volume 14B, Ed.) In *The Sea*.

Mordasova, N. (1980). Clorofila no sudoeste do Oceano Índico em relação às condições hidrológicas. *Oceanologia* 20, 75-79.

Influência do EKE na variabilidade espaço e temporal da concentração da clorofila-ano Canal de Moçambique

Mugana, I. M. (2022). *variabilidade interanual da clorofila-a superficial em angoche, no norte do canal de moçambique*. quelimane : universidade eduardo mondlane.

Navarro G., Caballero, I., Prieto, L., Vázquez, A., Flecha, S., Huertas, I. E., Ruiz, J. (2012). *Seasonal-tointerannual variability of chlorophyll-a bloom timing associated with physical forcing in the Gulf of Cadiz*.elsevier <https://doi:10.1016/j.asr.2011.11.034> .

Omta, AW, Llido, J., Garcon, V., Kooijman, SA, Dijkstra, HA, . (2009). A interpretação das observações de clorofila por satélite: O caso do Canal de Moçambique. Res. em alto mar. I 56, 974-988.

Paloschi, N. G. (2016). . *Influência do vento na variabilidade da temperatura da água do mar do Canal de Moçambique*. Pontal do Paraná-Brasil: UFPR / SiBi - Biblioteca do Centro de Estudos do Mar.

Pérez, V.; Fernández, E.; Marañon, E.; Serret, P. & García-Soto, C. (2005). Seasonal and interannual variability of chlorophyll a and primary production in the Equatorial Atlantic: in situ and remote sensing observations. *Journal of Plankton Research*, 27(2): 189-197. .

Perry, M. (1986). Assessing marine primary production from space. *BioScience*, 36(7):461-467,1986.

Pilo, G. S. (2013). *Demografia de vórtices oceânicos em três sistemas associados a correntes de contorno /oeste do Hemisfério Sul*. Rio grande: Universidade Federal do Rio Grande - Instituto de Oceanografia.

Ridderinkhof, H., & Ruijter, W. d. (2003). *Moored current observations in the Mozambique Channel*. *Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography* 50(12):1933-1955.

Rissik, D., Suthers, I.M., Taggart, C.T. (1997). Enhanced zooplanktonabundance in the lee of an isolated reef in the south Coral Sea: the roleof flow disturbance. *J. Plankton Res.* 19, 1347–1368.

Ruijter., B. W., Ridderinkhof., H., & Schouten, M. W. (2005). *Variability of the southwest Indian Ocean*. Institute of Marine and Atmospheric Research, Utrecht University.

Saetre, R., & Silva, A. J. (1982). *Water masses and circulation of the Mozambique Channel*. *Revista de Investifacao Pesqueira-Mocambique*.

Sætre, R., & Silva, A. J. (1984). *The circulation of the Mozambique channel*. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers.

Salyuk, P. A., Golik, I. A., & Stepochkin, I. E. (2014). Satellite remote sensing using for analysing of chlorophyll – "a" concentration changes during tropical cyclones passing in northwestern Pacific. . *Asia-Pacific Journal of Marine Science & Education*, 111.

Scharffenberg, M. G., & Stammer, D. (2010). *Seasonal variations of the large-scale geostrophic flow field and eddy kinetic energy inferred from the topex/poseidon and jason-1*. journal of geophysical research, vol. 115, c02008, doi:10.1029/2008jc005242, 2010.

Schott, F. A., Xie, S.-P., & Jr, J. P. (2009). *Indian Ocean Circulation and Climate Variability*. Received 16 September 2007; revised 18 February 2008; accepted 29 July 2008; published 27 January 2009.

Schouten, M. W., Ruijter, W. P., Leeuwen, P. J., & Ridderinkhof, H. (2003). *Redemoinhos e variabilidade no Canal de Moçambique*. Deep-Sea Research II 50 (2003) 1987–2003.

Setiawan R. Y. , Setyobudi E., Wirasatriya A., Muttaqin A. S. e Maslukah L. . (2019). *The Influence of Seasonal and Interannual Variability on Surface Chlorophyll-a Off the Western Lesser Sunda Islands. remote sensing* .<https://doi:10.1109/JSTARS.2019.2948385> .

Swart, N.C., Lutjeharms, J.R.E., Ridderinkhof, H., de Ruijter, W.P.M. (2010). *Características observadas dos redemoinhos do canal de Mocambique*.*J.Geofisica.Res.115,C09006*. .

Taylor, M.A.; Stumpf, R.P. (1989). Feasibility of using satellite for detection of kinetics and small phytoplankton blooms in estuaries: tidal and migration effects. *Remote sensing of Environment*, 27(3):233-250, 1989.

Telles, F. d., & Delcourt, F. T. . (2015). *Variação espaço-temporal da clorofila-a e temperatura superficial do mar na Baía de Campos (RJ)*. Universidade Federal do Rio Grande – FURG Caixa Postal 474 – 96201-900 – Rio Grande – RS, Brasil.

Ternon, J. F. (2022). *RESILIENCE Cruise: fRonts, EddieS and marIne Life in the wEstern iNdian oCEan* . Cape town: *R/V Marion Dufresne – Southwest Indian*.

Tew-Kai, E., & Marsac, F. (2009). *Patterns of variability of sea surface chlorophyll Channel:A quantitative approach*. *Journal of Marine Systems*.

Influência do EKE na variabilidade espaço e temporal da concentração da clorofila-ano Canal de Moçambique

van der Werf, P.M., van Leeuwen, L.J., Ridderinkof, H., de Ruijter, W.P.M., (2010). *Comparacao entre observacoes e modelos de transporte do canal de Mocambique. Ciclo sazonal e frequencias de redemoinhos. J.Geofisica.Res.115,CO2002.* .

Wilks, D. (2006). *statistical methods in the atmospheric sciences*. Department of Earth and Atmospheric Sciences.

Xu, T., Wei Z., Li S., Susanto D. R., Radiarta N., Yuan C., Setiawan A., Kuswardani A., Agustiadi T. (2021). *Satellite-Observed Multi-Scale Variability of Sea Surface Chlorophyll-a Concentration along the South Coast of the Sumatra-Java Islands.remote sensing* .

Yue, X., Zhang, B., Liu, G., Li, X., Zhang, H., & He, Y. (2018). Upper Ocean Response to Typhoon Kalmaegi and Sarika in the South China Sea from Multiple-Satellite Observations and Numerical Simulations. *remote sensing*, 22.

Zhang, W.-Z., Lin, S., & Jiang, X.-M. (2016). Influence of Tropical Cyclones in the Western North Pacific. *INTECH (open science)*, 23. doi:<http://dx.doi.org/10.5772/64009>

Zhao, H., Tang, D., & Wang, Y. (8 de Agosto de 2008). Comparison of phytoplankton blooms triggered by two typhoons with different intensities and translation speeds in the South China Sea. *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES*, 365, 9. doi:doi: 10.3354/meps07488

5.3. Anexos:

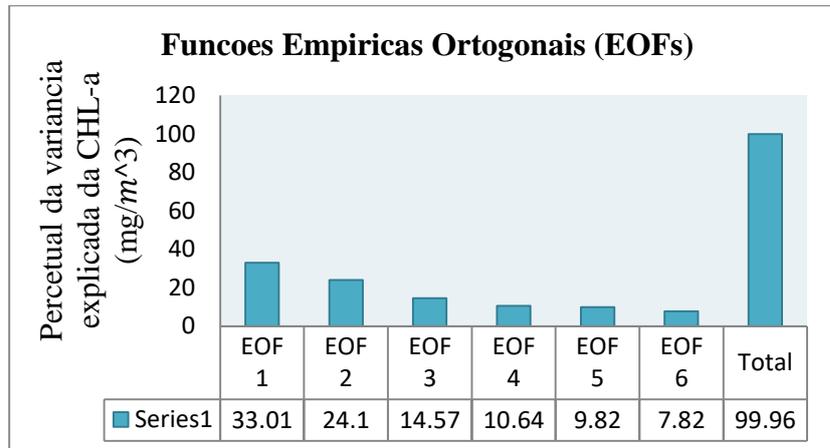


Tabela 2: Percentual da variância explicada representada pelos 6 primeiros modos de variabilidade espacial das EOF aplicadas às séries de dados de concentração da clorofila.