

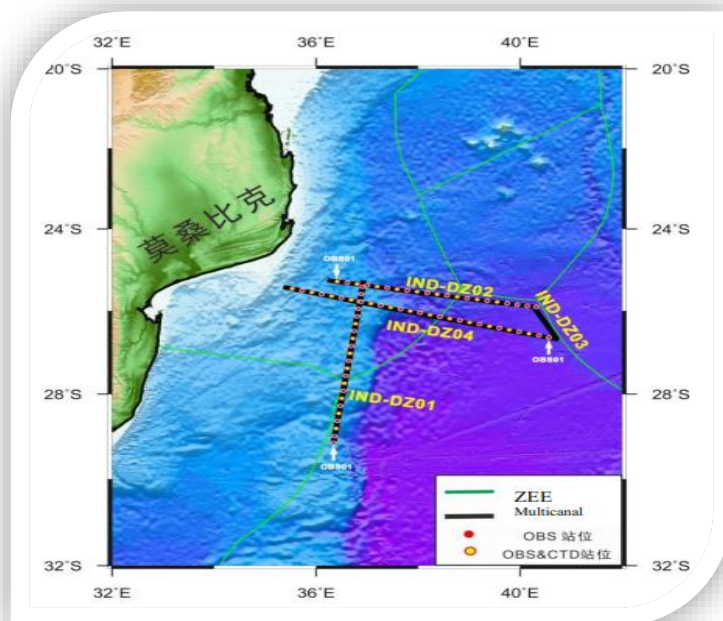


UNIVERSIDADE
E D U A R D O
M O N D L A N E

ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS

Monografia para obtenção do grau de Licenciatura em Oceanografia

Estudo de Distribuição de Massas de Água na Cordilheira de Moçambique – Observações Feitas Durante o Cruzeiro Conjunto entre China e Moçambique (Oceano Indico)



Autor:

Augusto Celestino Michone

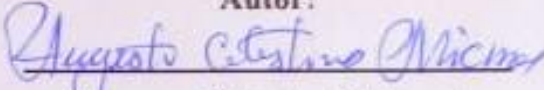


ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS

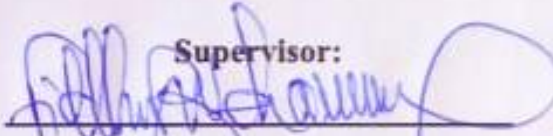
Licenciatura em Oceanografia

Estudo de Distribuição de Massas de Água na Cordilheira de Moçambique – Observações Feitas Durante o Cruzeiro Conjunto Entre China e Mozambique (Oceano Indico)

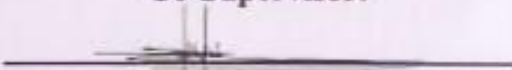
Autor:


(Augusto Celestino Michone)

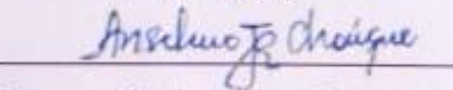
Supervisor:


(Prof. Doutor. Fialho P.J. Nehama)

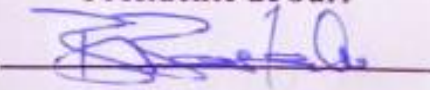
Co-Supervisor:


(Prof. Doutor. Issufo Halo)

Avaliador


(Licenciado Anselmo Chauque)

Presidente de Júri


(Mestre Banito Bene Magestade)

Quelimane, Dezembro 2025

Dedicatória

Dedico este trabalho:

À Deus, por cuidar da minha vida em todos os momentos!

Aos meus pais: Celestino Michone e Terezinha Manuel

(Felisberto Antônio Lima e Samira Ana Amadessene) pois o lema sempre foi: "A caneta é mais leve que a enxada."

Espero ter sido merecedor da confiança em mim depositada!

*'Plante sua Árvore & decorre a sua alma,
Ao invés de esperar que alguém lhe traga!'*

(Augusto Michone)

Agradecimentos

Agradecer à Deus, pois tem sido fonte de vida e de todas as coisas na Terra. Agradeço a todos aqueles que, de inúmeras formas, contribuíram para a conclusão da presente Licenciatura, dentre os quais devo citar:

- Expresso minha gratidão aos professores. Doutor Fialho P. J. Nehama e Co-Supervisor Doutor Halo Issufo, pela orientação, experiência, confiança e contribuições valiosas durante a realização deste trabalho;
- Agradeço aos meus pais *Celestino Michone e Terezinha Manuel José (Felisberto António Lima e Samira Ana Amade Sene)*, que sempre estiveram dispostos a ajudar no que fosse preciso, sem medir esforços para que tudo desse certo. E espero deixar vocês orgulhosos! Nunca vou conseguir agradecer o suficiente;
- Aos meus irmãos Anastácio Michone, Chana Michone, João Michone, José Michone e Zeyna Michone (Isabel Lima, Kaylane Lima, Raquia Lima e Yanick Lima) pelo apoio incondicional;
- Agradeço a *Universidade Eduardo Mondlane (ESCMC)* pela Bolsa de Estudos concedida para que eu pudesse-me formar e pelo acolhimento;
- Aos corpos docentes da ESCMC, pela dedicação e pelas valiosas contribuições, que enriqueceram significativamente o meu desenvolvimento académico;
- Agradeço Mano Francisco (Patico) Lima e Mana Marta Simbine, pelo esforço para que tudo desse certo, pelo companheirismo mesmo a distância, pelos conselhos e motivação;
- A todos meus colegas e amigos que, de certa forma, contribuíram durante a minha formação e especial da turma 2020, com maior destaque: *Adonai Pinto, Aminudine Roberto, Marta Laura, Wilder Muchanga, Lopes Nhampossa, Waren Nhamage, Laurenciana Mbevane, Isaltina Rassule, Silvestre Gabriel, Simões Emilio, Eugénio Nguenha, Celso Fernando: Oliveira Armando, Zarco Alfredo, Abdulmagido Delson Nhaca, Levy e Esperança Braz*. A todos os amigos que, mesmo não sendo citados nominalmente, me acompanharam e apoiaram ao longo desta trajectória desafiadora, deixo aqui minha sincera gratidão.
- Meus afilhados Belson Cumbe, Bernique, Emelly, Flora Xavier e Lucília Mafunga e aos meus padrinhos *Amilton Muhosse, Salmos Lourenço, Júnior Orlando e Moisés Pedro Thomossene*. E por fim, agradeço a todos que contribuíram directa ou indirectamente para a realização deste trabalho.

O meu obrigado!

Declaração de honra

Eu, *Augusto Celestino Michone*, declaro por minha honra que este trabalho de licenciatura, apresenta resultado da minha pesquisa pessoal, com base em material referido ao longo do mesmo foi referenciado. É de referir que as ideias contidas nele são de inteira responsabilidade do autor.

Quelimane, Dezembro 2025

O Autor:

(Augusto Celestino Michone)

ESTUDO DE DISTRIBUIÇÃO DE MASSAS DE ÁGUA NA CORDILHEIRA DE MOÇAMBIQUE (OCEANO ÍNDICO)

Universidade Eduardo Mondlane - Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras.

Email: augustocelestino259@gmail.com & augusto.michone@uem.ac.mz

Augusto C. Michone, Licenciatura em Oceanografia Física, 2025

Resumo

O Canal de Moçambique desempenha um papel fundamental na troca de massas de água entre os oceanos Índico e Atlântico, reflectindo uma interacção complexa entre processos de mistura, circulação termohalina, vórtices e a influência da topografia local. Essas interacções modulam as características físicas e químicas das massas de água conforme sua origem e profundidade. Este estudo teve como objectivo identificar e descrever as massas de água presentes na região da Mozridge, contribuindo para a implementação de medidas de gestão sustentável dos recursos marinhos. A análise baseou-se em dados colectados durante o Cruzeiro Conjunto entre a China e Moçambique (CJCM_II), realizado no período entre 01 a 22 de Junho de 2021. As massas de água foram identificadas por meio da análise termohalina e de diagramas T-S, complementada por secções verticais de temperatura, salinidade e oxigénio, que permitiram caracterizar a estrutura vertical e os padrões de estratificação na região. Foram identificadas oito (8) massas de água na região da Mozridge nomeadamente: Água Superficial Tropical (TSW), Água Mediterrânea da Austrália (AAMW), Água Superficial Subtropical (STSW), Água Profunda do Oceano Índico (IDW), Água de Fundo Antártica (AABW), Água Intermediária Antártica (AAIW), Água Profunda do Atlântico Norte (NADW) e Água do Mar Vermelho (RSW). As águas superficiais, mais quentes e bem oxigenadas, apresentaram um pico de oxigénio dissolvido entre 6,5 mg/l e 8.5 mg/l e predominam na camada até 200 m de profundidade. Abaixo dessa profundidade, observa-se uma redução progressiva na temperatura, salinidade e oxigénio dissolvido, reflectindo a presença das massas de água intermediárias e profundas. Foram também acompanhadas em secções verticais de estações onde as águas superficiais são bem oxigenadas devido a interacção com a atmosfera. De forma geral, a massa de água em termos de ocorrência diferencia-se devido aos processos complexos que envolvem a formação e a circulação de massas de água.

Palavras-chave: Dados De Cruzeiro, Massas de Água e Cordilheira de Moçambique.

Study of Water Mass Distribution in the Mozambique Ridge (Indian Ocean)

Abstract

The Mozambique Channel plays a fundamental role in the exchange of water masses between the Indian and Atlantic Oceans, reflecting a complex interaction among mixing processes, thermohaline circulation, eddies, and the influence of local topography. These interactions modulate the physical and chemical characteristics of the water masses according to their origin and depth. This study aimed to identify and describe the water masses present in the Mozridge region, contributing to the implementation of strategies for sustainable management of marine resources. The analysis was based on data collected during the Joint China–Mozambique Cruise (CJCM_II), conducted from 1 to 22 June 2021. Water masses were identified through thermohaline analysis and T–S diagrams, complemented by vertical sections of temperature, salinity and dissolved oxygen, which allowed the characterization of the vertical structure and stratification patterns in the region. Eight (8) water masses were identified in the Mozridge area, namely: Tropical Surface Water (TSW), Subtropical Surface Water (STSW), Antarctic Intermediate Water (AAIW), Red Sea Water (RSW), North Atlantic Deep Water (NADW), Indian Deep Water (IDW), Antarctic Bottom Water (AABW) and Australian Mediterranean Water (AAMW). The surface waters, warmer and well oxygenated, exhibited a dissolved oxygen peak ranging between 6.5 mg/l and 8.5 mg/l, and prevailed in the upper ~200 m layer. Below this depth, a progressive decrease in temperature, salinity and dissolved oxygen was observed, reflecting the presence of intermediate and deep water masses. Vertical sections also showed that surface waters are well oxygenated due to direct interaction with the atmosphere. Overall, the occurrence and distribution of water masses differ as a result of the complex processes involved in their formation and circulation.

Keywords: Cruise Data, Water Masses, and Mozambique Ridge.

Lista de Figuras

Figura 1: Diagrama de temperatura e salinidade mostrando as diferentes massas de água presentes no Canal de Moçambique (Thiéblemont, <i>et al.</i> ,2019.) enquanto figura a esquerda mostra o mapa batimétrico do Oceânico Índico mostrando Secção de Salinidade e sua distribuição das principais massas de água presentes no Canal de Moçambique (Schlitzer, 2010).....	10
Figura 2: O esquema mostra as principais massas de água do Oceano Índico e sua trajetória. As massas de água encicladas indicam sua formação local, enquanto as demais são importadas das demais bacias oceânicas (Beal <i>et al.</i> , 2006).....	11
Figura 3: Área de estudo, com destaque para a região Mozridge e incluindo as Estações de colheita de dados em cada ponto. (Fonte: Autor).	13
Figura 4: Diagrama T-S-O de todos estações hidrográfica com concentração de oxigênio (mg/l) dz01 e dz04. Em quanto que as linhas cinzas representam a anomalia de densidade potencial (kg m ³).	18
Figura 1: Diagrama T-S para todas as estações hidrográfica, destacando as linhas de DZ01 e DZ04. E as linhas cinzas representam anomalia de densidade potencial (kg·m ⁻³).	19
Figura 6: Secções verticais de Temperatura, Salinidade e Oxigênio em 6 estações ao longo da secção DZ01 na região de Cordilheira de Moçambique.....	21
Figura 7: Secções verticais de Temperatura, Salinidade e Oxigênio Correspondendo 9 estações ao longo da secção DZ04 na região de Cordilheira de Moçambique.	22
Figura 2 e 9: A esquerda representa diagrama ts (temperatura e salinidade) da linha DZ01e DZ04 variando em função da profundidade e enquanto a directa representa DZ01 e DZ04 com suas respectivas estações.....	35
Figura 3 e 10: A esquerda representa diagrama ts (temperatura e salinidade) da linha DZ01 e enquanto a directa representa DZ04.....	35

Lista de Tabela

Tabela 1: Ilustra Intervalos de temperatura, salinidade e densidade típica empregados na identificação das massas de água oceânica (relativamente do canal de Moçambique) proposto por (Halo,2012; Thiéblemont <i>et.al.</i> , 2019).....	12
Tabela 2: Ilustra as características das massas de água de acordo com os parâmetros e juntamente com as suas faixas de profundidade correspondentes da região MozRidge.	23
Tabela 3: Coordenadas geográficas (latitude e longitude) e profundidade dos pontos de amostragem realizados na região da MozRidge, no Oceano Índico, durante o cruzeiro oceanográfico. Esses dados servem de referência para a localização espacial das coletas utilizadas nas análises físico-químicas e hidrológicas.	3636

Abreviaturas, Significados e Unidades

<i>mg/l</i>	<i>Miligrama por litro</i>
<i>Psu</i>	<i>Practical Salinity Unit</i>
<i>m</i>	<i>Metro</i>
<i>°C</i>	<i>Graus Celcius</i>
<i>°E</i>	<i>Graus de latitude Este</i>
<i>°S</i>	<i>Graus de latitude Sul</i>
<i>Km²</i>	<i>Kilómetros quadrado</i>
<i>OD</i>	<i>Oxigénio Dissolvido</i>
<i>Mozridge</i>	<i>Mozambique Ridge</i>
<i>STSW</i>	<i>Água Superficial Subtropical</i>
<i>TSW</i>	<i>Água Superficial Tropicais</i>
<i>RSW</i>	<i>Água do Mar Vermelho</i>
<i>AAMW</i>	<i>Água Mediterrânea da Austrália</i>
<i>SICW</i>	<i>Água Central do Sul da Índia</i>
<i>AAIW</i>	<i>Água intermediária Antártica</i>
<i>IDW</i>	<i>Água profunda Indiana</i>
<i>NADW</i>	<i>Águas Profundas do Atlântico Norte</i>
<i>AABW</i>	<i>Água do fundo da Antártica</i>
<i>SEC</i>	<i>Corrente do Sul Equatorial</i>
<i>DZ01</i>	<i>Ponto de Colecta de Dados ou Linha</i>
<i>DZ04</i>	<i>Ponto de Colecta de Dados ou Linha</i>
<i>TS</i>	<i>Temperatura e Salinidade</i>
<i>TSO</i>	<i>Temperatura, Salinidade e Oxigénio dissolvido</i>
<i>S22 e S01</i>	<i>Estações (Ponto de colheita de dados)</i>
<i>CJCM_II</i>	<i>Cruzeiro Conjunto entre a China e Moçambique</i>

Índice

Dedicatória	i
Agradecimentos.....	ii
Study of Water Mass Distribution in the Mozambique Ridge (Indian Ocean).....	v
Abstract	v
Lista de Figuras	vi
CAPÍTULO I: ASPECTOS INTRODUTÓRIOS	1
1. Introdução	1
1.1. Problematização.....	3
1.2. Justificativa.....	3
1.3. Objectivos.....	4
1.3.1. Geral.....	4
1.3.2. Específicos, almeja-se.....	4
CAPÍTULO II: Revisão de Literatura	5
2. Massa de Água.....	5
2.1. Propriedade física da água do mar.....	6
2.2. Densidade	6
2.3. Temperatura e Salinidade	7
2.4. Oxigénio dissolvido (OD)	8
2.5. Caracterização de massas de água	9
2.6. Tipos e características de massas de água do Oceano Índico	9
CAPÍTULO III: Metodologia	13
3. Descrição da área de Estudo	13
3.1.2. Morfologia	14
3.1.3. Temperatura e salinidade no MozRidge	14
3.2. Matérias e Métodos	14

3.2.1.	Descrição dos dados.....	14
3.2.2.	Tratamento e análise de dados	14
3.2.3.	Identificação de massas de água.....	15
3.2.4.	Análise vertical das massas de água	16
Capítulo IV: RESULTADOS & DISCUSSÃO		17
4.	Resultados	17
4.1.	Identificação das massas de água existentes durante o período do Cruzeiro	17
4.2.	Descrição da distribuição vertical das massas de água.....	19
4.2.1.	Distribuição vertical da Temperatura, Salinidade e Oxigênio na região de DZ01	21
4.2.2.	Distribuições verticais de Temperatura, Salinidade e Oxigênio na região de DZ04 ...	22
4.3	Discussão.....	23
4.4.	Distribuição vertical das massas de água	25
CAPÍTULO V: Conclusões e Recomendações.....		27
5.	Conclusões	27
5.1.	Recomendações	27
CAPÍTULO VI: Referências Bibliográficas & Anexos		28
6.	Referências bibliográficas.....	28
6.1.	ANEXOS.....	35

CAPÍTULO I: ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

1. Introdução

No Canal de Moçambique, a distribuição vertical e horizontal das massas de água é consistente com a expansão para Sul através do canal. A troca de massas de água entre os oceanos Índico e Atlântico Sul é um componente essencial na circulação termohalina global, que, por sua vez, influencia directamente o clima global (Wunsch, 2002).

Esses processos de troca de massa de água ocorrem principalmente através da Corrente das Agulhas e são influenciados pela topografia submarina, incluindo o Planalto das Agulhas e a MozRidge. No Canal de Moçambique faz conexão entre os oceanos Atlântico Norte, e Pacífico, sendo assim, composto por águas de diferentes origens e com características físicas, químicas e biológicas distintas (Garzoli *et al.*, 2013). Por outro lado, não actua somente como passagem para massas de água formadas em locais remotos, mas também as influencia através de interacções oceano-atmosfera e processos de mistura, subducção e advecção (Garzoli; Matano, 2011).

Massa de água é definida como um volume de água que sofre influência atmosférica durante um determinado intervalo temporal, sendo originada em uma região particular do oceano (Tomczak 1999). Essa massa de água pode ser identificada por meio de ferramenta como o diagrama TS, que facilita a visualização e a classificação das diferentes massas de água (Pickard & Emery, 1990; Malauene, 2005). Mudanças na salinidade da água do mar têm impactos notáveis nos organismos marinhos, que devem regular activamente sua tolerância ao sal para manter os fluidos corporais em movimento e também a concentração iónica diferente do ambiente circundante.

As massas de água estão presentes em todos os oceanos e são organizadas verticalmente em faixas de densidade, parâmetro que determina sua posição na coluna de água. Essas massas podem ser classificadas como superficiais, centrais, intermediárias, profundas ou de fundo (Emery 2003). Cada massa de água em uma faixa de densidade específica apresentará um fluxo principal de transporte, influenciado pelas forças locais, seu local de origem e suas características físicas e químicas, como temperatura, salinidade e oxigénio, que afectam directamente a densidade da parcela de água.

A temperatura da água exerce influência em muitos processos físicos, químicos e biológicos do meio ambiente marinho. Controla o meio onde os processos biológicos ocorrem e determina a concentração de gases dissolvidos na água do mar, incluindo o oxigénio e o dióxido de carbono, que estão profundamente ligados aos processos biológicos. No entanto, o aumento das temperaturas reduz a solubilidade dos gases no oceano, incluindo o oxigénio, que é essencial. De fato, a redução

nos níveis de concentração de oxigénio em muitas regiões do oceano já foi documentada (Shaffer *et al.*, 2009; Breitburg *et al.*, 2018).

Estudos anteriores realizados no Oceano Índico como (Halo, 2012; Thiéblemont, *et al.* 2019), relatam que as principais massas de água encontrada ao longo do Oceano Índico são, nomeadamente: a Água Superficial Tropicais (TSW), Água Mediterrânea da Austrália (AAMW), Água Central do Sul da Índia (SICW), Água Superficial Subtropical (STSW), Água profunda Indiana (IDW), Água do fundo da Antártica (AABW), Água intermediária Antártica (AAIW), Águas Profundas do Atlântico Norte (NADW) e Água do Mar Vermelho (RSW). Emery (2003), afirma que estas possuem diferentes origens e carregam consigo assinaturas próprias que as distinguem. As características termohalinas que caracterizam as massas de água presentes no Canal de Moçambique estão amplamente descritas na literatura (tabela 1), podendo sofrer algumas pequenas variações em suas faixas de temperatura e salinidade devido à mistura com massas de água adjacentes (Klein; Tomczak, 1994).

Embora existam muitos artigos discutindo sobre as massas de água específicas, apenas alguns fornecem uma síntese que resume essas informações. Daí surge a necessidade de estudar a distribuição das massas de água na MozRidge, pois esse tipo de estudo é importante para identificar a distribuição desses diferentes parâmetros como temperatura, salinidade e oxigénio.

O presente trabalho tem como objectivo estudar a distribuição das massas de água na MozRidge, com base em dados hidrográficos colectados durante o cruzeiro oceanográfico CJCM_II.

1.1. Problematização

A compreensão das massas de água e suas características é fundamental para o estudo dos ecossistemas marinhos e suas dinâmicas (Hoguane *et al.*, 2002). No Canal de Moçambique, diversos estudos analisam processos de larga escala, como vórtices e frentes oceânicas, utilizando principalmente parâmetros físicos, como temperatura e salinidade (Muhosse, 2023). Halo (2012) demonstra que grandes vórtices modulam o transporte meridional e intensificam a dinâmica superficial, enquanto Beal *et al.* (2006) destacam a influência de redemoinhos anticiclônicos na circulação regional e na distribuição de nutrientes. Complementarmente, DiMarco *et al.* (2002) evidenciam o papel das frentes oceânicas e da topografia de fundo na mistura e transporte de propriedades físicas.

Apesar dessas contribuições, a maioria dos estudos concentra-se em processos horizontais, deixando lacunas no conhecimento sobre propriedades químicas, como o oxigênio dissolvido, e sobre a distribuição vertical das massas de água na MozRidge. Diferentes massas de água apresentam assinaturas termohalinas e dinâmicas específicas que controlam a estrutura vertical da coluna de água e influenciam a distribuição de oxigênio na região.

No Oceano Índico, diferentes tipos de massas de água apresentam dinâmicas específicas que influenciam a distribuição e a acumulação da vida marinha, variando de um local para outro. Nesse contexto, os factores que modificam a distribuição de temperatura e salinidade desempenham um papel importante, e acredita-se que essas alterações também afectem o oxigênio dissolvido devido à variação vertical dessas mesmas propriedades. Diante da relevância desse estudo, surge a seguinte questão:

- *Como essas características variam verticalmente ao longo da região Mozridge?*

1.2. Justificativa

A compreensão das dinâmicas das massas de água no Oceano Índico, especialmente na Cordilheira de Moçambique, é fundamental para entender a complexidade dos ecossistemas marinhos da região. A relação entre temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido é crucial para a saúde e produtividade dos ambientes marinhos, afectando directamente a distribuição de nutrientes e organismos.

Na Cordilheira de Moçambique, essas variáveis ganham ainda mais relevância devido à interacção das correntes oceânicas com a topografia da região. O movimento vertical de águas profundas, ricas em nutrientes, ao interagir com a topografia acentuada, pode desencadear processos de

ressurgência, estimulando a produção primária nas camadas superficiais do oceano, que são tradicionalmente oligotróficas.

Acredita-se que a interação das massas de água com os montes submarinos na Cordilheira de Moçambique possa gerar ciclos de circulação fechados, conhecidos como coluna ou tampa de Taylor. Esses ciclos podem causar retenção de água e partículas ao redor do cume do monte submarino, criando um ambiente favorável para a transferência de energia através da cadeia alimentar, desde os níveis tróficos inferiores até os superiores (Genin 2004).

Além disso, a influência dos montes submarinos sobre as correntes oceânicas é um ponto central a ser explorado. Branco *et al.*, (2007), relatam que a interação entre os montes submarinos e as correntes oceânicas depende de vários factores, como a profundidade do cume, a forma do monte, a estratificação da coluna de água e a localização específica, influenciada pelo efeito Coriolis. Na Cordilheira de Moçambique, essas interações ainda são pouco conhecidas, ressaltando a importância de estudar a distribuição das massas de água e suas implicações para os ecossistemas marinhos.

Os resultados deste estudo fornecerão dados valiosos para a comunidade científica e para os tomadores de decisões, permitindo uma melhor compreensão da hidrográfica da Cordilheira de Moçambique. Isso será fundamental para o desenvolvimento de estratégias de conservação e protecção dos ecossistemas marinhos locais, garantindo sua sustentabilidade a longo prazo.

1.3. Objectivos

1.3.1. Geral

- Analisar a distribuição das massas de água na Cordilheira de Moçambique (MozRidge).

1.3.2. Específicos, almeja-se

- Identificar as massas de água existentes durante o período do Cruzeiro e;
- Descrever a distribuição vertical das massas de água através dos parâmetros (temperatura, salinidade e oxigénio dissolvido).

CAPÍTULO II: Revisão de Literatura

2. Massa de Água

Para o contexto do presente trabalho, uma massa de água é definida como uma porção considerável de água associada a uma determinada faixa de valores de temperatura (T), salinidade (S) e densidade (D) (Tomczak, 1999; Pickard & Emery, 1990). Essas massas possuem características de formação comum, adquiridas durante o processo de formação, que são propagadas e modificam-se apenas por processos de mistura (Calixto, 2013). A análise dessas propriedades ao longo da coluna de água permite identificar as camadas superficiais, intermediárias e profundas, evidenciando como as massas de água variam verticalmente e como se estruturam com a profundidade.

Assim, as massas de água são entidades físicas que ocupam um volume finito no oceano (Tomczak & Large, 1989). A água da camada superficial é considerada a origem das massas de água, com os parâmetros encontrados resultantes das condições ambientais na superfície. No entanto, uma massa de água superficial só reflectirá as condições meteorológicas a que está sujeita quando isso ocorrer por um período significativo (de Freitas 2003).

Geralmente, a temperatura, salinidade e oxigênio, e conseqüentemente a densidade, são os principais parâmetros utilizados como identificadores das massas de água, pois esses parâmetros só sofrem alterações significativas através da difusão ou misturas com outras massas de água, além da camada limite oceânica. Por isso, são chamados de parâmetros conservativos (Miranda 1982). As propriedades observadas, como a temperatura potencial, salinidade e oxigênio dissolvido, podem ter importantes correlações um com o outro. As propriedades observadas, como a temperatura potencial, salinidade e oxigênio dissolvido, podem apresentar importantes correlações entre si. Essa alta correlação ocorre porque a maioria das massas de água dos oceanos adquire suas características na superfície do mar, em sua região de formação, preservando-as ao afundar (Calixto, 2013).

No entanto, essas misturas ocorrem de forma muito lenta, uma vez que as massas de água tendem a manter seus valores originais de temperatura, salinidade e pressão, evidenciando a persistência de suas propriedades conservativas ao longo da coluna de água. De acordo com Helland-Hansen (1916) e Montgomery (1958), uma massa de água é um corpo de água que se forma em uma região específica do oceano e adquire características particulares durante seu processo de formação.

A combinação dessas propriedades conservativas e da extensão das massas de água permite identificá-las, rastreá-las e compreender sua dinâmica, mesmo ao longo de grandes distâncias e períodos de tempo. Essa abordagem é essencial para interpretar a distribuição de oxigênio e outras propriedades químicas no Canal de Moçambique, evidenciando zonas de mínimos e máximos ao longo da coluna de água.

2.1. Propriedade física da água do mar

As propriedades das massas de água tendem a modificar-se ao longo do seu trajecto, resultado de processos biogeoquímicos e físicos que afectam o seu comportamento originalmente conservativo. Tais modificações ocorrem devido à actividade biológica, reacções químicas e à mistura com massas de água adjacentes, conduzindo a variações graduais nas suas características de temperatura, salinidade, oxigénio dissolvido e densidade. Esses processos reflectem a complexa dinâmica de circulação e mistura vertical e horizontal dos oceanos, evidenciando a natureza contínua e interligada das massas de água (Hinrichsen & Tomczak, 1993; Klein & Tomczak, 1994). Entretanto, segundo Curtin (1985) destaca que a persistência de grandes volumes de água com propriedades distintas é fundamental para compreender o balanço advectivo-difusão nos oceanos. A redistribuição das propriedades por mistura é particularmente importante nas zonas frontais, onde diferentes massas de água interagem. Além disso, a água do mar é uma solução complexa que contém a maioria dos elementos químicos conhecidos e apresenta diversas propriedades físicas.

Há uma relação inversa entre a temperatura e a densidade da água, visto que quando há aumento de temperatura, há uma diminuição na densidade. Assim, a temperatura e salinidade é uma das propriedades físicas de maior importância, pois é o principal parâmetro que determina a densidade dos oceanos (Frazão 2001).

2.2. Densidade

A densidade é definida como a massa por unidade de volume de uma substância, sendo usualmente medida em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3) (Júnior, 2007). Nos oceanos, a distribuição da densidade está directamente relacionada às variações de temperatura e salinidade, que determinam os gradientes horizontais e verticais. Esses gradientes, por sua vez, são modulados por processos físicos, como a pressão hidrostática e as correntes oceânicas, que influenciam a estratificação e a circulação da coluna de água (Freitas, 2003).

A variação da densidade superficial da água do mar é controlada principalmente pela salinidade e temperatura. Quando a salinidade é constante, a densidade diminui com o aumento da temperatura e aumenta com sua redução. Por outro lado, quando a temperatura é constante, a densidade cresce com o aumento da concentração de sais dissolvidos. Além disso, a densidade da água do mar é maior que a da água doce à mesma temperatura, pois contém sais dissolvidos. Por essa razão, a água doce flutua sobre a água salgada (Duxbury & Duxbury, 1997).

As variações e combinações de diferentes valores de temperatura e salinidade podem gerar a mesma densidade da água do mar, sendo essa relação representada graficamente pelo diagrama T-S

(Temperatura–Salinidade), uma ferramenta fundamental para a identificação, comparação e rastreamento das massas de água oceânicas (Tomczak & Godfrey, 2013). Este diagrama constitui um excelente recurso para o estudo das massas de água, pois a sua forma é frequentemente característica de uma determinada região oceânica, e certas variações ou desvios podem indicar misturas entre diferentes tipos de água. Além disso, o diagrama T –S é útil para detectar possíveis erros nas medições de temperatura e salinidade; pontos que se afastam significativamente das curvas características da região devem ser considerados suspeitos (Pickard, 1994).

2.3. Temperatura e Salinidade

A temperatura da água do mar em oceanografia é expressa em graus Celsius (°C). A salinidade refere-se à quantidade total de sais dissolvidos na água do mar (Ferrero & Wainer, 2008). A temperatura e a salinidade nos oceanos são cruciais para entender as estruturas verticais das massas de água e o papel dos oceanos como reservatórios de sal, gases e calor. De acordo com Ré (2000), a temperatura desempenha um papel fundamental nos ciclos vitais e na distribuição dos organismos marinhos, variando horizontalmente com a latitude e verticalmente com a profundidade.

A distribuição vertical de salinidade e temperatura ao longo das seções analisadas revela uma forte estratificação da coluna de água, característica comum em regiões sob influência de massas centrais subtropicais. A entrada da South Indian Central Water (SICW) contribui significativamente para a ventilação das camadas intermediárias, promovendo o transporte de nutrientes e influenciando a estrutura biogeoquímica local. Esse padrão é consistente com observações em outras regiões do sudoeste do Oceano Índico, onde a SICW atua como agente de renovação intermediária e participa da dinâmica de circulação termohalina (Stramma & England, 1999; Siedler *et al.*, 2006). A interação entre essas massas de água e o relevo submarino modula os gradientes de oxigênio dissolvido, com valores mais baixos nas camadas intermediárias atribuídos ao consumo biológico e à limitada renovação das águas profundas.

As variações de temperatura observadas ao longo da coluna de água resultam do fluxo de calor através da interface oceano-atmosfera, influenciado por processos radiativos, turbulência e trocas latentes. Já a salinidade apresenta variações significativas, sobretudo na camada superficial, devido à adição ou remoção de água doce por precipitação, evaporação e descarga fluvial. Esses processos são mais intensos nas regiões tropicais e polares, onde o balanço hídrico é mais dinâmico.

De acordo com a teoria da conservação do sal, a salinidade é considerada uma propriedade conservativa, cuja diluição ou concentração ocorre predominantemente na superfície, em zonas de maior interação com a atmosfera (Pickard & Emery, 1990). A distribuição combinada de

temperatura e salinidade define a densidade da água do mar, parâmetro fundamental para a circulação oceânica. Diferentes combinações desses dois factores podem originar a mesma densidade, evidenciando que a estrutura de densidade não depende de um único parâmetro isolado. A circulação geostrófica, por sua vez, está intimamente associada aos gradientes horizontais de densidade (Pond & Pickard, 1983).

A temperatura também desempenha um papel essencial nos processos físicos, químicos e biológicos do oceano, pois regula as reacções biogeoquímicas e controla a concentração de gases dissolvidos, como oxigénio e dióxido de carbono (Pickard & Emery, 1990; Malauene, 2005). Nas regiões costeiras e estuarinas, a descarga fluvial contribui para a formação de gradientes de salinidade, diluindo os sais e influenciando a estrutura vertical e horizontal da coluna de água (Carvalho *et al.*, 2013).

As massas de água no oceano adquirem propriedades específicas de temperatura, salinidade, nutrientes e oxigénio dissolvido conforme as condições predominantes em suas regiões de formação (Emery & Meincke, 1986; Tomczak & Godfrey, 2003). Durante a circulação oceânica, essas massas sofrem processos de mistura que, embora não modifiquem completamente suas propriedades originais, originam novas combinações físico-químicas resultantes da interacção entre diferentes massas precursoras (Poole & Tomczak, 1999).

2.4. Oxigénio dissolvido (OD)

O oxigénio dissolvido (OD) é uma variável crucial para a saúde dos ecossistemas marinhos, desempenhando um papel significativo em processos biológicos e químicos como fotossíntese, respiração e decomposição da matéria orgânica (USEPA, 1997; USEPA, 2006). Baixos níveis de OD podem indicar desequilíbrios ambientais, causando sérios danos à biota marinha e tornando a água imprópria para diversos usos, como a pesca. A concentração de OD em diferentes profundidades está relacionada com processos de estratificação, circulação vertical e a distribuição de organismos (Gomes, H. R. 2018).

No Canal de Moçambique, o máximo intermediário de oxigénio dissolvido tende a diminuir em valor à medida que se propaga para o sul, enquanto os valores mais elevados são observados no fluxo para oeste da Corrente Equatorial Sul, ao norte de Madagáscar e próximos à margem ocidental do canal. De forma oposta, as concentrações do mínimo intermediário de oxigénio, originário do Mar Árábico, aumentam para o sul, com profundidades que variam de aproximadamente 900 a 1100 m, sugerindo expansão e mistura meridional das massas de água (DiMarco *et al.*, 2002).

2.5. Caracterização de massas de água

Compreender as características das massas de água é essencial para estudar os ecossistemas marinhos, costeiros e o comportamento dos organismos marinhos (Nehama, 2012). Na costa, essas características são mais variáveis devido à influência das correntes de maré, ao escoamento dos rios, à topografia local, ao forçamento climático sazonal e aos padrões de circulação variados. No entanto, no alto mar, onde não há influência de rios, a circulação é afetada principalmente pelas correntes oceânicas, como ocorre especialmente na região da Mozridge (Silva, 1984; Gammelsrod e Hogueane, 1995; Machaieie, 2012). Avaliar propriedades hidrológicas fundamentais das massas de água na zona costeira é uma tarefa complexa devido à dinâmica intensa desses ambientes, mas é crucial para a gestão e preservação da zona costeira.

2.6. Tipos e características de massas de água do Oceano Índico

Conforme (figura 2), apresenta as massas de água e a sua distribuição pelo oceano indico, onde Água subtropical de Superfície (STSW) se distribuem em diferentes regiões como ao Norte e Sul de Madagáscar, respectivamente, podem ser observadas no Canal de Moçambique (Duncan 1970; Gundling *et.al.*,1991; de Ruijter *et al.*,2002).

Segundo (DiMarco *et al.*, 2002), A massa de água Tropical Superficial (TSW) é caracterizada por uma faixa específica de acordo com as suas propriedades de temperatura e salinidade que varia entre 28°C e 29° C, em quanto que a salinidade varia de 34,5 a 35.0 psu.

A formação da massa de água conhecida como TSW (Tropical Surface Water) ocorre na região equatorial central do Oceano Índico (Beal *et al.*, 2006). Essa massa de água faz parte das Águas Equatoriais Indianas (IEW). A TSW apresenta salinidade relativamente baixa, resultado do excesso de precipitação sobre a evaporação nos trópicos, e pode ser influenciada pelas correntes que fluem ao longo da cordilheira de Moçambique. Essas correntes podem alterar a temperatura e a salinidade da TSW à medida que ela se move e interage com outras massas de água (Toole e Warren, 1993; Tomczak e Godfrey, 1994).

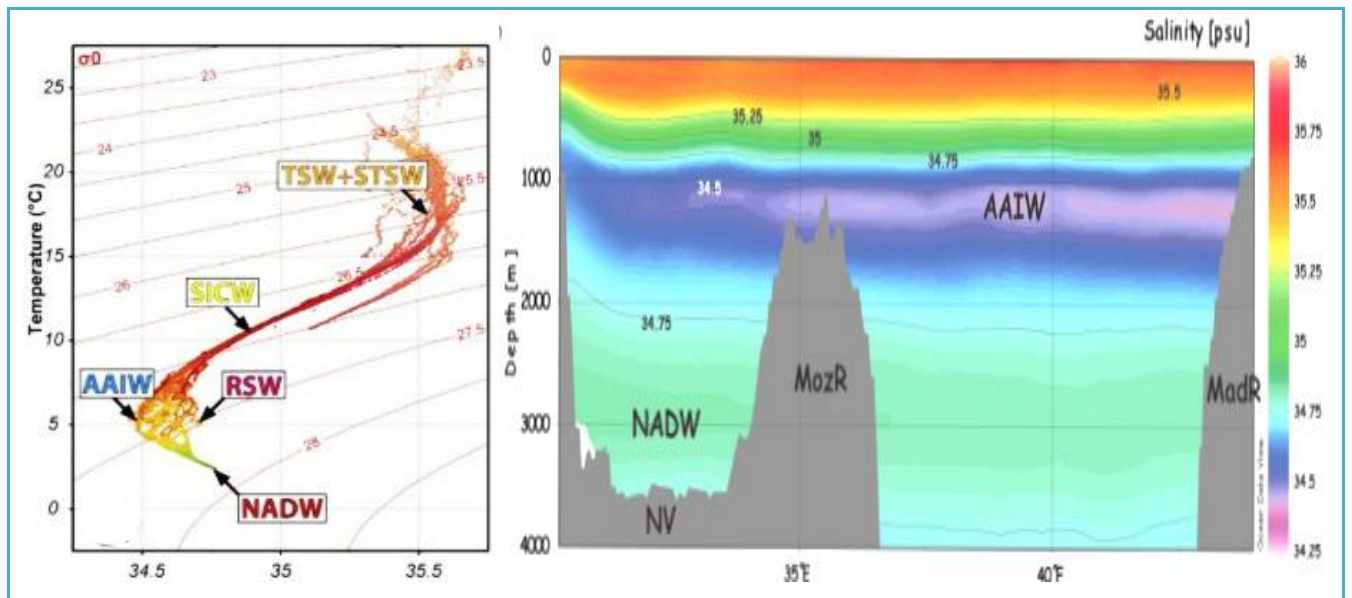


Figura 4: Diagrama de temperatura e salinidade mostrando as diferentes massas de água presentes no Canal de Moçambique (Thiéblemont, et al., 2019.) enquanto figura a esquerda mostra o mapa batimétrico do Oceano Índico mostrando Secção de Salinidade e sua distribuição das principais massas de água presentes no Canal de Moçambique (Schlitzer, 2010).

A massa de água IDW é caracterizada por uma salinidade superior a 34,8 psu no lado ocidental do Oceano Índico, enquanto apresenta cerca de 34,75 psu, embora isso não tenha sido observado nas figuras acima (Ex.: Schott & McCreary, 2001). De acordo com Tomczak & Godfrey (1994), afirma que essa massa de água tem origem no Oceano Atlântico, como uma porção remanescente das Águas Profundas do Atlântico (NADW). Dessa forma, pode-se afirmar que o IDW exerce influência significativa na produtividade biológica, na distribuição de espécies e na dinâmica dos ecossistemas marinhos da região.

As observações recentes indicam que o NADW transborda a Cordilheira de Moçambique em profundidades superiores a 2500 m (Lutjeharms, 2006), contribuindo significativamente para a circulação profunda do Canal de Moçambique e influenciando a distribuição de propriedades físicas e químicas nas camadas abissais da região. A Água Intermediária Antártica (AAIW) origina-se das águas superficiais ao redor da Antártica. De lá, flui para o norte, no Oceano Índico, onde se estende até profundidades de água de até 1500 m (Lutjeharms, 2006) (figura 1 directa). Após a recirculação através do Oceano Índico, o AAIW flui para oeste ao longo do Banco das Agulhas (You *et al.*, 2003).

De acordo com Ullgren *et al.* (2012), a Cordilheira de Moçambique e a Cordilheira de Davie restringem o fluxo norte da NADW, que entra no Oceano Índico a partir do Oceano Antártico. Estudos anteriores indicam que a NADW não consegue transpor a Cordilheira de Davie, sugerindo

sua ausência na Bacia de Comores (Toole & Warren, 1993; Mantyla & Reid, 1995). No entanto, estudos mais recentes, como os de Van Aken *et al.*, (2004), indicam que a NADW pode, de fato, fluir do sul do canal de Moçambique para a bacia de Comores, sugerindo que a cordilheira de Davie pode não constituir actualmente uma barreira topográfica ao fluxo de massas de água profundas.

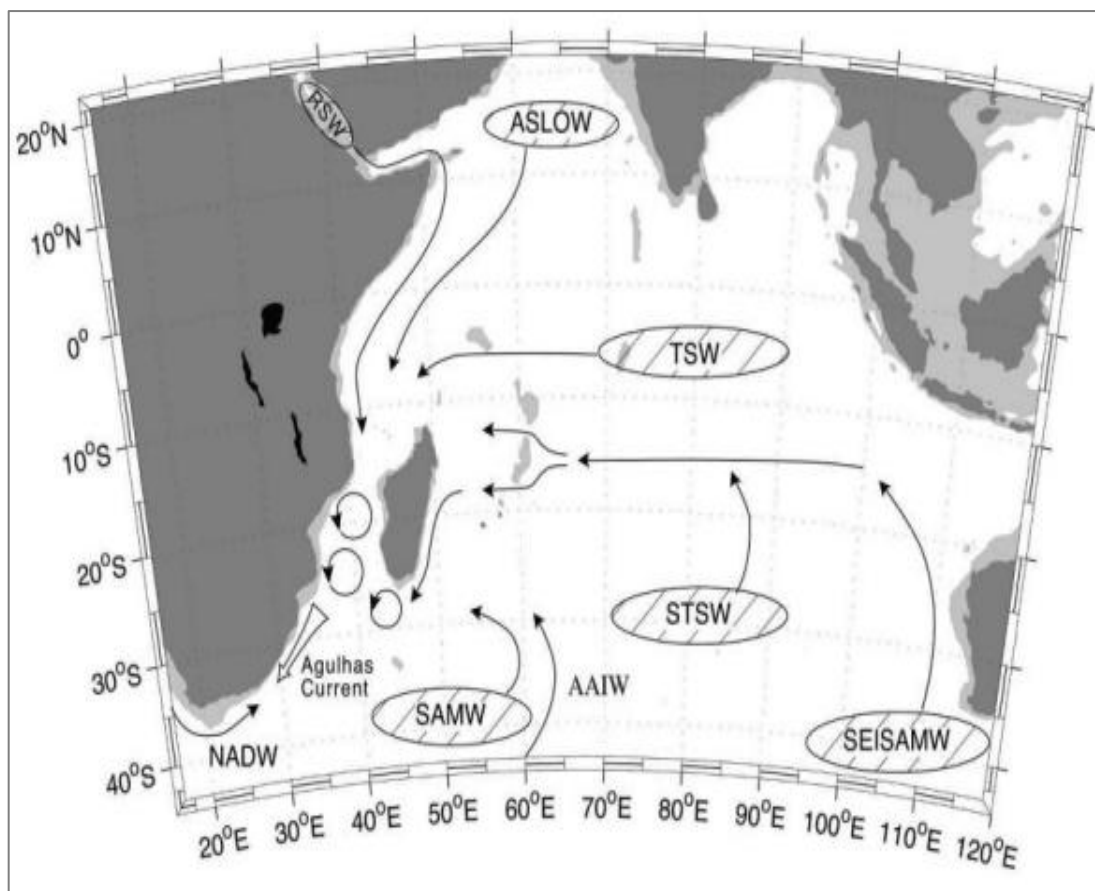


Figura 5: O esquema mostra as principais massas de água do Oceano Índico e sua trajetória. As massas de água encicladadas indicam sua formação local, enquanto as demais são importadas das demais bacias oceânicas (Beal *et al.*, 2006).

O sul do Oceano Índico alberga uma diversidade de massas de água com propriedades hidrográficas distintas, conforme resumido na tabela 1. As massas de água oceânicas mantêm suas propriedades físicas como temperatura, salinidade e densidade por longos períodos, e, por essa razão, podem ser utilizadas para rastrear o percurso das correntes oceânicas (Emery, 2001). Essa estabilidade nas suas características faz com que constituam indicadores essenciais para a compreensão dos processos de circulação, mistura e ventilação oceânica.

No Canal de Moçambique, a circulação oceânica é dominada pela corrente de Moçambique, que flui predominantemente para Sul, e pela corrente subterrânea de Moçambique, que se desloca para Norte (De Ruijter *et al.*, 2002). A interacção entre essas correntes e as massas de água com

diferentes origens e assinaturas termohalinas resulta numa estrutura vertical complexa, que reflecte tanto a dinâmica física regional como os processos biogeoquímicos em curso.

Tabela 1: Ilustra Intervalos de temperatura, salinidade e densidade típica empregados na identificação das massas de água oceânica (relativamente ao canal de Moçambique) proposto por (Halo,2012; Thiéblemont et.al., 2019).

Tipos de Massa	Temp [°C]	Salinity	Density [kg.m⁻³]	Depth [m]
TSW	24 – 28	34.91-35.31	25.50-26.50	0-200
STSW	8 – 25	35.60-35.80	25.50-26.40	200-500
AAMW	8 – 23	34.40-35.00	26.50-26.70	300-450
SICW	8-12	34,80-35,50	26,40-26.80	200-600
RSW	7 – 22	34.75-39.00	27.25-27.70	500-1500
AAIW	2-10	33.80-34.60	27.20-27.40	800-1200
IDW	4-7	34.75-34.80	27.10-27.30	1500-3800
AABW	1-2	34.62-34.73	27.50-27.70	3800
NADW	2-4	34.80-35.00	> 28,2	> 4000

CAPÍTULO III: Metodologia

3. Descrição da área de Estudo

A Mozridge (figura 1), localizada no sudoeste do Oceano Índico, é um planalto alongado que atinge aproximadamente paralelo à costa SE da África do Sul entre as latitudes 25°S e os 35°S e longitudes 32°E e 37°E. Essa área é delimitada a leste pela Bacia Moçambicana, que possui uma profundidade de 4.000 m acima da planície abissal situada a 5.000 m abaixo do nível do mar (Jacques 2018).

Apresenta estruturas em horst e é constituída por rochas vulcânicas do Jurássico Inferior, cobertas por sequências sedimentares do Cretáceo e períodos mais recentes, com um hiato de aproximadamente 40 milhões de anos entre essas camadas (Konig *et al.*, 2007). A extensão da área ($2 \times 10^5 \text{ km}^2$) da crista assísmica alongada é quase o dobro do tamanho da Islândia. A Mozridge é limitada a leste por um declive abrupto de mais de 2.000 m de profundidade na Bacia de Moçambique (König *et al.*, 2007). Mozridge corresponde a um planalto submarino localizado para Sul do extremo meridional do Canal de Moçambique.

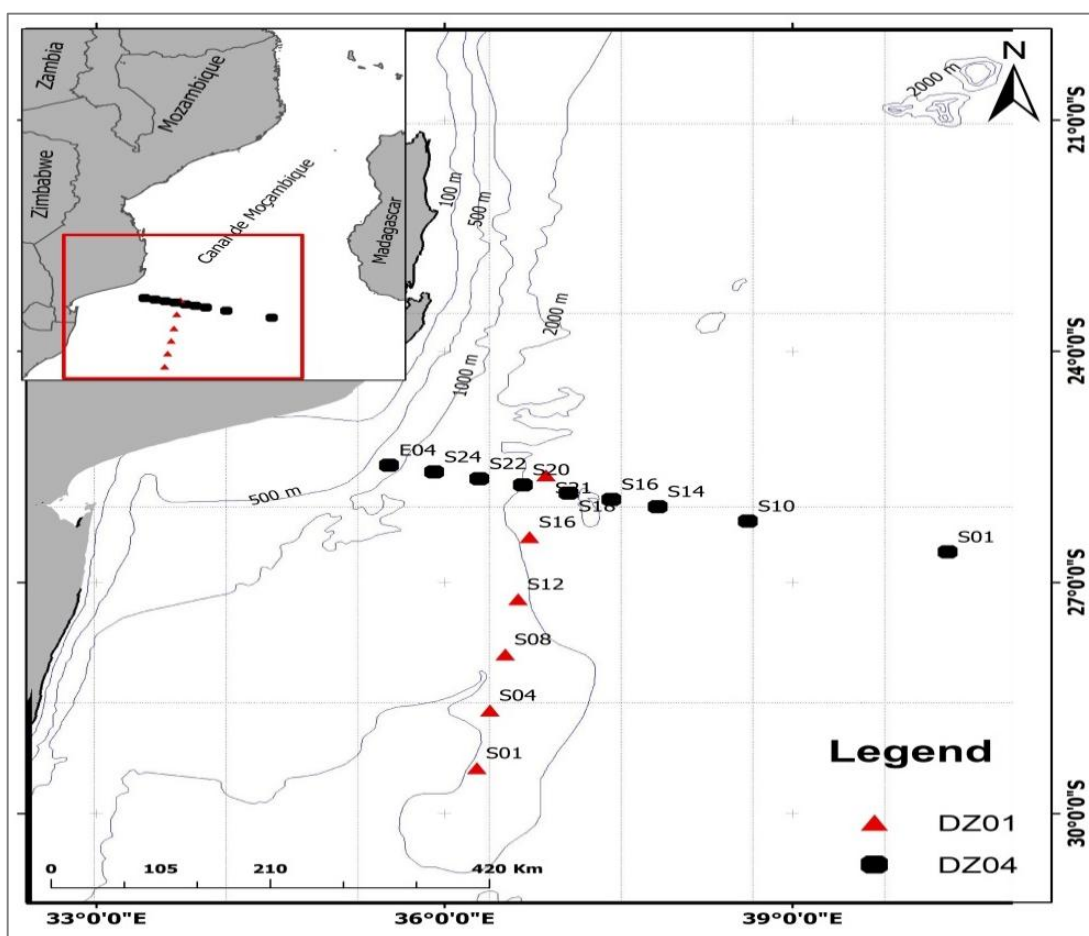


Figura 6: Área de estudo, com destaque para a região Mozridge e incluindo as Estações de coleta de dados em cada ponto. (Fonte: Autor).

3.1.2. Morfologia

A Mozridge é um planalto submarino localizado ao sul do extremo meridional do Canal de Moçambique, aproximadamente entre as latitudes 25° e 31° S, margeando a Bacia de Moçambique situada a nordeste. Esta região é crucial para a reconstrução da fragmentação de Gondwana entre a África, a América do Sul e a Antártida durante o período Cretáceo (Fischer & Uenzelmann-Neben, 2015).

3.1.3. Temperatura e salinidade no MozRidge

De acordo com Lutjeharms (2006), as temperaturas na região da MozRidge, faz parte do canal de Moçambique, podem variar entre 2°C e 30°C com áreas mais quentes atingindo entre 28°C e 30°C no inverno e com 34 a 36 psu de salinidade, respectivamente. A região é caracterizada pela presença de água quente do Índico, conhecidas como águas de superfície tropical. Estas são similares as massas de água encontradas no alto mar nas mesmas profundidades. Portanto existe conteúdo, exceções quando o escoamento de massas de água e corrente dos rios dilui a água da plataforma continental, criando massas distintas de água da plataforma continental (Lutjeharms 2006).

3.2. Matérias e Métodos

3.2.1. Descrição dos dados

Para desenvolvimento do presente estudo, foram utilizados dados hidrográficos de temperatura potencial, salinidade, e oxigênio dissolvidos, obtidos durante o segundo cruzeiro oceanográfico CJCM_II, realizado no período de 01 a 22 de Junho de 2021.

As amostragens foram conduzidas em 17 estações localizadas nas linhas DZ04 e DZ01, utilizando-se uma sonda CTD para a colecta dos dados. A escolha das estações seguiu um plano de amostragem previamente definido, garantindo a cobertura representativa da área de estudo e possibilitando a análise comparativa entre diferentes regiões da Mozridge.

Nas estações cuja profundidade total foi inferior a 2500 metros, o perfilamento do CTD foi realizado até o fundo, permitindo a caracterização completa da coluna de água. Já nas estações com mais de 2500 metros de profunda, as medições foram limitadas a aproximadamente 2000 metros, com o objectivo de otimizar o tempo de amostragem e preservar o equipamento, sem comprometer a representatividade dos dados.

3.2.2. Tratamento e análise de dados

Os dados brutos obtidos pelo CTD foram fornecidos em formato de texto (.txt) e passaram por uma etapa preliminar de organização no Microsoft Excel, onde foram convertidos em matrizes para facilitar a leitura e o processamento. Durante essa etapa, identificaram-se inconsistências nos

primeiros metros dos perfis, comuns em medições próximas à superfície. Por esse motivo, optou-se por remover os primeiros 10 metros de cada estação, considerando que essa camada é mais susceptível a erros devido à presença de bolhas de ar, turbulência e movimento da embarcação. Após o ajuste, garantiu-se a uniformidade das variáveis e a compatibilidade dos dados para as análises subsequentes

Após a organização inicial, os dados foram importados para o software MATLAB 2018a e compilados em um único ficheiro no formato “mat”. Essa etapa possibilitou o tratamento automatizado das informações. Além disso, a utilização do MATLAB garantiu maior precisão e rapidez no manuseio de grandes volumes de dados, permitindo aplicação de funções específicas para o cálculo da densidade potencial (σ_t), essencial para a identificação das massas de água e a compreensão da estrutura da coluna oceânica.

3.2.3. Identificação de massas de água

A identificação das massas de água presente na MozRidge foi realizada com base nos dados previamente tratados e organizados no MATLAB. Para esse fim, foram elaborados diagramas T – S e T – S – O (Temperatura, Salinidade e Oxigénio dissolvido), que permitem analisar de forma integrada as propriedades físico-químicas da coluna de água. O processo seguiu as etapas descritas abaixo:

- Inicialmente, foram gerados diagramas temperatura – salinidade (T – S) e temperatura – salinidade e oxigénio (T – S – O₂), nos quais cada medição de CTD foi representada como um ponto (scatter plot) de acordo com seus valores de temperatura e salinidade;
- Inserção de isolinhas de densidade potencial as isolinhas foram calculadas com a função $sw_dens(s,t,pres)$ e convertidas para sigma-t conforme a equação 1;

$$\sigma_t = sw_dens(s, t, pres) - 1000; \quad \text{Cálculo de Sigma } t \quad eq. 1$$

Onde:

- s = salinidade
 - t = temperatura
 - $pres$ = pressão (dbar), para calcular o sigma t
 - sw_dens = densidade absoluta em (Kg/m^3)
- Classificação visual no diagrama com base nos intervalos definidos, identificaram-se clusters de pontos que se concentraram em regiões específicas do diagrama. Cada agrupamento foi então associado à massa de água correspondente. E de seguida

complementou-se com a profundidade a distribuição vertical reforçou a interpretação, confirmando a posição típica de cada massa na coluna.

3.2.4. Análise vertical das massas de água

A análise vertical da coluna de água da região da Mozridge foi realizada a partir das seções verticais de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido obtidas nos grupos DZ01 e DZ04 durante o cruzeiro. A interpretação dessas seções foi feita por inspeção visual, observando a disposição e os gradientes verticais das propriedades físico-químicas, o que permitiu identificar camadas bem estratificadas e interfaces entre diferentes massas de água. A abordagem visou compreender não apenas a presença de cada massa de água, mas também sua profundidade e a forma como se distribui verticalmente, fornecendo informações essenciais sobre a estratificação na MozRidge.

Além disso, a análise da variação do oxigênio dissolvido ao longo da coluna forneceu informações adicionais sobre processos biogeoquímicos que podem influenciar a estrutura das massas de água, complementando a interpretação física obtida a partir de temperatura e salinidade. A interpretação das seções verticais também permitiu identificar variações espaciais entre os diferentes grupos, evidenciando regiões onde certas massas de água estão presentes ou regiões com ausência de certas massas. Essa análise detalhada forneceu uma compreensão abrangente da distribuição vertical das massas de água ao longo da região da Mozridge.

Capítulo IV: RESULTADOS & DISCUSSÃO

4. Resultados

4.1. Identificação das massas de água existentes durante o período do Cruzeiro

A figura 4 apresenta o diagrama de Temperatura Potencial (°C) versus Salinidade (psu), com coloração representando a concentração de oxigênio dissolvido (mg/l), para diferentes pontos ao longo da região da MozRidge. Conforme o diagrama T – S – O e a tabela 2 foram identificados oito (8) tipos de massa de água, cujos intervalos diferem parcialmente daqueles reportados por outros autores, possivelmente devido às distintas regiões de estudo. O diagrama evidencia uma estratificação vertical, onde nas camadas superficiais predominam as Águas Tropicais Superficiais (TSW) e Subtropicais Superficiais (STSW), caracterizadas por altas concentrações relativas de oxigênio dissolvido, influenciadas pela produtividade primária, o que resulta em menores teores de nutrientes inorgânicos dissolvidos.

Abaixo destas, encontram-se as massas intermediárias, como Água Mediterrâneo da Austrália (AAMW), Água do Mar Vermelho (RSW) e Água Intermediária Antártica (AAIW) e, em maiores profundidades, encontramos as massas profundas e de fundo, como Água Profunda do Oceano Índico (IDW), Água Profunda do Atlântico Norte (NADW) e Água de Fundo Antártica (AABW).

A variação entre as estações indica influência local e regional, especialmente na salinidade das águas intermediárias e profundas, o que pode ser causado por processos de mistura e interação com a topografia submarina na MozRidge. No presente estudo, observou-se que as massas de água dominantes na camada superior da coluna de água (STSW e TSW) apresentaram altos teores de oxigênio dissolvido. Estas massas estiveram sob efeito do consumo pela produtividade primária, o que levou à redução dos teores de nutrientes inorgânicos dissolvidos em comparação com as massas de água centrais, intermediárias e profundas da região. Esses resultados evidenciam o comportamento não-conservativo de oxigênio e nutrientes para a STSW e TSW.

A análise das propriedades termohalinas mostra que o IDW e o NADW apresentam uma diminuição gradual de temperatura e salinidade sob a influência da AABW. Essa massa de água, identificada nas maiores profundidades, mantém salinidade quase constante e ocupa o intervalo entre 2500 m e cerca de 3800 m. A topografia acidentada da região favorece a ressurgência parcial da AABW, permitindo sua interação com as camadas superiores do IDW.

Observa-se uma separação semelhante nas profundidades intermediárias, onde a AAIW, caracterizada por valores mínimos de salinidade e temperatura, ocorre predominantemente em mar aberto. Em contraste, a RSW, que apresenta um mínimo degradado de salinidade, é geralmente

identificada nas proximidades da costa. No diagrama T-S-O, a RSW distingue-se por alterar o mínimo de salinidade típico da AAIW (entre 34,4 e 34,6 psu), através da intercalação de camadas relativamente mais salinas, como mostrado na figura abaixo.

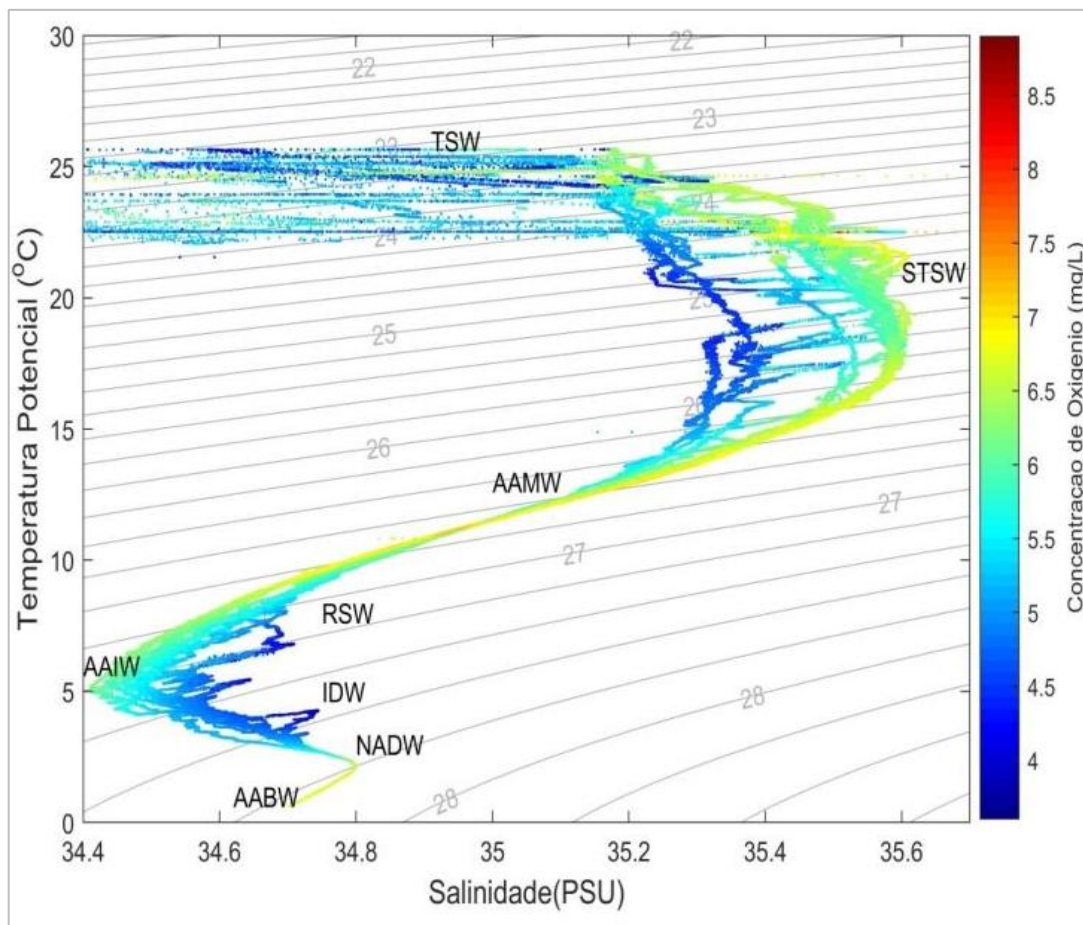


Figura 7: Diagrama T-S-O de todas as estações hidrográficas com concentração de oxigênio (mg/l) dz01 e dz04. Enquanto as linhas cinzas representam a anomalia de densidade potencial ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

A figura 5 apresenta o diagrama TS para diferentes estações amostradas na região da MozRidge, evidenciando padrões termohalinos característicos das principais massas de água. Observa-se que, embora ambas as linhas apresentem a mesma sequência vertical de massas de água com TSW e STSW nas camadas superficiais, AAMW, RSW e AAIW nas intermediárias, e IDW, NADW e AABW nas profundidades, há diferenças sutis nos valores de temperatura e salinidade, especialmente nas águas superficiais e intermediárias. As estações da linha DZ4 apresentam salinidade ligeiramente mais baixa nas camadas superficiais, enquanto as da linha DZ1 mostram valores mais elevados nessa faixa ocorrendo o inverso nas massas intermediárias.

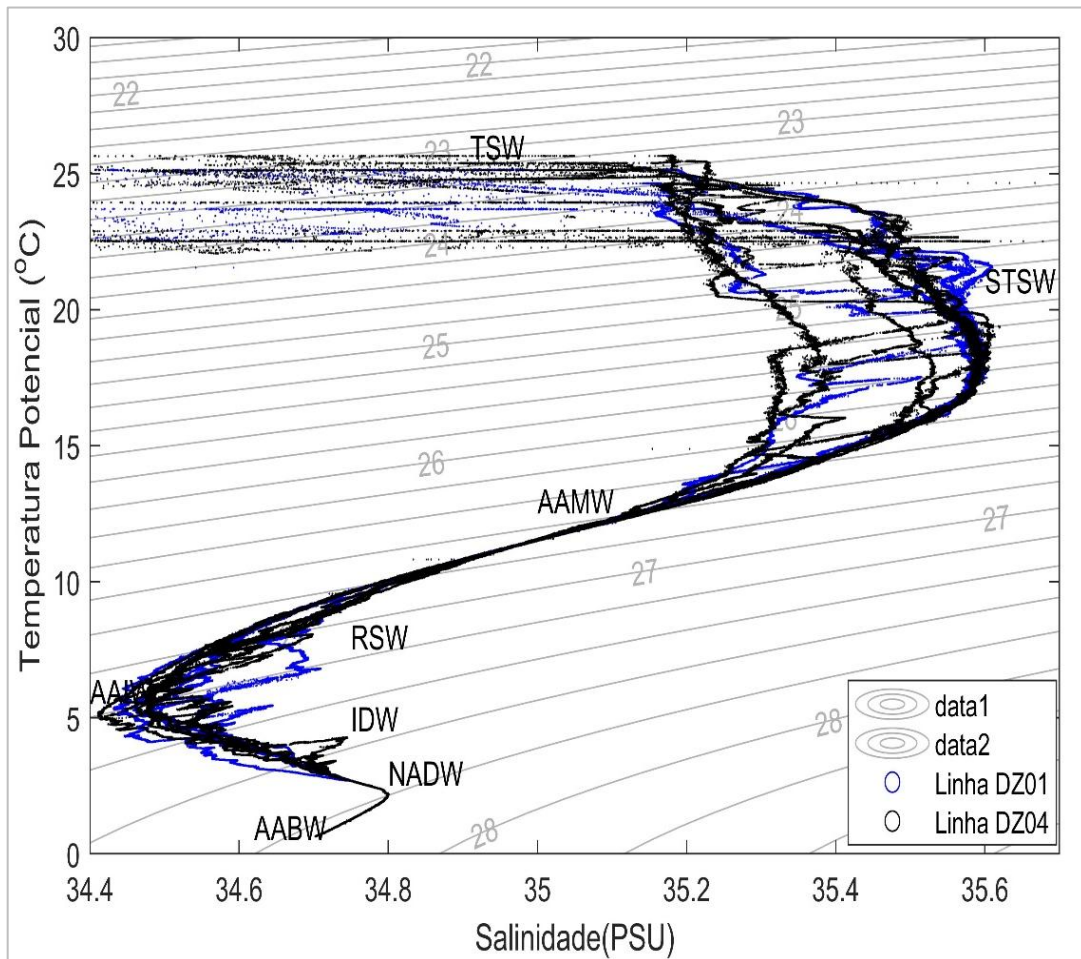


Figura 8: Diagrama T-S para todas as estações hidrográficas, destacando as linhas de DZ01 e DZ04. E as linhas cinzas representam anomalia de densidade potencial ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

4.2. Descrição da distribuição vertical das massas de água

As figuras 6 e 7 apresentam as secções verticais de temperatura, salinidade e oxigénio dissolvido ao longo das secções DZ01 e DZ04, respectivamente. Nas duas secções, observa-se que as massas de água superficiais (TSW e STSW) são caracterizadas por altas temperaturas (22° – 26° °C), salinidade relativamente elevada (até 35,6 psu) e concentrações mais altas de oxigénio (6–7 mg/l), reflexo da interacção directa com a atmosfera e da produção primária.

Em profundidades intermédias (aproximadamente entre 500 e 1200 m), identificam-se as massas AAMW, RSW e AAIW, com salinidades mais baixas (mínimo próximo de 34,6 psu) e presença de uma zona de mínimo de oxigénio (5–6 mg/l), comum em regiões de intensa remineralização da matéria orgânica. Essa diminuição progressiva de oxigénio está associada à presença da AAIW e da RSW, massas de água que, embora originadas em diferentes regiões, interagem fortemente na área da MozRidge. A AAIW, formada em altas latitudes, é originalmente rica em oxigénio, mas ao avançar para norte sofre degradação biogeoquímica e mistura com a RSW, mais quente e salina,

que intensifica a estratificação e limita a ventilação vertical, contribuindo para a redução do oxigénio em torno dos 800 – 1000 m.

Nas camadas profundas (abaixo de 1500 m), dominadas pela IDW e pela penetração de NADW e AABW, as concentrações de oxigénio voltam a aumentar ligeiramente em relação ao mínimo intermediário. Esse comportamento indica a contribuição de águas mais recentemente ventiladas do Atlântico e Antártico, reflectindo o papel dessas massas na renovação das águas profundas do Índico. As diferenças regionais entre as secções DZ01 e DZ04, com valores ligeiramente superiores de oxigénio em DZ04, podem indicar uma maior influência lateral de fluxos advectivos ou seja, o transporte horizontal de massas de água ou ainda uma mistura local induzida pela topografia da cordilheira, que favorece a renovação parcial do oxigénio nessas profundidades.

A DZ01, localizada paralela à costa e alinhada no sentido sul-norte, concentra estações próximas à costa moçambicana, permitindo captar de forma clara a influência continental. Nessa região, a proximidade com a pluma fluvial favorece oscilações negativas de salinidade, associadas ao aporte de água doce, além de variações térmicas mais acentuadas ligadas a processos de aquecimento superficial e mistura vertical.

Por outro lado, a DZ04 apresenta uma distribuição orientada no sentido Oeste-Leste, afastando-se gradualmente da linha de costa em direcção ao mar aberto. Os pontos dessa secção permitem captar gradientes longitudinais associados à circulação oceânica e à influência da topografia submarina da região da MozRidge. Nessa área, os resultados mostram valores de salinidade relativamente mais elevados e estáveis, reflectindo menor influência directa da descarga fluvial. Além disso, a estratificação vertical das massas de água torna-se mais evidente, com camadas intermediárias e profundas bem definidas, destacando um ambiente menos variável e mais dominado por processos oceânicos de larga escala.

4.2.1. Distribuição vertical da Temperatura, Salinidade e Oxigênio na região de DZ01

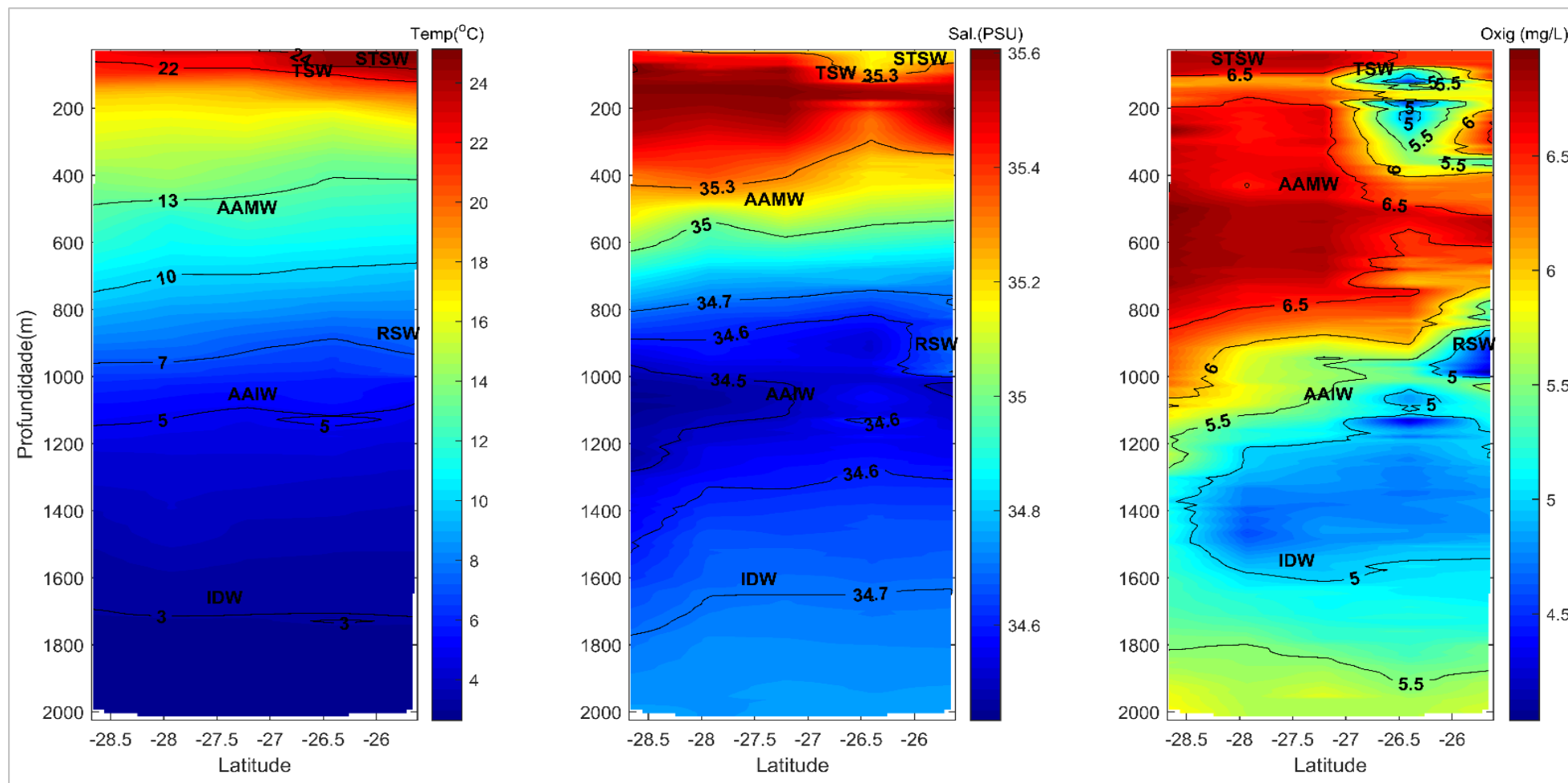


Figura 9: Secções verticais de Temperatura, Salinidade e Oxigênio em 6 estações ao longo da secção DZ01 na região da MozRidge.

4.2.2. Distribuições verticais de Temperatura, Salinidade e Oxigênio na região de DZ04

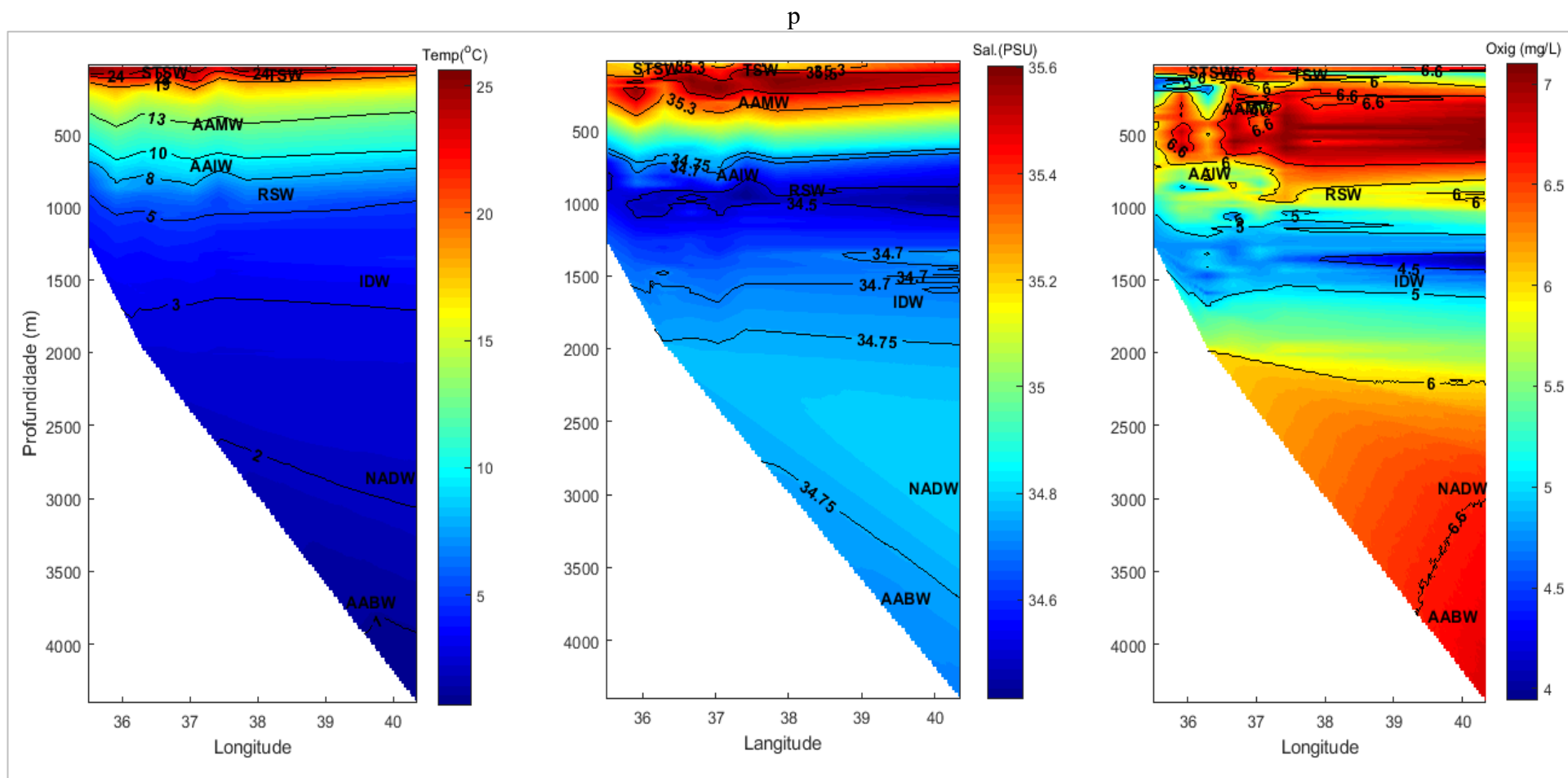


Figura 10: Secções verticais de Temperatura, Salinidade e Oxigênio Correspondendo 9 estações ao longo da secção DZ04 na região da MozRidge.

Tabela 2: Ilustra as características das massas de água de acordo com os parâmetros e juntamente com as suas faixas de profundidade correspondentes da região MozRidge.

Tipos de Massas de água	Temp [°C]	Salinity [psu]	Oxygen (mg/l)	Density [kg.m⁻³]	Depth [m]
STSW	23-26	35.4-35.6	6.5-7.8	25.05-26.0	0-200
TSW	22-25	34.9-35.3	7.0-8.5	23.0-25.0	0-200
RSW	7-22	35.7-34.8	4.8-6.5	27.2-27.8	800-1200
AAMW	10-13	35.0-34.4	5.5-6.5	26.5-27.0	500-1000
AAIW	6-10	34.6-34.5	4.7-6.0	27.0-27.4	500-1500
IDW	3-5	34.8-34.7	4.5-5.5	27.4-27.6	1500-3800
NADW	2-4	34.9-35.0	4.3-5.5	27.8-28.0	3000-4000
AABW	1-2	34.4-34.6	4.0-5.0	27.6-28.0	> 4000

4.3 Discussão

4.3.1. Identificação das massas de água existentes durante o período do Cruzeiro

Durante o período do Cruzeiro, foram identificadas as massas de água na região da MozRidge, abrangendo as camadas superficiais, intermediárias e profundas, conforme evidenciado nas figuras 4 e 5. Nas camadas superiores (0–200 m), predominam a Água Tropical Superficial (TSW) e a Água Subtropical Superficial (STSW), corroborando com Ullgren *et al.* (2018). A TSW, caracterizada por maior temperatura e menor salinidade, é transportada ao norte pelo Canal de Moçambique através da corrente equatorial (Saetre e Da Silva, 1982). A STSW, por sua vez, entra pelo Sul do canal e apresenta aumento de salinidade devido à evaporação superior à precipitação, formando um máximo de salinidade superficial quando submerge abaixo da TSW (Wyrcki, 1973), sugerindo possível influência topográfica da região.

Observações recentes em MozRidge evidenciam instabilidades na coluna de água, com ocorrência de vórtices e coexistência de diferentes massas aquáticas (Muhosse, 2023). A RSW, de alta salinidade e baixo teor de oxigênio, é transportada para o Oceano Índico pelo Golfo de Áden, interagindo com correntes regionais e influenciando a distribuição das massas superficiais e intermediárias (Beal *et al.*, 2000). Tais instabilidades podem estar relacionadas com a topografia da MozRidge que modifica o fluxo das correntes regionais e favorece a formação de redemoinhos e a troca entre massas de diferentes origens. O mesmo foi observado por Ridderinkhof *et al.* (2010) e

Halo *et al.* (2014), que associam o relevo submarino e o cisalhamento das correntes à geração de vórtices e transporte lateral de propriedades físico-químicas, como temperatura, salinidade e oxigênio. Assim, os resultados sugerem que a morfologia da MozRidge desempenha um papel essencial na variabilidade termohalina, oxigenação das camadas superficiais e intermediárias.

Nas camadas intermediárias, identificou-se a AAIW, com salinidade mínima (<34,5 psu) e elevado teor de oxigênio dissolvido, transportada para Norte pela Subcorrente de Moçambique (Ullgren *et al.*, 2012). Segundo Stramma e England (1999) e Donners (2005), essa massa se origina em regiões de subducção no Sudeste do Atlântico e Pacífico, e sua superposição com a RSW gera gradientes acentuados de propriedades físico-químicas (Gründlingh, 1985; Roman e Lutjeharms, 2009). A IDW foi identificada em todas as estações, apresentando temperaturas entre 3 e 5 °C, salinidade variando de 34,7 a 34,8 psu e concentrações de oxigênio dissolvido entre 4,5 e 5,5 mg/L, valores consistentes com os descritos na literatura (Bindoff & McDougall, 2000; Mantyla & Reid, 1995; Schott & McCreary, 2001; Talley, 2013). A salinidade ligeiramente superior da IDW, em relação à Água Intermediária Antártica (AAIW) que a sobrepõe, reforça a estratificação intermediária da coluna de água e limita a mistura vertical entre as camadas.

De acordo com Di Marco *et al.* (2002) e You (1998), essa zona de transição aproximadamente (500 -1500 m) é dominada por mistura lateral intensa e ventilação, controlando a variabilidade vertical do oxigênio. As diferenças observadas devem-se à baixa faixa de densidade da AAIW, cuja salinidade (34,5 –34,6 psu) favorece o acoplamento com massas mais salinas oriundas do norte. Esse padrão indica uma combinação de águas do Índico e do Mar Vermelho, evidenciando a influência da RSW nas profundidades intermediárias, conforme já discutido por Gründlingh (1985), Beal *et al.* (2006) e Roman e Lutjeharms (2009). Essas características indicam que a IDW se forma a partir dos processos de mistura, onde suas propriedades sugerem uma combinação entre as águas do Oceano Índico e as Águas do Mar Vermelho (RSW). A água do Mar Vermelho, sendo mais quente e salina, influencia significativamente as propriedades da IDW, especialmente nas profundidades intermediárias.

A Água Profunda do Atlântico Norte (NADW) é uma massa de água fria e salina que se forma no Atlântico Norte e desce ao fundo do oceano, movendo-se para o sul como parte da circulação termohalina global. Embora essa massa de água é originada no Atlântico Norte, a NADW é encontrada ao longo da Cordilheira de Moçambique no Oceano Índico. Wiles *et al.*, (2014) afirmam que uma porção da NADW é transportada para a Bacia do Sul de Moçambique através de passagens

profundas na região da MozRidge. Ao longo de sua trajetória, a NADW mantém suas características típicas de temperatura (2° a 4°C) e salinidade (34,9 a 35,0 psu), contribuindo para a estratificação e circulação profunda na região (Falkowski e Kolber, 1995). Na região da MozRidge, observa-se a presença da Água de Fundo Antártica (AABW), que circula aproximadamente a 4.000 m de profundidade (fig. 7). Esta massa de água flui inicialmente para norte como uma corrente de fronteira ocidental ao longo da Bacia Sul de Moçambique (Tucholke & Embley, 1984; Read & Pollard, 1999). Contudo, devido ao fechamento da bacia no sector norte, o AABW é desviado, passando a fluir para sul ao longo do flanco leste da bacia e seguindo em direcção à Cordilheira de Madagáscar (Kolla *et al.*, 1980; Charles *et al.*, 2020).

Estudos hidrográficos recentes identificaram a presença de outras massas de água, como a Água Antártica Intermediária (AAIW) e a Água Profunda do Atlântico Norte (NADW), além da influência da topografia submarina na circulação. A NADW, equivalente à NIDW, interage com canais e elevações submarinas, moldando padrões de circulação complexos (DiMarco *et al.*, 2002; van Aken *et al.*, 2004; Collins *et al.*, 2016). Esses estudos sugerem que a dinâmica das massas de água na região é fortemente influenciada pela interacção com a morfologia do fundo oceânico, resultando em desvios, retenção e modificação das propriedades hidrográficas ao longo de seu percurso.

4.4. Distribuição vertical das massas de água

A distribuição vertical das massas de água revela uma clara estratificação da coluna de água ao longo da MozRidge. As camadas superficiais, compostas por TSW e STSW, apresentam altas temperaturas (22° – 26°C), salinidade relativamente elevada (até 35,6 psu) e concentrações de oxigénio de 6 – 7 mg/l, reflectindo interacção directa com a atmosfera e a produtividade primária (Ullgren *et al.*, 2018; Saetre e Da Silva, 1982). As figuras 6 e 7 mostram que a variação vertical entre as linhas DZ01 e DZ04 afecta levemente os valores de temperatura e salinidade, sendo DZ04 caracterizada por gradientes mais estáveis devido à maior distância da costa aproximadamente a 200 km². A distribuição da AAIW na região ocorre entre 800 e 1200 m, enquanto o NADW flui ao longo da borda ocidental da cordilheira de Moçambique (Van Aken *et al.*, 2004). A AABW, caracterizada por temperatura e salinidade mínimas, flui para o norte ao longo da margem moçambicana e retorna para o sul ao longo de Madagáscar, sendo fortemente influenciada pela batimetria (Van Aken *et al.*, 2004). Por outro lado, essa massa de água há maior concentração de nutrientes devido nível de salinidade muito baixa (Park *et al.*, 1993).

Deste modo, as profundidades variando de 1010,7 m (S22) a 4437 m (S01) em diferentes estações indicam a possibilidade de interacção com várias massas de água. Águas Intermediárias da Antártica (AAIW) podem ser encontradas em profundidades intermediárias, 700 e 1500 m, como observado nas estações S16 e S21, aproximadamente a 2000 m de profundidade (figura 6, à esquerda). Águas Profundas do Índico (IDW) ou outras massas de maior densidade podem ser associadas às profundidades mais elevadas, como nas estações S04 e S01 em IN-DZ04, que ultrapassam 4000 m conforme secções verticais (figura 7).

Deste modo, a mistura vertical influencia a distribuição das massas de água ao promover as trocas das propriedades físico-químicas, como temperatura, salinidade e oxigénio, entre camadas da coluna de água. Apesar dos resultados significativos como MozRidge, a topografia acidentada intensifica a turbulência e gera ondas internas que transportam águas profundas e frias para níveis superiores, e águas superficiais mais quentes para profundidades maiores. E esse movimento vertical cria zonas de transição mais homogêneas, misturando características de diferentes massas de água, como a AAMW, AAIW e IDW, e resulta em gradientes menos acentuados de propriedades ao longo da coluna de água (St. Laurent & Garrett, 2002; White *et al.*, 2007). No entanto, a interpretação da transição entre duas massas de água é questionável e pode estar relacionada ao movimento vertical das interfaces (Thieblemont *et al.*, 2019). É importante salientar que os vórtices também podem induzir períodos de intensas correntes de fundo, que erode o fundo marinho e girar feições submersas. Esse fenómeno é ainda intensificado pela interface NADW-AABW, que se desloca para o sul, causando um aumento de temperatura devido à presença das águas do NADW, mais quentes em comparação com a AABW (Gardner *et al.*, 2017).

Embora os dados hidrográficos obtidos na MozRidge tenham permitido identificar diversas massas de água como a TSW, STSW, AAMW, RSW, AAIW, IDW, NADW e AABW, a South Indian Central Water (SICW) não pôde ser claramente reconhecida nas observações realizadas. Essa limitação pode estar associada à escala espacial reduzida das amostragens e ao período de colecta dos dados, factores que tendem a realçar características hidrológicas locais e interacções específicas entre massas de água, como as observadas entre a AAMW e a RSW. Nesse contexto, torna-se evidente a necessidade de integrar levantamentos oceanográficos regionais com estudos de alta resolução, a fim de compreender de forma mais abrangente a estrutura e a variabilidade espaço-temporal das massas de água em regiões de topografia complexa, como a MozRidge (Tomczak & Godfrey, 2003; You, 1998; Lutjeharms, 2006).

CAPÍTULO V: Conclusões e Recomendações

5. Conclusões

A análise da coluna de água na região da MozRidge, baseada nos dados do cruzeiro CJCM_II, permitiu compreender a complexa distribuição e dinâmica das massas de água no Oceano Índico. De uma forma genérica pode concluir-se que:

- Durante o cruzeiro, foram identificadas diversas massas de água na região da MozRidge, incluindo TSW, STSW, AAMW, AAIW, RSW, IDW, NADW e AABW. Cada uma dessas massas apresenta propriedades físico-químicas específicas que reflectem sua origem e os processos oceânicos que influenciam a região.
- A distribuição vertical das massas de água na região revela uma estratificação em três camadas principais. As massas superficiais (0 – 200 m), compostas pelas Águas Tropicais e Subtropicais Superficiais (TSW e STSW), apresentam altas temperaturas, salinidade relativamente elevada e maiores concentrações de oxigénio dissolvido. As massas intermediárias (500 – 1500 m), representadas pela AAMW, AAIW e RSW, caracterizam-se por menores temperaturas, salinidade reduzida e variações no teor de oxigénio, resultantes de processos de mistura e remineralização. Nas camadas profundas (2500 – 4000 m), onde predominam as IDW, NADW e AABW, observam-se águas frias, de baixa salinidade e menores concentrações de oxigénio.

5.1.Recomendações

Para trabalhos futuros:

- Realizar campanhas oceanográficas adicionais em diferentes estações do ano para comparar a sazonalidade de diferentes massas de água e
- Integrar traçadores oceanográficos adicionais (nutrientes, turbidez e fluorescência) para aprimorar os critérios e fortalecer a caracterização das massas de água na região da MozRidge.

CAPÍTULO VI: Referências Bibliográficas & Anexos

6. Referências bibliográficas

- Beal, ML, Chereskin, TK, Lenn, YD, Elipot, S., 2006. As Fontes e Características de Mistura da Corrente das Agulhas. Jornada. Física. Oceanogr 36, 2060 – 2074.
- Beal, LM, Field, A., Gordon, AL, 2000. Espalhamento das águas de transbordamento do Mar Vermelho no Oceano Índico. *Journal of Geophysical Research* 105, 8549 – 8564.
- Bindoff, N. L., & McDougall, T. J. (2000). Decadal changes along an Indian Ocean section at 32°S and their interpretation. *Journal of Physical Oceanography*, 30(6), 1207–1222. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(2000\)030<1207:dcaao>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(2000)030<1207:dcaao>2.0.co;2)
- Branco, J. O., Christoffersen, M. L., & Floeter, S. R. (2007). Seamounts: Deep-Ocean Oases and Hotspots of Marine Biodiversity. In *Seamounts, Islands, and Atolls* (pp. 339-353). Springer, Dordrecht.
- Calixto, P. (2013) A Subcorrente Norte do Brasil entre fortaleza (ce) e o Cabo do Calcanhar (rn). Calixto, F. *Physical Oceanography: Concepts and Applications*. [Publisher], 2013.
- Carvalho, JL, Lacerda, LD, Knoppers, BA, & Ovalle, ARC (2013). *LivrePesquisa da Plataforma Continental*, 61 , 17–<https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.04.002>
- Charles, C., Pelleter, E., Revillon, S., Kluska, J.-M., & Albarède, F. (2020). Intermediate and deep ocean current circulation in the Mozambique Channel: New insights from ferromanganese crust Nd isotopes. *Marine Geology*, 430, 106356. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106356>
- Curtin, T. B. (1985). Physical observations in the frontal zones of the North Atlantic. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 316(1537), 79-96.
- Duxbur, A.C.B. Duxbur (1997). Na Introduction to the words Oceans. Fith editions, 503pp.london
- de Freitas, A. C. (2003). Aspectos da circulação e da estrutura termohalina da plataforma continental do estado de São Paulo: inverno de 2000 (Dissertação de Mestrado).
- De Ruijter, WPM, Ridderinkhof, H., Lutjeharms, JRE, Schouten, MW, Veth, C., 2002. Observações do fluxo no Canal de Moçambique. *Geofísica. Res. Carta* 29, 1401 – 1403.

- DiMarco, S. F., Chapman, P., Nowlin Jr, W. D., Hacker, P., Donohue, K., Luther, M., Johnson, G. C., & Toole, J. M. (2002). Volume transport and property distributions of the Mozambique Channel. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 49(7–8), 1481–1511. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(01\)00159-X](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00159-X)
- Dingle, R.V., Goodlad, S.W., Martin, A.K., 1978. Bathymetry and stratigraphy of the northern Natal Valley (SW Indian Ocean): a preliminary account. *Mar. Geol.* 20, 89 – 106. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(78\)90099-3](https://doi.org/10.1016/0025-3227(78)90099-3).
- Duncan CP (1970) The agulhas current. Ph.D. Dissertation, University of Hawaii, 76pp.
- Donners *et al.*, (2025). Water mass transformation and Subduction.
- Emery, WJ, 2001. Tipos de água e massas de água. Imprensa Acadêmica, 3179 – 3187. [Doi:10.1006/rwos.2001.0108](https://doi.org/10.1006/rwos.2001.0108).
- Emery, W. J. Water Types and Water Masses. In: *Ocean Circulation*. Boulder, University of Colorado, p. 1556-1567, 2003.
- Emery, W. J., & Meincke, J. (1986). Global water masses: summary and review. *Oceanologica Acta*, 9(4), 383–391.
- Emery, W. J., & Thomson, R. E. (2001). *Data analysis methods in physical oceanography* (2nd ed.). Elsevier.
- Falkowski, PG, & Kolber, J. (1995). Variation in Chlorophyll Fluorescence Yields in Phytoplankton in the World Oceans.
- Faugères, J.-C., Stow, D.A.V., Imbert, P., Viana, A.R., 1999. Seismic features diagnostic of contourite drifts. *Mar. Geol.* 162, 1–38. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(99\)00068-7](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(99)00068-7).
- Ferreiro, B. and Wainer, I., 2008. “Estudo Comparativo da Temperatura e Salinidade Entre os Resultados do Community Climate System Model, os Dados Hidrográficos do World.
- Fischer, M., & Uenzelmann-Neben, G. (2015). *The Mozambique Ridge – A large igneous province with a complicated emplacement history*. Paper presented at the AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, December 13–18, 2015. Retrieved from <https://epic.awi.de/38524>.
- Gardner *et al.*, (2017). Comparação global da espessura da camada nefelóide, concentração de material particulado e correntes ao longo das encostas continentais. *Pr Grundlingh, ML,*

- 1985b. Ocorrências de água do Mar Vermelho no sudoeste do Oceano Índico. *Journal of Physical Oceanography* 15, 207–212.
- García, M., Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Stow, D.A.V., León, R., Fernández-Puga, M.C., Díaz del Río, V., Somoza, L., 2009. Contourite erosive features caused by the mediterranean outflow water in the Gulf of Cadiz: Quaternary tectonic and oceanographic implications. *Mar. Geol.* 257 (1–4), 24–40. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.10.009>.
- Gammelsrød, T.; Hogue, A.M. (1995) – Watermasses, currents and tides at Sofala Bank, November 1987. *Revista de Investigação Pesqueira*, 22:37-60, Instituto de Investigação Pesqueira, Maputo, Moçambique
- Genin, A. (2004). Bio-physical coupling in the formation of zooplankton and fish aggregations over abrupt topographies. *Journal of Marine Systems*, 50(1-2), 3-20.
- Gomes, H. R. (2018). Distribuição de oxigênio dissolvido em ambientes estuarinos. Estudo de Caso.
- Grundling ML, Carter RA & Stanton RC (1991) Circulation and Water properties of the southwest Indian Ocean, Spring 1987. *Progr. Oceanography*. Vol. 28, Pergamon, 305-342.
- Halo I, Backeberg B, Penven P, Ansoorge I, Reason C, Ullgren JE. 2014. Eddy properties in the Mozambique Channel: A comparison between observations and two numerical ocean circulation models. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 100: 38-53.
- Halo, I. (2012), The Mozambique Channel eddies: Characteristics and mechanisms of formation, Ph.D. thesis, Univ. of Cape Town, Cape Town, South Africa.
- Hinrichsen, H. H., & Tomczak, M. (1993). Optimum multiparameter analysis of the water mass structure in the western North Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 98 (C6), 10155 – 10169.
- Hogue, A.M., V.F. Dove e C.I. Sete (2002). Water Masses and Circulation of Maputo bay. In: A M. Hogue, H. Matta e M.A. Pereira (Editors), *Proceedings of the II National Conference on Coastal Zone Research*. 9-16pp, Maputo, 27-29 September 2000. CDS-ZC/SEACAMUEM.
- Holland-H, B. (1916). Nogen hydrografiske metoder. *Skrifter utgitt av Det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo I. Matematisk-Naturvidenskapelig Klasse*, 1916 (7), 1 – 47.

- Hoguane, A. (2007). Perfil Diagnostico da Zona Costeira de Mozambique. *Gestão. Costeira*, 7, 69 – 82.
- Jacques, G. (2018). Natureza e origem da Serra de Moçambique, SW do Oceano Índico.
- Kennett, J., 1982. *Marine Geology*. Vol. 813 Prentice Hall 9780135569368.
- König, M. J.-N. (2007). Structure and Evolution of the Mozambique Ridge and Mozambique Basin. European Geoscience Union, General Assembly, (p. 10013). Vienna, Austria.
- Kolla, V., Eitrem, S., Sullivan, L., Kosteki, J.A., Burckle, L.H., 1980. Current-controlled, abyssal microtopography and sedimentation in Mozambique Basin, southwest Indian Ocean. *Mar. Geol.* 34, 171 – 206. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(80\)90071-7](https://doi.org/10.1016/0025-3227(80)90071-7).
- Klein, B., Tomczak, M.: Identification of diapycnal mixing through optimum multiparameter analysis: 2. Evidence for unidirectional diapycnal mixing in the front between North and South Atlantic Central Water. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 99, p. 25275-25280, 1994.
- Lutjeharms, J. R. (2006). The coastal oceans of south- Eastern Africa. (e. A.-8. Volume 14B, Ed.) *In The Sea*.
- Lutjeharms, J.R.E., 2006. *The Agulhas Current*. Springer, Berlin, Germany, 330pp.
- Machaieie, H.A. (2012) – Water Masses, Circulation, Stratification And Fronts in Sofala Bank, 38p., Master thesis, Eduardo Mondlane University, Quelimane, Moçambique. Unpublished.
- Malauene, B. S. (2005). Circulação Geostrófica e Massas de Água na Baía de Bazaruto. Trabalho de Licenciatura em Oceanografia. UEM, Departamento de Física, Faculdade das Ciências, Maputo. 36pp
- Mantyla, A. W., and J. L. Reid (1995), On the origins of deep and bottom waters of the Indian Ocean, *J. Geophys. Res.*, 100 (C2), 2417 – 2439.
- Miranda, L. B. (1982). Características hidrográficas e volume de água das regiões costeira e oceânicas adjacentes ao Cabo de São Tomé (RJ) (Dissertação de Mestrado).
- Montgomery, R. B. (1958). Water characteristics of Atlantic Ocean and of world ocean. *Deep Sea Research*, 5 (2-3), 134-148.
- MNN, K.H. e J.R.N. Lazer. (1996). *Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-Physical Interaction in the Oceans*, second edition, 394pp. Blackwell Science, Inc.USA
- Muhosse, A. (2023) Análise de feições oceanográficas na região do Mozambique ridge (sudoeste do oceano indico).

- Nehama (2015) Water mass characteristics in a shallow bank highly influenced by river discharges: The Sofala Bank in Mozambique- *Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 15 (4):523-532 (2015).
- Park, YH., Gamberoni, L., Charriaud, E., 1993. Estrutura frontal, massas de água e circulação na Bacia de Crozet. *Revista de Pesquisa Geofísica* 98, 12361 – 12385.
- Pickard, G.L. e W.J. Emery, (1990), *Descriptive Physical Oceanography. An Introduction* 5th (SI) edition, 320pp. Butterworth-Heinemann: Oxford.
- Pickard, G.L. (1974). *Oceanografia Física Descritiva*. 2a edição, 180pp, Brasil, Rio de Janeiro
- Poole, R.; Tomczak, M. (1999). Optimum Multiparameter Analysis of the Water Mass Structure in the Atlantic Ocean Thermocline. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 46 (11), 1895-1921.
- Pond, S. & Pickard, G.L. *Introductory Dynamical Oceanography*. 2 Ed, Pergamon Press, 1983
- Ridderinkhof, H.; Van der Werf, P. M.; Ullgren, J. E.; Van Aken, H. M.; Rouault, M.; De Ruijter, W. P. M. (2010). *Seasonal and interannual variability of the Mozambique Channel eddy field*. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 115, n. C2, p. 1–14. <https://doi.org/10.1029/2009JC005619>
- RÉ, P. M. A. B. *Biologia Marinha*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. p. 8- 10 2000.
- Roman, RE e JRE Lutjeharms (2009): Água intermediária do Mar Vermelho nas regiões de origem do decaimento e divisão dos anéis de Agulhas no sudeste do Oceano Atlântico. *Journal of Geophysical Research, Corrente das Agulhas. Pesquisa em águas profundas, parte 1*, 56: 939 – 962.
- Sætre, R. & da Silva, A.J. 1984. The circulation of the Mozambique Channel. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 31 (5): 485-508. Stramma, L., e M. England, 1999: Sobre as massas de água e circulação média do Oceano Atlântico Sul. *J. Geophys. Res.*, 104, 20 863 – 20 883.
- Schlitzer, R., 2010. *Ocean Data View*. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven.
- Schott, FA e McCreary, JP: A circulação das monções do Oceano Índico. *Prog. Oceanography*. 51, 1 – 123, [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(01\)00083-0](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(01)00083-0), 2001.

- Schouten, M. W.; De Ruijter, W. P. M.; Van Leeuwen, P. J.; Lutjeharms, J. R. E. (2002). *Eddies and variability in the Mozambique Channel*. Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, v. 49, n. 7–8, p. 1481–1493. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(01\)00159-0](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00159-0)
- Siedler, G., Rouault, M., Lutjeharms, JRE e Reason, CJC (2006). O Sou *Pesquisa em águas profundas Parte I: Artigos de pesquisa oceanográfica*, 53 <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2006.05.001>
- Silva, A.J. (1984) – Hydrology and fish distribution at the Sofala Bank (Mozambique). *Revista de Investigação Pesqueira*, 12:5- 36, Instituto de Investigação Pesqueira, Maputo, Moçambique.
- St. Laurent, L., & Garrett, C. (2002). The role of internal tides in mixing the deep ocean. *Journal of Physical Oceanography*, 32 (10), 2882-2899.
- Stramma, L., & England, M. (1999). On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 104(C9), 20863–20883. <https://doi.org/10.1029/1999JC900139>.
- Talley, L. D. (2013). Closure of the global overturning circulation through the Indian, Pacific, and Southern Oceans: Schematics and transports. *Oceanography*, 26(1), 80–97. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2013.07>
- Thiéblemont, *et al* (2019) Contourite depositional systems along the Mozambique channel: The interplay between bottom currents and sedimentary processes.
- Tomczak, M. & Large, D.G.B. 1989. Optimum multiparameter analysis of mixing in the thermocline of the eastern Indian Ocean. *Journal of Geophysical Research*,
- Tomczak, M., & Godfrey, J. S. (1999). *Regional Oceanography: An Introduction*. Pergamon Press.
- Tomczak, M., Godfrey, JS, 1994. *Oceanografia Regional: Uma Introdução*. Touro. Amer. Meteor. Soc 2, 390.
- Tomczak, M., & Godfrey, J. S. (2003). *Regional Oceanography: An Introduction*. 2nd edition. Daya Publishing House, Delhi, 390 p.
- Tomczak, M., & Godfrey, J. S. (2013). *Regional Oceanography: An Introduction* (2nd ed.). Delhi: Daya Publishing House

- Toole, MJ, Warren, BA, 1993. Uma seção hidrográfica através do Sul subtropical Oceano Índico. *Res. Do Mar Profundo*. 40 (10), 1973 – 2019.
- Tucholke, B. E., & Embley, R. W. (1984). Cenozoic regional erosion of the abyssal seafloor off South Africa. *Geological Society of America Bulletin*, 95(8), 908–918. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1984\)95<908:CREOTA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1984)95<908:CREOTA>2.0.CO;2)
- Ullgren, J. E., H. M. van Aken, H. Ridderinkhof, and W. P. M. de Ruijter (2012), The hydrography of the Mozambique Channel from six years of continuous temperature, salinity, and velocity observations, *Deep Sea Res., Part I*, 69, 36 – 50, doi: 10.1016/j.dsr.2012.07.003.
- Ullgren, JE, *et al.* (2012). A Água do Mar Vermelho no Canal de Moçambique: Caminhos e Características de Mistura. *Pesquisa em Mar Profundo Parte I: Artigos de Pesquisa Oceanográfica*, 69, 99-111.
- Ullgren, JE, *et al.* (2018). Observações hidrográficas da distribuição de massa de água no Canal de Moçambique. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123 (6), 4533 – 4554
- USEPA (1997). *Volunteer Estuary Monitoring: A Methods Manual*. EPA-842-B-97-003. United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). 2006. *Volunteer Lake Monitoring: A Methods Manual Second Edition*. EPA 440/4-91-002. Office of Water, Washington, DC.
- Van Aken, H. M., H. Ridderinkhof, and W. P. M. de Ruijter (2004), North Atlantic Deep Water in the south-western Indian Ocean, *Deep Sea Res., Part I*, 51 (6), 755 – 776
- Wiles, E., (2014). Um novo caminho para a troca de águas profundas entre o Vale do Natal e a Bacia de Moçambique? *Geo Mar*. 34 (6), 525– 540. <https://doi.org/10.1007/s00367-014-0383-1>.
- White, M., Bashmachnikov, I., Arístegui, J., & Martins, A. (2007). Physical processes and seamount productivity. In *Seamounts: Ecology, Fisheries & Conservation* (pp. 65-84).
- Wunsch, C., 2002. What Is the Thermohaline Circulation? *Science*, 298, 1179 – 1180.
- Wyrtki K. 1973. Physical oceanography in the Indian Ocean. In *Ecological Studies. Analysis and Synthesis*, Zeitzschel B (ed). Springer-Verlag 3: 18-36.
- You, Y. (1998). Intermediate water circulation and ventilation of the Indian Ocean derived from water-mass contributions. *Journal of Marine Research*, 56(5), 1029–1067.
- You, Y., Lutjeharms, J.R.E., Boebel, O. and De Ruijter, W.P.M., 2003. Quantification of the interocean exchange of intermediate water masses around southern Africa. *Deep-Sea Research II*, 50, 197 – 228.

6.1. ANEXOS

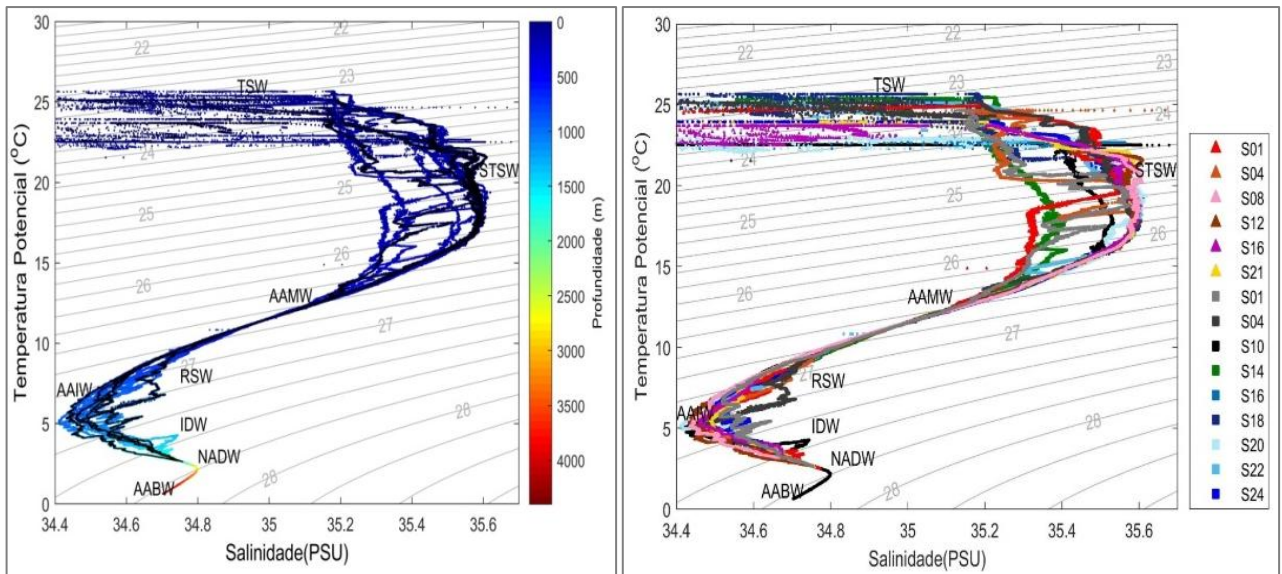


Figura 11 e 9: A esquerda representa diagrama ts (temperatura e salinidade) da linha DZ01 variando em função da profundidade e enquanto a direita representa DZ04 com suas respectivas estações.

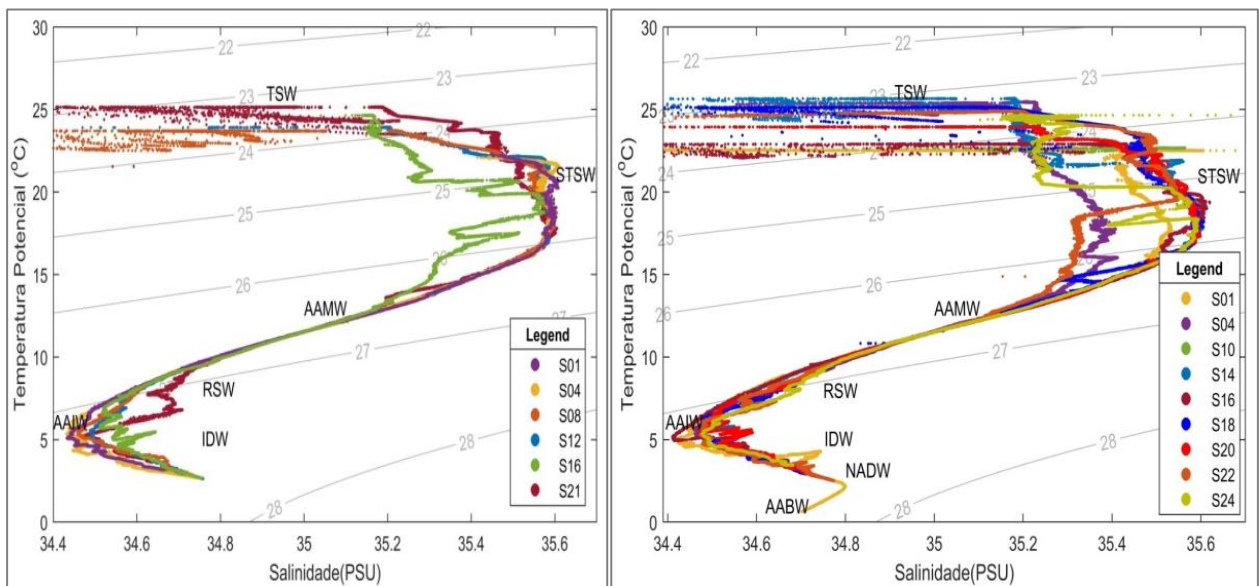


Figura 12 e 10: A esquerda representa diagrama ts (temperatura e salinidade) da linha DZ01 e enquanto a direita representa DZ04

Tabela 3: Coordenadas geográficas (latitude e longitude) e profundidade dos pontos de amostragem realizados na região da MozRidge, no Oceano Índico, durante o cruzeiro oceanográfico. Esses dados servem de referência para a localização espacial das colectas utilizadas nas análises físico-químicas e hidrológicas.

Secção						
Estacões		Período		Longitude [°E]	Latitude [°S]	Prof[m]
IN-DZ01	SO1	Jun 10 2021	02H10	36.3087	-29.3204	1801.62
	SO4	Jun 11 2021	04H05	36.3611	-29.0067	2840.03
	SO8	Jun 11 2021	18H30	36.4974	-28.1124	1911.08
	S12	Jun 12 2021	23H06	36.5793	-27.5759	2021.83
	S16	Jun 08 2021	18H04	36.6883	-26.8605	2100.99
	S21	Jun 01 2021	22H12	36.8247	-25.9663	2294.99
IND-DZ04	SO1	Jun 22 2021	02H10	40.5576	-26.6579	4437
	SO4	Jun 02 2021	13H07	-26.6579	-26.5209	1331.80
	S10	Jun 01 2021	03H02	39.005	-26.293	4241.61
	S14	Jun 01 2021	11H55	38.037	-26.02	1022
	S16	Jun 19 2021	15H19	37.8435	-25.9745	3010
	S18	Jun 01 2021	17H41	37.4569	-25.8837	2112.64
	S20	Jun 18 2021	03H35	37.0706	-25.7929	2042
	S22	Jun 02 2021	04H34	36.6845	-25.7022	1010.07
	S24	Jun 18 2021	13H35	36.2987	-25.6115	1526.12