



ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS

Monografia Para Obtenção do Grau de Licenciatura em Química Marinha

Efeito da temperatura e oxigénio dissolvido na distribuição espacial e sazonal de Fosfato e Silicato no Canal de Moçambique

Autor:

Rogério Ernesto Ocomana



ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS

Monografia Para Obtenção do Grau de Licenciatura em Química Marinha

Efeito da temperatura e oxigénio dissolvido na distribuição espacial e sazonal de Fosfato e Silicato no Canal de Moçambique

Autor:

Rogério Ernesto Ocomana

(Rogério Ernesto Ocomana)

Supervisor:

Anildo

(Doutor Anildo Naftal Nataniel)

Avaliador:

Guilherme M. Cufanauane

(dr. Guilherme Marques Cufanauane)

Presidente de Júri:

Paula Milice

(dra. Paula Milice)

Quelimane, Outubro de 2024

Dedicatória

- Dedico Em primeiro lugar este trabalho a Deus, por sempre estar na dianteira de tudo quanto faço na minha vida.
- A mim, por nunca desistir, pela dedicação, pelo trabalho incansável durante esses 4 anos.
- Ao meu pai Paulo Ocomana que sempre acreditou em mim, que sempre cuidou de mim mesmo estando distante.
- A minha tia Ana Maria Tavares que me ensinou muitas coisas desde o meu ensino secundário até então e graças a ela estou aqui onde eu estou hoje.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradecer a Deus por me ter acompanhado nesta caminhada tão complicada e por ter proporcionado muita fé, saúde, inspiração acima de tudo durante a minha formação.

Ao meu Supervisor Anildo Naftal Nataniel, por ter-me acompanhado detalhadamente na execução do meu trabalho, pela paciência, apoio, compreensão e pelos conhecimentos transmitidos, muito obrigada.

Aminha família, meu pai Paulo Ocomana que sempre está atento e presente na minha vida e pelos conhecimentos sábios, minha tia Ana Maria Tavares pelo conhecimento da vida que me proporcionou, por me tornar o homem que sou hoje, e meu tio Selemene Joaquim Evandro e, aos meus irmãos, em particular minha irmã Teresa Paulo Ocomana, ao meu avo Lazaro Namalihere, por sempre estarem presentes na minha vida e pela confiança depositada em mim, agradeço por todo apoio que m deram, ensinamentos, conselho para vida.

Agradeço também uma pessoa muito especial para mim, Manuela Silvestre Uachane que esteve comigo durante a minha formação, por sempre me dar forças, apoio, sempre me ajudar a orar para que tudo desse certo, pela disponibilidade e insistência para que eu sempre pegasse o meu trabalho, obrigado por estar comigo nessa caminhada.

Agradeço a minha grande amiga Erica Belina Doda por sempre estar disponível para mim, pela ajuda nas cadeiras que tive dificuldade e sempre teve tempo para me ajudar, uma amizade que vou carregar para o resto da vida.

A turma de Química Marinha 2020, pela trajetória que tivemos, os momentos de estudo assim como conversas transversais, e em particular um forte agradecimento ao Luís Alexandre Simbine por sempre criar grupos de estudo e sempre nos puxar para que não faltássemos, por ser sempre o elo de ligação de todos os colegas de Química Marinha 2020 assim como para os outros colegas.

Declaração de honra

Eu, Rogério Ernesto Ocomana, declaro por minha honra que o presente trabalho de investigação para obtenção do grau de licenciatura em Química Marinha é da minha autoria e nunca antes foi publicado e nunca foi apresentado em nenhuma instituição de ensino para a obtenção de nenhum grau académico, constitui o resultado do meu esforço e dedicação, excepto o que foi referenciado pela ajuda dos meus supervisores.

Autor

(Rogério Ernesto Ocomana)

Resumo

O presente estudo tem como objectivo principal analisar o efeito da temperatura e oxigénio dissolvido na distribuição espacial e sazonal de fosfato (PO_4^{3-}) e silício (SiO_2) no canal de Moçambique. A metodologia desta consistiu, na determinação da distribuição espacial e sazonal de PO_4^{3-} e SiO_2 com influência da temperatura e oxigénio dissolvido, ao longo do canal de Moçambique através de simulações do modelo numérico BIORYS, considerando dados de PO_4^{3-} , SiO_2 , SST e O_2 num período de 6 anos (2015-2020) disponibilizados pelo CMEMS (Copernicus Marine Environmental Monitoring Service). Para obtenção dos mapas de distribuição dos nutrientes foram calculadas as médias sazonais do período em estudo, de seguida, através da correlação linear de Person foi possível determinar a relação existente entre fosfato e sílica com a temperatura e oxigénio dissolvido. Os resultados mostram que a maior concentração de fosfato foi de $0,07 \text{ mmol m}^{-3}$ e a menor concentração foi de $0,01 \text{ mmol m}^{-3}$ para o verão assim como para o inverno, maior concentração de oxigénio foi de 215 mmol m^{-3} e 217 mmol m^{-3} para o inverno e as menores concentrações foram de 200 mmol m^{-3} para o inverno e 205 mmol m^{-3} para o verão. Altas temperaturas foram nas zonas centro e norte de 29°C e baixas temperaturas foi observada na zona sul com 24°C no Verão e 23°C no inverno. No caso de sílica foi observado menores concentrações ao longo de todo o canal com uma concentração que variou de $2\text{-}5 \text{ mmol m}^{-3}$ tanto no verão assim como no inverno, com excepção a região norte da costa da província da Zambézia que registou maiores concentrações de silício com variação entre 15 mmol m^{-3} . Relacionando o fosfato o oxigénio dissolvido, apresenta uma correlação positiva forte de $r= 0,88$ no inverno e $r= 0,91$ no verão e o mesmo nutriente relacionando com a temperatura, apresenta uma correlação negativa forte de $r= -0,87$ no inverno e $r= -0,91$ no verão. A sílica relacionando com oxigénio dissolvido, apresenta uma correlação negativa forte de $r= -0,83$ no inverno e $r = -0,82$ no Verão, e relacionando sílica com a temperatura, apresenta uma relação positiva forte de $r= 0,84$ no inverno e $r= 0,87$ no Verão. Contudo, o estudo mostra que a temperatura e o oxigénio influenciaram na distribuição dos nutrientes, tanto nos pontos onde os valores foram baixos assim como nos pontos onde os valores foram elevados. Pois os padrões observados na distribuição de fosfato e sílica, ao longo do Canal de Moçambique são resultado de uma complexa interacção entre factores oceanográficos, climáticos e biológicos.

Palavras-chave: nutrientes, canal de Moçambique, fosfato, sílica, oxigénio e temperatura.

Abstract

The main objective of the present study is to analyze the effect of temperature and dissolved oxygen on the spatial and seasonal distribution of phosphate (PO_4^{3-}) and silicon (SiO_2) in the Mozambique channel. This methodology consisted of determining the spatial and seasonal distribution of PO_4^{3-} and SiO_2 with the influence of temperature and dissolved oxygen, along the Mozambique channel through simulations of the BIORYS numerical model, considering PO_4^{3-} , SiO_2 , SST and O_2 data. over a period of 6 years (2015-2020) made available by CMEMS (Copernicus Marine Environmental Monitoring Service). To obtain nutrient distribution maps, seasonal averages for the period under study were calculated, then, using Person's linear correlation, it was possible to determine the relationship between phosphate and silica with temperature and dissolved oxygen. The results show that the highest concentration of phosphate was 0.05-0.07 mmol m^{-3} , oxygen was 212-220 mmol m^{-3} , temperature was 27-29 °C observed in summer, in the case of Lower silica concentrations were observed throughout the entire channel with a concentration ranging from 3-8 mmol m^{-3} , with the exception of the coastal region of Zambézia province, which recorded higher silicon concentrations ranging between 10-12 mmol m^{-3} . In winter we observed higher phosphate concentrations of 0.04-0.07 mmol m^{-3} oxygen with 210-220 mmol m^{-3} and temperature varying from 26-28 °C. And appearing a strong positive correlation of 0.88 for phosphate with oxygen in winter and silica with temperature of 0.84 for winter and a strong negative correlation for phosphate with temperature of -0.87 and silica with oxygen of 0.83 for winter, and for summer we had a strong positive correlation for phosphate with oxygen of 0.91 and silica with temperature with a strong positive correlation of 0.87, and a weak negative correlation for phosphate with temperature of -0.91 and for silica with oxygen a correlation of -0.87. However, the study shows that temperature and oxygen influenced the distribution of nutrients, both at points where values were low and at points where values were high.

Keywords: Nutrients, Mozambique channel, phosphate, silica, oxygen and temperature.

Lista de abreviaturas e símbolos

PO_4^{3-} - Fosfato;

POP – Fósforo orgânico particulado;

DIP – Fósforo Inorgânico Dissolvido;

H_3PO_4 – Acido fosfórico;

SiO_2 - Sílica;

SST- Temperatura Superficial do Mar;

LSi – Sílica litogénico;

BSi – sílica biogénico;

DSi – Sílica dissolvido;

CaO – Óxido de cálcio;

Al_2O_3 – Óxido de alumínio;

N_2O – Óxido nitroso;

pH – Potencial hidrogenoionico;

Al- Alumínio;

Be – Berílio;

$(\text{Si}(\text{OH})_4)$ – Acido ortossilícico;

CH_4 – Metano;

OD – Oxigénio dissolvido;

CO_2 – Dióxido de carbono;

% - Percentagem;

$\mu\text{mol/L}$ – Micromoles por litro;

mmol m^{-3} – Micromoles por metros cúbicos;

CES - Corrente Equatorial Sul;

EACC - Corrente costeira da África Oriental;

MC - Corrente de Moçambique;

Lista de figuras

Figura 1: Ciclo do fósforo Fonte: (Cesar, 2013)	4
Figura 2: <i>Esquema simplificado do ciclo biogeoquímico do Silício em ambiente aquático. (1) Assimilação: incorporação pelos organismos (absorção); (2) Adsorção: processo em que há acumulação do silicato na superfície de um sólido ou um líquido (adsorvente), formando uma película molecular (adsorvato); (3) Deposição; (4) Ressuspensão; (5) Morte; (6) Degradação da Matéria Orgânica. (Fonte: Adaptado de Eschriue 2011)</i>	5
Figura 3: <i>Localização geográfica do Canal de Moçambique (Fonte:)</i>	8
Figura 4: Mapas de variação espacial sazonal da distribuição do fosfato, oxigénio e temperatura na região do Canal de Moçambique, no Oceano Índico ocidental.	12
Figura 5: correlação entre o fosfato, oxigénio e temperatura. Painel esquerdo é referente ao período de inverno e a direito época do verão.....	13
Figura 6: <i>Mapas de variação espacial sazonal da distribuição do sílica, oxigénio e temperatura na região do Canal de Moçambique, no Oceano Índico ocidental.</i>	15
Figura 7: correlação entre sílica, oxigénio e temperatura. Painel esquerdo é referente ao período de inverno e a direito época do verão.....	16

Índice

Dedicatória.....	i
Agradecimentos.....	ii
Declaração de honra.....	iii
Resumo.....	iv
Abstract.....	v
Lista de abreviaturas e símbolos.....	vi
Lista de figuras.....	viii
1. Introdução.....	1
1.1. Problematização.....	2
1.2. Justificativa.....	2
1.3. Objectivos.....	3
1.3.1. Geral:.....	3
1.3.2. Específicos:.....	3
2. Referencias teóricas.....	2
2.1. Biogeoquímica de nutrientes Inorgânicos.....	2
2.2. Distribuição de Nutrientes na coluna de água.....	2
2.3. Fosfato (PO_4^{3-}).....	3
2.4. Silica (SiO_2).....	4
2.5. Factores físicos e químico que influenciam na dinâmica e distribuição de nutrientes.....	5
2.5.1. Marés.....	5
2.5.2. Águas fluvial.....	5
2.5.3. Velocidade das correntes.....	6
2.5.4. Salinidade.....	6
2.5.5. Oxigénio Dissolvido.....	6
2.5.6. Temperatura.....	6
3. Metodologia.....	7
3.1. Localização e caracterização da área de estudo.....	7
3.2.1. Dados Biogeoquímicos e Físico - (CMEMS, em inglês).....	8
3.2.2. Análise e processamento de dados.....	8
4. Resultados.....	10
4.1. Análise da variação do fosfato no inverno e verão.....	10
4.2. Correlação entre o fosfato com oxigénio e temperatura.....	13
4.3. Análise da variação de sílica no inverno e verão.....	13

4.4.	Correlação entre sílica com oxigénio e temperatura	16
4.5.	Discussão.....	16
5.	Conclusões	20
5.1.	Recomendações:.....	20
6.	Referências bibliográficas	21

1. Introdução

Os nutrientes desempenham um papel crucial no crescimento e na reprodução dos organismos vivos, sendo essenciais para o funcionamento dos ecossistemas aquáticos. Dentre os mais importantes estão o fosfato, nitrato, amónio e silicato, apresentando-se geralmente como nutrientes limitantes. A distribuição dos nutrientes é feita principalmente pela estratificação térmica da coluna de água (Esteves, 2011).

A temperatura do oceano exerce uma influência significativa na distribuição horizontal e vertical de nutrientes, afectando processos biológicos, físicos e químicos que determinam a disponibilidade de nutrientes para os organismos marinhos. Essa influência é particularmente evidente em contextos de estratificação térmica, circulação oceânica e fenómenos de ressurgência, que são fundamentais para a dinâmica dos ecossistemas marinhos. (Wu & Dong, 2014).

Outras variáveis também são relevantes neste ambiente, como o oxigénio dissolvido, o qual é um componente químico importante para os processos bioquímicos e biológicos, como respiração, oxidação da matéria orgânica e de compostos químicos, processos metabólicos celulares indispensáveis para a vida vegetal e animal (Parker, 1991). O oxigénio influencia a ciclagem e a disponibilidade de nutrientes, enquanto a concentração de nutrientes pode impactar os níveis de oxigénio através de processos biológicos e químicos. A compreensão dessa relação é essencial para monitorar e gerenciar a saúde dos oceanos e dos sistemas marinhos. (Kressa, 2018)

A relação entre oxigénio dissolvido e a ciclagem de nutrientes no oceano é um aspecto crítico que influencia a saúde dos ecossistemas marinhos. A presença de oxigénio é crucial para a mineralização de nutrientes, permitindo que compostos como nitratos e fosfatos sejam libertos e utilizados na fotossíntese, a eficiência desse processo é um factor determinante na produtividade primária dos ecossistemas marinhos (Meyer & Payne, 2016)

Entretanto, o principal objectivo desta pesquisa é analisar o efeito da temperatura e oxigénio dissolvido na distribuição espacial e sazonal de Fosfato (PO_4^{3-}) e Silício (SiO_2) no canal de Moçambique, e este estudo terá uma contribuição no desenvolvimento, compreensão e transmissão de conhecimentos sobre a distribuição de nutrientes (Fosfato e Sílica) no canal de Moçambique, constituindo ferramenta importante para o entendimento dos impactos a advirem no ecossistema marinho, que podem interferir na biodiversidade aquática.

1.1.Problematização

O continente é a principal fonte de nutrientes principais para os oceanos, sobretudo em regiões costeiras onde há descargas fluviais. Os nutrientes são constituintes fundamentais, por sua importância na dinâmica do ciclo bioquímico na água, que advém de suas participações como nutrientes fundamentais à produção primária, podendo existir situações em que a escassez chegue a inibir o crescimento fitoplanctônico, agindo dessa forma como factor limitante. Sendo esses elementos nutrientes essenciais para o crescimento e reprodução das células fitoplanctônicas sua escassez pode alterar todo o ciclo de vida marinho, afectando principalmente a produção pesqueira (Braga E. S., 2002).

O fluxo de elementos químicos nos ecossistemas costeiro tem aumentado drasticamente nas últimas décadas devido ao desmatamento e ao incremento das descargas a partir de fontes domésticas, industriais e agrícolas. Esse aumento, sobretudo no grupo dos nutrientes, causa um crescimento exagerado de algas em corpos d'água (eutrofização), levando a uma deterioração da qualidade da água caracterizado pela depleção do oxigénio. Condições de deficiência de oxigénio promovem a produção e emissão de outros gases como óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4) para a atmosfera, alterando ainda mais a quantidade de gases estufa. O florescimento excessivo (*bloom*) de algas tóxicas também é atribuído ao aporte intenso de nutrientes, com efeitos devastadores na biodiversidade (Ittekkot *et al.*, 2006).

Diante da relevância da pesquisa e da escassez de informações acerca da distribuição espacial e sazonal de fosfato e silicato no canal de Moçambique, o presente trabalho pretende responder a seguinte questão:

- *Como o Oxigénio dissolvido e a temperatura influenciam na distribuição espacial e sazonal dos nutrientes (Fosfato e Silica) no Canal de Moçambique?*

1.2.Justificativa

O estudo da dinâmica dos nutrientes segundo Braga (1989) serve como um bom indicador das relações abióticas e bióticas que ocorrem em águas marinhas tropicais e subtropicais. Sendo assim, os estudos desses nutrientes são de suma importância para a vida marinha e para o sector socioeconómico na avaliação de áreas de fertilidade e gerar subsídio para o entendimento da produção pesqueira.

Portanto, é de referir que são escassas as informações sobre a distribuição espacial e sazonal de Fosfato e silicato no canal de Moçambique. É neste sentido que surge a necessidade de se realizar o presente estudo que irá constituir um contributo nas investigações científicas levadas a cabo no canal de Moçambique, além de ser fundamental para compreensão de ambientes aquáticos de modo a garantir o monitoramento e a manutenção dos processos biológicos, além disso fornecerá conhecimento da distribuição dos nutrientes na coluna de água, contribuindo para um melhor entendimento do papel dos oceanos no sistema climático global.

1.3.Objectivos

1.3.1. Geral:

- Analisar o efeito da temperatura e oxigénio dissolvido na distribuição espacial e sazonal de fosfato (PO_4^{3-}) e silício (SiO_2) no canal de Moçambique.

1.3.2. Específicos:

- Determinar a distribuição horizontal de PO_4^{3-} e SiO_2 ao longo do canal de Moçambique;
- Relacionar as concentrações de fosfato e silício com a temperatura e oxigénio.

2. Referencias teóricas

2.1. Biogeoquímica de nutrientes inorgânicos

A ciclagem de nutrientes pode ser entendida como a circulação feita pelos elementos e compostos inorgânicos essenciais para a vida partindo do ambiente para os organismos e destes novamente para o ambiente (Cunha et al., 2005). Os nutrientes são constituintes fundamentais envolvidos no processo de formação de matéria orgânica nos seres vivos, que iniciam nos produtores primários, no caso de sistemas aquáticos o fitoplâncton, chegando até ao organismo de topo da cadeia alimentar (Sun et al., 2023). Na cadeia ocorre a transferência de nutrientes no sentido dos produtores para os consumidores, sendo que este ciclo se fecha com o retorno dos nutrientes aos produtores, possibilitado pelos decompositores que transformam a matéria orgânica dos organismos mortos e de excrementos em compostos mais simples Eschriue S. A., (2011).

Os sistemas estuarinos representam a principal fonte de nutrientes para os ecossistemas marinhos, assim como estes também fornecem material para os estuários. A partir da drenagem continental, os estuários recebem, concentram e transportam materiais ricos em nutrientes para os ecossistemas costeiros interferindo nas variáveis bióticas e abióticas. (Eschriue, 2003)

No ambiente marinho, os principais nutrientes dissolvidos são os inorgânicos nitrogenados (amônio, nitrito, nitrato) além de fosfato e silicato, os quais condicionam o desenvolvimento dos organismos fitoplanctônico (Filho & Júnior, 2009)

2.2. Distribuição de Nutrientes na coluna de água

A distribuição de nutrientes na coluna de água é controlada por um perfil vertical caracterizado pelo decréscimo da concentração próximo a superfície, resultante de várias interações de processos físicos e biogeoquímicos, tais como o movimento das águas, o clima, a descarga dos rios e o surgimento do fitoplâncton na zona eufótica (Libes M., 1999). Os nutrientes tais como fosfatos e derivados de nitrogênio inorgânico dissolvido (nitrato e amônio) são encontrados na forma dissolvida na coluna de água e são usados pelos seres foto-autotróficos na síntese de matéria orgânica através do processo fotossintético (Braga E. S., 2002).

2.3.Fosfato (PO_4^{3-})

Fosfato é um dos produtos provenientes da dissociação do ácido fosfórico (H_3PO_4) e é a forma mais abundante do fósforo. O fósforo presente em águas naturais seja na forma iónicas quer na forma complexa encontra-se na forma de fósforo (Valeila, 1995).

A proveniência do fósforo em águas do mar depende de diversas fontes, incluindo a lixiviação de solos, a erosão de rochas, a actividade de organismos marinhos e a entrada de nutrientes por meio de rios e escoamento superficial, a contribuição dos rios é particularmente significativa, pois transportam fosfatos oriundos de fertilizantes agrícolas e de actividades industriais, que são frequentemente depositados em corpos d'água e, eventualmente, chegam ao mar (figura 1) (Santiago et al, 2005).

Sua concentração nas águas dos rios é próxima a dos mares, aproximando-se intervalos de 0-3 $\mu\text{mol/L}$ (Valeila, 1995). Em muitos casos das águas continentais o fósforo é um factor limitante na produtividade e dado como o principal factor responsável pela eutrofização. O fósforo é considerado um dos mais importantes nutrientes devido a sua participação no armazenamento de energia e estruturação da membrana celular (Halo, 2004).

A fracção de POD existente nos ecossistemas aquáticos é formada principalmente de ésteres fosfatados, fosfolipídios, fosfatases e fosfoproteínas. Os principais deles são os ésteres fosfatados que são provenientes das células vivas podem ser hidrolisados a fosfatos, e libertados no meio ambiente. (Pollery, 2005)

O escoamento superficial urbano e a deposição atmosférica de resíduos são os principais responsáveis pelo aporte de substâncias alóctones em um corpo aquático urbano, aumentando a concentração de espécies como derivados de fósforo, nitrogénio, cloreto, sódio e diversos metais pesados ou não (Davis et al, 2021).

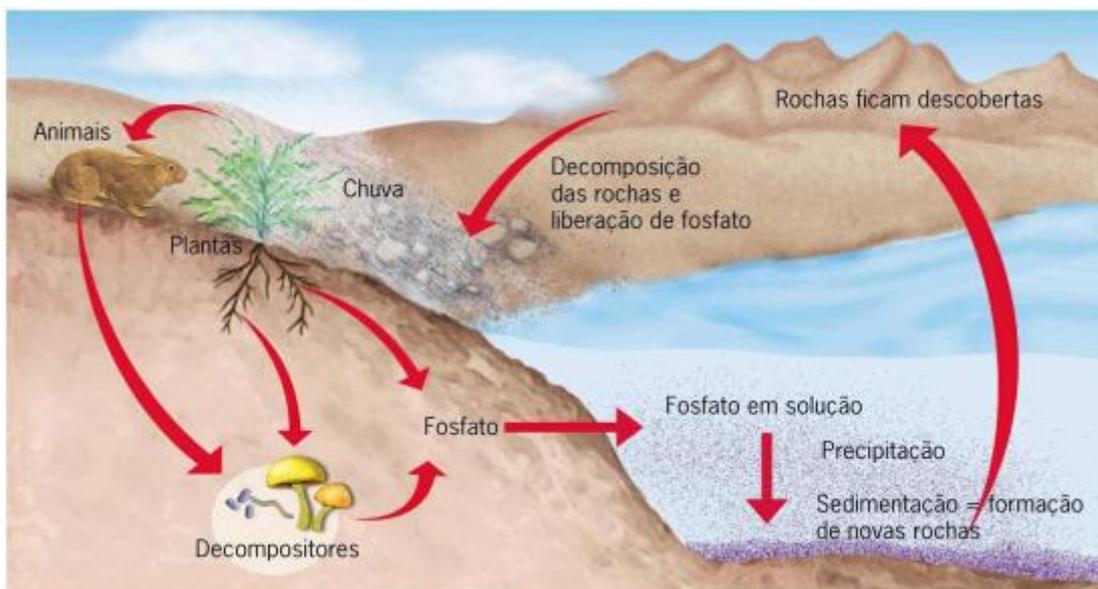


Figura 1: Ciclo de fósforo Fonte: (Cesar, 2013)

2.4.Silica (SiO₂)

A sílica é um nutriente utilizado na sua maioria por uma parcela dos organismos fitoplanctônico (diatomáceas) (Braga, 2010), e também assimilados pelos radiolários, esponjas e silicoflagelados (Papush, 2011). O silício é o mais abundante componente da crosta da Terra. Ele ocorre como minerais de silicatos em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, estes minerais sofrem intemperismo físico e químico, sendo assim considerados como principais fontes naturais de silicatos (Beusen et al., 2009).

O intemperismo rochoso é a fonte natural de silicato dissolvido em sistemas aquáticos. O uso da terra e as alterações hidrológicas têm modificado os processos de lixiviação da matéria para os rios e, conseqüentemente, para os oceanos. A construção de barragens, por exemplo, causa maior sedimentação de sílica nos reservatórios, diminuindo o aporte de silício para os oceanos (Louerwald et al., 2013).

O silicato dissolvido é sujeito aos processos de diluição de águas fluviais de maior concentração em silício com águas costeiras marinhas de baixos teores do mesmo, mas também devido ao consumo biológico na coluna de água (Filho & Júnior, 2009).

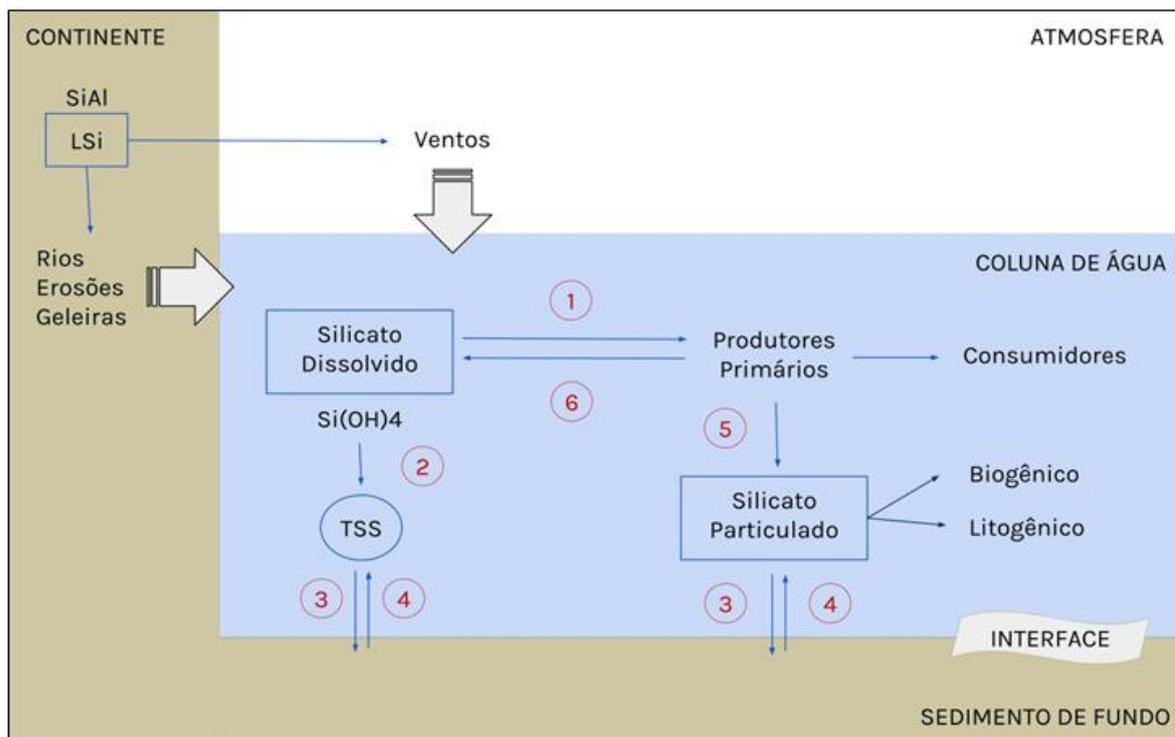


Figura 2: Esquema simplificado do ciclo biogeoquímico do Silício em ambiente aquático. (1) Assimilação: incorporação pelos organismos (absorção); (2) Adsorção: processo em que há acumulação do silicato na superfície de um sólido ou um líquido (adsorvente), formando uma película molecular (adsorvato); (3) Deposição; (4) Ressuspensão; (5) Morte; (6) Degradação da Matéria Orgânica. (Fonte: Adaptado de Eschrique 2011).

2.5. Factores físicos e químico que influenciam na dinâmica e distribuição de nutrientes

2.5.1. Marés

As marés desempenham um papel importante nos fluxos biogeoquímicos dos nutrientes em corpos de água (Lauerwald, 2011). Em uma escala de curta duração, as variações dos ciclos das marés determinam mudanças de vários parâmetros físicos e químicos tais como a temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e pH que são fundamentais na concentração dos nutrientes e também no volume do transporte da água (Paulo, 2012)

2.5.2. Águas fluvial

As águas fluviais apresentam níveis de concentrações de nutrientes que em muitos casos superam em ordens de grandeza encontrados nos estuários, estas concentrações ocorrem em

função das quantidades presentes nos corpos de água (Pereira et al., 2002), visto que as descargas fluviais variam de acordo com as taxas pluviométricas.

2.5.3. Velocidade das correntes

Os dados de velocidade das correntes são reduzidos para fornecer a velocidade longitudinal do canal, convencionando valores positivos que representam correntes para montante, e valores negativos para jusante (Schettini et al., 2000). Portanto, as velocidades de correntes são responsáveis pela mobilização e distribuição dos nutrientes nos estuários.

2.5.4. Salinidade

A salinidade tem um impacto directo na solubilidade e na forma química dos nutrientes na água. Em ambientes estuarinos, onde a água doce se mistura com a água salgada, a variação na salinidade pode alterar a disponibilidade de nutrientes como nitrogénio (N) e fósforo (P). Por exemplo, estudos indicam que a salinidade pode afectar a mineralização de N e P em solos de zonas húmidas, aumentando as taxas de liberação desses nutrientes em condições de salinidade moderada (Cunha et al., 2005). Além disso, a presença de água doce pode diluir a salinidade, aumentando a disponibilidade de nutrientes para organismos como o fitoplâncton (Almeida et al., 2014).

2.5.5. Oxigénio Dissolvido

O oxigénio é um dos elementos mais importantes na dinâmica e caracterização de ecossistemas aquáticos devido à relevância em processos biológicos como a fotossíntese, a respiração e depuração da matéria orgânica detritica, sendo que a atmosfera e a fotossíntese são as principais fontes. Assim como outros gases, a solubilidade do oxigénio na água depende da temperatura e da pressão, com o aumento da temperatura e a diminuição da pressão ocorre redução da solubilidade do oxigénio na água (Todeschini, 2004).

2.5.6. Temperatura

A temperatura da água também influencia a solubilidade e a disponibilidade de nutrientes. Em geral, temperaturas mais altas podem aumentar a taxa de decomposição de matéria orgânica, libertando nutrientes, mas também podem resultar em estratificação, que limita a mistura vertical e, conseqüentemente, a disponibilidade de nutrientes na camada superficial. Chikamoto et al., (2015) observam que a profundidade da nutri-clina pode ser afectada por

mudanças na temperatura e pela dinâmica de mistura, o que por sua vez, impacta a disponibilidade de nutrientes. A temperatura influencia as correntes oceânicas, que são responsáveis pelo transporte horizontal de água e nutrientes, em regiões com grandes diferenças de temperatura, como nas zonas de convecção e nas áreas de upwelling, as correntes podem redistribuir nutrientes de áreas profundas para a superfície ou transportar nutrientes de uma região para outra. (Dellagiustina, 2000)

3. Metodologia

3.1. Localização e caracterização da área de estudo

O Canal de Moçambique situa-se no ocidente do Oceano Índico, entre Moçambique e Ilha de Madagáscar (figura 3). No norte, o canal de Moçambique é limitado pela Corrente Equatorial Sul (CES) que bifurca-se no continente aos 11°S de latitude, formando a Corrente costeira da África Oriental (EACC) em direcção ao Equador e a Corrente de Moçambique (MC) na direcção sul (Schouten, Wilhelmus, & Ruijter, 2003). Sendo a Costa Moçambicana a sua fronteira ocidental que é relativamente complexa, rica em ecossistema marinho e importante para a pescaria, recreativa, turística e navegação (Fernando, 2019). A amplitude das marés varia em média entre 0,5 e 4 m, podendo ultrapassar os 6m durante as marés vivas na baía de Sofala, devido à grande extensão da plataforma continental (Cumbe, 2007). Estende-se por cerca de 1600 km de comprimento e sua largura varia entre 420 a 1000 km a norte é limitado pelas Ilhas Comores (situado a bacia dos Comores) com profundidade máxima de 3600 e ao sul está conectado ao sistema da Corrente das Agulhas com a profundidade que atinge cerca de 4000 m. A parte mais estreita do Canal (entre 16°S e 18°S) é também a menos profunda, onde a profundidade máxima é de aproximadamente de 2800 m (Bie *et al.*, 2012).

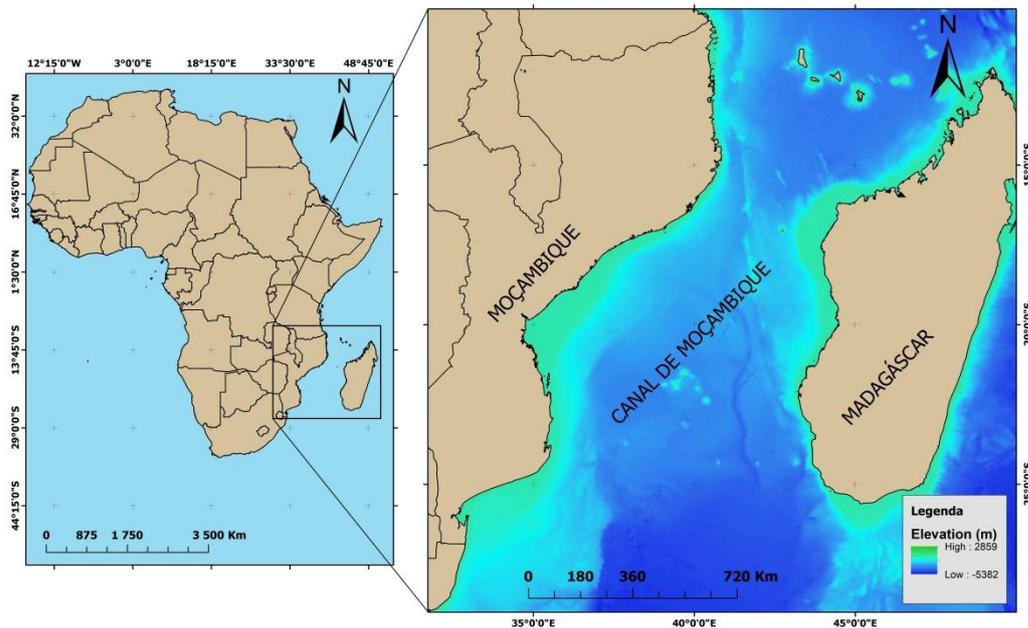


Figura 3: Localização geográfica do Canal de Moçambique.

3.2. Materiais e Métodos

3.2.1. Dados Biogeoquímicos e Físico - (CMEMS, em inglês)

Para a realização da presente pesquisa foram obtidos os dados ambientais (Variáveis biogeoquímicas que são o PO_4^{3-} , SiO_2 , O_2 e física que é SST), foram considerados o domínio dos dados seleccionados para toda a região do oceano ocidental do Índico, que teve como coordenadas -9°N a -29°S a 32°W a 50°E (figura 3), no formato netCDF4 fornecidos do produto GLOBAL_MULTIYEAR_BGC_001_029 e GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030 incorporado ao sistema de Serviço de Monitorização do Ambiente Marinho Copernicus (CMEMS) acesso livre via *online*, disponíveis no seguinte endereço electrónico: <https://marine.copernicus.edu/>, com resolução de $1/4^\circ$ e mensal, para um período de 6 anos (2015 - 2020).

3.2.2. Análise e processamento de dados

O processamento dos dados foi feito através da linguagem de programação do software *MATLAB® R2013b*, tendo em conta a fácil manipulação de formato dados (netCDF4). O método consistiu na computação a partir de fórmulas específicas para linguagem do *Matlab* e na

produção de mapas contendo médias (sazonais), desvio padrão das mesmas e gráficos apresentando as séries temporais contendo a correlação entre as variáveis mencionadas a cima.

A análise da variação do PO_4^{3-} , SiO_2 , O_2 e SST consistiu na identificação de padrões de mapas de distribuição das médias aritmética ao longo período, e média sazonal com base em dados de 6 anos. As análises sazonais Fosfato (PO_4^{3-}) assim como o Silica (SiO_2), considerou-se duas estações do ano, onde foram seleccionados três meses para a média (EQ. 2) de verão e inverno, da seguinte forma:

- **Verão** → Outubro, Novembro e Dezembro;
- **Inverno** → Maio, Junho e Julho.

As séries temporais com rectas tendenciais, são sequência de dados ordenados em função tempo. Esta técnica de análise da série temporal consistiu em identificar ao comportamento dos nutrientes (fosfato e sílica) em função dos parâmetros ambientais (oxigênio e temperatura) ao longo dos 6 anos (2015 á 2020), considerando as áreas de cada estação estudada, estas rectas foram adicionadas usando a função *trends* do *Matlab*.

A ideia por trás do modelo de regressão linear é estimar uma recta que melhor descreva a relação entre variáveis e a dispersão. Pode-se pensar na recta como uma forma de se resumir a informação contida na nuvem de pontos, essa é uma recta de regressão linear. Esta regressão depende de três métricas estatísticas básicas média, desvio padrão, correlação e a sua formulação já estão contidas na linguagem de programação *Matlab*, (Peredo, 2022) e apresentado o coeficiente de correlação de Pearson através da fórmula a seguir.

- $$r_{xy} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}$$
 Equação 1: Correlação de Pearson

Este coeficiente, normalmente representado pela letra "r" assume apenas Valores entre -1 e 1.

r= 1 Significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis.

r= -1 Significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis. Isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui. Todavia, como valores extremos (-1 ou 1) dificilmente são encontrados na prática, ressaltar que o coeficiente linear de Pearson foi apresentado no

interior do gráfico com as regressões lineares e as respectivas equações, para analisar a relação entre os dados estudados (nutrientes e parâmetro ambientais).

A média de longo termo é um parâmetro adequado para descrever o padrão de distribuição porque fornece uma estimativa precisa sobre o padrão, isto é, quantifica a sua magnitude e sua variabilidade. A fim de identificar se os dados analisados estão disperso ou estão bem próximos determinou-se o desvio padrão.

Para calcular a média de longo termo (\bar{X}) e respectivo desvio padrão (S), simplesmente calculou-se a média de cada variável (nutrientes e parâmetros ambientais) para cada estação (Inverno e Verão) usando a seguinte fórmula da estatística:

- $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$ **Equação 2: Média altimétrica**

4. Resultados

4.1. Análise da variação do fosfato no inverno e verão.

Os padrões de distribuição do fosfato em função do oxigénio dissolvido e temperatura no inverno foram estudados no canal de Moçambique (figura 4 painel esquerdo). A zona norte do apresentou maior concentração de fosfato com uma concentração que variou entre 0,04-0,07 mmol m⁻³ e com menor concentração na região centro e sul, (Figura 4a). Notou-se ainda que para o inverno, nas região norte e centro e lado Este (próximo a Madagáscar) observaram-se menores concentrações de oxigénio de 205-210 mmol m⁻³ entre as latitudes [11 – 24] °S e longitudes de [36- 48] °E sendo que as maiores concentrações de oxigénio são verificadas na zona sul entre as latitudes [24°S-26°S] e longitude de [32-48] °E com uma concentração de 212-220 mmol m⁻³ (figura 4c). Contudo, a temperatura o contrário de oxigénio foi observado que a região centro e norte do canal entre as latitudes [14-22] °S e longitude de [36-48] °E foram caracterizadas por temperaturas altas que variaram entre 26-28 °C e a região sul com baixas temperaturas que variam de 23-25 °C.

No verão as concentrações máximas de fosfato foram notáveis na região norte entre as latitudes [11-12] °S e longitudes [40-48] °E de 0,05-0,07 mmol m⁻³ onde se estende deste a costa Moçambicana até a costa de Madagáscar e as menores concentrações foram verificadas ao longo do canal que varia de 0,01-0,03 mmol m⁻³ (figura 4b). Neste período de verão, a distribuição de oxigénio exibiu uma concentração acentuada com o pico nas latitudes [24-26] °S e longitudes [32-48] °E cujos valores variaram entre 210-215 mmol m⁻³, e com uma concentração que foi reduzindo nas zonas centro e norte, com uma variação de 203-207 mmol m⁻³ (figura 4d). As zonas centro e norte foram caracterizados por temperaturas altas que variam entre 27-29 °C em relação a zona sul que apresentou temperaturas baixas que variaram entre 24-26 °C.

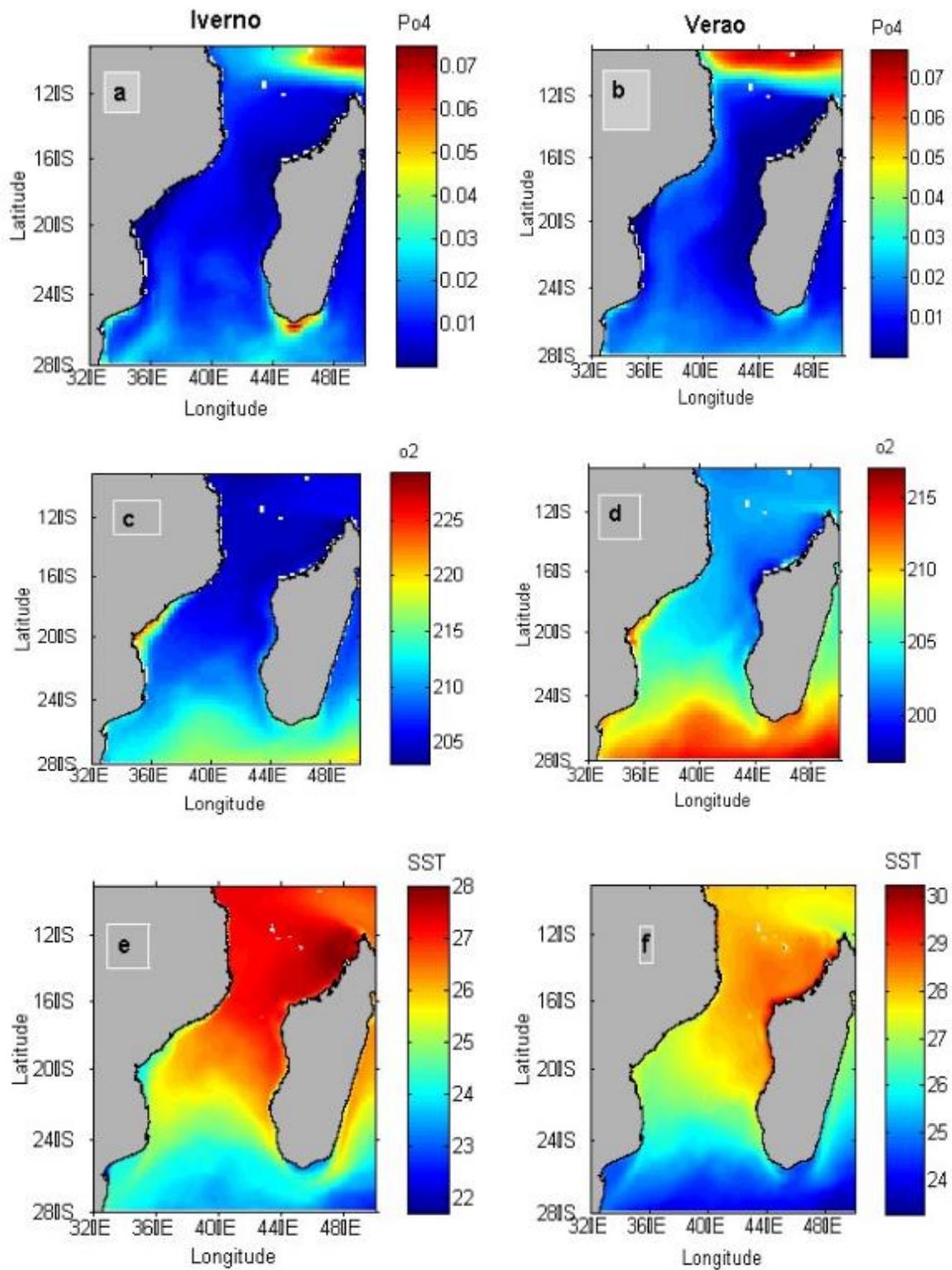


Figura 4: Mapas de variação espacial sazonal da distribuição do fosfato, oxigênio e temperatura na região do Canal de Moçambique, no Oceano Índico ocidental.

4.2. Correlação entre o fosfato com oxigénio e temperatura

O Fosfato se correlacionou fortemente com a temperatura e oxigénio em todos os períodos estudados (figura 5). Os resultados de correlação nos mostram uma tendência crescente, isto é, uma correlação positiva entre fosfato e oxigénio dissolvido tanto no inverno ($r = 0,88$) assim como para o verão ($r = 0,91$) (figura 5, painel do topo). Quando relacionado com a temperatura, por sua vez observa-se uma correlação negativa forte de ($r = -0,87$) no inverno e ($r = -0,91$) no verão (Figura 5, painel inferior).

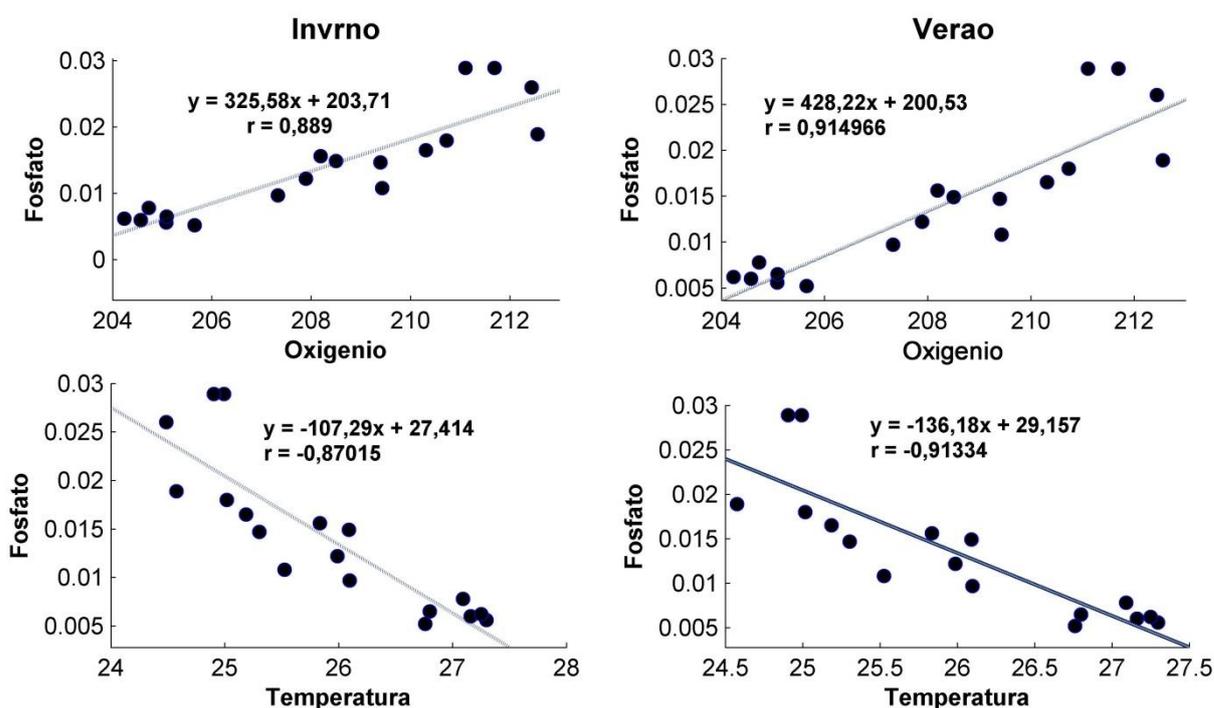


Figura 5: correlação entre o fosfato, oxigénio e temperatura. Painel esquerdo é referente ao período de inverno e a direito época do verão.

4.3. Análise da variação de sílica no inverno e verão.

Os resultados apresentados na Figura 6, são do padrão de distribuição de sílica, oxigénio e temperatura ao longo do Canal de Moçambique. Ao longo de todo canal foram observados concentrações baixas de sílica no inverno e verão, onde o padrão de distribuição varia entre 3-8 mmol m^{-3} com exceção a região da costa da província da Zambézia que registou maiores concentrações de silício de 14 mmol m^{-3} , em comparação com o oxigénio que apresentou maior concentração para o inverno na zona sul entre as latitudes [24-26] °S e longitude de [32-48] °E com uma concentração de 212-220 mmol m^{-3} e as zonas centro e norte foram observada com menores concentrações de oxigénio de 205-210 mmol m^{-3} entre as latitudes [11

– 24] °S e longitudes de [36- 48] °E e no inverno tivemos as regiões centro e norte do canal entre as latitudes [14-22] °S e longitude de [36-48] °E com temperaturas altas que variaram entre 26-28 °C e a região sul com baixas temperaturas que variam de 23-25 °C. No verão foi possível observar ainda nas zonas centro e norte apresentam altas temperaturas que variaram entre 27-29 °C em relação a zona sul que apresentam menores temperaturas de 24-26 °C.

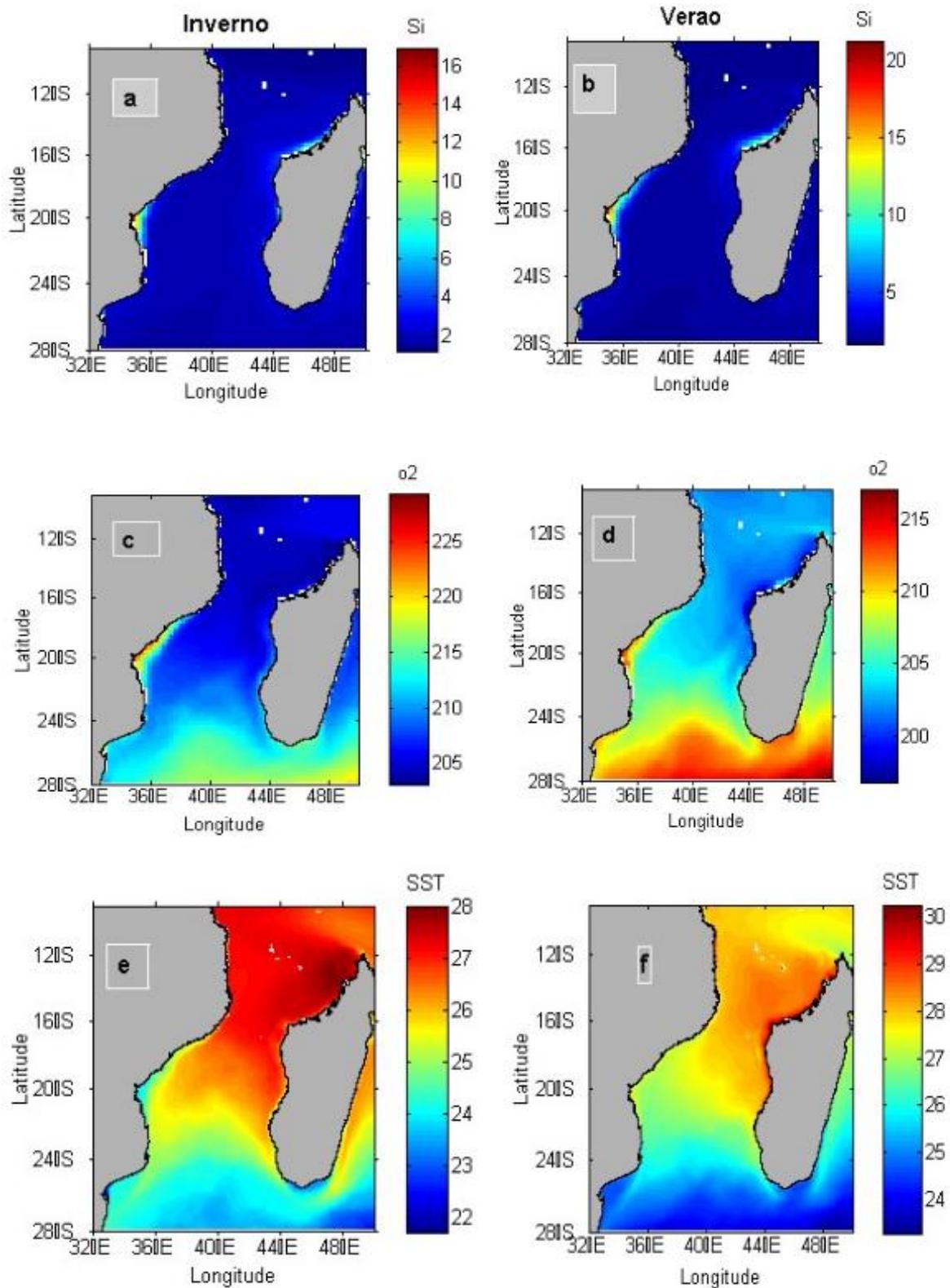


Figura 6: Mapas de variação espacial sazonal da distribuição do sílica, oxigênio e temperatura na região do Canal de Moçambique, no Oceano Índico ocidental.

4.4. Correlação entre sílica com oxigénio e temperatura

A tendência de sílica quando correlacionado com oxigénio no inverno, de forma geral mostram uma tendência decrescente com coeficiente de correlação de Person negativa forte de $r = -0,83$ para sílica no inverno, e um coeficiente de correlação negativa forte de $r = -0,82$ no verão. Ainda no mesmo período, correlacionando sílica com a temperatura, os gráficos mostram uma tendência crescente com o coeficiente de correlação positiva forte para o verão e inverno de $r = 0,84$ no inverno e de $r = 0,87$ no verão.

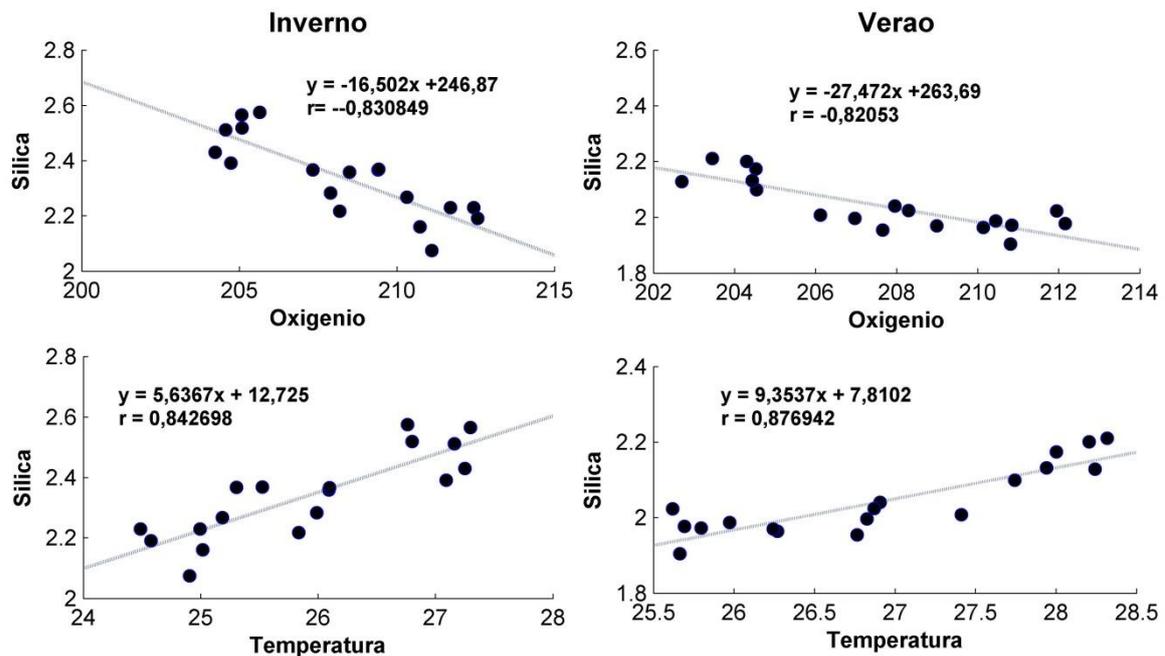


Figura 7: correlação entre sílica, oxigénio e temperatura. Painel esquerdo é referente ao período de inverno e a direito época do verão.

4.5. Discussão

Os resultados apresentados sobre a distribuição de fosfato, sílica, oxigénio e temperatura ao longo do Canal de Moçambique revelam padrões significativos que reflectem a dinâmica oceanográfica da região. Os resultados mostram que sílica no canal distribui-se em menores concentrações, tanto no inverno assim como no verão com destaque a uma tendência crescente no norte da província da Zambézia. Este fenómeno pode ser associado à influência de correntes e redemoinhos que afectam a distribuição de nutrientes na região, conforme discutido por (José et al., 2014), que destacam a importância dos redemoinhos na injeção de nutrientes na zona eufótica, favorecendo a produção biológica. Resultado semelhante foi

verificado por (Bastos, 2014), e no mesmo estudo ela afirma que menores concentrações de silicato na superfície estão associadas à menor diversidade fitoplanctônica, constituída por diatomáceas do género *Corethron* que facilitam o afundamento de Si e a remineralização do C e N. A solubilidade deste elemento é maior em altas temperaturas e pH, porém o processo é diminuído na presença de agentes quelantes e alguns metais como Al e Be em excesso, o que pode ocorrer em ambientes poluídos. A diminuição do pH de ambientes marinhos (acidificação) diminui a solubilidade de sílica, alterando sua biodisponibilidade e fracionamento (Ittekkot *et al.*, 2006), são por estes factores que a região apresenta baixas concentrações de sílica.

A maior concentração do fosfato foi verificada na região norte, com maior destaque no verão. Resultado semelhante foi observado por Manuari (2024) e isso deve-se a vários factores como as correntes equatorial sul (CES), monções e ventos que podem alterar as correntes oceânicas e os padrões de circulação da água. Essas mudanças podem resultar em fenómenos como o upwelling, que traz águas ricas em nutrientes, incluindo fosfatos, das profundezas para a superfície (Langa, 2018). Com indício de ocorrência na região sul em menores concentrações, a base da produtividade primária nos oceanos é a existência de nutrientes e a luz do sol para que ocorra a fotossíntese. Zhao *et al* (2008) diz que a concentração dos nutrientes aumenta com a profundidade, embora o input dos rios tenham grande contribuição no fornecimento dos nutrientes para favorecer a fotossíntese e garantir a produtividade primária. Noriega, (2005) afirma que a diminuição na concentração de fosfato no mar pode ser devido ao maior consumo por parte da biomassa fitoplanctônica, melhores condições de transparência e menor quantidade de material em suspensão, favorecendo a assimilação dos nutrientes principalmente do fosfato. Miguely, (2018) Acredita que a precipitação, aumenta as concentrações, de sílica e fosfatos devido ao aumento sazonal do volume de escoamento e dos sistemas de mangais em torno da bacia de drenagem. Esses sistemas de escoamento e mangais são fontes de muitas partículas que podem ser conduzidas até ao canal devido ao prisma das marés e ao fluxo das águas superficiais.

A região centro e norte do canal foi predominada pelas temperaturas altas no inverno factores que contribui para o arrasto da água com temperaturas altas para a região polar e associado a esta ideia de Corrêa (2010) diz que quando ocorre o aumento do cisalhamento dos ventos no extratropical do hemisfério sul nota-se aumento na TSM induzindo uma redução no gradiente

térmico entre o equador e os polos. Durante o inverno notou-se ainda para região norte e centro menores concentrações de oxigénio e uma tendência crescente de oxigénio na zona sul do canal. Este factor de baixas concentrações de oxigénio pode ser justificado pelo seu consumo pelos heterotróficos e ou escape na forma gasosa pelo aumento da temperatura do ar e da água. (Spillman *et al.* 2007) Confirmam resultados semelhantes que observaram que as concentrações de oxigénio dissolvido nas camadas inferiores poderiam resultar em baixos fluxos de nutrientes nos sedimentos.

A temperatura da água variou significativamente nas duas estações do ano, no período de verão onde o sol aumenta a radiação térmica foram observadas temperaturas máximas nas regiões centro e norte do canal e poderia acelerar a libertação de OD da água do mar para a atmosfera (Bergstrom, 2016) O aumento da radiação solar é também um factor que pode condicionar a diminuição dos valores de oxigénio dissolvido na coluna de água. Braga E. S., (2002) Relata que a termoclina e a pycnoclina sazonais dificultaram o transporte das camadas superiores da água para o fundo no verão, assim o consumo de oxigénio induzido pela decomposição da matéria orgânica no fundo não pôde ser repostado, eventualmente resultando em níveis mais baixos de OD (Wang *et al.*, 2001). Os valores relativamente altos de OD no verão foram possivelmente atribuídos à forte mistura de redemoinhos verticais nesta estação.

De acordo com os resultados no inverno e verão foi possível observar uma tendência crescente de fosfato, quando correlacionado com oxigénio apresentando uma correlação positiva forte de $r=0,88$ no inverno e uma correlação positiva forte no verão de $r= 0,91$, Essa correlação sugere que, à medida que a concentração de fosfato aumenta, a concentração de oxigénio dissolvido também tende a aumentar. Este fenómeno pode ser explicado pela relação entre a disponibilidade de nutrientes e a produtividade primária, onde o fosfato atua como um nutriente limitante que, quando disponível, estimula o crescimento de fitoplâncton, resultando em maior produção de oxigénio através da fotossíntese (Li, 2014).

O decréscimo de fosfato é observado com uma correlação linear negativa forte quando relacionado com a temperatura de $r= -0,87$ no verão e $r= -91$ no inverno, este decréscimo pode estar relacionado não apenas com descarga terrestre, mas também com absorção do fitoplâncton e pela quantidade de sal existente no oceano (Li, 2014).

Para sílica foi observado coeficiente de correlação negativa forte quando correlacionado com oxigénio tanto no verão assim como no inverno, de $r= -0,83$ no inverno e de $r= - 0,82$ no

verão, ou seja, são inversamente proporcionais. Os resultados indicam que, à medida que a concentração de sílica aumenta, a concentração de oxigénio tende a diminuir. Este fenómeno pode ser explicado pela dinâmica de consumo de oxigénio durante a decomposição de matéria orgânica, que pode ser mais intensa em áreas com maior disponibilidade de nutrientes, como a sílica. Rashid et al. (2022) discutem como a variação sazonal na concentração de nutrientes pode influenciar a dinâmica do oxigénio, indicando que a interação entre nutrientes e oxigénio é complexa e pode ser mediada por processos biológicos.

Por outro lado quando relacionado a sílica com a temperatura, observa-se uma tendência crescente com um coeficiente de correlação de $r= 0,84$ para o inverno e para o verão o coeficiente de correlação é de $r= 0,87$ sendo assim uma correlação positiva forte, indicando que temperaturas mais altas estão associadas a maiores concentrações de sílica. Este padrão pode ser atribuído ao aumento da actividade biológica em temperaturas mais elevadas, que favorece a dissolução de sílica a partir de diatomáceas e outros organismos silicosos. Tyler et al. (2017) observam que a temperatura pode influenciar a solubilidade da sílica, o que está alinhado com os resultados observados. Resultados semelhantes foram observados por Miguelý, (2018) no estuário de Marcuse onde notou-se uma correlação positiva forte de silicato e temperatura. O mesmo autor justifica que silicato é utilizado pelas microalgas do grupo das diatomáceas e dos silicoflagelados para formação das suas frústulas, sendo o nutriente inorgânico que se apresenta com as maiores concentrações nos ambientes marinhos, devido a sua origem terrígena, factor que pode estar relacionado com altas temperaturas, que favorecem o intemperismo natural das rochas Kressa, (2018) afirma que o aumento do escoamento dos rios aumentam também as concentrações de Si nas águas ribeirinhas, e também é fortemente influenciada pela temperatura da água do mar. O decréscimo da sílica é observado quando relacionado com oxigénio dissolvido, com coeficiente de correlação negativa forte de $r=-0,83$ no verão e $r= -0,82$ no inverno.

5. Conclusões

- Com base nos resultados das análises feitas foi possível concluir a temperatura e oxigénio dissolvido tem influencias na distribuição dos nutrientes inorgânicos aqui estudados. Os padrões observados na distribuição de fosfato e sílica, ao longo do Canal de Moçambique são resultado de uma complexa interacção entre factores oceanográficos, climáticos e biológicos.
- A maior concentração do fosfato foi verificada na zona norte ao passo que o sílica apresentou baixas concentrações em todo canal, com excepção na costa da província da Zambézia.
- Conclui-se ainda que existe uma correlação negativa forte entre o sílica e oxigénio dissolvido, ou seja, são inversamente proporcionais, o mesmo relaciona-se fortemente com a temperatura tendo assim uma relação directa.
- O fosfato apresentou um comportamento diferente da sílica, apresentando uma correlação positiva forte com oxigénio dissolvido e uma correlação negativa forte com a temperatura, ou seja, o fosfato e a temperatura são inversamente proporcionais.

5.1.Recomendações:

- Recomenda-se análise de monitoramento de longo prazo para entender as variações sazonais e interanuais na distribuição dos nutrientes;
- Recomenda-se que se façam estudos dos mecanismos que governam a distribuição dos nutrientes, especialmente em relação à condições temperatura e oxigénio dissolvido, climáticas e à influência das correntes oceânicas, ressurgências costeiras;
- Recomenda-se que se faça estudos das dinâmicas e concentrações e os factores que influencia na distribuição do sílica para melhor entendimento da baixa concentração.

6. Referências bibliográficas

- Almeida, C. X., Pita, J. L., & Rozane, D. E. (2014). *Nutrient cycleng in Mangotrees*.
- Alves, B. G. (2014). *efeitos da acidificacao oceanica nos processos biogeoquimicos em sedimentos costeiros: Experimentos in situ e em laboratorio*.
- Barros, P. A. (2011). *Análise do Efeito da Acidificação dos Oceanos no Desenvolvimento Larvar de Crassostrea gigas*. Lisboa.
- Bastos, A. C. (2014). *Estudo do ciclo biogeoquimico do silicio em diferentes sistemas marinhos com feramentas para identificação dealterações ambientais de origens naturais e/ou antropogenicas* . Sao Paulo.
- Benitez-Nelson, C. R. (2000). *The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems*.
- Bergstrom, E. (2016). *Efeitos do aumento da temperatura e acidificação oceânica na fisiologia das algas calcárias e gramas marinhas*. Florianópolis.
- Beusen, A. W., Bouwman, A. F., Du, H. H., Dekkers, A. M., & Hartmann, J. (2009). *Global patterns of dissolved silica export to the coastal zone: Result fron a spatially explicit global model. Global biogeochemical cycle*.
- Bie, A. J., Mavure, A. F., & De Camargo, R. (2012). *Caracterização do clima de ondas na costa de Mocambique*. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Bnitez-Nelson, C. R. (2000). *The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems*.
- Braga, E. (1995). *Nutrientes dissolvidos e produção primária do fitoplâncton em dois sistemas costeiros do estado de São Paulo*. São Paulo : Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.
- Braga, E. S. (2002). *Bioquimica marinha e efeitos da poluicao nos processos biogeoquimicos*. 2ªed.
- Brander, K. (1981). *Disappearance of common skate Raia*. Nature.

- Broerse, A., Brummer, G.-J., & Hinte, J. V. (1998). Coccolithophore export production in response to monsoonal upwelling off Somalia (northwestern Indian Ocean). *PERGAMON-Deep-Sea Research II*.
- Cesar, P. (2013). *Ciclo do fósforo*. Disponível em: <http://www.proffpc.com.br/ciclo_fosforo.htm>.
- Chikamoto, M., Timmermann, A., Chikamoto, Y., Tokinaga, H., & Harada, N. (2015). *Mecanismos e previsibilidade da variabilidade do ecossistema plurianual no Pacífico Norte. Ciclos Biogeoquímicos Globais*.
- Collins, C., Reason, C. J., & Hermes, J. C. (2012). Scatterometer and reanalysis wind products over the western tropical Indian Ocean. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 117, C03045.
- Costa, K. M. (1991). *Hidrologia e Biomassa Primária da Região Nordeste do Brasil entre as latitudes de 8°00'00" e 2°44'30" S e as longitudes de 35°56'30" e 31°48'00" W*.
- Costanza, R. (1999). *The ecological, economic, and social importance of the oceans*. Ecological economics.
- Cumbe, A. N. (2007). *O Património Geológico de Moçambique: Proposta de Metodologia de Inventariação*. Braga: UNIVERSIDADE DO MINHO ESCOLA DE CIÊNCIAS, DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA TERRA.
- Cunha, G. M., Gama/Rodrigues, A. C., & Costa, G. S. (2005). *Ciclagem de nutrientes em eucalyptus grandis*.
- Davis, A., Shokouhian, M., & Ni, S. (2021). *Loading estimates of Lead, Cooper, Cadmium and Zinc in Urban Runoff from Specific Sources*. *Chemosphere*.
- Dellagiustina, A. (2000). *Determinação das concentrações de nitrogênio e fósforo dissolvidos em diferentes locais do rio Itajaí-Açu*. Florianópolis-Brasil.
- Dimarco, S. F., Piers, C., Worth, D. N., Peter, H., Kathleen, D., Mark, L., et al. (2002). *Volume transport and property distributions of the Mozambique Channel*. Deep Sea Research Part II: Tropical Studies in Oceanography.

- Emílio, C. A. (2020). *Campos de Vento e Circulação oceânica no Canal de Moçambique: perspectivas a partir de diferentes estimativas*. Quelimane: UEM-Dissertação de Mestrado em Oceanografia Aplicada.
- Eschrique. (2003). *Estudos preliminares sobre os fatores que controlam a concentração dos nutrientes (silicato e fosfato), no estuário da praia do Bispo*. Belém-PA.
- Eschrique, S. A. (2011). *Estudo do balanço biogeoquímico dos nutrientes dissolvidos Principais como Indicador da Influência Antrópica em Sistemas Estuarinos do Nordeste e Sudeste do*.
- Esteves, F. A. (2011). *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência.
- Fabry, V. J. (2008). *mpacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes*. Journal of Marine Science.
- Feely, R. A., Doney, S. C., & Cooley, S. R. (2009). *Ocean acidification: Present conditions and future changes in a high-CO₂ world*.
- Fernando, L. R. (2019). *Análise das correntes à superfície na região norte do Canal de Moçambique*. Quelimane: Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras - Universidade Eduardo Mondlane.
- Filho, D. B., & Júnior, J. A. (2009). Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). *Revista Política Hoje, Vol. 18,n. 1*.
- Grolemund, G., & Wickham, H. (2011). *Dates and times made easy with lubridate*. Journal of Journal of Statistical Software.
- Guerra, L., Paiva, A., & Chassignet, E. (2018). On the translation of Agulhas rings to the western South Atlantic Ocean. *Deep-Sea*, 104-113.
- Halo, I. F. (2004). *Caracterização Biogeoquímica do fluxo de nutrientes, em relação aos processos oceanográficos no Estuário do Rio Incomati durante a estação seca*.
- Hood, M. e. (2009). *Acidificação Oceânica - Sumário para formuladores de políticas públicas - Segundo Simpósio sobre oceanos em um mundo com elevado CO₂*.

- Ittekkot, V., Unger, D., Humborg, C., & Tacan, N. (2006). *The silicon cycle: Human perturbation and impacts on aquatic systems*. Island Press: SCOPE report Series.
- Jerónimo, J. A. (2021). *Análise Comparativa entre diferentes fontes de dados oceanográficos para a região da Macaronésia*. Alfeite: Escola Naval - Dissertação de Mestrado.
- Jorgense, S. E., Loffler, H., Rast, W., & Straskraba, M. (2005). *Lake and Reservoir Water User and Abuses, Lake and Management. Developments in Water Science*.
- Junior, O. C. (2022). Upwellings along the Coasts of Somalia and Arabia. *London Journal of Research in Science: Natural and Formal*.
- Kerr, R. e. (2012). *1st Report of the Brazilian Ocean Acidification Research (BrOA) in: Workshop on Studying Ocean Acidification and its Effects on Marina Ecosystems. Brazilian Ocean Acidification Research (BROA)*. Brasil.
- Koch, M. e. (2013). *Climate change and ocean acidification effects on seagrasses and marine macroalgae*. Global Change Biology.
- Kressa, N. (2018). Transporte horizontal e distribuição sazonal de nutrientes, oxigênio dissolvido e clorofila-a no Golfo de Nicoya, Costa Rica: um estuário tropical. *Pesquisa da Plataforma Continental* 22, 51-66.
- Langa, A. A. (2018). *Efeito do vento e fluxo de calor no ciclo anual da clorofila no Norte do Canal de Moçambique*.
- Lauerwald, R. (2011). *Rivers in the silica and carbon cycles. A Quantitative analysis for North America*. Department Geowissenschaften der Universität Hamburg.
- Laxenaire, R., Speich, S., Blanke, B., Chaigneau, A., Pegliasco, C., & Stegner, A. (2018). Anticyclonic eddies connecting the western boundaries of Indian and Atlantic oceans. *J Geophys Res Oceans*.
- Li, H.-M. (2014). Mudanças nas concentrações de oxigênio, nitrogênio dissolvido, fosfato e silicato no direção ao marsul do Mar Amarelo,. *Ciência Estuarina, Costeira e de Plataforma*, 1-12.

- Libes, M. (1999). *An Introduction to marine Biogeochemistry*. USA.
- Libes, S. M. (2009). *Introduction to marine biogeochemistry* (2nd ed ed.). Academic Press.
- Libes, S. (2011). *Introduction to Marine Biogeochemistry*. South Carolina: 2. ed. Conway.
- Loucaide, S. (2009). *Dissolution of biogenic Silica: Role of pH, Salinity, Pressure, electrical charging and reverse weathering*. Holanda.
- Louerwald, R., Hartmann, J., Moosdorf, N., & Durr, H. H. (2013). *Retention of dissolved silica within the fluvial system of the conterminous USA*.
- Malauene, B. S., Shillington, F. A., Roberts, M. J., & Moloney, M. J. (2008). *Cool, elevated chlorophyll-a waters off northern Mozambique*. Cape Town: chlorophyll-a waters off northern Mozambique. Deep-Sea Research II.
- Manuari, B. A. (2024). *Estudo da distribuição de nutrientes (Ferro, Nitrato e Fosfato) e sua relação com a produtividade primária na região Norte e Centro do Canal de Moçambique*.
- Martz, T. R., & al., e. (2015). Technology for ocean acidification research: Needs and availability. *Oceanography*, 40–47.
- Meyer, K. R., & Payne, J. L. (2016). *A influência da bomba biológica na química oceânica: implicações para tendências de longo prazo na química redox marinha, no ciclo global do carbono e nos ecossistemas de animais marinhos*.
- Miguel, L. L. (2018). Estudo sobre hidrologia sazonal e variabilidade biogeoquímica num sistema estuarino tropical, Costa Central de Moçambique, África. *Boletim de Poluição Marinha* 131, 674–692.
- Miller, F. (2013). *Chemical Oceanography*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Nurit Kressa, S. L. (2001). Transporte horizontal e distribuição sazonal de nutrientes, oxigênio dissolvido e clorofila-a no Golfo de Nicoya, Costa Rica: um estuário tropical. *Pesquisa da Plataforma Continental* 22 (2002), 51–66.

- Orselli, I. B., Kerr, R., Goyet, & Azevedo, J. L. (2020). What is the Agulhas eddies role on the South Atlantic Ocean acidification state? *The carbon team*.
- Papush, L. (2011). *Silicon cycling in the Baltic Sea: trends and budget of dissolved silica*.
- Parker, C. A. (1991). *Oxygen depletion in Long Island Sound: a historical perspective*. *Estuaries*.
- Paulo, I. A. (2012). *Tidal Nitrate and Silicate fluxes in the Bons Sinais Estuary*.
- Peredo, R. F. (2022). *Validação do modelo Delft3D com recurso a dados IN-SITU*. Alfeite : Escola Naval - Dissertação mestrado.
- Pereira, B. P., Bastos, A. C., Eschique, S. A., Gonçalves, J. L., & Braga, E. S. (2010). *Oxigenio dissolvido e silica como indicadores de alteracoes em sistemas costeiros*.
- Pereira, F. J., Spillere, L. C., Schettini, C. A., & Silva, L. F. (2002). *Estuário do Rio Camboriú-Sc: Variação intramareal e transporte residual de nutrientes, Cop e Clorofila-a em condições de quadratura e sizígia*. R.Uruguai: C.T.T. Mar - Universidade do Vale do Itajaí.
- Pollery, R. C. (2005). *Disponibilidade ee distribuicao dos nutrientes e clorofila-a nas aguas adjassentes a península antartica (veroes de 2000/01, 2001/02 e 2002/03)*. Brasil.
- Raven, J. e. (2005). *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide*. London: The Royal Society.
- Riley, J. P., & Chester, R. (1989). *Introduction to marine chemistry*. Great Britain: St. Edmundsbury.
- Rosa, R., Messias, R. A., & Ambrozini, B. (2003). *Importância da Compressão dos Ciclos Biogeoquímicos para o Desenvolvimento Sustentável*. Sao Paulo: Monografia para Obtencao do Curso de Quimica no Instituto de Quimica.
- Ruttenberg, K. C. (2006). *The global phosphorus cycle*.
- Sabine. (2004). *The oceanic sink for CO2*.

- Sabine, C., Wanninkhof, R., Key, R., Goyet, C., & Millero, F. (2000). Seasonal CO fluxes in the tropical and subtropical Indian Ocean. *Elsevier-Marine Chemistry*.
- Santana-Casiano, J. M. (2007). The interannual variability of oceanic CO₂ parameters in the northeast Atlantic subtropical. *Global Biogeochemical Cycles*.
- Santiago, M. F., Passavante, J. Z., & Silva-Cunha, M. G. (2005). *Caracterizacao de parametros fisicos, quimicos e biologicos em ambientes hipersalinos, estuario do rio pisa sal*. Brasil: Tropical Oceanography.
- Schettini, C., Pereira F., J., & Spillere, L. (2000). *Caracterização oceanográfica e biogeoquímica dos Estuários dos Rios Tavares e Defuntos, Reserva Extrativista de Pirajubaé, Florianópolis*. SC. CTTMar/UNIVALI – Cx.
- Schouten, M. W., Wilhelmus, P. M., & Ruijter, P. J. (2003). *Eddies and variability in the Mozambique channel*. Deep Sea Research Part II: Tropical Studies in Oceanography.
- Seppala, J. K. (2004). *Eutrophication of aquatic ecosystems a new method for calculating the potential contributions of nitrogen and phosphorus*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*.
- Sun, X. L., Luo, W. F., & Ma, Y. Z. (2023). *Widespread control of leaf nutrient limitation and stoichiometry*.
- Todeschini, M. L. (2004). *Dinâmica espacial e temporal das características físicas e químicas do rio Cubatão e distribuição espacial da bacia hidrográfica – litoral do Paraná*. Curitiba.
- Travassos, P. e. (1999). *Thermohaline estrurure around seamounts and island of North-Eastern Brazil*. Brazil.
- Turley, C. M., Brownlee, C., Findlay, H. S., & Mangi, S. (2010). *Ocean Acidification*.
- Valeila, I. (1995). *Marine ecological processes*. Now York.
- Wallace, R. B. (2014). *Coastal ocean acidification: The other eutrophication problem* *Estuarine, Costal and Shelf Science*.

Wiley, M. (1976). *Estuarine Processes I*. New York.

Wu, M. W., & Dong, J. (2014). *Efeitos da ressurgência costeira na distribuição do picofitoplâncton na costa de Zhanjiang, no Mar da China Meridional*.

Xie, Y. T., & Bach, L. T. (2022). *Localizing the southern ocean biogeochemical divide* .

Xue, L. e. (2016). Aragonite saturation state in a monsoonal upwelling system off Java. *Journal of Marine Systems*, 10 - 47.