



Escola Superior de Ciências Marinha e Costeiras

Monografia para Obtenção de grau de Licenciatura em Química Marinha

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

Autor

Bento Arlindo Manuari

Quelimane, Maio de 2024



Escola Superior de Ciências Marinha e Costeiras

Monografia para Obtenção de grau de Licenciatura em Química Marinha

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

Autor:

(Bento Arlindo Manuari)

Supervisor:

(Doutor. Anildo Naftal Nataniel)

Avaliador:

(dr. Guilherme Marques Cufanauane)

Presidente de Juri:

(dra. Paula Milice)

Quelimane, Maio de 2024

Dedicatória

Em primeiro lugar dedico este trabalho a Deus, aos meus pais Arlindo Manuari e Luísa Marcelino, meus irmãos Isac Arlindo Manuari, Maria Esperança Arlindo Manuari, Ana Joana Arlindo Manuari, Sofia da graça Arlindo Manuari, minhas sobrinhas Nidia da Zulmira, Cecília Carmone, minha querida Avo Filomena Boina e a minha família em geral por terem-me apoiado incansavelmente para a concretização de mais um sonho dentro da minha família.

“ASSANTE SANA”

Agradecimentos

Agradeço à Deus em primeiro lugar, por ter-me dado o fôlego e a esperança de prosseguir com a vida.

A Universidade Eduardo Mondlane pela disponibilidade da bolsa completa durante o período da minha formação.

Ao meu Supervisor Anildo Naftal Nataniel, vão os meus reconhecidos e eternos agradecimentos pelo seu apoio e disponibilidade que sempre dispensou ao longo deste trabalho, dizer “**MUITO OBRIGADO, ASSANTE SANA**”, pois sem o seu apoio não teria feito melhor.

Aos meus pais o Sr(a). Arlindo Manuari e Luísa Marcelino, pelo carinho, apoio, disponibilidade e colaboração que sempre manifestaram nas horas mais difíceis, “**ASSANTE SANA**”.

Agradecer igualmente a minha querida avo Filomena Boina, pela colaboração e apoio que sempre demonstrou para a minha formação.

Aos meus irmãos e primos, em especial Isac Manuari, Maria Manuari, Sofia da Graça Manuari, Ana Joana Manuari, Neusia Fernando, Joel Miguel, Nidia da Zulmira, Márcio, Marcelino, Osvaldo, José, Wanga, Domingana, Cecília, Constância, pela confiança e força que me proporcionaram durante a minha jornada estudantil. E todos membros da família, Abdul Marcelino, Joaquina Marcelino, Miguel Mileva, Ricardinho, Maria Estevão Manuari e Amina Tamo.

À minha namorada, Gertrudes Da Esperança Alexandre, pelo seu companheirismo, amor, paciência, apoio, encorajamento e acima de tudo sua merecida amizade que sempre manifestou. Sua compreensão e carinho foram fundamentais para o alcance desta fase.

Aos meus amigos, em especial André Tomas Changama, António Luís Chale, Narciso Jacinto, Wilder João Muchanga, Luís Simbine, Hélio Magalua, José Armando, Joaquim Nkuampara, Amílcar Machelmba, Amina Ali Sufo, Sinata Djedje, Marta Laura, Ali Dauda, Ludonia Leão, Nomssa Aurélio, Anderson Machai, Necio, Zarco muito obrigado por tudo que têm feito por mim, pelos momentos que juntos dividimos durante esses anos, momentos esses que serviram como uma motivação emocional durante a minha formação de licenciatura, e hoje, eu digo “Ganhei irmãos”.

Agradecer a toda turma de Química Marinha 2020 (Químicos de meia tigela) pela união de forças e foi um prazer fazer parte dessa turma.

Agradecer os membros do quarto pelo suporte Anilo Armindo, Belson Cumbe, Delso Nhaca. Agradecer meus Mazas da Residência pela assistência em especial dr. Valentim José, dr. Basílio Ernesto, Esperado Avelino, dr. Salmos Lourenço, dr. Orlando Júnior, dr. João Pacul, António Alfoi, dr. Larion Mendes, dr. Amilton Muhosse, e a todo o pessoal da residência pelo apoio durante minha caminhada em destaque, Nildo Bento.

Há todo corpo docente da Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras, em especial Msc. Paula Milice, Msc. Inocência Paulo, Msc. Yolanda Mulla, Msc. Lúcio Jasse, Msc. Noca Furaca, Msc. Sara Tembe, Msc. Célio Machaieie, Msc. Anabela Cafermane, Msc. Teofilo Ferraz, Msc. Banito Magestade, Msc. Pita Rodrigues, dr. Nélio Siteo, dr. Hélder João, Msc. Carlota Alves e Msc. Halaze Manhice.

Ao registo académico em especial dra. Iranety Paulino.

Declaração de honra

Declaro que esta monografia nunca foi submetida para a obtenção de qualquer título académico e representa o fruto do meu esforço individual. Apresento este trabalho como parte do cumprimento parcial dos requisitos para a obtenção do grau de licenciatura em Química Marinha, na Universidade Eduardo Mondlane.

Quelimane, Maio de 2024

O Autor:

(Bento Arlindo Manuari)

Resumo

O presente estudo objectiva estudar a distribuição de nutrientes (Fe , NO_3^- e PO_4^{3-}) e sua relação com a produtividade primária na região Norte e Centro do Canal de Moçambique. Para efeito, foram analisados dados biogeoquímicos de (Fe , NO_3^- , PO_4^{3-} e NPPV) disponíveis no CMEMS (Copernicus Marine Environmental Monitoring Service), através de simulações do modelo numérico BIORYS, para o período de três anos, de 2020 a 2022. Os resultados revelaram fortes sazonalidades nas duas regiões destacadas para os 4 parâmetros analisados. Em geral, foram observados maiores concentrações de nutrientes e NPPV no inverno e menor no verão, excepto para o PO_4^{3-} , que apresentou tendência oposta. Foi observada uma relação não linear entre os nutrientes e a NPPV. Na região norte, os picos máximos de NPPV ocorreram em Setembro e Outubro ($\sim 10 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$), enquanto os de Fe ocorreram em Junho e Setembro ($\sim 12 \times 10^4 \mu\text{mol/m}^3$), resultando em uma correlação linear fraca negativa entre Fe e NPPV ($r = -0,42$). A relação entre NO_3^- e NPPV mostrou uma correlação linear forte positiva ($r = 0,80$), com picos máximos de NO_3^- em Setembro, Dezembro e Dezembro ($\sim 0,03 \mu\text{mol/m}^3$, $0,02 \mu\text{mol/m}^3$, $0,01 \mu\text{mol/m}^3$), coincidindo com os picos de NPPV. A variação de PO_4^{3-} e NPPV também mostrou oscilações, com uma correlação linear nula positiva ($r = 0,20$). Os picos máximos de PO_4^{3-} ocorreram em Janeiro, Fevereiro e Dezembro ($\sim 0,2 \mu\text{mol/m}^3$, $0,15 \mu\text{mol/m}^3$, $0,2 \mu\text{mol/m}^3$), coincidindo com os picos máximos de NPPV. Na região Centro, os picos máximos de Fe foram em Março, Maio e Junho ($\sim 2,5 \mu\text{mol/m}^3$), coincidindo com os picos máximos de NPPV em Março, Abril e Novembro ($\sim 28 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$, $25 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$, $20 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$), com uma correlação linear moderada positiva ($r = 0,66$). Por outro lado, a variação entre NO_3^- e NPPV mostrou uma correlação alta positiva ($r = 0,75$), com picos máximos de NO_3^- em Março e Maio ($\sim 2,5 \mu\text{mol/m}^3$), coincidindo com os picos de NPPV nos mesmos meses. A variação do PO_4^{3-} e NPPV revelou picos máximos de PO_4^{3-} em Outubro, Maio e Dezembro ($\sim 0,1 \mu\text{mol/m}^3$, $0,1 \mu\text{mol/m}^3$, $0,12 \mu\text{mol/m}^3$), coincidindo com picos de NPPV em Março, Abril e Novembro ($\sim 28 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$, $28 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$, $20 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$), com uma correlação linear nula negativa ($r = -0,18$). O estudo demonstrou que a distribuição espacial dos nutrientes influencia a produtividade primária na região Norte e Centro do Canal de Moçambique.

Palavras-chave: Distribuição Espacial e Vertical de Nutrientes, Produtividade Primária, Relação Nutriente-Produtividade, Canal de Moçambique.

Abstract

The present study aims to examine the distribution of nutrients (Fe , NO_3^- , and PO_4^{3-}) and their relationship with primary productivity in the Northern and Central regions of the Mozambique Channel. For this purpose, biogeochemical data (Fe , NO_3^- , PO_4^{3-} , and NPPV) available from the CMEMS (Copernicus Marine Environmental Monitoring Service) were analyzed through simulations using the BIORYS numerical model, covering a three-year period from 2020 to 2022. The results revealed strong seasonality in both highlighted regions for the four parameters analyzed. In general, higher concentrations of nutrients and NPPV were observed in winter and lower in summer, except for PO_4^{3-} , which showed an opposite trend. A non-linear relationship between nutrients and NPPV was observed. In the northern, the highest peaks of NPPV occurred in September and October ($\sim 10 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$), while Fe peaks occurred in June and September ($\sim 12 \times 10^4 \mu\text{mol/m}^3$), resulting in a weak negative linear correlation between Fe and NPPV ($r = -0.42$). The relationship between NO_3^- and NPPV showed a strong positive linear correlation ($r = 0.80$), with NO_3^- peaks in September, December, and December ($\sim 0.03 \mu\text{mol/m}^3$, $0.02 \mu\text{mol/m}^3$, $0.01 \mu\text{mol/m}^3$), coinciding with NPPV peaks. The variation of PO_4^{3-} and NPPV also showed oscillations, with a null positive linear correlation ($r = 0.20$). The highest peaks of PO_4^{3-} occurred in January, February, and December ($\sim 0.2 \mu\text{mol/m}^3$, $0.15 \mu\text{mol/m}^3$, $0.2 \mu\text{mol/m}^3$), coinciding with the highest peaks of NPPV. In the Central region, the highest peaks of Fe occurred in March, May, and June ($\sim 2.5 \mu\text{mol/m}^3$), coinciding with the highest peaks of NPPV in March, April, and November ($\sim 28 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$, $25 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$, $20 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$), with a moderate positive linear correlation ($r = 0.66$). On the other hand, the variation between NO_3^- and NPPV showed a high positive correlation ($r = 0.75$), with NO_3^- peaks in March and May ($\sim 2.5 \mu\text{mol/m}^3$), coinciding with NPPV peaks in the same months. The variation of PO_4^{3-} and NPPV revealed PO_4^{3-} peaks in October, May, and December ($\sim 0.1 \mu\text{mol/m}^3$, $0.1 \mu\text{mol/m}^3$, $0.12 \mu\text{mol/m}^3$), coinciding with NPPV peaks in March, April, and November ($\sim 28 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$, $28 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$, $20 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$), with a null negative linear correlation ($r = -0.18$). The study demonstrated that the spatial distribution of nutrients influences primary productivity in the Northern and Central regions of the Mozambique Channel.

Keywords: Spatial and Vertical Distribution of Nutrients, Primary Productivity, Nutrient-Productivity Relationship, Mozambique Channel.

Tabela de abreviaturas e Símbolos

$\mu\text{mol/m}^3$: micros moles metro cubico

Fe: Ferro

NO_3^- Nitrato

PO_4^{3-} - Fosfato

NPPV - Produtividade primária

NetCDF-Network Comand Data Form

h -Horas

mg/L - Miligramas por litro

Km: - Quilómetro

Mg -Miligrama

ESCMC- Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

UEM -Universidade Eduardo Mondlane

MATLAB -Laboratório de Matrizes

CMEMS -Copernicus Marine Environment Monitoring Service

GLORYS -Global Ocean Reanalysis and Simulation

~ -Aproximadamente

°- Graus

°C- Graus Celsius

m -Metro

Lista de figura

Figura 1: <i>Descrição da área de estudo das sub-regiões norte e centro do canal de Moçambique.</i>	12
Figura 2: <i>Distribuição dos nutrientes (Fe, NO_3^-, PO_4^{3-}) na região norte do canal de Moçambique.</i>	15
Figura 3: <i>Distribuição espacial dos nutrientes (Fe, NO_3^-, PO_4^{3-}) na região centro do canal de Moçambique.</i>	16
Figura 4: <i>Distribuição vertical dos nutrientes (Fe, NO_3^-, PO_4^{3-}) na região norte do canal de Moçambique.</i>	17
Figura 5: <i>Distribuição vertical dos nutrientes (Fe, NO_3^-, PO_4^{3-}) na região Centro do canal de Moçambique.</i>	18
Figura 6: <i>Distribuição espacial de produtividade primária na região norte e centro do canal de Moçambique.</i>	19
Figura 7: <i>Relação entre os nutrientes (ferro, nitrato, fosfato) e a produtividade primária na região norte do canal de Moçambique.</i>	21
Figura 8: <i>Relação entre os nutrientes (ferro, nitrato, fosfato) e a produtividade primária na região centro do canal de Moçambique.</i>	22
Figura 9: <i>Gráfico de dispersão dos nutrientes e produtividade primária na região norte e centro do canal de Moçambique.</i>	37

Lista de Tabela

Tabela 1: <i>Resumo da descrição dos dados usados</i>	14
--	----

Índice

Dedicatória	I
Agradecimentos.....	II
Declaração de honra	IV
Resumo.....	V
Abstract	VI
Tabela de abreviaturas e Símbolos.....	VII
Lista de figura.....	VIII
CAPÍTULO I:	1
1. Introdução	1
1.1. Problema.....	2
1.2. Justificativa.....	2
1.3. Objectivos da pesquisa	3
1.3.1. Objectivo Geral.....	3
1.3.2. Objectivos Específicos.....	3
CAPITULO II: Revisão de literatura	4
2. Nutrientes.....	4
2.1. Biogeoquímica de nutrientes inorgânicos nos canais costeiros	4
2.2. Distribuição de Nutrientes na coluna de água.....	5
2.2.1. Ferro.....	5
2.2.2. Nitrato	5
2.2.3. Fosfato.....	6
2.3. Dinâmica de nutrientes na costa.....	7
2.3.1. Maré	7
2.3.2. Temperatura	7
2.3.3. Luz	7
2.3.4. Velocidade das correntes	8
2.3.5. Salinidade.....	8

2.3.6. Oxigénio dissolvido	8
2.4. Produtividade primária	9
2.4.1. Factores que influenciam a produtividade primária	9
2.4.2. Factores Físicos	9
2.4.3. Factores Biológicos	10
2.4.4. Factores Químicos	10
CAPITULO III: Materiais e Métodos	11
3. Caracterização da área de estudo	11
3.1. Temperatura e salinidade no canal e na costa de Moçambique	12
3.2. Dados Biogeoquímicos	13
CAPITULO IV: Resultados e Discussão	15
4. Distribuição espacial e sazonal dos nutrientes (Fe, NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻)	15
4.1. Região Norte do canal de Moçambique	15
4.2. Região Centro do canal de Moçambique	16
4.3. Distribuição Vertical dos nutrientes (Fe, NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻) na região norte do canal de Moçambique	17
4.4. Distribuição Vertical dos nutrientes (Fe, NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻) na região centro do canal de Moçambique	18
4.5. Produtividade Primária na Região Norte e Centro do canal de Moçambique	19
4.5.1. Relação entre os nutrientes (Fe, NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻) e a produtividade primária na região Norte e Centro do canal de Moçambique	20
4.5.2. Região Norte do canal de Moçambique	20
4.5.3. Região Centro do canal de Moçambique	21
Capitulo V: Discussão dos resultados	23
Capitulo VI: Conclusões e Recomendações	30
5. Conclusões	30
6. Referências bibliográficas	31
7. Anêxos e/ou Apêndices	37

CAPÍTULO I

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; Suzuki, 2011).

A produtividade primária, que se refere à produção de biomassa pelos organismos fotossintetizantes, depende directamente da disponibilidade de nutrientes. Assim, a concentração, distribuição e dinâmica dos nutrientes dissolvidos são estudadas em diversos ecossistemas, desde estuários até o mar profundo (Montes *et al.*, 2002; Dos Santos *et al.*, 2020; Dos Santos, 2022). Essa produtividade é influenciada por factores temporais e espaciais, como radiação solar, temperatura, disponibilidade de nutrientes e competição biológica (Kyewalyanga, 2015). Esses factores podem tanto inibir quanto estimular a produção de biomassa, destacando a importância dos nutrientes na produtividade primária (Niencheski, 2015; Fonseca *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2021).

Oliveira *et al.* (2020) ressaltam a complexidade da relação entre a distribuição de nutrientes e a produtividade primária, enfatizando a influência de factores como disponibilidade de luz, temperatura e salinidade. Em ambientes tropicais, factores como a temperatura e a radiação solar estão presentes o ano todo (Kellman & Tackaberry, 1997). Esta ocorrência em regiões tropicais faz com que as taxas de produção sejam similares durante todo o ano, sem sofrer grandes variações em seus valores como ocorre em lagos temperados.

A região do Banco de Sofala é particularmente rica em nutrientes, influenciada por correntes oceânicas e fontes terrestres (Silva *et al.*, 2021). Henry *et al.* (1998) demonstra que a sazonalidade afecta a disponibilidade de nutrientes, sendo que em época chuvosa há um grande aporte de nutrientes dos meios externos que atuam como uma carga adicional de enriquecimento. Contudo, embora os nutrientes sejam vitais para os organismos, seu excesso pode ser prejudicial, causando proliferação de algas tóxicas e redução do oxigénio na água (Cutter & Measures, 1999; Gomes *et al.*, 2018; Armengol *et al.*, 2019).

Diante da importância dos nutrientes na regulação da produtividade primária, este estudo visa preencher lacunas de conhecimento, fornecendo informações essenciais para compreender a dinâmica dos nutrientes e sua relação com a produtividade primária na região.

1.1.Problema

A região Norte e Centro do Canal de Moçambique são de grande importância ecológica e socioeconómica, com rica variedade de espécies e habitats. As actividades pesqueiras na região sustentam milhares de famílias e contribuem significativamente para a economia local. No entanto, a falta de compreensão abrangente sobre os factores que influenciam a produtividade primária nessa área, especialmente a distribuição e concentração de nutrientes essenciais para a saúde dos ecossistemas marinhos, representa uma lacuna de conhecimento.

Estudos anteriores sobre a produtividade primária na região se concentraram em áreas específicas ou em períodos de tempo limitados, não fornecendo uma visão holística da dinâmica dos nutrientes e sua influência na produção biológica. Além disso, a variabilidade espacial e temporal dos nutrientes no Canal de Moçambique ainda não foi totalmente explorada, limitando a compreensão dos processos que regulam a produtividade primária.

Diante deste pressuposto coloca-se a seguinte questão:

- ✓ Como é que a distribuição dos nutrientes regula a produtividade primária na região Norte e Centro do Canal de Moçambique?

1.2. Justificativa

O Canal de Moçambique é um sistema marinho de crucial importância biogeoquímica e socioeconómica, abrigando rica biodiversidade marinha e sustentando a pesca, actividade vital para as comunidades costeiras da região. No entanto, a compreensão limitada da distribuição espacial e vertical de nutrientes nesta área, juntamente com a produtividade primária constituem as razões que levaram a condução do presente estudo.

Essa lacuna de conhecimento impede a gestão sustentável dos recursos pesqueiros e a implementação de medidas eficazes para a conservação da biodiversidade marinha, colocando em risco a segurança alimentar e o desenvolvimento socioeconómico das comunidades locais.

Entretanto, o estudo fornecerá subsídios importantes para o avanço do conhecimento científico sobre a dinâmica dos nutrientes e sua influência na produtividade primária, permitirá a identificação de áreas críticas para a conservação da biodiversidade marinha e a implementação de medidas de manejo mais eficazes para proteger os habitats em sistemas marinhos complexos, como o Canal de Moçambique.

1.3.Objectivos da pesquisa

1.3.1. Objectivo Geral

- ✓ Estudar a distribuição de nutrientes (Fe , NO_3^- , PO_4^{3-}) e sua relação com a produtividade primária na região Norte e Centro do Canal de Moçambique.

1.3.2. Objectivos Específicos

- ✓ Caracterizar a distribuição espacial e vertical dos nutrientes;
- ✓ Identificar a região com maior taxa de produtividade primária e;
- ✓ Relacionar a concentração dos nutrientes com a produtividade primária.

CAPITULO II: Revisão de literatura

2. Nutrientes

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, 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 (Eschrique, 2011; Jamisse, 2017).

Filho (2009); Jamisse (2017) realçam que no ambiente marinho, os principais nutrientes dissolvidos são os inorgânicos nitrogenados como o amónio, nitrito, nitrato, além de fosfato e silicato, os quais condicionam o desenvolvimento dos organismos fitoplantónicos).

2.1. Biogeoquímica de nutrientes inorgânicos nos canais costeiros

As concentrações de nutrientes inorgânicos nos canais costeiros variam de acordo com a localização e a época do ano. Em geral, as concentrações de nutrientes são mais altas nas áreas onde há um forte aporte de nutrientes do continente, como perto de rios e zonas costeiras. As concentrações de nutrientes também são mais altas durante a primavera e o verão, quando a produtividade primária é maior (Riley, 1951; Martiny 2008; Falkowski, Barber & Smetacek, 1998).

Falkowski, Barber & Smetacek, (1998) descrevem que a biogeoquímica de nutrientes inorgânicos nos canais costeiros é importante para a saúde dos ecossistemas costeiros. As concentrações adequadas de nutrientes são necessárias para sustentar a produção primária, que é a base da cadeia alimentar marinha.

A biogeoquímica de nutrientes inorgânicos nos canais costeiros é um sistema complexo que é influenciado por uma variedade de factores, incluindo:

- ✓ Aporte de nutrientes do continente os rios e aerossóis transportam nutrientes do continente para os canais costeiros.
- ✓ Renovação da coluna de água ocorre por processos como a mistura vertical e a convecção, pode misturar nutrientes de diferentes camadas da coluna de água.

- ✓ Actividade biológica os organismos marinhos podem consumir nutrientes, o que pode levar à diminuição das concentrações de nutrientes na coluna de água.

Os nutrientes inorgânicos mais importantes para a produção primária nos canais costeiros são o nitrogénio, o fósforo, o silício e o ferro.

2.2. Distribuição de Nutrientes na coluna de água

A distribuição de nutrientes na coluna de água é um fator importante que influencia a produtividade primária. A produtividade primária, por sua vez, é a base da cadeia alimentar marinha. Portanto, a distribuição de nutrientes é um factor importante para o funcionamento dos ecossistemas marinhos (Martiny & Falkowski 2008; Tilman *et al.*, 2001).

2.2.1. Ferro

O ferro é um nutriente limitante para a produção primária em muitas partes do oceano e um importante componente da clorofila, que é necessária para a fotossíntese (Gruber, 1998; Martiny & Falkowski, 1988).

A distribuição de ferro na coluna de água é complexa e influenciada por uma variedade de factores. Em geral, as concentrações de ferro são mais altas na superfície da água e diminuem com a profundidade. Isso ocorre porque o ferro é consumido pelas algas e pelos microrganismos, e também é removido da coluna de água por processos de sedimentação e adsorção (Martiny & Falkowski, 1988).

O ferro é um nutriente essencial para a produção primária, mas é relativamente escasso na água do mar. As concentrações de ferro na água do mar são geralmente muito baixas para sustentar a produtividade primária máxima. O ferro é um micronutriente importante para a fotossíntese, a respiração e outras funções fisiológicas das algas e fitoplâncton (Martiny & Falkowski, 1988).

2.2.2. Nitrato

O nitrato é a forma de derivado de nitrogénio mais estável e mais abundante no ecossistema marinho, ocorre de forma natural em lagos, mares e mais abundante nos rios em relação aos estuários com uma concentração de cerca de $1\mu\text{mol/L}$ que pode aumentar quando as fontes externas desse composto estiverem conectadas a esses cursos de água atingindo até aos $25\mu\text{mol/L}$ (Dellagiustina, 2000).

Na maioria dos casos o nitrato constitui a principal fonte do nitrogénio para os fitoplanctónica. Em muitos ambientes marinhos o nitrato é considerado micronutrientes controlando a produção primária na superfície, pela oxidação microbiana da amónia e da remoção pelos produtores primários (Wiley, 1997).

O nitrogénio é o nutriente mais abundante na água do mar, mas está na forma de compostos inorgânicos que não são directamente utilizáveis pelos fitoplâncton e algas. O nitrogénio é convertido em formas utilizáveis por bactérias nitrificantes, que convertem a amónia em nitrito e nitrato. Os nitratos são os compostos de nitrogénio mais utilizados pelas algas e fitoplâncton (Riley, 1951).

Em geral, as concentrações de nitratos são altas em toda coluna de água e aumentam com a profundidade. Isso ocorre porque os nitratos são consumidos pelas algas e pelos microrganismos, e também são removidos da coluna de água por processos de sedimentação e adsorção (Riley, 1951; Redfield, Ketchum & Richards 1963).

2.2.3. Fósforo

O fósforo é o nutriente essencial para a produção primária. Ele é encontrado na água do mar na forma de fosfatos, que são mais utilizados pelo fitoplâncton do que outras formas de fósforo (Falkowski, Barber & Smetacek, 1998).

As concentrações de fosfatos são baixas na superfície da água e aumenta com a profundidade. (Falkowski, Barber & Smetacek, 1998).

A proveniência do fósforo em águas do mar depende das descargas fluviais, pluviais, vento e o lixiviamento da rocha mãe. A fonte de regeneração e o apodrecimento do fósforo orgânico particulado (POP) e dos animais. Alguns são excretados por bactérias e fósforo inorgânico dissolvido (DIP) e provido por hidrólises microbiana de éter do fósforo orgânico dissolvido (DOP) mas em quantidades bastantes menores (Wazer, 1973).

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).

2.3. Dinâmica de nutrientes na costa

A dinâmica de nutrientes na costa é influenciada por uma variedade de factores físicos e químicos, que incluem:

2.3.1. Maré

As marés são um importante fator que influencia a dinâmica de nutrientes nas zonas costeiras. As marés agitam os sedimentos do fundo, liberta nutrientes para a coluna de água. Além disso, as marés afectam o fluxo dos rios e estuários, que fornecem nutrientes às águas costeiras (Smith, 1995; Correll, 1985).

A mistura de nutrientes pelas marés é um processo complexo que depende de vários factores, incluindo a amplitude das marés, a velocidade das correntes e a granulometria dos sedimentos. Em geral, marés com maior amplitude e correntes mais rápidas resultam em uma maior mistura de nutrientes.

Os padrões das marés também afectam o fluxo dos rios e estuários, que fornecem nutrientes às águas costeiras. Quando as marés estão altas, a água dos rios e estuários é empurrada para o oceano. Quando as marés estão baixas, a água do oceano é empurrada para os rios e estuários. Esse fluxo de água doce pode transportar nutrientes para as águas costeiras. Os nutrientes transportados pela água doce podem ser usados por organismos bentônicos e planctônicos.

2.3.2. Temperatura

A temperatura também é um factor importante que influencia a dinâmica de nutrientes nas zonas costeiras. Temperaturas mais quentes geralmente aumentam as taxas metabólicas e a absorção de nutrientes pelos organismos. Isso pode levar a um aumento na demanda por nutrientes, o que pode resultar em uma depleção de nutrientes nas águas costeiras. Além disso, as temperaturas mais altas podem levar à estratificação da água, o que pode dificultar a mistura de nutrientes. (Smayda, 1990; Brown *et al.*, 2004).

2.3.3. Luz

Fotossíntese essencial para a produção primária, impulsionando a ciclagem de nutrientes em ecossistemas costeiros (Falkowski *et al.*, 1998). Portanto, a fotossíntese é um importante processo que liberta nutrientes para a coluna de água.

A profundidade da zona eufótica, onde a fotossíntese pode ocorrer, é influenciada pela transparência da água e pela distribuição de nutrientes. A turbulência causada pelas marés pode afectar a transparência da água, o que pode afectar a profundidade da zona eufótica (Cullen, 1991).

2.3.4. Velocidade das correntes

As correntes transportam nutrientes de uma área para outra, afectando a distribuição espacial de nutrientes nas zonas costeiras, as correntes mais rápidas transportam nutrientes mais longe, o que pode levar a uma maior disponibilidade de nutrientes em áreas distantes das fontes de nutrientes (Huthnance, 1995).

Afloramento traz águas profundas ricas em nutrientes para a superfície, alimentando a produtividade em zonas costeiras (Mann & Lazier, 2006).

2.3.5. Salinidade

A salinidade também é um factor importante que influencia a dinâmica de nutrientes nas zonas costeiras. Composição das espécies influencia nos tipos de organismos que podem prosperar nas águas costeiras, afectando a ciclagem de nutrientes (Telesh & Khlebovich, 2010).

Estratificação e densidade podem afectar o transporte e a mistura de nutrientes dentro da coluna de água (Simpson & Sharples, 2012).

2.3.6. Oxigénio dissolvido

O oxigénio é um dos elementos mais importantes na dinâmica e caracterização de ecossistemas aquáticos devido a 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 (Canfield *et al.*, 2010).

Baixos níveis de oxigénio dissolvido podem inibir a respiração e a decomposição, o que pode levar a uma depleção de nutrientes. Além disso, baixos níveis de oxigénio dissolvido podem causar hipóxia, que é a condição de falta de oxigénio na água. A hipóxia pode ter um impacto negativo nos ecossistemas costeiros. Diaz & Rosenberg, 2008).

É importante notar que esses factores interagem de maneiras complexas, criando padrões dinâmicos de disponibilidade e utilização de nutrientes nos ecossistemas costeiros.

2.4. Produtividade primária

A produtividade primária consiste na produção fotossintética de matéria orgânica a partir de elementos inorgânicos. Esta designação deve-se ao facto de incidir no primeiro nível da cadeia alimentar. A produtividade primária define-se como a quantidade de carbono inorgânico assimilado pelos organismos autotróficos (fitoplâncton) para realizarem a fotossíntese, e é expressa em unidades de massa de carbono por unidade de volume/área por unidade de tempo (hora/dia/mês/ano) (Millero, 1996).

O fitoplâncton utiliza a clorofila a (localizada nos cloroplastos) para sintetizar moléculas de oxigénio (O₂) e complexos de carbohidrato (CH₂O)_n (ex. glucose), a partir das moléculas de água (H₂O) e de dióxido de carbono (CO₂), sob a influência da luz – processo denominado fotossíntese.

2.4.1. Factores que influenciam a produtividade primária

2.4.2. Factores Físicos

✓ Radiação solar

A quantidade de luz que atinge a superfície dos sistemas aquáticos varia com a intensidade dos raios solares, dependendo da época do ano, sujeitos às condições atmosféricas (Franco, 2007).

No perfil vertical à superfície, onde a radiação solar é mais elevada a produtividade primária é relativamente baixa, sendo exibido um máximo quando é atingido um nível de radiação considerado óptimo para o processo fotossintético (Falkowski & Raven, 1997).

✓ Temperatura e Salinidade

A salinidade e a temperatura são as propriedades físicas mais importantes da água do mar, uma vez que controlam a sua densidade, a qual é responsável pela mistura vertical da água. Ainda que a temperatura não cause directamente variações na produtividade primária, tendo presente a definição de termoclina, a zona de separação entre duas camadas de água com densidades diferentes contribui para a formação/deterioração da termoclina, e dessa forma pode influenciar a menor/maior disponibilidade de nutrientes (Franco, 2007). Deste modo, pode formar-se uma barreira física que dificulta o transporte dos nutrientes presentes nas camadas mais profundas para as camadas superiores (Brown *et al.* 1989).

A salinidade varia, também, em profundidade tal como a temperatura, contribuindo para a separação de massas de água com densidades diferentes através da haloclina. A cerca de algumas

dezenas de metros de profundidade a salinidade, normalmente, é da mesma ordem de grandeza da superfície ou superior (Brown *et al.*, 1989).

2.4.3.Factores Biológicos

✓ Clorofila-a

A clorofila a é o pigmento clorofilino maioritário e universal em todos os grupos taxonómicos de algas, sendo o seu teor utilizado como índice de biomassa de fitoplâncton nas águas. Apresenta uma coloração verde porque absorve luz na região espectral dos azuis (~430 nm) e dos vermelhos (680 nm) (Kaiser *et al.*, 2005).

A clorofila-a absorve a radiação visível da luz solar (400 a 700nm) que vai proporcionar aos organismos fotossintéticos a energia necessária para sintetizar produtos orgânicos indispensáveis ao desenvolvimento das suas actividades vitais (Jeffrey, 1997). Assim, em princípio, quanto mais clorofila a existe no meio aquático maior a taxa de fotossíntese, o que implica maior produtividade primária. De uma forma geral, existe uma concentração mais elevada de clorofila-a na zona costeira (inshore) e até aos 50m de profundidade (Franco, 2007).

2.4.4.Factores Químicos

✓ Nutrientes e metais

O azoto e o fósforo são os principais elementos limitativos ao desenvolvimento da população de fitoplâncton marinho, uma vez que podem ser atingidas concentrações inferiores aos valores considerados necessários para o seu desenvolvimento: 1-2 μ M para o azoto, 0,1-0,5 μ M para o fósforo (Fisher *et al.* 1988).

Os nutrientes são utilizados essencialmente na zona eufótica, em geral até aos 100 – 200m de profundidade para zonas oceânicas e 1 – 50m para zonas costeiras (Kaiser *et al.*, 2005), sendo consumidos pelo fitoplâncton, podendo eventualmente ser limitantes da produtividade primária. Abaixo da profundidade da zona eufótica o fitoplâncton tem dificuldade em se desenvolver, já que há limitação de luz, apesar de, em geral, a concentração de nutrientes ser elevada (Franco, 2007).

CAPITULO III: Materiais e Métodos

3. Caracterização da área de estudo

O presente estudo foi realizado na costa do canal de Moçambique nomeadamente, a sub-região Norte e sub-região Centro (Figura 1). Esta região faz parte do Canal de Moçambique que localiza-se entre as latitudes 12°S e 26°S, com uma extensão de 1600 km de comprimento e sua largura varia entre 420 a 1000 km (Piton *et al.*, 1981). Ao norte é limitado pelas Ilhas Comores e ao sul está conectado ao sistema da Corrente das Agulhas (Ternon *et al.*, 2014; Salvador, 2021).

(i) Sub-região Norte, o norte do Canal de Moçambique está entre latitudes 12°S e 17°S, ao longo do ano destaca-se como o local mais quente de todo o Sudoeste do Oceano Índico (Lutjeharms, 2007), e a circulação superficial é complexa e variável, sendo dominada por vórtices de mesoescala, e com acção da circulação de larga escala do Oceano Índico. Segundo Backeberg & Reason (2010), vórtices são geralmente formados no estreitamento do canal (~16°S) entre as bacias norte e central, migrando para o sul, principalmente mais próximos a costa de Moçambique (Macuácuá, 2023).

(ii) Sub-região Centro ao longo da costa de Moçambique, está entre as latitudes 16°S e 23°S é conhecida como Banco de Sofala, apresenta a plataforma continental mais larga da costa leste Africana (Sete *et al.*, 2002), com dimensões de cerca 150 km de largura e 500 km de comprimento (Chevane *et al.*, 2016), e é caracterizada por um forte ambiente estuarino devido a drenagem de rios ao longo de sua plataforma, incluindo o rio Zambezi, o maior da região e um dos maiores do continente (Hoguane, 2007; Nehama & Reason, 2015).

Ao longo da costa de Moçambique, cerca de 80% da água doce é drenada para o oceano através do Banco de Sofala (Sete *et al.*, 2002), e só o rio Zambezi contribui com cerca de 67% do total de descarga fluvial ao longo da costa Moçambicana (Saetre & Silva, 1984), depositando matéria orgânica e nutrientes dissolvidos.

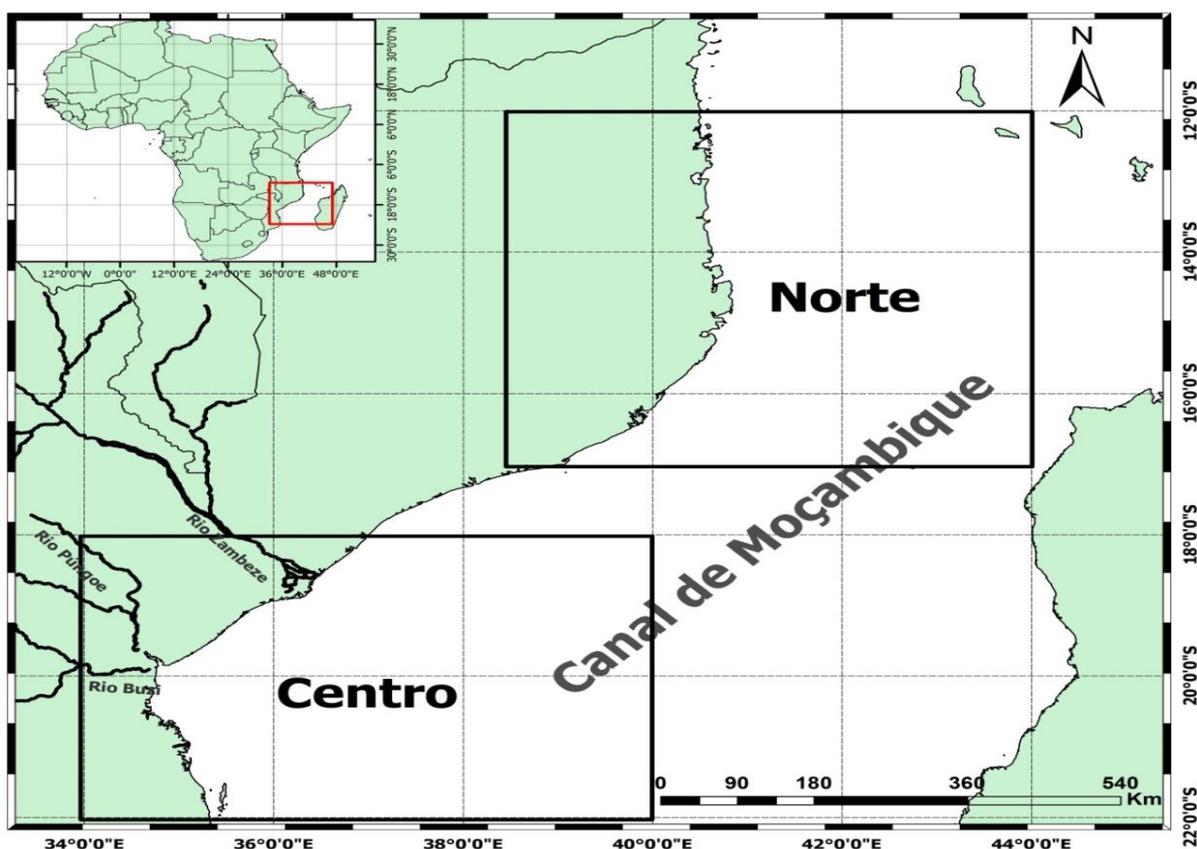


Figura 1: Descrição da área de estudo das sub-regiões norte e centro do canal de Moçambique.

3.1. Temperatura e salinidade no canal e na costa de Moçambique

As pesquisas hidrográficas conduzidas por Lutjeharms (2006) revelaram uma variação significativa nas temperaturas e salinidades das massas de água no Canal de Moçambique, situando-se entre 20°C e 30°C e entre 34 a 36 unidades de salinidade, respectivamente. Nas regiões norte e central do canal, prevalece a presença da Água do Oceano Índico Equatorial, conhecida também como Água de Superfície Tropical, caracterizada por suas elevadas temperaturas (Lutjeharms, 2006, Salvador, 2021). Ao longo das áreas costeiras, especialmente nas plataformas do Banco de Sofala, as características das massas de água se assemelham às encontradas em regiões de mar aberto, nas mesmas profundidades (Lutjeharms, 2006). No entanto, há exceções, quando o fluxo de água dos rios dilui as águas da plataforma continental, resultando em massas de água distintas (Lutjeharms, 2006).

3.2.Dados Biogeoquímicos

As variáveis biogeoquímicas analisadas neste estudo Fosfato (PO_4^{3-}), Nitrato (NO_3^-), Ferro (Fe) e Produtividade Primária (nppv) foram examinadas em toda a região norte e centro do canal de Moçambique. Esses dados foram obtidos no formato netCDF-4 do produto GLOBAL_MULTIYEAR_BGC_001_029, disponibilizado pelo Sistema de Serviço de Monitoramento do Ambiente Marinho Copernicus (CMEMS) através do acesso online (<https://marine.copernicus.eu/>). Os dados, usados possuem uma resolução espacial-Temporal de $0,25^\circ$ (~31 km) e mensal ao longo de um período de três anos (2020 a 2022).

3.3.Processamento dos dados

Os dados foram processados utilizando a linguagem de programação MATLAB® R2013b, escolhida devido à sua capacidade de manipular facilmente o formato de dados netCDF-4. O método empregado envolveu a computação de fórmulas específicas para o MATLAB, visando produzir mapas que apresentassem médias sazonais. Além disso, foi realizado um balanço entre os períodos de verão e inverno, calculando a diferença entre eles. Posteriormente, foram criadas secções verticais, gráficos para examinar a relação entre a concentração dos nutrientes e a produtividade primária e por fim calculou-se correlação de Pearson a fim de quantificar a relação existente entre as variáveis em estudo.

A análise da variação do Ferro, Nitrato, Fosfato e Produtividade Primária consistiu na identificação de padrões nos mapas de distribuição espacial ao longo de um período de três anos. Para as análises sazonais, considerou-se duas estações do ano, seleccionando dois meses para representar cada estação: Novembro e Dezembro para o verão, e Maio e Junho para o inverno. Essa abordagem permitiu uma compreensão simplificada das mudanças sazonais nos nutrientes e na produtividade primária ao longo do tempo.

Ideia central do modelo de regressão linear é determinar a recta que melhor descreve a relação entre variáveis e a dispersão dos dados. Essa recta pode ser vista como um resumo da informação presente na nuvem de pontos, e é conhecida como recta de regressão linear. Esse tipo de regressão depende de três estatísticas básicas: médias, desvio padrão e correlação. Sua formulação está disponível na linguagem de programação Matlab. A representação gráfica da recta foi calculada com base na inovação equação do modelo de regressão linear simples (Peredo, 2022; Macuácuá, 2023), que também inclui o coeficiente de correlação de Pearson.

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

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 para analisar a relação entre as variáveis em estudo (PO_4^{3-} , NO_3^- , Fe e NPPV).

Tabela 1: Resumo da descrição dos dados usados

Parâmetros	Plataformas	Produto/Versão	Resolução	
			Temporal	Espacial
Fe	CMEMS	GLOBAL	Mensal	0.25° x 0.25°
NO_3^-	CMEMS	GLOBAL	Mensal	0.25° x 0.25°
PO_4^{3-}	CMEMS	GLOBAL	Mensal	0.25° x 0.25°
Nppv	CMEMS	GLOBAL	Mensal	0.25° x 0.25°

CAPITULO IV: Resultados e Discussão

4. Distribuição espacial e sazonal dos nutrientes (Fe , NO_3^- , PO_4^{3-})

4.1. Região Norte do canal de Moçambique

A distribuição espacial e sazonal dos nutrientes (Fe , NO_3^- , PO_4^{3-}) na região norte do canal de Moçambique esta ilustrada na (figura 2). A concentração do ferro no verão foi relativamente baixa em toda a área, variando entre (0 e $2 \times 10^{-3} \mu\text{mol/m}^3$) comparativamente a do inverno que foi mais alta com valores $3 \mu\text{mol/m}^3$ indicando um influxo do nutriente durante a estação fria. O balanço mostrou déficit na região costeira em torno de -5 a $-10 \mu\text{mol/m}^3$ e excedente no mar aberto entre (0 a $5 \mu\text{mol/m}^3$) e isso indica que a concentração do ião ferro no inverno superou o verão para a região norte do Canal de Moçambique.

A concentração de nitrato também apresenta uma diferença marcante entre as estações, com valores mais altos no inverno (0,06 a $0,14 \mu\text{mol/m}^3$) e mais baixos no verão (0,02 a $0,1 \mu\text{mol/m}^3$) O balanço negativo de nitrato em quase toda a área indica que a região norte do Canal de Moçambique é um consumidor líquido de nitrato, reforçando a importância desse nutriente para a produtividade primária.

Contrariando os padrões dos outros nutrientes, o fosfato apresenta maior concentração no verão (0,12 a $0,18 \mu\text{mol/m}^3$) e menor no inverno (0,08 a $0,14 \mu\text{mol/m}^3$). O balanço positivo de fosfato em toda a área (0,02 a $0,06 \mu\text{mol/m}^3$) revela que a região norte do Canal de Moçambique atua como um reservatório líquido de fosfato, com implicações para a dinâmica biogeoquímica do Canal.

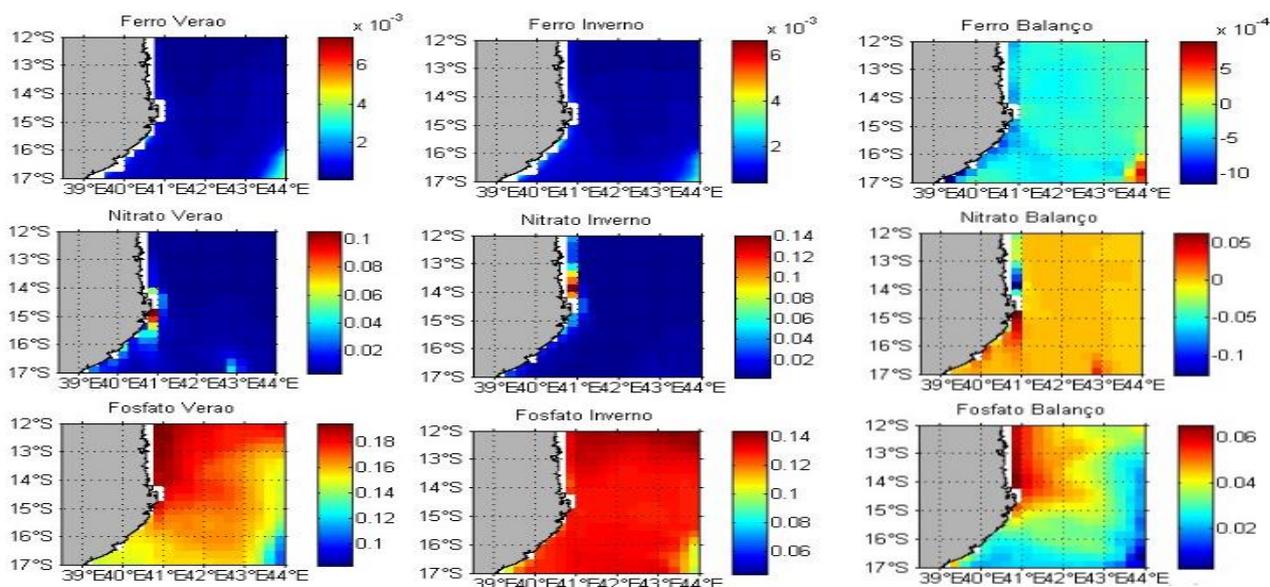


Figura 2: Distribuição dos nutrientes (Fe , NO_3^- , PO_4^{3-}) na região norte do canal de Moçambique.

4.2.Região Centro do canal de Moçambique

A figura 3 mostra a distribuição espacial e sazonal dos três nutrientes (Fe , NO_3^- e PO_4^{3-}) na região centro do canal de Moçambique. A análise comparativa da distribuição espacial de três nutrientes essenciais (ferro, nitrato e fosfato) na região centro do Canal de Moçambique durante o verão e inverno revela que a concentração de ferro apresenta sazonalidade, com valores mais altos no inverno (4 a $10 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) do que no verão (2 a $6 \mu\text{mol}/\text{m}^3$). O balanço de ferro é variável, com déficit na região costeira (-3 a $-1 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) e excedente no mar aberto ($0 \mu\text{mol}/\text{m}^3$).

A concentração de nitrato também apresenta sazonalidade, com valores mais altos no inverno (5 a $25 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) do que no verão (1 a $5 \mu\text{mol}/\text{m}^3$). Essa sazonalidade pode estar associada à entrada de água mais fria rica em nutrientes do durante o inverno. O balanço de nitrato é negativo em toda a região costeira (-20 a $-10 \mu\text{mol}/\text{m}^3$), indicando um consumo significativo do nutriente pelas algas e fitoplâncton.

A concentração de fosfato apresenta sazonalidade inversa aos outros nutrientes, com valores mais altos no verão (0,04 a $0,14 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) e mais baixos no inverno 0,02 a $0,12 \mu\text{mol}/\text{m}^3$. O balanço de fosfato é positivo em toda a área (0 a $0,1 \mu\text{mol}/\text{m}^3$), indicando que a região centro do Canal de Moçambique atua como um reservatório líquido de fosfato e nas zonas costeiras são observadas concentrações mais elevadas até $0,14 \mu\text{mol}/\text{m}^3$.

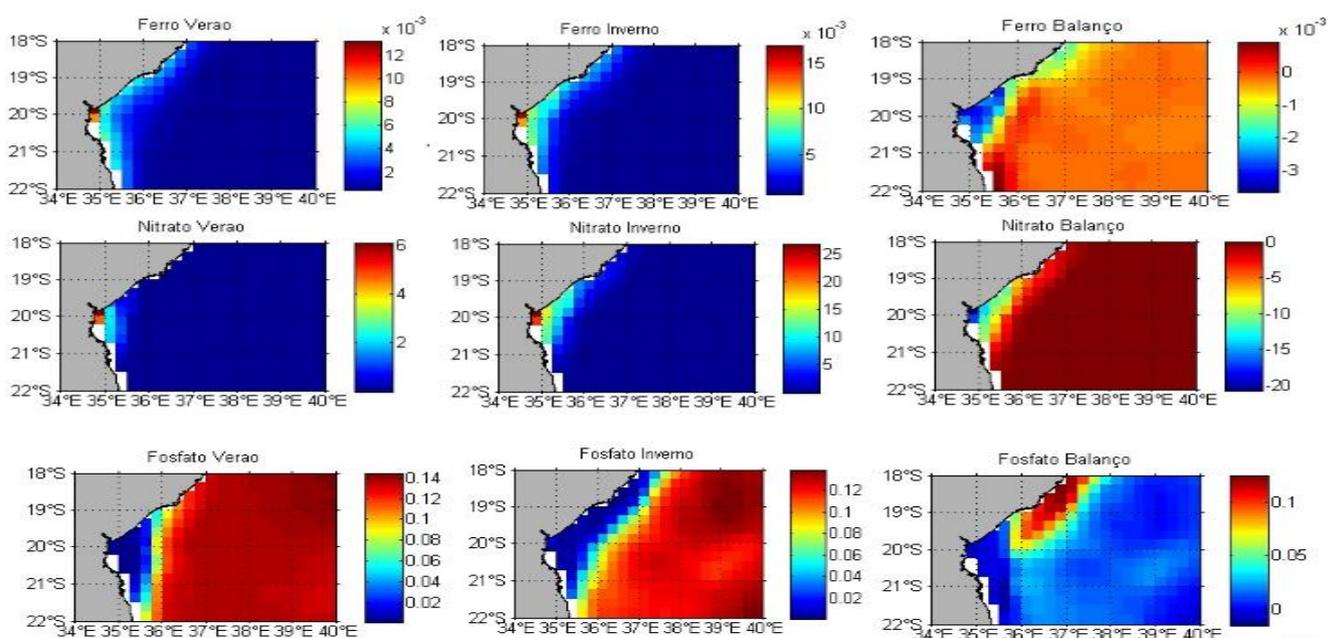


Figura 3: Distribuição espacial dos nutrientes (Fe , NO_3^- , PO_4^{3-}) na região centro do canal de Moçambique.

4.3. Distribuição Vertical dos nutrientes (Fe , NO_3^- , PO_4^{3-}) na região Norte do Canal de Moçambique

A figura 4 mostra a dinâmica da distribuição vertical dos nutrientes (Fe , NO_3^- , PO_4^{3-}). Na região norte foi caracterizada por baixas concentrações do íon Ferro no verão, com um valor de $1,2 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ na superfície em profundidade de 0 a 30m. E no inverno foram observadas altas concentrações aproximadamente de $2 \mu\text{mol}/\text{m}^3$, especialmente nas camadas mais profundas com uma distância de 0 a 40m de profundidade.

As concentrações de nitrato no verão foram relativamente alta em toda a coluna de água, variando entre 5 a $18 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ em profundidades que variam entre 40 a 550m, e no inverno foi caracterizado por uma concentração mais alta entre 5 e $20 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ em profundidades entre 70 a 550m para a região norte. Em relação ao fosfato, nas duas estações foram caracterizadas pela baixa concentração de fosfato na superfície com valores abaixo de $0,2 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ observou-se valores mais altos em torno de $1,4 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ nas zonas profundas de 500m.

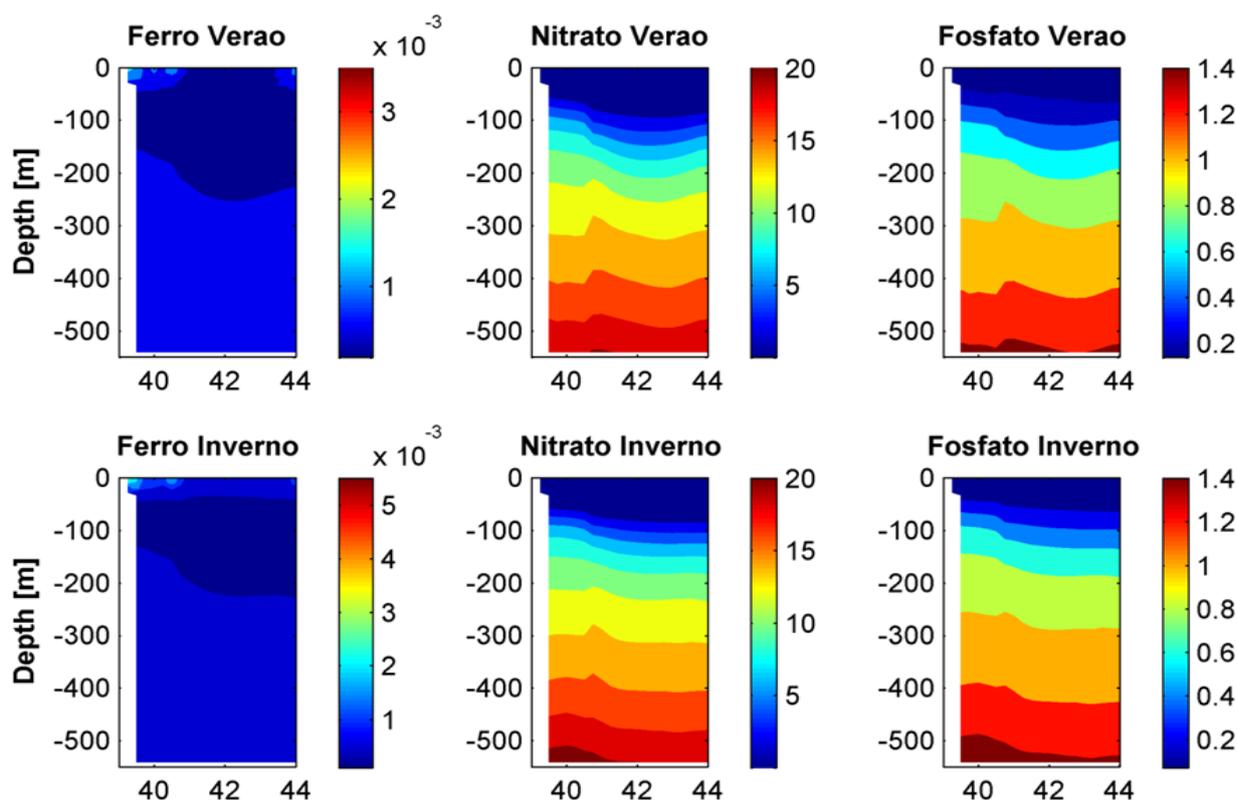


Figura 4: Distribuição vertical dos nutrientes (Fe , NO_3^- , PO_4^{3-}) na região norte do canal de Moçambique.

4.4. Distribuição Vertical dos nutrientes (Fe , NO_3^- , PO_4^{3-}) na região Centro do Canal de Moçambique

Na região centro foi caracterizada por baixas concentrações de ferro no verão em toda a coluna de água, variando entre 4 e $12 \mu\text{mol}/\text{m}^3$. E a concentração de ferro no inverno foi mais alta do que no verão, especialmente nas camadas mais profundas, variando entre 6 e $14 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ (Figura 5). Nesta secção as concentrações na superfície variam de 0 a 60m de profundidade, diminuindo conforme a profundidade aumenta.

A concentração de nitrato no verão foi relativamente baixa em toda a coluna de água, variando entre 5 e $15 \mu\text{mol}/\text{L}$ com profundidades entre 0 a 500m. Portanto, para o inverno a concentração de nitrato na superfície foi alta, variando entre 5 e $20 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ até 10m de profundidade e continuam a variar com a profundidade até atingir 95m. A partir de uma profundidade de 100m até 500m, as concentrações aumentam, atingindo cerca de $17 \mu\text{mol}/\text{m}^3$.

A concentração superficial e profunda do fosfato que foi similar à região norte com valores abaixo de $0,2 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ e $1,4 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ respectivamente.

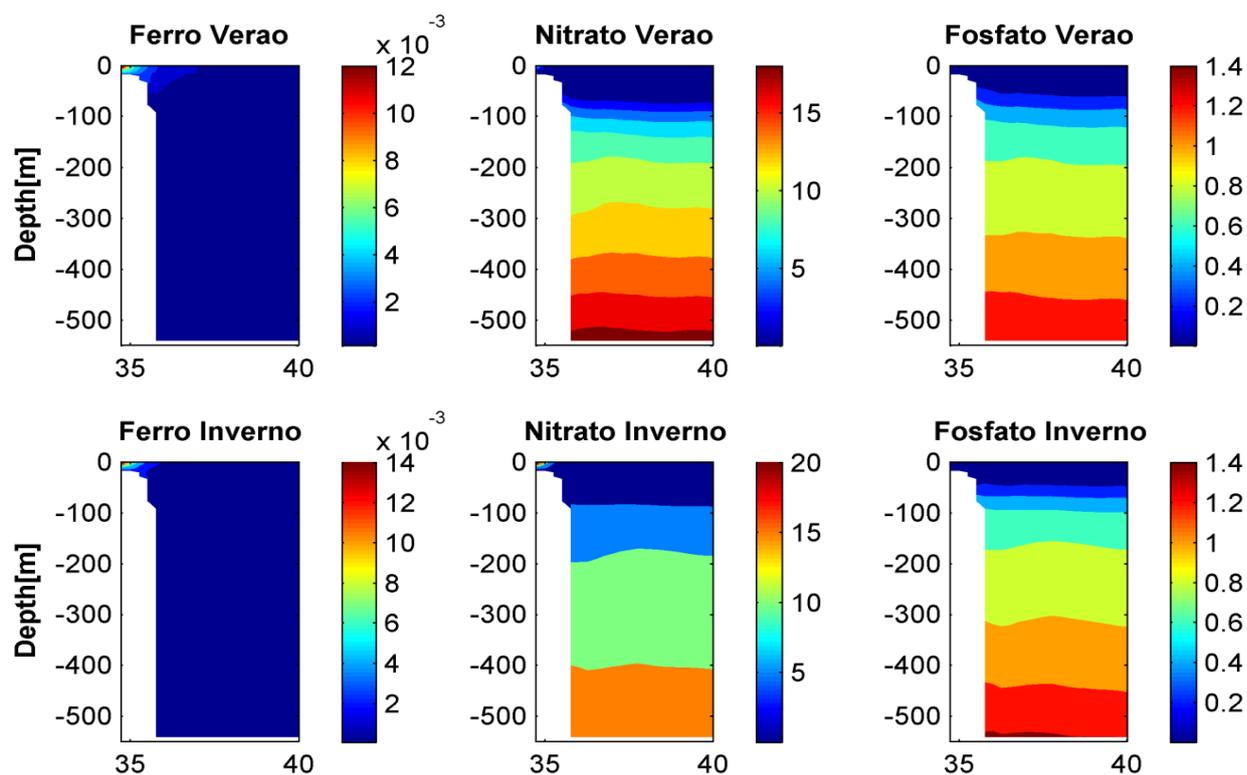


Figura 5: Distribuição vertical dos nutrientes (Fe , NO_3^- , PO_4^{3-}) na região Centro do canal de Moçambique.

4.5. Produtividade primária na região Norte e Centro do Canal de Moçambique

A figura 5 mostra a distribuição espacial e sazonal da produtividade primária na região norte e centro do Canal de Moçambique. No verão, a distribuição da produtividade primária (nppv) na região norte do canal de Moçambique, apresentam baixas concentrações que variam de 5 – 15 $\text{mgC/m}^3/\text{h}$, Entretanto, no inverno foram observadas altas concentrações da produtividade primária na região costeira quando comparado ao verão com baixas concentrações, variando entre de 10 – 30 $\text{mgC/m}^3/\text{h}$, nota-se que nas latitudes [12 – 17] °S e longitudes de [39 - 41] °E. A distribuição é mais diferenciada, com áreas de maior concentração no extremo norte e no sul da região nas latitudes entre [13 – 14] °S e longitudes de [40 – 41] °E

Em relação a zona centro, a concentração da produtividade primária foi mais alta em comparação a região norte. Observou-se baixa concentração no verão, variando entre 20 - 40 $\text{mgC/m}^3/\text{h}$ nas latitudes [18 – 21] °S e longitudes de [35 – 36] °E. A distribuição é diferenciada ao longo da costa, com áreas de maior concentração no norte e no sul da região. No inverno a concentração da nppv foi maior, com valores variando entre 20 e 80 $\text{mgC/m}^3/\text{h}$ a, com áreas de maior concentração entre as latitudes [19 – 21] °S e longitudes de [35 – 36] °E. O balanço mostrou-se variável nas duas regiões com deficit na região costeira e excedentes no mar aberto.

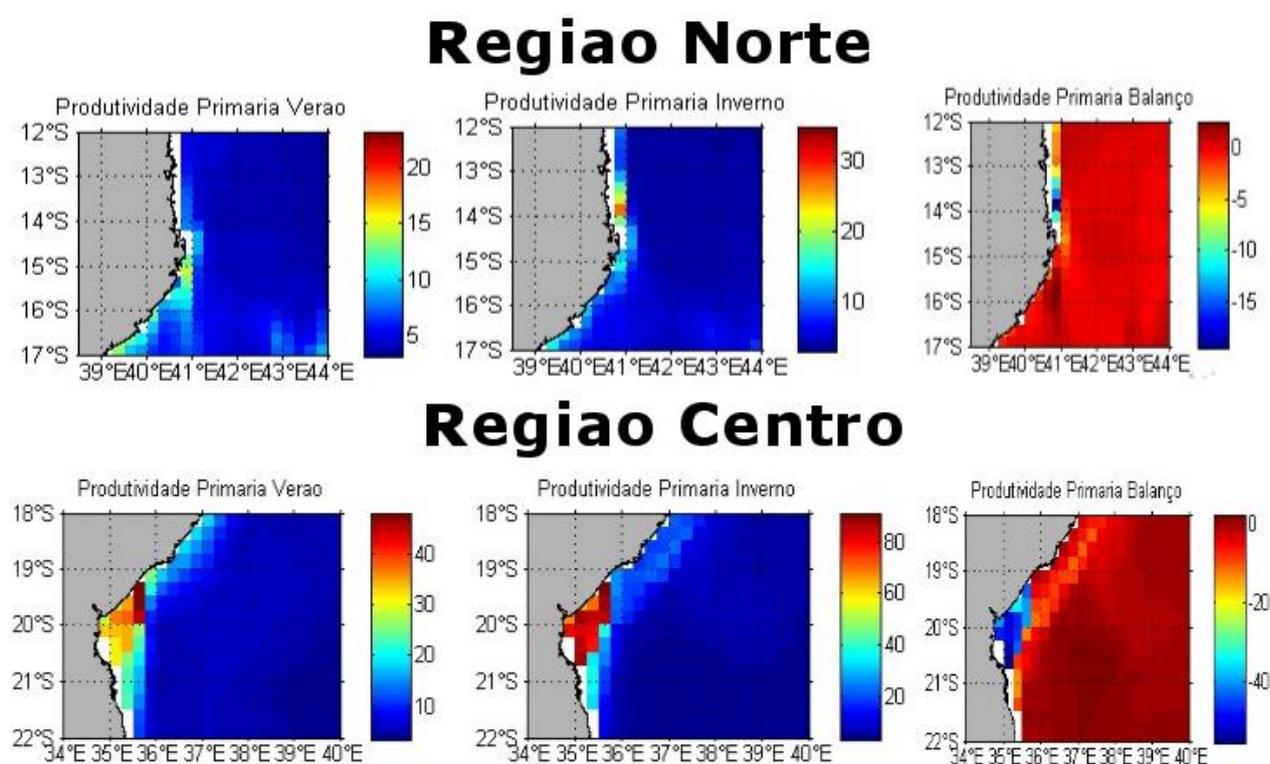


Figura 6: Distribuição espacial de produtividade primária na região norte e centro do canal de Moçambique.

4.5.1. Relação entre os nutrientes (Fe , NO_3^- , PO_4^{3-}) e a produtividade primária na região Norte e Centro do Canal de Moçambique

4.5.2. Região Norte do Canal de Moçambique

A variação da produtividade primária (NPPV) e ferro foi caracterizado por oscilações dos picos máximos e mínimos numa correlação desfaseada ao longo do ano (Figura 7), isto é, os picos máximos de produtividade primária observados nos meses de Outubro ($\sim 10 \text{ mgC/m}^{-3}/\text{h}$) Setembro ($\sim 10 \text{ mgC/m}^{-3}/\text{h}$), Outubro ($\sim 10 \text{ mgC/m}^{-3}/\text{h}$) são antecedidos pelos picos de concentração de ião ferro observados nos meses Junho ($12 \times 10^4 \text{ mgC/m}^{-3}/\text{h}$) Setembro ($12 \times 10^4 \text{ mgC/m}^{-3}/\text{h}$) e Junho (10 mgC/m^{-3}) respectivamente. A correlação linear entre o ferro e nppv revelou-se fraca e negativa ($r = -0.42$, Figura 9, anexo I), quer dizer que as variações do aumento de concentração de ferro ocorrem com tendências de diminuição da produtividade primária e vice-versa.

A variação do nitrato versus a NPPV, mostra que há uma influência directa das flutuações de concentração do nitrato sobre a produtividade primária (Figura 7). A correlação linear entre nitrato e nppv mostrou-se positiva e alta ($r: 80$, Figura 9, anexo I), quer dizer, quando a concentração do nitrato aumenta ou diminui, a nppv também tendem a incrementar ou decrescer e, atingem os picos máximos e mínimos na mesma fase. Os picos máximos foram de ($0.03 \mu\text{mol/m}^3$), ($0.02 \mu\text{mol/m}^3$), ($0.01 \mu\text{mol/m}^3$), observados nos meses de Setembro, Dezembro e Dezembro correspondente também aos picos máximos de nppv com valores de ($10 \text{ mgC/m}^{-3}/\text{h}$), ($10 \text{ mgC/m}^{-3}/\text{h}$), ($10 \text{ mgC/m}^{-3}/\text{h}$), nos meses de Outubro, Setembro e Outubro.

A variação do fosfato e a produtividade primária ilustra dependência directa proporcional das oscilações dos picos de concentrações do fosfato e a produtividade primária (Figura 7). A correlação linear entre fosfato e nppv mostrou-se positiva, porém, nula ($r: 0,20$, Figura 9, anexos I) isto é, com o aumento ou diminuição da concentração do fosfato, a produtividade primária tende a crescer ou decrescer nos mesmos pontos. Contudo os picos máximos foram de ($0.2 \mu\text{mol/m}^3$), ($0,15 \mu\text{mol/m}^3$) e ($0,2 \mu\text{mol/m}^3$) resultantes em Janeiro, Fevereiro e Dezembro correspondentes de igual modo aos da produtividade primária com valores de ($10 \text{ mgC/m}^{-3}/\text{h}$), ($10 \text{ mgC/m}^{-3}/\text{h}$), ($5 \text{ mgC/m}^{-3}/\text{h}$) verificados nos meses de Outubro, Setembro e Outubro.

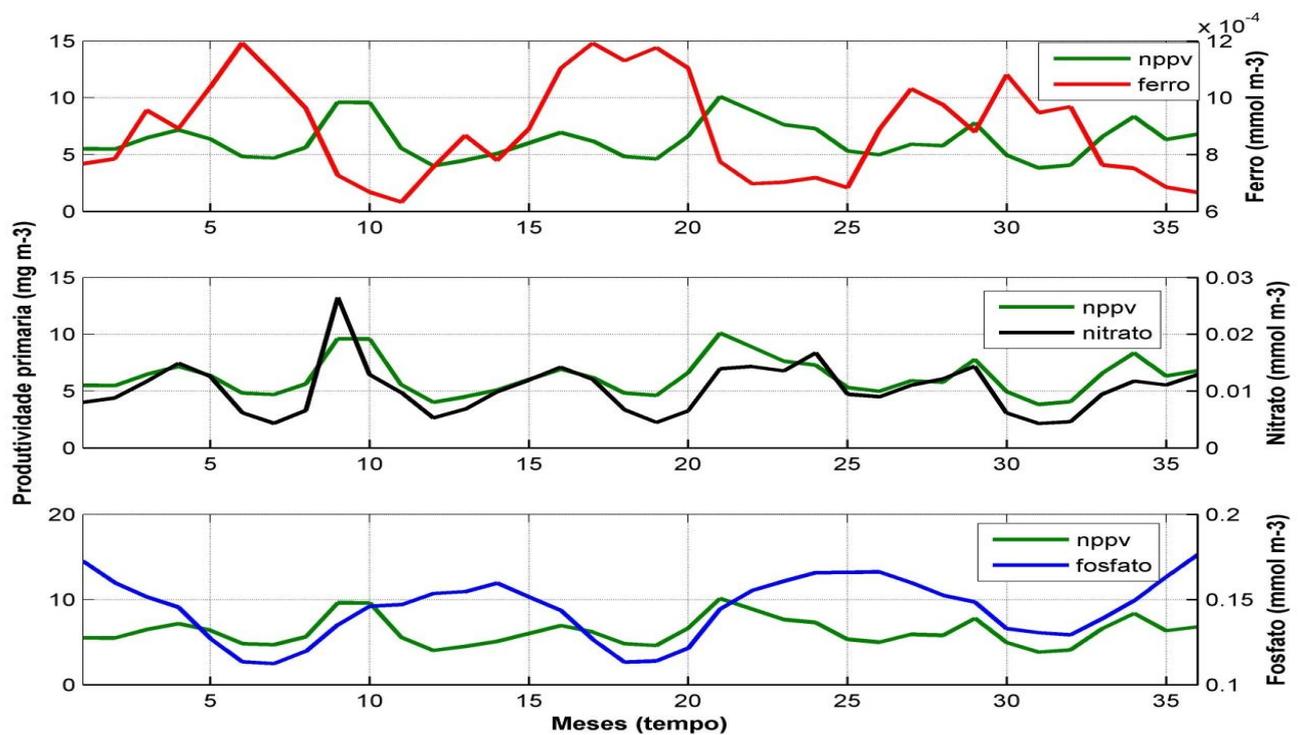


Figura 7: Relação entre os nutrientes (ferro, nitrato, fosfato) e a produtividade primária na região norte do canal de Moçambique.

4.5.3.Região Centro do Canal de Moçambique

As variações de concentrações de ferro e nppv, indica uma influência das variações de concentrações do ferro sobre nppv, os picos máximos foram de ($2.5 \mu\text{mol}/\text{m}^3$), ($2.5 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) e ($2.5 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) resultantes nos meses de Março, Maio e Junho, correspondentes aos picos máximos de nppv com valores de ($28 \text{ mgC}/\text{m}^3/\text{h}$), ($25 \text{ mgC}/\text{m}^3/\text{h}$), ($20 \text{ mgC}/\text{m}^3/\text{h}$), observados nos meses de Março, Abril e Novembro (Figura 8). A correlação linear entre ferro e nppv revelou-se positiva moderada ($r: 0,66$ Figura, 9, anexo I). Isso significa que um aumento na concentração de ferro está associado a um aumento significativo na produtividade primária.

Por outro lado, a variação entre o nitrato e nppv, demonstra uma variação directamente proporcional, onde a concentração do nitrato aumenta e diminui, a produtividade também aumenta ou diminui no mesmos picos, os valores do pico máximo foram de ($2.5 \mu\text{mol}/\text{m}^3$), ($2.5 \mu\text{mol}/\text{m}^3$), ($2.5 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) nos meses de Março, Maio e Maio, e os picos máximos correspondentes nppv com valores de ($28 \text{ mgC}/\text{m}^3/\text{h}$), ($25 \text{ mgC}/\text{m}^3/\text{h}$), ($20 \text{ mgC}/\text{m}^3/\text{h}$), nos meses de Março, Abril e Novembro (Figura 8). A correlação entre nitrato e nppv mostrou-se positivo e alta ($r: 0,75$ Figura 9, anexo I).

A variação do fosfato e nppv, não mostra uma influência na oscilação de concentrações do fosfato sobre a nppv, isto é, mostra uma variação inversamente proporcional (Figura 8). Os picos máximos

foram de $(0,1 \mu\text{mol}/\text{m}^3)$, $(0,1 \mu\text{mol}/\text{m}^3)$ e $(0,12 \mu\text{mol}/\text{m}^3)$ nos meses de Outubro, Maio e Dezembro. Os picos máximos da nppv resultantes nos meses de Março ($28 \text{ mgC}/\text{m}^3/\text{h}$), Abril ($28 \text{ mgC}/\text{m}^3/\text{h}$) e Novembro ($20 \text{ mgC}/\text{m}^3/\text{h}$). A correlação entre fosfato e nppv revelou-se negativa e nula ($r: -0,18$ Figura 9, anexo I). Os picos máximos de concentração de ferro (Março, Maio e Junho), nitrato (Março, Maio e Maio) e fosfato (Outubro, Maio e Dezembro) podem estar relacionados a eventos sazonais, como mudanças na circulação oceânica e padrões de precipitação, a disponibilidade de nutrientes de fontes terrestres e processos de mistura oceânica, e padrões de escoamento fluvial.

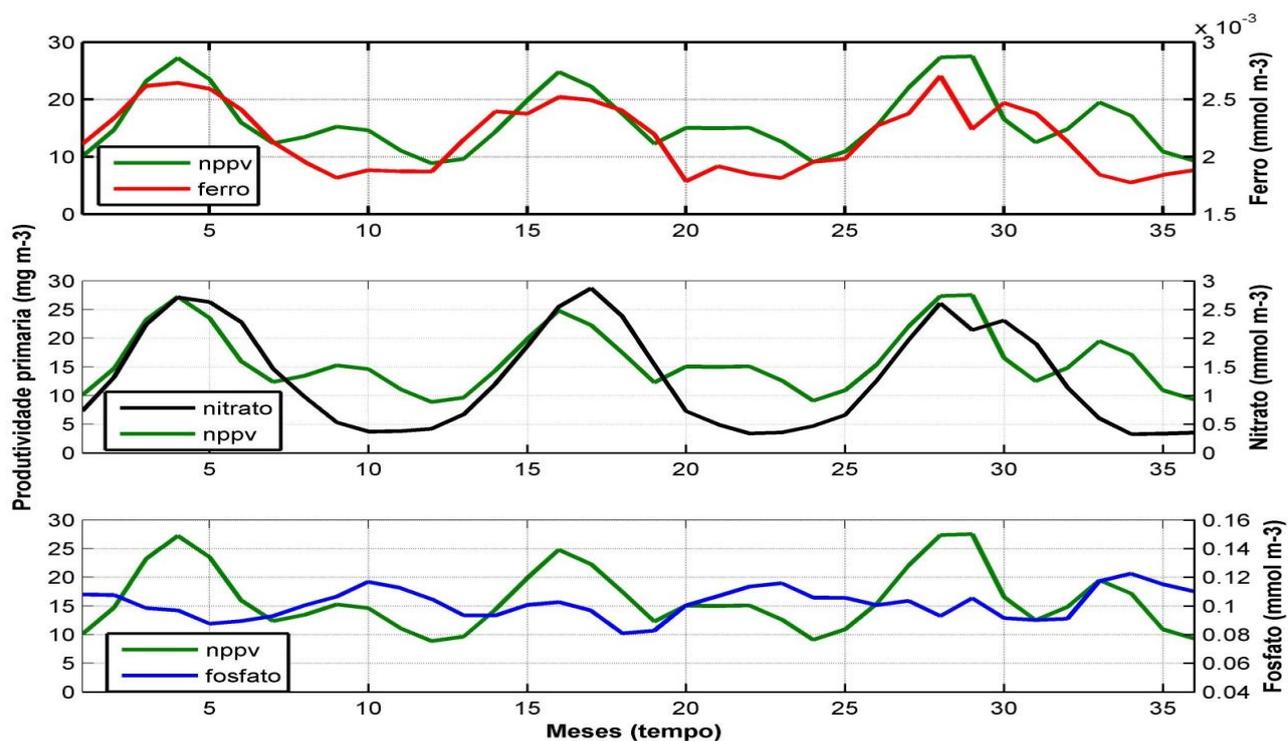


Figura 8: Relação entre os nutrientes (ferro, nitrato, fosfato) e a produtividade primária na região centro do canal de Moçambique.

Capítulo V: Discussão dos resultados

A maior concentração de ferro no inverno ($3\mu\text{mol}/\text{m}^3$) em comparação ao verão ($2 \times 10^{-3} \mu\text{mol}/\text{m}^3$) na região norte do canal de Moçambique corrobora com os achados de Smith *et al.* (2014) e Ragueneau *et al.* (2000), que observaram um influxo similar de ferro durante o inverno no Canal de Moçambique. E, o balanço negativo de ferro na região costeira ($-5 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) indica um consumo significativo do nutriente por algas e fitoplâncton, corroborando com a importância do ferro para a produtividade biológica marinha, conforme destacado por Morel *et al.* (1991) e Boyd *et al.* (2007).

A maior concentração de nitrato no inverno ($0,06-0,14 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) em comparação ao verão ($0,02-0,04 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) na região norte do canal de Moçambique é consistente com os resultados de Lomas *et al.* (2013) e Duce *et al.* (2008), que também observaram um aumento de nitrato no inverno no Canal de Moçambique, e o balanço negativo de nitrato em toda a área ($-0,1$ a $0,05 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) confirma que a região norte do Canal de Moçambique é um consumidor líquido de nitrato, reforçando a importância desse nutriente para a produtividade primária, como descrito por Ryther & Dunstan (1971) e Eppley & Peterson (1979).

A maior concentração de fosfato no verão ($0,12-0,18 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) e menor no inverno ($0,08-0,14 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) na região norte do canal de Moçambique, diverge dos padrões dos outros nutrientes e contradiz os resultados de Sverdrup *et al.* (1953) e Chen *et al.* (2011), que observaram concentrações mais altas de fosfato no inverno em outras regiões costeiras. Durante o verão, a região norte é influenciada por monções e ventos que podem alterar as correntes oceânicas e os padrões de circulação da água. Essas mudanças podem resultar em fenômenos como o upwelling, que traz águas ricas em nutrientes, incluindo fosfatos, das profundezas para a superfície (Langa, 2018). Na região Norte do Canal de Moçambique, a cerca de 17°S de latitude, também verifica-se ressurgência costeira associada aos ventos de Norte a Nordeste durante o verão (Malauene *et al.*, 2014).

A sazonalidade da concentração de ferro, com valores mais altos no inverno ($4-10 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) é mais baixo no verão ($2-6 \mu\text{mol}/\text{m}^3$), é consistente com os achados de Smith *et al.* (2014) e Ragueneau *et al.* (2000), que também observaram um influxo de ferro durante o inverno no Canal de Moçambique. O balanço variável de ferro, com déficit na costa (-3 a $-1 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) e excedente no mar aberto (1 a $3 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) no verão, e déficit persistente na costa (-1 a $1 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) e excedente aumentado no oceano aberto (2 a $4 \mu\text{mol}/\text{m}^3$) no inverno, indica uma dinâmica complexa de ferro

na região centro. Essa dinâmica pode ser explicada por processos como advecção, afloramento, precipitação e remineralização, que precisam ser investigados em mais detalhes.

A sazonalidade da concentração de nitrato, com valores mais altos no inverno (5-25 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$) e mais baixos no verão (5 a 15 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$), é similar à observação de Lomas *et al.* (2013) e Duce *et al.* (2008) no Canal de Moçambique. Essa sazonalidade pode estar associada à entrada de água rica em nutrientes do Oceano Índico durante o inverno. O balanço negativo de nitrato em toda a região costeira (-20 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$ no verão e -10 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$ no inverno) confirma que a região centro do Canal de Moçambique é um consumidor líquido de nitrato, reforçando a importância desse nutriente para a produtividade primária, como descrito por Ryther & Dunstan (1971) e Eppley & Peterson (1979). O balanço positivo no mar aberto (0 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$ no verão e 5 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$ no inverno) evidencia a entrada de nitrato do Oceano Índico.

A sazonalidade inversa da concentração de fosfato, com valores mais altos no verão (0,04 a 0,14 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$) e mais baixos no inverno (0,02 a 0,12 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$), difere do padrão observado para ferro e nitrato. Essa sazonalidade pode ser explicada pela descarga de rios e pela decomposição de matéria orgânica, processos mais intensos durante o verão, conforme descrito por Sverdrup *et al.* (1953) e Chen *et al.* (2011). O balanço positivo de fosfato em toda a área (0,1 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$ no verão e 0 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$ no inverno) indica que a região centro do Canal de Moçambique atua como um exportador líquido de fosfato. As concentrações mais elevadas na zona costeira (até 0,14 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$) podem ser explicadas pela descarga de rios e pela remineralização de matéria orgânica.

No verão, a NPPV na região norte do Canal de Moçambique apresenta baixas concentrações, variando entre 5 e 15 $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{h}$. Esse padrão pode ser atribuído à menor disponibilidade de nutrientes na superfície devido à estratificação térmica, que é mais pronunciada no verão. A menor presença de vórtices de mesoescala no norte, em comparação com a região central, também pode limitar a ressurgência de nutrientes das camadas mais profundas (Langa, 2018).

No inverno, observa-se um aumento significativo na produtividade primária na região costeira, com concentrações variando entre 10 e 30 $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{h}$. Esse aumento pode ser explicado pela maior mistura vertical induzida pelo estresse do vento e pela perda de calor, que aprofundam a camada de mistura e trazem nutrientes das camadas inferiores para a superfície (Langa, 2018). As latitudes entre 12°S e 17°S e longitudes entre 39°E e 41°E mostram uma distribuição mais heterogênea, com áreas de maior concentração tanto no extremo norte quanto no sul da região, como observado por Smith *et al.* (2014) e Lomas *et al.* (2013).

A região central do Canal de Moçambique exhibe concentrações de NPPV mais altas em comparação com a região norte. No verão, as concentrações variam entre 20 e 40 mgC/m³/h nas latitudes entre 18°S e 21°S e longitudes entre 35°E e 36°E. A distribuição diferenciada ao longo da costa, com áreas de maior concentração no norte e sul da região, sugere que os processos de advecção e os vórtices de mesoescala têm um papel significativo no transporte de nutrientes e na sustentação da produtividade biológica (Langa, 2018).

No inverno, a concentração de nppv na região central aumenta ainda mais, variando entre 20 e 80 mgC/m³/h. Essa alta concentração pode ser explicada devido a presença intensa de vórtices de mesoescala no inverno promove uma maior ressurgência de águas ricas em nutrientes, que são posteriormente advectadas para a superfície, aumentando a produtividade primária (Langa, 2018). A distribuição mais diferenciada, com áreas de maior concentração no norte da região, pode ser atribuída à influência das correntes marítimas, à actividade biológica local e à descarga de rios, como descrito por Milliman & Farnsworth (1990) e Cole *et al.* (1993).

O balanço de nutrientes mostra-se variável nas duas regiões, com um déficit na região costeira e excedentes no mar aberto. Esse padrão é consistente com os resultados observado por Langa (2018), com a descrição dos processos oceanográficos, onde a mistura vertical e a advecção de nutrientes são mais efectivas no mar aberto devido à actividade dos vórtices de mesoescala.

A concentração de ferro no verão é baixa, com um valor de 1,2 µmol/m³ na superfície em torno de 0 a 30m de profundidade. Essa baixa concentração pode ser explicada pela baixa entrada de ferro do Oceano Índico durante o verão, pela alta temperatura da água, que pode levar à precipitação do ferro, e pela assimilação do ferro pelo fitoplâncton, como descrito por Bruland *et al.* (1994) e Morel *et al.* (1991).

A concentração de ferro no inverno é alta, com valores de até 2 µmol/m³, especialmente nas camadas mais profundas (0 a 40m de profundidade). Essa alta concentração pode ser explicada pela maior entrada de ferro do Oceano Índico durante o inverno, pela menor temperatura da água, que pode manter o ferro dissolvido, e pela remineralização do ferro na coluna de água, como descrito por Ragueneau *et al.* (2000) e Boyd *et al.* (2007).

A concentração de nitrato no verão é relativamente alta em toda a coluna de água, variando entre 5 e 18 µmol/L com profundidades entre 40 e 500m. Essa alta concentração pode ser explicada pela entrada de nitrato do Oceano Índico e pela remineralização do nitrato na coluna de água, como descrito por Lomas *et al.* (2013) e Duce *et al.* (2008). A concentração de nitrato no inverno é similar à do verão, com valores entre 5 e 20 µmol/L em profundidades entre 70 e 500m. Essa

similaridade pode ser explicada pela entrada de nitrato do Oceano Índico, que compensa a assimilação do nitrato pelo fitoplâncton durante o inverno.

A concentração de fosfato na superfície é baixa ($<0,2 \mu\text{mol/m}^3$) em ambas as estações, indicando a limitação de fosfato como nutriente essencial para o fitoplâncton na superfície. Essa limitação pode ser explicada pela assimilação do fosfato pelo fitoplâncton e pela baixa entrada de fosfato do Oceano Índico, como descrito por Sverdrup *et al.* (1953) e Chen *et al.* (2011).

A concentração de fosfato no fundo é alta ($1,4 \mu\text{mol/m}^3$) em ambas as estações, sugerindo a adsorção de fosfato em partículas sedimentares e sua remineralização no fundo do oceano. Essa alta concentração pode ser explicada pela deposição de partículas sedimentares ricas em fosfato, pela remineralização do fosfato na coluna de água e pela entrada de fosfato do sedimento para a coluna de água, como descrito por Milliman & Farnsworth (1990) e Cole *et al.* (1993). A distribuição estratificada da concentração de fosfato evidencia a importância da dinâmica de sedimentação e remineralização na disponibilidade do nutriente. Essa dinâmica pode ser influenciada por diversos factores, como a temperatura da água, a salinidade, a oxigenação da coluna de água e a actividade biológica, como descrito por Van Cappellen & Ingall (1996) e Ruttenberg (2003).

A concentração de ferro no verão foi baixa em toda a coluna de água, variando entre 4 e $12 \mu\text{mol/m}^3$. Essa baixa concentração pode ser explicada pela baixa entrada de ferro do Oceano Índico durante o verão, pela alta temperatura da água, que pode levar à precipitação do ferro, e pela assimilação do ferro pelo fitoplâncton. A concentração de ferro no inverno é mais alta do que no verão, especialmente nas camadas mais profundas, variando entre 6 e $14 \mu\text{mol/m}^3$. Essa alta concentração pode ser explicada pela maior entrada de ferro do Oceano Índico durante o inverno, pela menor temperatura da água, que pode manter o ferro dissolvido, e pela remineralização do ferro na coluna de água.

Os resultados da distribuição vertical de ferro na região centro de Moçambique são semelhantes aos encontrados por Bruland *et al.* (1994) e Morel *et al.* (1991) em outras regiões do Oceano Índico. Bruland *et al.* (1994): Observaram concentrações de ferro no verão semelhantes às do presente estudo ($1-2 \mu\text{mol/m}^3$) na superfície do Oceano Índico. No entanto, as concentrações no inverno foram ligeiramente mais baixas ($1-4 \mu\text{mol/m}^3$) do que as observadas no presente estudo ($2-6 \mu\text{mol/m}^3$). Morel *et al.* (1991), encontraram concentrações de ferro na superfície do oceano comparáveis às do presente estudo ($0-2 \mu\text{mol/m}^3$).

A concentração de nitrato no verão foi relativamente baixa em toda a coluna de água, variando entre 5 a 15 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$. Essa baixa concentração pode ser explicada pela baixa entrada de nitrato do Oceano Índico durante o verão, pela alta temperatura da água, que pode levar à desnitrificação, e pela assimilação do nitrato pelo fitoplâncton. A concentração de nitrato na superfície no inverno foi alta, com valores entre 5 a 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$ até 10m de profundidade. Essa alta concentração pode ser explicada pela maior entrada de nitrato do Oceano Índico durante o inverno. A partir de 100m de profundidade, as concentrações aumentam, atingindo cerca de 17 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$. Essa similaridade pode ser explicada pela entrada de nitrato do Oceano Índico, que compensa a assimilação do nitrato pelo fitoplâncton durante o inverno.

Os resultados da distribuição vertical de nitrato na região centro de Moçambique são semelhantes aos encontrados por Lomas *et al.* (2013) e Duce *et al.* (2008) em outras regiões do Oceano Índico. Lomas *et al.* (2013) observaram concentrações de nitrato no verão semelhantes às do presente estudo (5-10 $\mu\text{mol}/\text{L}$) na superfície do Oceano Índico. As concentrações no inverno foram ligeiramente mais altas (10-15 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$) do que as observadas no presente estudo (5-20 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$).

Duce *et al.* (2008), Estimaram que a deposição de nitrogénio atmosférico no Oceano Índico contribui significativamente para a entrada de nitrato na região, o que é consistente com os resultados do presente estudo.

A concentração superficial e profunda do fosfato foi similar à região norte com valores abaixo de 0,2 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$ e 1,4 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$ respectivamente. Essa similaridade pode ser explicada pela dinâmica de sedimentação e remineralização de fosfato, que é similar em ambas as regiões. Os resultados da distribuição vertical de fosfato na região centro de Moçambique são semelhantes aos encontrados por Sverdrup *et al.* (1953), Chen *et al.* (2011), Milliman & Farnsworth (1990) e Cole *et al.* (1993) em outras regiões do Oceano Índico.

O modelo de Sverdrup *et al.* (1953) prediz a concentração de fosfato em diferentes profundidades do oceano. Na região norte de Moçambique, os dados do presente estudo estão em concordância geral com o modelo, com baixas concentrações superficiais, aumento da concentração com a profundidade e um máximo em torno de 50-100m.

Chen *et al.* (2011) observaram uma distribuição vertical de fosfato similar à do presente estudo no Mar da China Oriental. A principal semelhança foi a concentração superficial ligeiramente mais alta no Mar da China Oriental (0,2 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$) em comparação com a região norte de Moçambique (<0,1 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$).

Milliman & Farnsworth (1990) estudaram a dinâmica de sedimentação e remineralização de fosfato no Oceano Atlântico. Seus resultados são consistentes com os do presente estudo, indicando que a remineralização de fosfato no fundo do oceano contribui significativamente para a disponibilidade do nutriente na coluna de água. Cole *et al.* (1993) analisaram a influência do rio Amazonas na distribuição de nutrientes no Oceano Atlântico. Seus resultados sugerem que a descarga de rios pode influenciar a concentração de fosfato na região costeira, o que pode ser relevante para a região norte e centro de Moçambique, que também é influenciada por rios.

Na região norte, a correlação negativa fraca ($r = -0.42$) indica que, embora exista uma tendência de que um aumento na concentração de ferro possa levar a uma diminuição na produtividade primária, essa relação não é forte. Isso pode ser devido a outros factores ambientais ou biológicos que também influenciam a produtividade primária. A desfasagem observada sugere que o pico de ferro não coincide directamente com o pico de NPPV, o que pode indicar que o ferro não é o único fator limitante para a produtividade primária ou que há um atraso no tempo de resposta da produtividade primária após um aumento na disponibilidade de ferro. Bruland *et al.* (1994) observaram uma relação negativa semelhante no Oceano Índico, indicando que o ferro não era limitante na região. Morel *et al.* (1991) explicaram que o fitoplâncton do Pacífico Equatorial é adaptado a baixas concentrações de ferro, enquanto Boyd *et al.* (2007) mostraram que a adição de ferro aumentou a produtividade no Oceano Austral, sugerindo variações regionais na limitação por ferro. Sunda & Huntsman (1995) também identificaram a limitação de ferro na produção de clorofila e fotossíntese no Pacífico Norte.

A forte correlação positiva e alta ($r = 0.80$) entre nitrato e NPPV sugere que o nitrato é um fator importante para a produtividade primária na área estudada. Os picos de nitrato e NPPV ocorrendo na mesma fase indicam uma relação directa e imediata, onde um aumento na concentração de nitrato leva a um aumento na produtividade primária. Isso é esperado, pois o nitrato é um nutriente essencial para o crescimento das plantas e algas, que são os principais contribuintes para a produtividade primária em ecossistemas aquáticos. Lomas *et al.* (2013) e Duce *et al.* (2008) corroboraram a importância do nitrato para o crescimento do fitoplâncton, destacando que a deposição atmosférica de nitrogénio contribui significativamente para a produtividade no Oceano Índico.

A correlação positiva e nula ($r = 0.20$) entre fosfato e NPPV sugere que, embora o fosfato possa influenciar a produtividade primária, sua influência é menos significativa do que a do nitrato. Isso pode ser devido à disponibilidade de fosfato ser menos limitante ou a outros factores que também

afectam a produtividade primária. Os picos de fosfato e NPPV não são tão sincronizados quanto os do nitrato, o que pode indicar que o fosfato não é tão imediatamente disponível ou utilizado pelos organismos primários quanto o nitrato. Sverdrup *et al.* (1953) e Chen *et al.* (2011) confirmaram que o fosfato é essencial para a fotossíntese e o crescimento do fitoplâncton.

Na região centro, a correlação positiva moderada ($r = 0,66$) sugere que o ferro tem um papel significativo na produtividade primária. Os picos de ferro precedendo os picos de NPPV podem indicar que o ferro é um fator limitante para a produtividade primária, e que após sua disponibilidade aumentar, há um efeito subsequente no crescimento da biomassa. (Morel *et al.*, 1991). O ferro é essencial para a produção de clorofila e fotossíntese, por consequente em baixas concentrações limita o crescimento do fitoplâncton. Essa explicação é consistente com os estudos de Bruland *et al.* (1994) e Morel *et al.* (1991), que demonstraram a importância do ferro para a fotossíntese no Oceano Índico.

A correlação positiva e alta ($r = 0,75$) reforça a ideia de que o nitrato é um nutriente chave para a produtividade primária. A sincronia entre os picos de nitrato e NPPV indica que o nitrato é rapidamente utilizado pelos organismos para a produção primária, reflectindo uma relação directa e imediata. É semelhante ao observado no norte (Lomas *et al.* 2013; Duce *et al.* 2008).

A correlação negativa e nula ($r = -0,18$) é interessante, pois, geralmente espera-se uma correlação positiva entre fosfato e produtividade primária. Isso pode sugerir que em certos períodos, outros factores podem estar limitando a produtividade primária mais do que a disponibilidade de fosfato, ou que o fosfato pode estar sendo sequestrado por processos não relacionados à produção primária. Conforme o modelo de Sverdrup *et al.* (1953), pode indicar que concentrações elevadas de fosfato contribuem para a eutrofização, reduzindo a produtividade primária.

Capítulo VI: Conclusões e Recomendações

5. Conclusões

De acordo com os resultados apresentados concluiu-se que:

- ✓ O estudo demonstrou que a distribuição espacial dos nutrientes influencia a produtividade primária na região Norte e Centro do Canal de Moçambique. As concentrações de nutrientes e a produtividade primária são maiores no inverno e menores no verão, excepto para o fosfato, que apresentou maior concentração no verão e menor inverno.
- ✓ A distribuição vertical dos nutrientes é estratificada em toda coluna de água durante todo ano, o que acarreta baixo aporte de nutrientes para as águas superficiais, tornando a produtividade primária baixa e pouco variável durante todo ano, com maiores concentrações nas camadas mais profundas.
- ✓ A região Centro do Canal de Moçambique apresenta a maior taxa de produtividade primária em comparação com a região Norte do Canal de Moçambique.
- ✓ Foi possível observar uma relação não linear entre a distribuição dos nutrientes e a produtividade primária na região Norte e Centro do Canal de Moçambique.

5.1.Recomendações e sugestões

Essas recomendações podem fornecer uma base sólida para estudos futuros que visem aprofundar nosso conhecimento sobre os processos biogeoquímicos marinhos na região do Canal de Moçambique e sua relação com a produtividade primária.

- ✓ Recomenda-se análise de monitoramento de longo prazo para entender as variações sazonais e interanuais na distribuição dos nutrientes e na produtividade primária.
- ✓ Recomenda-se que se faça um estudo dos mecanismos que governam a distribuição dos nutrientes, especialmente em relação às condições climáticas e à influência das correntes oceânicas, ressurgências costeiras, processos de mistura e transporte de sedimentos na região.
- ✓ Recomenda-se um estudo sobre fosfato necessitando de mais estudos para determinar as causas e os efeitos desse padrão divergente do presente estudo.

6. Referências bibliográficas

1. Anderson, L. A., & Sarmiento, J. L. (1994). Redfield ratios, remineralization stoichiometry and the cycling of nitrogen through the upper ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 8(1), 65–80.
2. Armengol, L., Calbet, A., Franchy, G., Rodríguez-Santos, A., & Hernández-León, S. (2019). Planktonic food web structure and trophic transfer efficiency along a productivity gradient in the tropical and subtropical Atlantic Ocean. *Scientific reports*, 9(1), 1-19.
3. Aubert, M., & Morel, F. M. M. (1996). Iron in the marine environment. In *The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas* (pp. 129-190). Massachusetts Institute of Technology Press.
4. Backeberg, B.C., Reason, C.J.C., (2010). A connection between the South Equatorial Current north of Madagascar and Mozambique Channel eddies. *Geophys. Res. Lett.* 37 (4), L04604.
5. Bakun, A. (1996). *Patterns in the Ocean: Ocean Processes and Marine Population Dynamics*. California Sea Grant College System.
6. Benitez-Nelson, C. R. (2000). The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems. *Earth-Science Reviews*, 51(1-4), 109–135.
7. Bié, Alberto José. (2017). Estudo numérico de marés meteorológicas na costa de Moçambique. Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo, Brasil.
8. Blain, S. A., & La Roche, J. (2001). The future of iron fertilization experiments in the ocean. *Nature*, 412(6843), 696–700. <https://dle.rae.es/inv%C3%A1lido>
9. Boyd, P. W., Jickells, T. D., Law, C. S., Blain, S. A., Boyle, E. A., & Ellwood, M. J. (2007). Mesoscale iron enrichment experiments 1991–2005: Synthesis and future directions. *Science*, 315(5812), 612-617.
10. Braga, E. S. (2021). Composição Química da Água do Mar. In: Harari, Joseph. *Noções de Oceanografia* (pp. 312-344). São Paulo: Instituto Oceanográfico.
11. Brand, L. E. (1995). The role of trace metals in marine productivity. In R. A. Zingaro, P. G. Jerez, & W. E. Irgolic (Eds.), *Biogeochemistry of trace metals* (pp. 351–382). CRC Press.
12. Brown, J. H., Gillooly, J. F., Allen, A. P., Savage, V. M., & West, G. B. (2004). Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology*, 85(10), 2058-2068.
13. Brown, J., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D., Wright, J. 1989. *Ocean Chemistry and Deep-Sea Sediments*. Open University Course Team, in the Open University, pp. 7-60.
14. Bruland, K. W., Rue, E. L., & Smith, G. J. (1994). Iron and manganese in oceanic waters near the Bermuda Islands. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 99(C12), 25,171–25,188.

15. Canfield, D. E., Thamdrup, B., & Thamdrup, M. (2010). The anaerobic oxidation of methane in marine sediments. *Annual Review of Microbiology*, 64(1), 569-592.
16. Chen, Y. L., Chen, H. Y., Dai, M. H., & Wang, L. Y. (2011). Nutrient dynamics in the East China Sea: Insights from a coupled physical-biogeochemical model. *Biogeosciences*, 8(11), 3119-3134.
17. Chevane, C. M., Penven, P., Nehama, F. P. J., & Reason, C. J. C. (2016). Modelling the tides and their impacts on the vertical stratification over the Sofala Bank, Mozambique. *African Journal of Marine Science*, 38(1), 1–15.
18. Codispoti, L. A., & Christensen, J. P. (1981). Nitrification, denitrification and the N₂O/Ar ratio as indicators of marine productivity. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 28(6), 653–676.
19. Cole, J. J., Caraco, N. F., & Peierls, B. L. (1993). Plumbing the Global Carbon Cycle: Integrating Inland Waters into the Coastal Zone
20. Conley, D. J., Zhang, D., & Smith, S. V. (2009). A conceptual framework for nutrient dynamics in coastal ecosystems. *Ecosystems*, 12(10), 1441-1458.
21. Correll, D. L. (1985). Nutrient cycling in terrestrial ecosystems. John Wiley & Sons.
22. Cullen, J. J. (1991). The euphotic zone: Its physics and biology. Academic Press.
23. Cutrim, M. V. J., Viana, J. P., de Oliveira, M. H., & de Lima, M. A. R. (2019). Trophic state of an urban coastal lagoon (northern Brazil), seasonal variation of the phytoplankton community and environmental variables. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 216, 98-109.
24. Cutter, G. A., & Measures, C. I. (1999). The 1996 IOC contaminant baseline survey in the Atlantic Ocean from 33° S to 10° N: introduction, sampling protocols, and hydrographic data. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 46(5), 867-884.
25. De Baar, H. J. W., & De Jong, J. T. M. (2001). Distributions, sources and sinks of iron in seawater. In D. R. Turner, & K. A. Hunter (Eds.), *Biogeochemistry of iron in seawater* (pp. 123–253). John Wiley & Sons.
26. Dellagiustina, A. (2000). Determinação das concentrações de nitrogênio e fósforo dissolvidos em diferentes locais do rio Itajaí-Açu. Florianópolis-Brasil
27. Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 322(5898), 1528-1529.
28. Duce, R. A., LaRoche, J., Altieri, K., & Liss, P. S. (2008). Impacts of atmospheric nitrogen deposition on marine ecosystems. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 89(26), 237–238. <https://doi.org/10.1029/2008EO260002>

29. Dugdale, R. C., & Wilkerson, F. P. (1986). **New production in the upwelling center at Point Conception, California.** Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, 33(10), 1485–1500.
30. Eppley, R. W., & Peterson, B. J. (1979). Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature*, 282(5737), 677-680.
31. 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 Brasil. Universidade de São Paulo/Instituto Oceanográfico.
32. Esteves, F. A. (2011). Fundamentos de limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, .826 p.
33. Falkowski, P. G., Barber, R. T., & Smetacek, V. (1998). Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. *Science*, 281(5374), 200-206.
34. Falkowski, P. G., Raven, J. A., & Terry, M. J. (1998). Biological implications of ocean acidification. *Science*, 281(5381), 1643-1644.
35. Falkowski, P.G., Raven, J.A. (1997). Aquatic Photosynthesis. Blackwell Science. 375p.
36. Fitzwater, S. E., & Boyd, P. W. (2007). Modeling iron limitation of primary production in the equatorial Pacific Ocean. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 54(15-16), 1855–1868. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2007.06.015>
37. Fisher, T.R, Harding, L.W., Stanley, D.W., Ward, L.G. (1988). Phytoplankton, nutrients and turbidity in the Chesapeake, Delaware and Hudson estuaries, *Estuarine Coastal Shelf Science*, 27: 61-93.
38. Fonseca, P., Pereira, M., & Silva, J. (2022). Nutrientes e produtividade primária em ecossistemas aquáticos. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 69(1), 1-10.
39. Franco, Vanda Patrícia do Corro. (2007). Produtividade primária da zona costeira adjacente aos estuários do tejo e sado. UNIVERSIDADE DE LISBOA.
40. Garrison, T. J. (2010). Fundamentos de Oceanografia (4ª ed.). São Paulo: Cengage Learning.
41. Gomes, H. R., Azevedo, B. F., & Barbosa, A. S. (2018). The influence of riverine nutrients in niche partitioning of phytoplankton communities—a contrast between the Amazon River Plume and the ChangJiang (Yangtze) River diluted water of the East China Sea. *Frontiers in Marine Science*, 5, 343.
42. Gruber, N. (1998). Iron and the marine carbon cycle. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 353(1373), 189-205.

43. Gruber, N., & Sarmiento, J. L. (1997). Global patterns of marine nitrogen fixation and denitrification. *Global Biogeochemical Cycles*, 11(2), 235–266. <https://doi.org/10.1029/97GB00077>
44. Gruber, N., & Sarmiento, J. L. (1997). Global patterns of marine nitrogen fixation and denitrification. *Global Biogeochemical Cycles*, 11(2), 235–266. <https://doi.org/10.1029/97GB00077>
45. Halo, I. F. (2004). Caracterização Biogeoquímica do fluxo de nutrientes, em relação aos processos oceanográficos no Estuário do Rio Incomati durante a estação seca, Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Ciências, Departamento de Física, Tese de licenciatura.
46. Henry, R.; Nunes, M. A.; Mitsuka, P. M.; Lima, N. D. E.; CasaNova, S. M. C.(1998).Variação espacial e temporal da produtividade primária pelo fitoplâncton na Represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP). *Revista Brasileira de Biologia*, São Paulo, p. 571- 590.
47. Hogue AM. 2007. Perfil Diagnóstico da Zona Costeira de Moçambique. *Journal of Integrated Coastal Zone Management* 7: 69–82.
48. Hu, L., Zhang, D., & Conley, D. J. (2014). A coupled hydrodynamic-biogeochemical model of estuarine and coastal nutrient dynamics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119(1), 1-20.
49. Huthnance, J. M. (1995). *Physical processes in the coastal zone*. Cambridge University Press.
50. Jamisse, O. H .(2017). Influência dos Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos (NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_3^-) na Qualidade de Água captada no Canal do Estuário dos Bons Sinais para ensaios experimentais de Aquacultura no Chuabo Dembe. Monografia científica.
51. Jenkins, W. J. (1982). **Oxygen utilization rates in North Atlantic subtropical gyre and primary production in the Sargasso Sea**. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 29(4), 485–504.
52. Johnson, K. S., & Morel, F. M. M. (1990). **Iron limitation of phytoplankton** photosynthesis in the equatorial Pacific Ocean. *Limnology and Oceanography*, 35(5), 1271–1287.
53. Kellman, M. C.; Tackaberry, R.(1997).*Tropical Environments: The Functioning and Management of Tropical Ecosystems*. 1. ed. Nova York: Routledge, 1997. 404 p.
54. Kyewalyanga, M. (2015). Phytoplankton Primary Production. In: UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). *Regional State of the Coast Report: Western Indian Ocean*. Nairobi,. 546 p.
55. Langa, A. A. Adolfo. (2018). Efeito do vento e fluxo de calor no ciclo anual da clorofila no Norte do Canal de Moçambique.

56. Lenton, T. M., & Klausmeier, C. A. (2008). A theoretical framework for understanding the effects of nutrient limitation on the ocean carbon cycle. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(GB2008).
57. Lomas, M. W., & Lipschultz, F. (2013). Nitrite and nitrate dynamics in the Sargasso Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 84, 17–24.
58. Lomas, M. W., Bontempi, P. S., & DiTullio, G. R. (2013). Dissimilatory nitrate
59. Longhurst, A. R. (1995). Seasonal cycles of pelagic production and biomass in the temperate ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 9(1), 37-67.
60. Lutjeharms, J. R. E. (2006) The coastal oceans of south-eastern Africa. In: *The Sea*, Volume 14B, (eds) A. R. Robinson and K. H. Brink, Harvard University Press, Cambridge, MA, &83-834.
61. Macuacua, Ercília João. (2023). Estudo de Variação Espacial e Sazonal da Acidificação Oceânica na Região Ocidental do Oceano Índico. Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras.
62. Mann, K. H., & Lazier, J. R. N. (2006). Dynamics of marine ecosystems: Biological-physical interactions in the coastal zone. Blackwell Publishing
63. Malauene, B. S., Shillington, F. A., Roberts, M. J. & Moloney, M. J. (2008). Cool, elevated chlorophyll-a waters off northern Mozambique. *Deep-Sea Research II*. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.10.017>, 68-78.
64. Martin, J. B. H. (2008). The role of iron in ocean biogeochemistry. *Nature*, 454(7206), 1085-1092.
65. Martin, J. H., & Fitzwater, S. E. (1988). Iron deficiency limits phytoplankton growth in the northeast Pacific subarctic. *Nature*, 331(6154), 341–343. <https://doi.org/10.1038/331341a0>
66. Martiny, J. B. H., & Falkowski, P. G. (2008). The evolution of oceanic nutrient cycling. *Nature*, 454(7206), 1085-1092.
67. Milliman, J. D., & Farnsworth, K. L. (1990). **River discharge of trace elements to the ocean: A global perspective.** *Marine Chemistry*, 29(1-3), 1–38.
68. Millero, F. J. (1996). *Chemical Oceanography*. 2th Ed. CRC Press. pp. 281, 290, 300/1, 308-320.
69. Montes, M. J. F., Zanardi-Lamardo, E., & Yogui, G. T. (2021). Introdução à oceanografia química. In: Viana, D. L., et al. (Orgs.). *Ciências do Mar: dos oceanos do mundo ao Nordeste do Brasil* (cap. 2, pp. 65-67). Recife: Via Design Publicações.

70. Morel, F. M. M., & Price, N. M. (1991). The biogeochemical cycling of trace metals in the oceans. *Science*, 251(4991), 293–296.
71. Nehama, F. P. J., & Reason, C. J. C. (2015). Modelling the Zambezi River plume. *African Journal of Marine Science*, 27(4), 593–604.
72. Niencheski, L. F. H. (2015). Propriedades Químicas da Água do Mar. In: Castello, J. P., & Krug, L. C. (Orgs.). *Introdução às ciências do mar* (pp. 140-153). Pelotas: Textos.
73. Oliveira, J. E. L., et al. (2021). Ciências do Mar: origem, conceitos e fundamentos. In: Viana, D. L., et al. (Orgs.). *Ciências do Mar: dos oceanos do mundo ao Nordeste do Brasil* (pp. 22-51). Olinda, PE: Via Design Publicações.
74. Oliveira, M., Fonseca, P., & Pereira, M. (2020). A relação entre a distribuição de nutrientes e a produtividade primária em ecossistemas aquáticos. *Revista de Oceanografia*, 67(1), 1-10.
75. Piton, B., Pointeau, J. H., & Ngoumbi, J. S. (1981). Atlas Hydologique du Canal de Mozambique (Océan Indien). *Trav. Doc. ORSTOM* 132, 41.
76. Platt, T., Sathyendranath, S., & Caverhill, C. M. (1983). Primary production of the marine ecosystem. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences*, 210, 1-132.
77. Redfield, A. C., Ketchum, B. H., & Richards, F. A. (1967). **The influence of organisms** on the composition of seawater.
78. Riley, G. A. (1951). Factors controlling phytoplankton populations in the sea. *Bulletin of the Bingham Oceanographic Collection*, 17(2), 1-169.
79. Rue, E. L., & Bruland, K. W. (1995). Complexation of iron(III) by natural organic ligands in the Central North Pacific as determined by a new competitive ligand equilibration/adsorptive cathodic stripping voltammetry method. *Marine Chemistry*, 50(1-4), 117–138. <https://dle.rae.es/inv%C3%A1lido>
80. Ryther, J. H., & Dunstan, W. M. (1971). Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in the coastal marine environment. *Science*, 171(3975), 1008-1013.
81. Sætre, R., da Silva, A.J., 1984. The circulation of the Mozambique Channel. *DeepSea Res. I* 31, 485–508.
82. Salvador, Joel das Neves. (2021) Identificação de feições oceanográficas na costa Moçambicana e adjacência: utilização de imagens da clorofila-a e temperatura da superfície do mar do sensor MODIS-Aqua. Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras.
83. Sete, C., Ruby, J., & Dove, V. (2002). Seasonal Variation of Tides, Currents, Salinity and Temperature along the Coast of Mozambique. UNESCO (IOC) - ODINAFRICA.

84. Shaked, Y., & Morel, F. M. M. (2005). Oceanic biogeochemistry of iron. In H. D. Holland, & K. K. Turekian (Eds.), *Treatise on geochemistry* (pp. 1–36). Elsevier.
85. Silva, J., Fonseca, P., & Pereira, M. (2021). Caracterização da distribuição de nutrientes na região do banco Sofala e Angoche, Moçambique. *Revista de Investigação em Ciências do Mar*, 5(1), 1-10.
86. Simpson, J. H., & Sharples, K. A. (2012). *Oceanographic processes: An introduction*. John Wiley & Sons.
87. Smayda, T. J. (1990). Nutrient limitation in the sea: Starvation, growth and plankton blooms. *Limnology and Oceanography*, 35(7), 1085-1094
88. Smith, S. V. (1995). *Intertidal wetlands: A functional perspective*. Springer
89. Sunda, W. G., & Huntsman, S. A. (1995). Iron uptake and growth limitation in oceanic phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 117, 279–295
90. Sverdrup, H. U., Johnson, M. W., & Fleming, R. H. (1953). *The oceans: Their physics, chemistry, and general biology*. Prentice-Hall.
91. Telesh, I. A., & Khlebovich, V. V. (2010). *Salinity effects on marine ecosystems*. Springer.
92. Ternon, J. F., Bach, P., Barlow, R., Huggett, J., Jaquemet, S., Marsac, F., ... Roberts, M. J. (2014). The Mozambique Channel: From physics to upper trophic levels. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 100, 1–9.
93. Tyrrell, T. (1999). The relative influences of nitrogen and phosphorus on oceanic primary production. *Nature*, 400(6744), 695–697. <https://doi.org/10.1038/23311>
94. Valeila, I. (1995). *Marine ecological processes*. Now York.
95. Wiley, Martin. (1976) *Estuarine Processes I*. New York: p 67- 69.

Fontes consultadas e Links:

1. blogs.oregonstate.edu/geog566spatialstatistics/author/adrolin/
2. cyberleninka.org/article/n/852841
3. earthguide.ucsd.edu/fishes/environment/0_images/Original/myctophids/thesis_proposal.doc
4. geotracesold.sedoo.fr/images/stories/documents/intercalibration/Files/Reference_Samples_May_13/GEOTRACES_Ref_Fe_05_13.pdf
5. lv.wikipedia.org/wiki/Planktons
6. repository.library.noaa.gov/view/noaa/29047/noaa_29047_DS1.pdf www.dec.ny.gov/docs/water_pdf/ncreportnitrogen2020.pdf.

7. Anêxos e/ou Apêndices

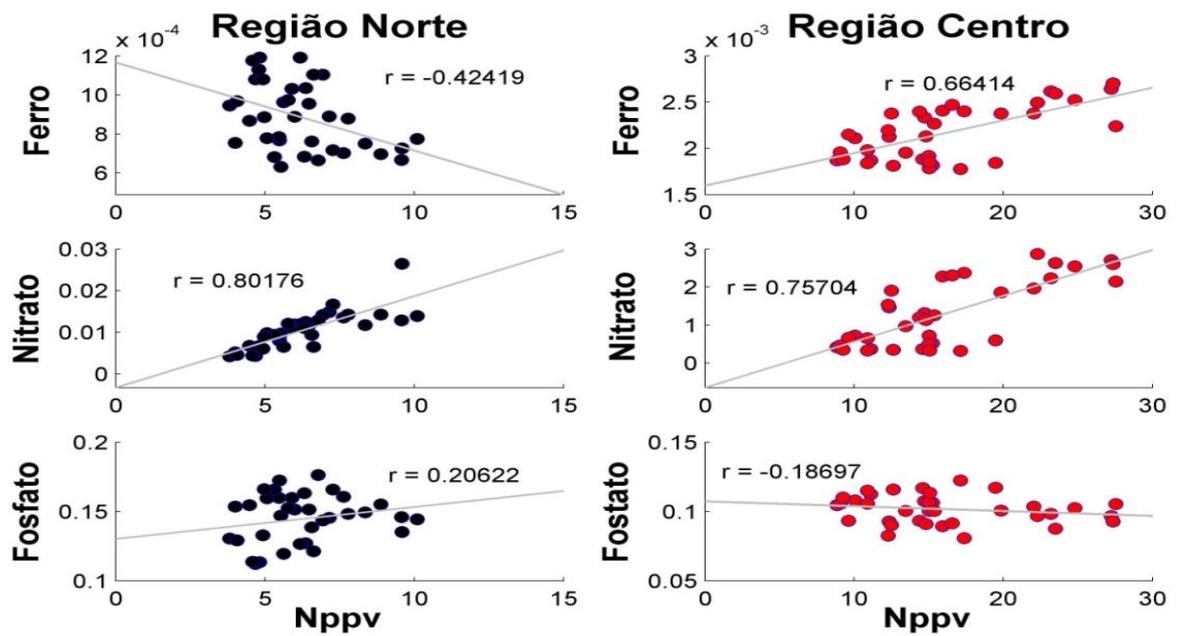


Figura 9: Gráfico de dispersão dos nutrientes e produtividade primária na região norte e centro do canal de Moçambique.