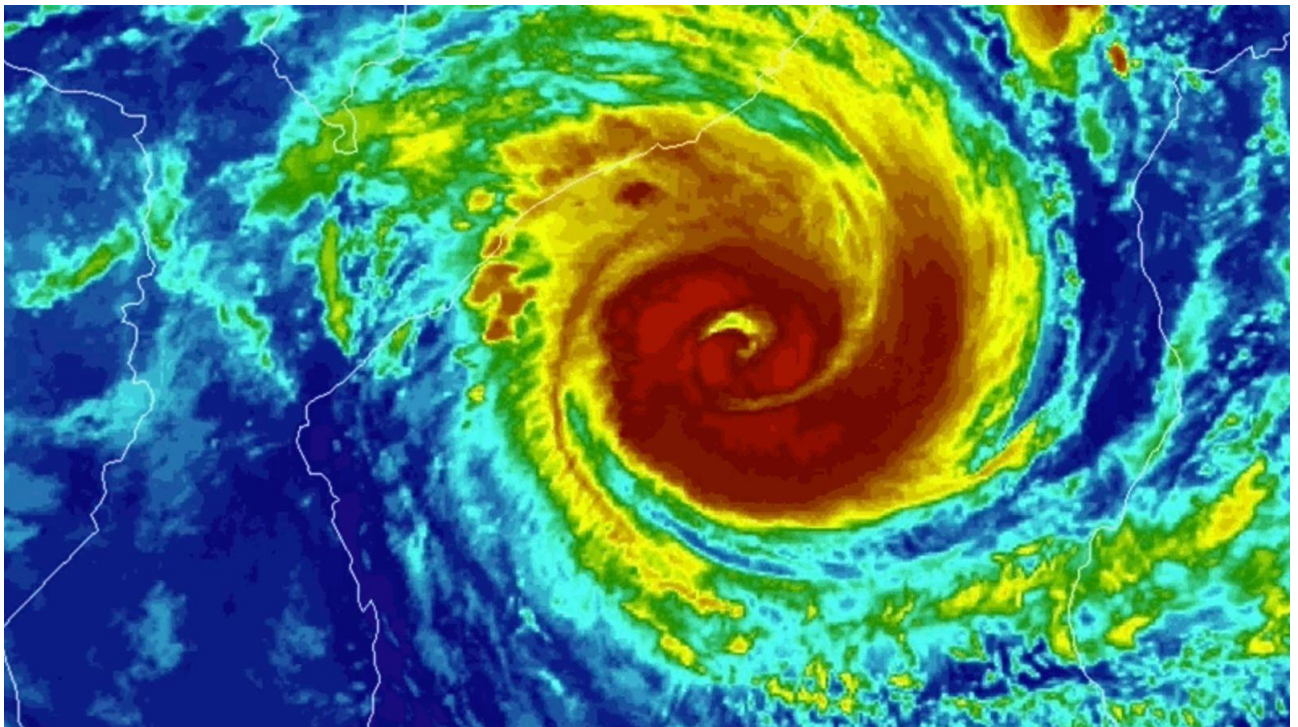




Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia para obtenção do grau de licenciatura em Oceanografia

Análise da influência do ciclone Idai sobre a circulação das correntes, temperatura superficial do mar, salinidade superficial e distribuição da clorofila no canal de Moçambique



Autor

Anselmo Júnior Chauque



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia para obtenção do grau de licenciatura em Oceanografia

Análise da influência do ciclone Idai sobre a circulação das correntes, temperatura superficial do mar, salinidade superficial e distribuição da clorofila no canal de Moçambique

Autor

Anselmo Júnior Chauúque

Supervisor

Noca Bernardo Furaca da Silva (*MSc*)

Quelimane, Novembro de 2019

Agradecimentos

Em primeiríssimo lugar agradecer a **Allah (Deus)** todo-poderoso por tudo que o Senhor fez na minha vida, pois nos momentos de aflição e nos de alegria sempre estive ao meu lado mesmo quando eu me esquecia disso.

Em segundo lugar a minha mãe *Zaida Fátima Jamal* (in memorian) pelos cuidados que teve comigo e pelos ensinamentos, conselhos pois foram os pilares com os quais fui moldado. Três linhas são insuficientes para expressar o quão agradecido estou e gostaria que estivesse em vida para colhermos juntos os frutos da semente que plantaste.

Ao meu supervisor pela orientação, sugestões e paciência *Noca Furaca* (MSc).

Ao meu pai e esposa *Anselmo Chauque e Maria Cossa*.

A minha família partindo dos avós *Hagira Mapanga e Viana Jamal* (in memorian), tios *Alexandre, Zacarias, Laila, Caissa*, irmãos *Adela, Fridom, Janet, João, Josemar*, primo *Vagner Firmino* e a um grande amigo *Dario Sagane*.

Ao corpo docente da ESCMC com particular importância ao tutor do curso de Oceanografia de 2016 *Teófilo Ferraz* (MSc) e ao *Helder Machaieie* (Ph.D.) pelas contribuições no trabalho e em toda caminhada ao longo do curso.

Aos colegas e amigos do grupo de estudos que praticamente foram meu amparo em momentos tristes, pois incondicionalmente estiveram sempre disponíveis a dar aquele ombro amigo. Meu muito obrigado a *Gésica Canivete, Nuno Escamade e Sónia Langa*

Aos meus colegas do curso pelos momentos partilhados e as contribuições em todos assuntos com particular importância: *Nélio Sitóe e Ricardo Mapulende*

A estes dois grandes homens pela amizade *Amade Baraza e Lucas Domingos*

A todos os colegas do regime 2016 pelo suporte e amizade destacando: *Abelardo Paruque, Adelina Langa, Cacilda Mandlate, Francisco Auxilio, Guilherme Marques, Isabel Nhampa, Lúcia Banze*.

Aos meus companheiros da equipe de basquete *Fernando Sibanda, Benelves Macassane, João Manenga*.

Por vezes a gente não entende como Deus age nas nossas vidas e porque nem é o sangue em que em família nos torna meu maior respeito e agradecimento a esta grande mulher *Rosária Jafar* pelo apoio financeiro, pela força, pois fostes uma verdadeira mãe para mim.

Acima de Deus ninguém está, de seguida sua mãe. Por esse motivo preferi colocar-lhe em ultimo para ser notável pois deste muito significado a minha vida num local onde não conhecia a ninguém. Pelo companheirismo, amizade, forca, suporte emocional e por fazeres parte dessa fase da minha vida muito obrigado *Ana Domingos Madeira*

Declaração de Honra

Declaro que esta monografia nunca foi apresentada para obtenção de qualquer grau e que ela constitui o resultado de meu labor individual. Esta monografia é apresentada como cumprimento parcial dos requisitos de obtenção do grau de Licenciatura em Oceanografia, da Universidade Eduardo Mondlane.

(Anselmo Júnior Chauque)

Resumo

Titulo: Análise da influência do ciclone Idai sobre a circulação das correntes, temperatura superficial do mar, salinidade superficial e distribuição da clorofila no canal de Moçambique

Autor: Anselmo Júnior Chaúque

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

A costa de Moçambique e respectivo canal são considerados como sendo os mais vulneráveis ao longo da costa africana pela sua localização geográfica que propicia a ocorrência de ciclones e tempestades de origem tropical pois fazem fronteira com uma das mais activas bacias de ciclones tropicais o Sudoeste do Oceano Intico. Recentemente (Março de 2019) o país foi fustigado pelo ciclone Idai considerado de categoria 4 tendo convergido na cidade da Beira e afectando mais de 967000 pessoas e causando a morte de 598 pessoas nas províncias de Sofala e Manica. Para além dos efeitos sociais, carece informação relativa aos efeitos que este ciclone causou na circulação das correntes e alteração na distribuição da clorofila, temperatura superficial do mar e salinidade superficial. Para obtenção destes resultados foram usadas imagens de Sítelate GHRSSST, SMAP, MODIS-Aqua e dados de reanilise ERA5 nas plataformas APDR, PODAAC, NASA e posterior processamento nos softwares IDV, SNAP e Matlab, baseando-se na comparação de resultados referente ao mês de marco de 2018 e 2019. A temperatura superficial do mar apos o ciclone apresentam-se reactivamente baixas em comparação ao ano sem ciclone (2018) na região centro da costa moçambicana com uma queda de temperatura de 3°C e quanto a concentração de clorofila verificou-se uma aumento de 0.08 mg.m⁻³ para 0.16 mg.m⁻³. Contudo, registou-se uma redução na temperatura superficial do mar e na salinidade e um aumento na distribuição da clorofila. Já as correntes foram influenciadas a quando do efeito do vento.

Palavras chaves: Canal de Moçambique, Ciclone tropical, Sensoriamente remoto, Vórtices, Misturas verticais

Lista de figuras

Figura 1 Idealização de um ciclone extratropical.	5
Figura 2 Modelo conceitual de um ciclone tropical.....	8
Figura 3 Localização do Canal de Moçambique.....	11
Figura 4 Circulação superficial no Canal de Moçambique.....	12
Figura 5 Intensidade do vento para o período de análise.....	17
Figura 6 Temperatura superficial do mar para o período de análise.....	18
Figura 7 Correntes superficiais para o período em análise.....	19
Figura 8 Salinidade superficial da água para o período em análise.....	20
Figura 9 Distribuição da clorofila ao longo do canal para o período antes e depois do ciclone.....	221
Figura 1 Temperatura superficial do mar para os anos com e sem ciclone.....	22
Figura 11 Comparação das correntes superficiais entre 2018 e 2019.....	23
Figura 12 Salinidade superficial para anos com e sem ciclone.....	24
Figura 13 Distribuição da clorofila para anos com e sem ciclone.....	255

Lista de tabelas

Tabela 1 Classificação dos ciclones com base na escala de Saffir-Simpson.....	4
Tabela 2 Descrição dos dados.....	14

Abreviaturas

°C	-----	Graus Celsius
hPa	-----	Hectopascas
m/s	-----	Metros por segundo
mbar	-----	Milibar
km/h	-----	Quilómetros por hora
ZCIT	-----	Zona de Convergência Intertropical
Km	-----	Quilómetros
3D	-----	Tridimensional
MICOA	-----	Ministério para Coordenação e Acção Ambiental
mm	-----	Milímetros
PODAAC	-----	Physical Oceanography Distributed Active Archive Center
GHRSSST	-----	The Group for High Resolution Sea Surface Temperature
APDRC	-----	Asia Pacific Data Research Center
SMAP	-----	Soil Moisture Active Passive
NASA	-----	National Aeronautics and Space Administration
MODIS-AQUA	-----	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
ERA5	-----	European Atmospheric Reanalysis
IDV	-----	Integrated Data Viewer
SNAP	-----	Sentinels Application Platform
netCDF	-----	Network Common Data Form
psu	-----	Unidade de salinidade
mg/m ³	-----	Miligramas por metros cúbicos
CT	-----	Ciclone Tropical
TSM	-----	Temperatura Superficial do Mar
SSM	-----	Salinidade Superficial do Mar
CMZ	-----	Canal de Moçambique

Índice

Agradecimentos.....	i
Declaração de Honra	iii
Resumo.....	iv
Lista de figuras	v
Lista de tabelas	v
Abreviaturas	vi
1. Introdução	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Problematização e Justificativa	2
1.3. Objectivos.....	3
2. Revisão de Literatura	4
2.1. Ciclones extratropicais	4
2.1.1. Ciclo de vida de um ciclone extratropical.....	5
2.1.2. Energética de um ciclone extratropical	6
2.2. Ciclones tropicais	6
2.2.1. Condições necessárias para o desenvolvimento dos ciclones tropicais	7
2.2.2. Ciclo de vida dos ciclones tropicais	8
2.3. Parâmetros em análise	9
2.3.1. Temperatura superficial do mar	9
2.3.2. Salinidade	9
2.3.3. Clorofila	10
2.3.4. Correntes	10
2.4. Características da área de estudo	10
2.4.1. Circulação oceânica.....	11
2.4.2. Regime de ventos	12
2.4.3. Precipitação	12
2.4.4. Temperatura	13

3.	Material & Métodos	14
3.1.	Discrição dos dados	14
3.2.	Processamento	14
3.3.	Análise dos dados	15
3.3.1.	Caracterização dos parâmetros	15
3.3.2.	Comparação dos parâmetros	16
4.	Resultados	17
4.1.	Caracterização dos parâmetros	17
4.1.1.	Ventos.....	17
4.1.2.	Temperatura superficial do mar	18
4.1.3.	Correntes superficiais	19
4.1.4.	Salinidade superficial	20
4.1.5.	Clorofila	21
4.2.	Comparação dos parâmetros.....	22
4.2.1.	Temperatura superficial do mar	22
4.2.2.	Correntes Superficiais	23
4.2.3.	Salinidade	24
4.2.4.	Clorofila	25
5.	Discussão	26
5.1.	Caracterização dos parâmetros	26
5.2.	Comparação dos parâmetros.....	27
6.	Conclusões e recomendações.....	29
6.1.	Conclusões.....	29
6.2.	Recomendações	29
7.	Literatura consultada.....	30

1. Introdução

1.1. Contextualização

Moçambique possui cerca de 2700 km de costa e está sujeito a ciclones tropicais (CT's) pelo facto de sua costa fazer fronteira ocidental duma das mais activas bacias de CT's, o Sudoeste do oceano Indico (Bié, 2017). Esta bacia por si só é responsável por 10% dos ciclones produzidos no mundo. Em virtude disso, Moçambique regista em média a ocorrência de um ciclone, três a quatro eventos de depressões tropicais e sucessões de eventos de secas e cheias por ano, comprometendo desse modo os esforços imprimidos para a erradicação da pobreza absoluta (MICOA, 2007).

CT's no Indico, furacões no Atlântico ou tufões no Pacífico são termos genéricos usados para referenciar sistemas de baixa pressão, não frontais, que geralmente ocorrem em águas tropicais ou subtropicais, sob condições de temperatura superficial do mar (TSM) não inferior a 26,5 °C e fraco cisalhamento vertical dos ventos (definido como a magnitude da diferença do vento em 850 e 200 hPa abaixo de 8 m/s). Estes são caracterizados pela forma organizada das tempestades (simetria), diâmetro típico na ordem de 300 a 800 km, e mínimo de pressão no centro, região que apresenta céu claro e ventos fracos e é denominada de “olho do ciclone” (Reboita, *et al.*, 2017).

CT's se formam em regiões com TSM acima de 26-27°C geralmente a partir dos 5° de latitude partindo do equador. As condições básicas que favorecem a origem dos CT's são: (a) valores altos de vorticidade relativa em baixos níveis, (b) fraco cisalhamento vertical e horizontal do vento, (c) condição de instabilidade na coluna atmosférica, (d) elevado conteúdo de humidade na baixa e média troposfera e profundidade da camada de mistura oceânica (Mavume, *et al.*, 2009).

Os satélites e ferramentas de modelação tem sido frequentemente usados com sucesso para inferir valores de velocidade do vento, TSM, altura da superfície do mar e ondas e a cor dos oceanos entre outros parâmetros, embora exista ainda grande limitação devido a questões ligadas a cobertura de nuvens associadas a estes sistemas e resolução espacial e temporal com que se fazem as medições (Black & Dickey, 2008).

A TSM é um dos principais fornecedores de energia cinética para a evolução dos ciclones uma vez que estes são consumidores de energia térmica e o oceano é conhecido como armazém de energia térmica mesmo pela sua capacidade calorífica (Black & Dickey, 2008). No entanto, os ciclones influenciam bastante na TSM e outras variáveis ambientais que pode culminar em alterações drásticas dos parâmetros oceânicos principalmente no padrão de circulação.

Contudo, para elaboração deste trabalho, a semelhança de outros estudos como é o caso de Mavume *et al.* (2009) & Zhang *et al.*, (2016) irá se basear em informação disponibilizada por via de plataformas que compilam dados de satélites e de reanálise (dados de modelos globais), visando a comparação de resultados referentes a períodos antes do ciclone, nos dias do ciclone e após o ciclone.

1.2.Problematização e Justificativa

CT's têm impactos significativos nas regiões costeiras de todo o mundo (Pipkin *et al.*, 2000). Os CT's tem causado uma serie de alterações na superfície do oceano, que variam em função de sua intensidade e a região em que ocorrem. A medida em que se aproximam da costa, estes sistemas são também capazes de originar marés de tempestades, elevação do nível do mar e ondas fortes proporcionais a intensidade dos ventos, com um poder devastador equiparado ao da precipitação e ao do vento.

A costa de Moçambique e respectivo canal são tidos como os mais vulneráveis ao longo da costa africana por sua localização geográfica propiciar a ocorrência de ciclones e tempestades de origem tropical, não só como também estão sujeitos a inundações costeiras em resultado da sobre-elevação do nível do mar e pela sua ampla e rasa plataforma continental (Bié, 2017).

A frequência e a intensidade com que os eventos ciclônicos no canal de Moçambique (CMZ) têm acontecido vêm aumentando. O estudo de Mavume *et al.* (2009) revela um aumento na intensidade dos ciclones de 36 na temporada 1980-1993 para 56 na temporada 1994-2007. Aliado a estas constatações, Moçambique em menos de um trimestre foi assolado por dois ciclones IDAI e KENETH ambos considerados de categoria 4 segundo a escala de Saffir-Simpson. Neste estudo, o ciclone em análise é o ciclone IDAI devido a região afetada que sita um dos pontos considerados de maior produtividade do país, o banco de Sofala.

Os ciclones exercem um papel fundamental na regulamentação do clima global pois são responsáveis pelo transporte de massas de água relativamente quentes das regiões equatoriais para as regiões polares garantindo assim que a superfície desta região não congele definitivamente (Pipkin, *et al.*, 2000; Freitas, *et al.*, 2011).

Estudos sobre ciclones e seus impactos tem sido bastante desenvolvidos em todo o mundo com maior intensidade em países costeiros, por estes estarem associados a ventos fortes, grande quantidade de precipitação e agitação da superfície do mar devido a acentuada variação da pressão atmosférica da região, podendo comprometer a navegação marítima com a sua passagem visto que possuem uma grande trajectória sobre o oceano (Mathias, 2012).

Devido a natureza dos impactos e transformações que advém desses sistemas, a comunidade científica tem imprimido grandes esforços para estudá-los. A observação directa das alterações causadas por estes fenómenos seja em parâmetros físicos do oceano, parâmetros de produtividade biológica entre outros é extremamente difícil.

Por consequência disso, estudos dessa natureza têm sido desenvolvidos com recurso ao sensoriamento remoto da atmosfera e águas oceânicas (oceanografia por satélite) e ferramentas de modelação. Neste sentido, com os resultados deste trabalho poderá se saber como é que a costa e o canal de Moçambique respondem a ciclones de certa magnitude no que concerne a parâmetros físicos da água do mar assim como biológicos (clorofila).

1.3.Objectivos

O objectivo principal deste trabalho é de avaliar o efeito que o ciclone tropical Idai criou sobre a circulação das correntes, TSM, SSM e clorofila no CMZ. Terá como específicos os seguintes:

- Caracterizar o padrão de circulação, ventos, TSM, SSM e distribuição da clorofila nos dias com e sem ciclone;
- Comparar os resultados de TSM, SSM, Circulação e clorofila para um ano com ciclone e um ano sem ciclone.

2. Revisão de Literatura

Ciclones são fenômenos meteorológicos que surgem em resposta a uma queda da pressão atmosférica à superfície, caracterizados por movimentos rotatórios do ar o que resulta em campos de atuação que vão desde centenas a milhares de quilômetros (Glitzenhirn, 2015). Sua nomenclatura é baseada no processo de formação, características físicas e posição geográfica da região de origem, do seu ciclo de vida e da fonte de energia pela qual se mantem (Reboita, *et al.*, 2017).

Eles classificam-se em extratropicais e tropicais, sendo que os primeiros se formam dentro de latitudes médias em resultado do gradiente de temperatura e cisalhamento de ventos intrínsecos enquanto que os segundos se formam em águas quentes e se intensificam através da evaporação gerada pelo vento sobre a superfície do mar e liberação de calor latente (Mathias, 2012).

Tabela 1. Classificação dos ciclones com base na escala de Saffir-Simpson

Categoria	Velocidade do vento		Sobrelevação (Pés)	Pressão Superficial (mbar)	Magnitude dos danos
	km/h	Milhas/hora			
1	119 – 153	74 – 96	4 - 5	>980	Mínimo
2	154 – 178	97 – 111	6 - 8	979 - 965	Moderado
3	179 – 210	112 – 131	9 - 12	964 - 945	Extensivo
5	211 – 250	132 – 155	13 - 18	944 - 920	Extremo
6	>250	156+	18+	<920	Catastrófico

Fonte: (Pipkinet *et al.*, 2001)

2.1.Ciclones extratropicais

Os ciclones extratropicais são caracterizados por diâmetros na ordem de milhares de quilômetros, assimetria térmica horizontal (dando origem as frentes quente e fria) e núcleo frio em toda troposfera. As primeiras teorias sugerem que a energia cinética observada em ciclones extratropicais é resultado da justaposição de energia disponível de massas de ar com temperaturas diferentes, sendo que a inclinação da superfície está associada à intensidade de discontinuidades da temperatura e do momento ao longo da zona frontal (Mathias, 2012).

O primeiro modelo de ciclone extratropical foi criado por Bjerknes como interação entre superfícies frontais destacando que todo ciclone em movimento tem duas linhas de convergência maiores denominadas *squallline* e *steeringline*, diferenciando-se das outras por suas propriedades térmicas (frente fria e frente quente). Portanto, o movimento ciclônico realiza a transformação do sistema para um estado de reduzida energia potencial, suscitando uma redução no ângulo de inclinação da rampa

frontal e fazendo um intercâmbio de calor entre as zonas equatoriais e polares (Mathias, 2012; Reboita, *et al.*, 2017)

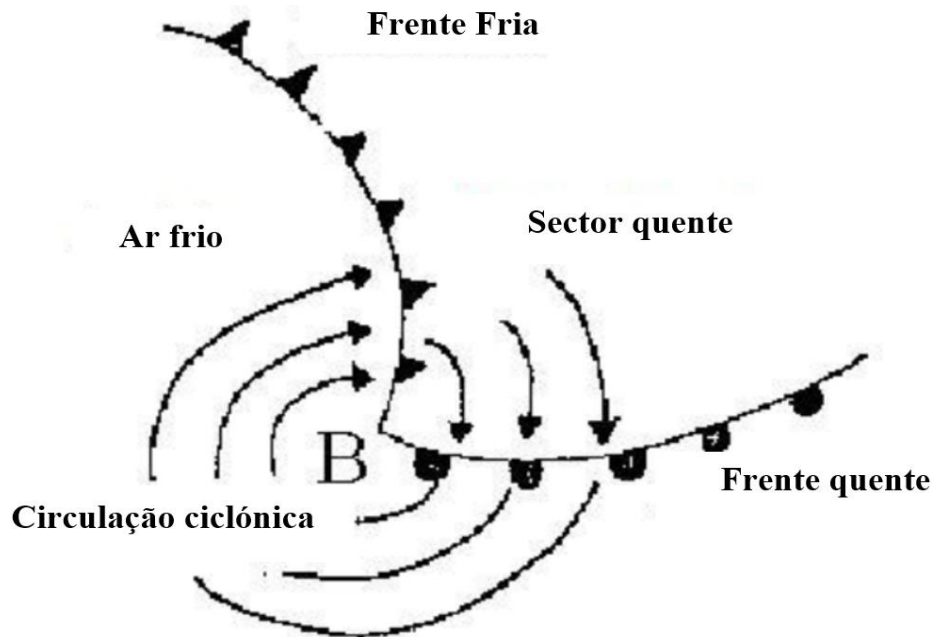


Figura 2 Idealização de um ciclone extratropical em que a região representada pela letra B representa o centro de baixa pressão do ciclone. Adaptado de Mathias (2012)

2.1.1. Ciclo de vida de um ciclone extratropical

Uma vez que trata-se de um fenómeno com princípio e fim, Mathias (2012) propõe quatro (4) estágios principais dos ciclones extratropicais:

- *Estágio da onda* - onde ocorre a formação de ondas frontais à superfície e surgimento dos dois braços principais sendo que um referente a frente fria e o outro a frente quente, com formação da primeira isóbara junto à superfície.
- *Estágio do ciclone jovem* - nesta fase, são observadas ao longo do campo de pressão algumas isóbaras fechadas em que as partes fria e quente da zona frontal se aproximam, verificando-se o sector quente e consequente queda de pressão.
- *Estágio de desenvolvimento máximo do ciclone* - caracterizado pela maior profundidade do ciclone próximo à superfície com varias isóbaras fechadas e fortes gradientes de pressão. Ocorre ainda o encontro das duas frentes (quente e fria) resultando na oclusão do ciclone e maior simetria na distribuição da temperatura no centro do ciclone.
- *Estágio de dissipação* - caracterizado pelo domínio da massa de ar frio sobre toda parte central do ciclone e coincidência de seus centros à superfície com os centros da massa de ar frio em médios e altos níveis, mantendo as isoípsas e isotérmicas quase paralelas com consequente redução da mudança da pressão e temperatura em resultado do movimento advectivo.

2.1.2. Energética de um ciclone extratropical

O ciclone extratropical produz energia cinética em que grande parte desta, o mesmo consome aquando da sua intensificação, alcançando seu pico máximo durante o processo de oclusão em resposta à subida do sector quente com conseqüente rebaixada do centro de gravidade do sistema e conversão da energia potencial em energia cinética dos ventos com maiores quedas de pressão à superfície do mar (Mathias, 2012).

A exaustão da energia potencial do sistema ocorre quando o ciclone torna-se um vórtice de ar homogêneo e o sector quente um “glóbulo” movimentando-se em forma de espiral acima do ar frio, não havendo mais produção da energia cinética por ascensão de ar quente e afundamento de ar frio podendo assim intensificar o sistema. Desta forma, o movimento existente apenas se mantém pela inercia do movimento das massas de ar, sendo que a fricção do ar com a superfície do mar gera um enfraquecimento gradual do ciclone (Mathias, 2012).

Introduzia-se assim o conceito sobre energia potencial em que considera-se que seja uma fracção do total de energia potencial que pode ser energeticamente activada para uma redistribuição adiabática da massa atmosférica, sendo que a energia cinética é produzida a partir da energia potencial disponível, com principais contribuições das fontes adiabáticas, aquecimento por radiação, adição de calor sensível e liberação de calor latente, tendo como principal processo de dissipação de energia cinética a fricção. A liberação de calor latente pela formação de nuvens e fluxos de calor à superfície no processo de interação oceano-atmosfera, é responsável pelo aumento da energia potencial e conseqüente aumento da energia cinética fortalecendo a circulação ciclónica e pela queda de pressão à superfície (Mathias, 2012).

2.2. Ciclones tropicais

Os CT's são definidos como um vórtice de rotação ciclónica (horária no hemisfério sul e anti-horária no hemisfério norte) podendo alcançar diâmetros que vão desde pequenas unidades até centenas de quilómetros e são menores comparativamente aos dos ciclones extratropicais, com ventos mais intensos nos níveis mais baixo da troposfera (Reboita, *et al.*, 2017). São caracterizados por diversidade de bandas nebulosas compostas de nuvens convectivas do tipo cumulonimbos com mais de um braço ciclónico, baixa pressão central e ventos que sopram ciclonicamente em volta do centro (Corrêa, 2010).

Os CT's geralmente ocorrem nas épocas mais quentes do ano com maior frequência no final do verão visto que sua força motriz é a elevada TSM, sua formação ocorre em ambientes barotrópicos (Corrêa, 2010), pois estes ambientes proporcionam ventos reactivamente fracos e valores baixos de pressão atmosférica.

Uma diferença notável nos mecanismos de obtenção de energia que mantem os CT's e extratropicais, é que pra os primeiros tem como fonte de energia a evaporação dos oceanos (gradientes verticais de temperatura) associada a formação de nuvens próximo ao centro do ciclone e os últimos extraem dos gradientes horizontais de temperatura (Mathias, 2012).

2.2.1. Condições necessárias para o desenvolvimento dos ciclones tropicais

Por se tratar de dois sistemas oceano e atmosfera, existem condições mínimas para que os CT's se desenvolvam e estas condições estão ligadas a aspectos clássicos da dinâmica e termodinâmica (Mathias, 2012). De acordo com Jullien (2013) Tais condições são:

- a) A TSM deve ser suficientemente alta para dar suporte à estrutura do ciclone por via de trocas de calor sensível e humidade. O mínimo de temperatura deve ser de 26.5°C;
- b) Força de Coriolis apreciável para fornecer vorticidade necessária ao sistema em desenvolvimento, destacando a relevância da rotação da terra para a formação e o desenvolvimento dos CT's sustentado ainda por este sistemas não se formarem nos primeiros 5° de latitude a contar a partir do equador, região esta que a rotação da terra é desprezível;
- c) Fraco cisalhamento vertical do vento, permitindo assim que se mantenha empilhado o desenvolvimento do vórtice;
- d) A coluna atmosférica deve se manter húmida em todos os níveis para impedir que se formem correntes descendentes a partir do resfriamento evaporativo, comprometendo o desenvolvimento de tempestades que compõem o ciclone.

Estas condições são consideradas mínimas para a ocorrência de CT's, no entanto para que se materialize é imperioso que algum distúrbio atmosférico pré-existente ocorra em escala sinótica garantindo a convergência em baixos níveis (Mathias, 2012). Estes distúrbios são tidos como gatilhos para a formação dos CT's e são:

- a) Ondas de Este - são distúrbios caracterizados por uma propagação do Este para Oeste na região tropical e padrão de onda no campo do vento, cavados de pressão à superfície, divergência do vento à superfície do lado Oeste do cavado e convergência do lado Este.

- b) Frentes frias - a medida em que se deslocam de regiões baroclínicas das médias latitudes em direção as baixas latitudes favorecem o desenvolvimento dos CT's visto que levam com sigo áreas de convergência à superfície.
- c) Zonas de convergência intertropical (ZCIT) - caracterizada por propiciar a formação de ondas em sua área de atuação em resultado do deslocamento da ZCIT do equador.

2.2.2. Ciclo de vida dos ciclones tropicais

Os CT's ao longo de sua vida passam por diversos estágios. Numa primeira fase um conjunto de tempestades caracterizadas por ventos fracos se forma também conhecido como distúrbio tropical. De seguida quando os ventos se intensificam (entre 44 e 63 km/h) o distúrbio progride e passa para o estágio de depressão tropical caracterizado pelo surgimento de várias isóbaras em volta do centro da depressão. Na fase seguinte as isóbaras são comprimidas pela contínua intensificação dos ventos (entre 64 e 119 km/h) o sistema passa de depressão tropical para tempestade tropical. Só depois é que são classificados como CT's a medida em que os ventos excederem 119 km/h (Mathias, 2012).

Os CT's têm um diâmetro aproximado de 550 km e uma região central caracterizada por céu claro denominada olho do ciclone e ventos fracos.

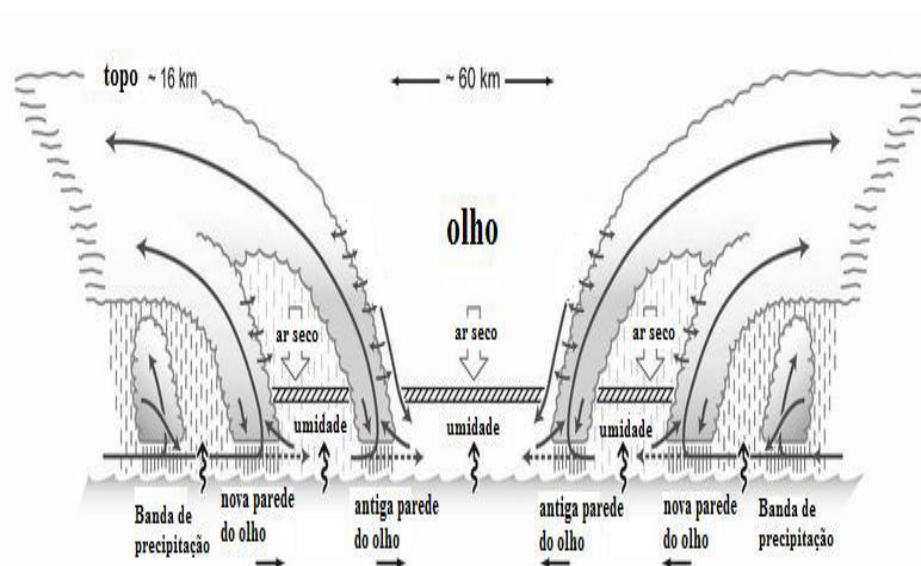


Figura 3 Modelo conceitual de um CT, evidenciando o seu olho, na parte central, e as diversas bandas de cumulonimbus sucessivas, cujos topos, vistos de cima, têm aspecto espiralado, adaptado de Mathias (2012)

A trajetória dos CT's é tal que tendem a se deslocar para o Oeste durante uma semana ou mais e depois se curvam em direção ao polo contornando o lado Oeste dos anticiclones subtropicais. Os ciclones seguem para os polos por serem regiões de temperaturas relativamente baixas para sustenta-

los e muitas vezes acabam colidindo com uma área continental onde sofre transformações radicais em curto período em resultado da ausência do fluxo de calor favorecido na interface oceano-atmosfera culminando com uma redução gradual da intensidade da tempestade até se anular (Reboita, *et al.*, 2017)

2.3.Parâmetros em análise

2.3.1. Temperatura superficial do mar

A TSM aumentado com as mudanças climáticas, queda da precipitação e efluentes termais provenientes das actividades industriais (Akbari, *et al.*, 2017). Por esta razão que é um dos parâmetros oceanográficos cruciais para o entendimento do clima pois é a base dos processos envolvidos na interação oceano-atmosfera (Reynolds, *et al.*, 2007).

Estudar o comportamento da TSM torna-se importante principalmente quando se trata de sua resposta aos CT's visto que a TSM é principal fonte de energia dos CT's (Yue, *et al.*, 2018).

Regiões sujeitas a CT's estão igualmente sujeitas a arrefecimento superficial depois da passagem destes sistemas devido aos mecanismos de intensificação destes (Yue, *et al.*, 2018). Medições por satélite e simulações numéricas em 3D evidenciam que os CT's induzem uma redução da TSM. Esta redução irá depender fortemente da máxima intensidade do vento que o ciclone irá atingir, da velocidade de translação e do tamanho (Zhang, *et al.*, 2016)

2.3.2. Salinidade

A SSM refere-se a concentração de todos os sais dissolvidos em água e pode ser dada pela massa total dos sais inorgânicos dissolvidos em um quilograma de água. Sua importância reside na capacidade de retenção de propriedades físico-químicas que caracterizam cada massa de água (Constanço, 2016).

Os meios convencionais de estudo/medição de SSM baseiam-se na conductividade eléctrica que é definida como a capacidade que os iões presentes na água tem de conduzir fluxo eléctrico e essa capacidade é directamente proporcional a concentração dos sais dissolvidos na água e ao incremento da temperatura da mesma (Constanço, 2016).

Diferente da TSM que tem vasta disponibilidade de informação (dados) de sensoriamento remoto, ainda reside grandes limitações no concernente a dados de SSM. CT's produzem consideráveis mudanças na SSM visto que estão associados a certa quantidade de precipitação influenciando no fluxo de água doce na superfície do oceano. A SSM do oceano é também afectada pela tensão do vento à superfície do oceano (Yue, *et al.*, 2018).

Portanto, consideram-se duas forçantes principais. Por um lado tem-se a tensão do vento que resulta em rápidas misturas verticais e possível upwelling levando a superfície águas do fundo relativamente frias e com alta SSM, contribuindo assim para o incremento da SSM. Por outro lado tem-se a precipitação que contribui para o aumento dos caudais aumentando a vazão dos rios como também a introdução directa de água doce causando a diluição da água superficial e consequente redução da salinidade (Jullien, 2013; Yue, et al., 2018).

2.3.3. Clorofila

Informações sobre as concentrações da clorofila e sua distribuição tem tamanha importância quando se pretende efectuar estudos sobre produtividade primária dos oceanos, determinar o papel dos oceanos nos ciclos biogeoquímicos, estudos de dinâmica oceânica e correntes costeiras entre outros (Costa, *et al.*, 1998).

Devidos as limitações das técnicas convencionais na determinação espacial e temporal das concentrações da clorofila, as comunidades oceanográficas tem explorado o sensoriamento remoto para a determinação da mesma e graças aos seguimentos fotossintéticos que possuem é possível estimar a concentração em água.

2.3.4. Correntes

A circulação oceânica costeira é derivada da tensão do vento exercida na camada superficial. As massas de água subsequente sentem o efeito do vento pela comunicação exercida pela força de pressão sugerindo a presença da costa (Guerreiro, 2012).

Os CT's na sua maioria são caracterizados por correntes superficiais muito rápidas ao longo do lado direito da trajectória do mesmo, com velocidades maiores que 2 m/s quando se trata dos maiores CT's. Já na camada de mistura essa velocidade depende grandemente da velocidade de translação do ciclone e sua intensidade (Zhao, *et al.*, 2008; Zhang, *et al.*, 2016; Yue, et al., 2018).

2.4. Características da área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido para a região do CMZ com algum destaque para a costa da cidade da Beira. O CMZ é limitado a Este por Madagáscar e a Oeste por Moçambique que são as fronteiras

terrestres. Já para os limites Norte e Sul está situado entre os paralelos 9°S e 29°S respectivamente.

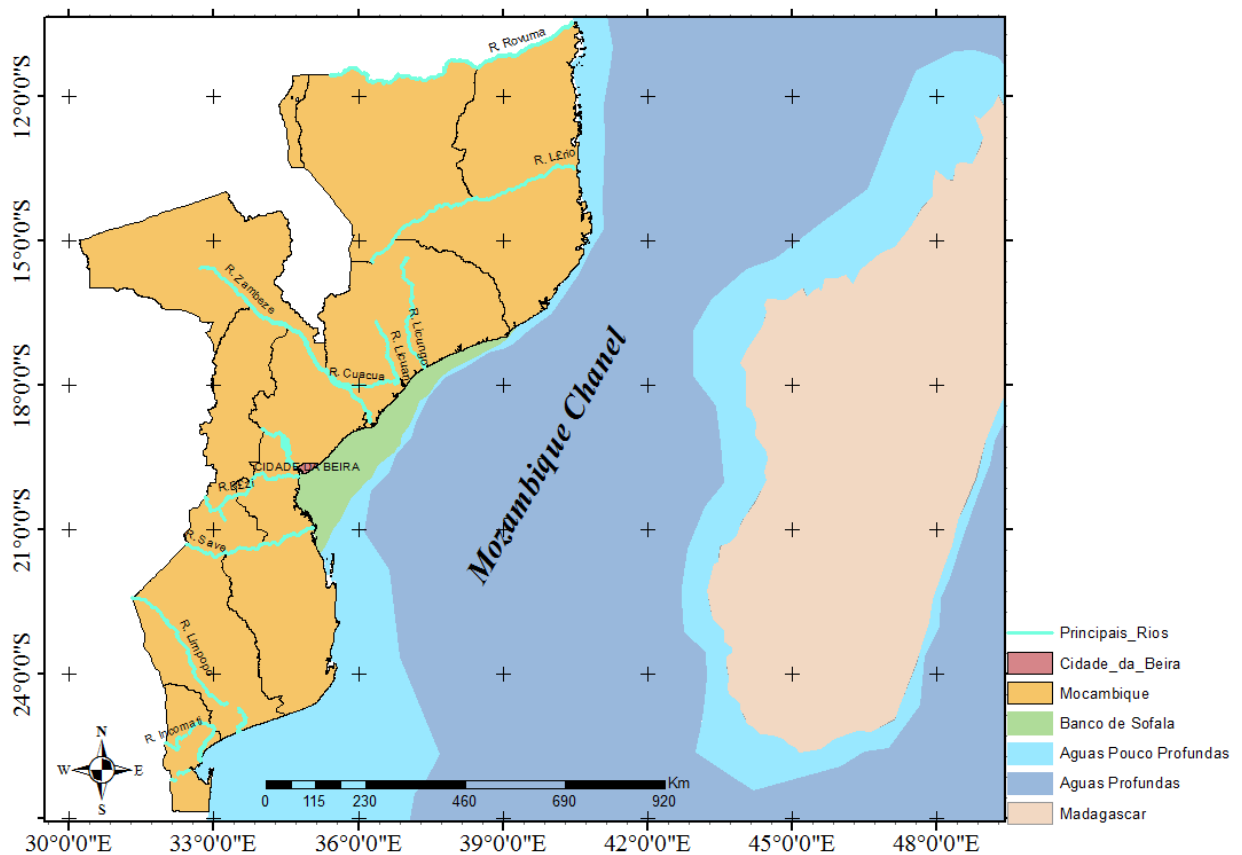


Figura 4 Localização do Canal de Moçambique

2.4.1. Circulação oceânica

De acordo com Saetre & Silva (1984) a corrente de Moçambique é geralmente considerada como parte do giro subtropical anticiclónico consistindo basicamente na corrente equatorial Sul, no sistema da corrente das agulhas e o fluxo Este situado ao Norte da convergência subtropical. Vários estudos foram levantados para responder a definição clássica da corrente das Agulhas sendo uma extensão da corrente de Moçambique e como resultado Lutjeharms & Ballegooyent (1984) concluíram que o influxo para a corrente das Agulhas é função da profundidade e que a corrente de Moçambique é principal fonte de movimento para camadas mais altas durante o inverno.

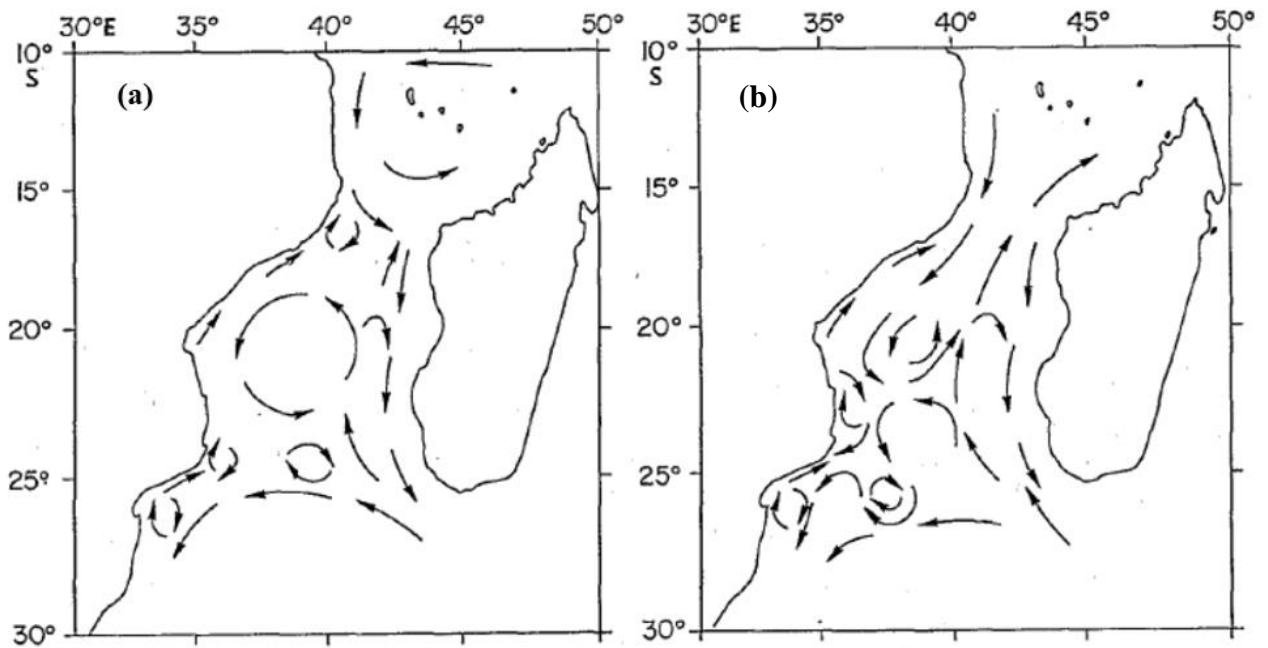


Figura 5 Circulação superficial no Canal de Moçambique: a) durante o verão e b) durante o inverno (Saetre & Silva, 1984)

2.4.2. Regime de ventos

Moçambique apresenta uma estação ciclónica que vai de Novembro a Abril, sendo que sua costa é atingida por ciclones com origem no Este de Madagáscar caracterizados por ventos fortes se intensificando-se a medida que atingem as águas quentes do CMZ e os de origem no CMZ caracterizados por chuvas intensas podendo causar cheias MICOA (2007), afectando na sua maioria a região que vai de Angoche até Sul de Inhambane.

De acordo com (Saetre & Silva, 1982) o Norte de Moçambique é fortemente afectado pelo sistema de monção Sul do Este africano com ventos a soprares do Norte a Nordeste durante o verão Sul e de Sul a Sudeste durante o inverno Sul. Já a região Centro e Sul de Moçambique é forçada pelo sistema wind-trade com predominância de ventos Este em todas épocas do ano.

Ao longo do CMZ, o sistema de monções apenas influencia a região compreendida entre 17° - 18° S, região esta que é também caracterizada pela maior incidência dos CT's que ocorreram durante a estação de monção do Nordeste que corresponde ao período de Novembro a Abril (Saetre & Silva, 1982).

2.4.3. Precipitação

Maior cobertura territorial de Moçambique encontra-se na zona intertropical, conferindo deste modo um clima tropical com quatro variações: tropical húmido, tropical seco, tropical semiárido e clima modificado pela altitude (MICOA, 2007), sendo que o tropical húmido é o que mais predomina com

duas estações nomeadamente a fresca e seca que se traduz na estação do inverno estendendo-se de Abril a Setembro e a quente e húmida traduzindo-se em verão que vai de Outubro a Março.

O MICOA (2007) afirma que a precipitação média varia entre valores inferiores a 400 mm até 2000mm, sendo que os principais fenómenos por detrás deste regime de precipitação são os seguintes:

i. *Zona de convergência intertropical*, ii. *Ciclones tropicais*, *Anticiclones*, iii. *Frentes frias do sul*, e iv. *Orografia*.

2.4.4. Temperatura

No seu vasto território, Moçambique apresenta variações regionais de temperatura em resultado das interferências de factores como a latitude, continentalidade e relevo. Em função da latitude, locais de menor latitude apresentam relativamente maiores temperaturas, no entanto pelo efeito do relevo, as regiões mais altas e a oeste do país registam-se temperaturas baixas, localizadas nas províncias de Niassa, Zambézia, Tete, Manica e Maputo (MICOA, 2007).

Em termos de magnitude, a distribuição normal obedece o seguinte: a) de 18 a 20 °C nas zonas montanhosas; b) de 22 a 24 °C nas regiões centrais e planálticas do centro e norte, e bem como nas zonas este e oeste das províncias do sul dos países; e, c) de 24 a 26 °C todo o este das regiões norte e centro e o interior da região sul do país (MICOA, 2007).

3. Material & Métodos

3.1. Descrição dos dados

Tabela 2 Descrição dos dados

Parâmetro	Plataforma	Satélite, Sensor ou Modelo	Resolução		
			Temporal	Espacial	
Temperatura	PODAAC	GHRSSST	Diária	0.01° x 0.01°	1 Km
Salinidade	APDRC	SMAP	Diária	0.25° x 0.25°	30 Km
Clorofila	NASA	MODIS- AQUA	Diária	0.04x 0.04°	4 Km
Ventos	Copernicus	ERA5	Horaria	0.08° x 0.08°	8 Km
Correntes					

O Soil Moisture Active Passive (SMAP) é um satélite lançado em Janeiro de 2015, desenhado para medir a humidade do solo, dotado de um radiómetro que é amplamente usado para medir a SSM. Sua resolução espacial é de 40 km com uma largura de varredura de 1000 km com um período de revisitação de 8 dias (Yue, et al., 2018).

Os dados de TSM e SSM embora sejam de satélites antes de serem disponibilizados nas plataformas são trabalhados (interpolações) para garantir que todos os pontos do oceano tenham alguma informação e de acordo com (Reynolds, et al., 2007) já passam pela validação com base em dados colhidos em terra.

Para a clorofila não são feitas estas interpolações daí que só se tem informação de acordo com a varredura de satélite e as janelas atmosféricas que são os espaços disponíveis na atmosfera que deixam passar radiação.

3.2. Processamento

- **Software Integrated Data Viewer (IDV)**

O IDV faz parte dos softwares e tecnologias desenvolvidas pela Unidata Program Center. É um programa gratuito e de códigos abertos facilitando o seu uso sem restrições.

Neste trabalho, o software IDV foi utilizado para efectuar uma pré-visualização e o recorte dos dados de TSM, correntes superficiais e ventos por se tratar de dados globais para dinamizar o processamento das imagens. De salientar que o recorte foi feito considerando que a área de

observação estava compreendida entre: Norte 9°S e Sul 29°S de latitude e Oeste 30°E e Este 50°E para longitude.

- **Software Sentinels Application Platform (SNAP)**

Este software foi utilizado para converter os dados de clorofila que são dados em netCDF 4 para o netCDF 3 que é um formato de fácil leitura no Matlab.

- **Software Matlab (R2013a)**

O *Matlab* é uma linguagem de programação de alto nível para visualização, computação numérica e interação com base de dados desenvolvida pela MathWorks. Este programa permite a manipulação matricial, plotagem de funções e dados, desenvolvimento de algoritmos, criação de modelos e aplicações de forma interativa e rápida, criação de interface de usuários e interface com programas escritos em outras linguagens de programação como é o caso de *python*, *java*, *fortran* entre outros.

Com este software foi feita a visualização das imagens. Esta visualização foi feita com auxílio do pacote *M_map* que é uma ferramenta escrita para o matlab e permite uma conexão com base de dados da costa com resolução de ¼ de grau, com capacidade de gerar eixos com limites em termos de latitudes e longitudes de alta qualidade. A grande vantagem desse pacote é que dependendo do objectivo de cada trabalho a reprojeção e reconfiguração da grade é feita ao critério do autor.

3.3. Análise dos dados

3.3.1. Caracterização dos parâmetros

Para responder este objectivo foram considerados três momentos. O primeiro foi considerado como *período antes do ciclone* correspondendo aos dias **6, 7 e 8**, o segundo como os dias do ciclone **13, 14 e 15** que foi escolhido sobre a premissa de que estes foram os dias em que a actividade ciclónica foi intensa e o terceiro como o período após o ciclone **19, 20 e 21**. É de salientar que todos os dias aqui escolhidos foram referentes ao mês de Março de 2019. O critério de escolha baseou-se no dia em que o ciclone atingiu a costa moçambicana (dia 14), tomando para os períodos antes e depois do ciclone dias equidistantes do período com ciclone.

Importa referir também que pela qualidade de imagens este critério apenas foi valido para dados de vento, correntes, temperatura e salinidade. Uma vez que os sistemas ciclónicos estão associados a alta cobertura de nuvens, as imagens de clorofila passaram por um pré-selecionamento visual em função da cobertura de nuvens. O mais próximo que se pode observar com maior abrangência para região de estudo foram as imagens dos dias **27 de Fevereiro de 2019** referente ao período antes do ciclone e **29 de Março de 2019** referente ao período após o ciclone.

3.3.2. Comparação dos parâmetros

Para este objectivo foram considerados dois momentos. Um primeiro momento referente ao período antes do ciclone (dias 19, 20 e 21) todos dias do mês de Março de 2018 e o segundo momento referente ao período após o ciclone (dias 19, 20 e 21) ambos dias do mês de Março de 2019. Nesta fase foi necessário que os dias de um momento fossem idênticos aos dias do outro momento para melhor evidenciar as alterações que possam se verificar.

A escolha dos parâmetros baseou-se na Premissa de que certos autores defendem que estes parâmetros sofrem alterações quando forçados por sistemas ciclónicos como é o caso de Zhang *et al.* (2016).

4. Resultados

4.1. Caracterização dos parâmetros

4.1.1. Ventos

A figura 5 representa a intensidade e direção do vento para os dias com e sem ciclone. Notou-se que para os dias 6, 7 e 8 o vento soprou na direção sudeste - noroeste na região sul e centro, e Norte - Sul para o norte com uma ligeira tendência de Norte - Sudoeste na costa moçambicana, com as maiores velocidades no centro e sul do canal (10 m/s) comparativamente a região norte (5 m/s).

Nos dias 13, 14 e 15 verificou-se que entre 24° e 26° de latitude os ventos sopravam de Este para Oeste com intensidade de 12 m/s. Em toda zona central verificou-se uma rotação no sentido horário em volta do centro de baixa pressão (olho do ciclone), com intensidade de 27 m/s. Já o Norte apresentou-se com ventos unidirecionais no sentido Norte - Sul e intensidade relativamente baixa (5 m/s) em comparação com as restantes regiões.

Os dias 19, 20 e 21 foram caracterizados por convergência de ventos na região central precisamente na costa da cidade da Beira que tinham os sentidos Sudeste - Noroeste e Nordeste - Sudoeste. Para a região norte observou-se ventos a fluírem no sentido Nordeste - Sudoeste e para a região Sul registou-se uma rotação anticiclónica. Para a intensidade, em todo canal, os valores estiveram abaixo de 8 m/s com excepção da costa da Beira em que estiveram próximo de 10 m/s.

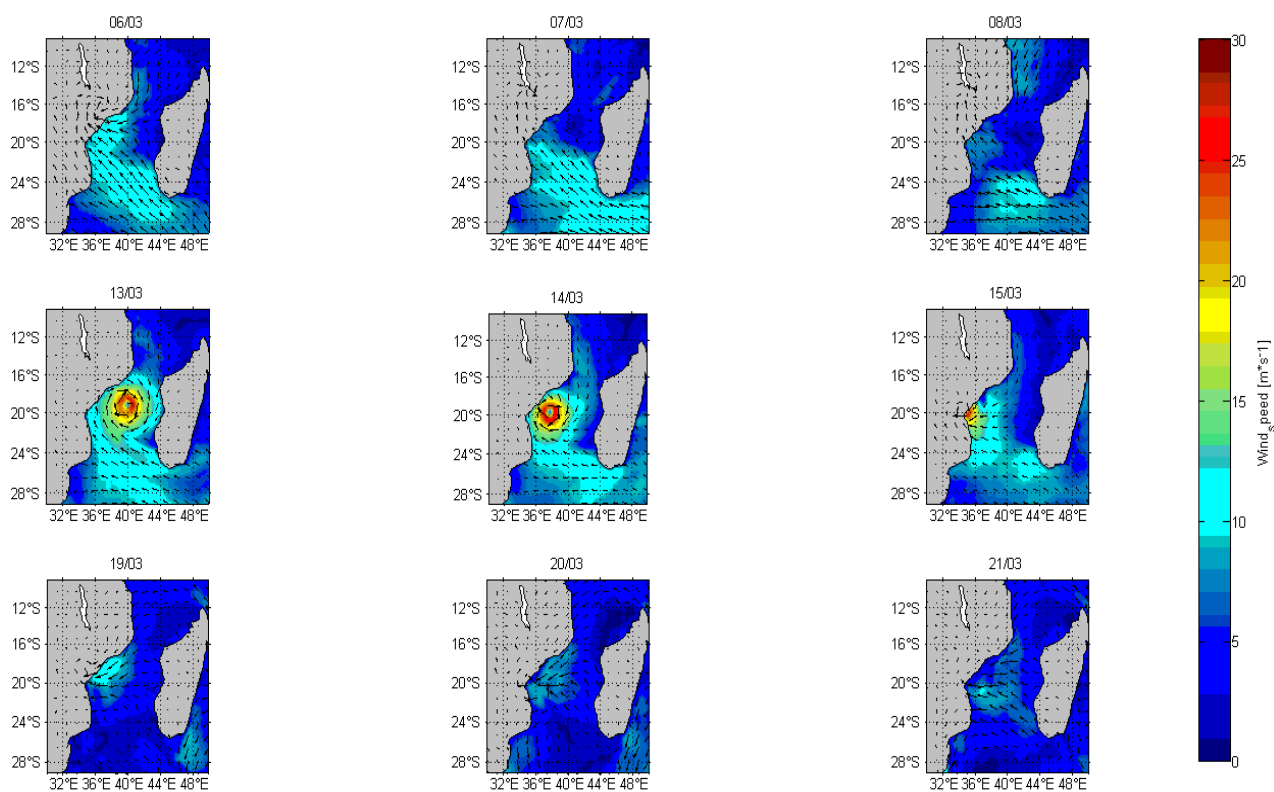


Figura 6 Intensidade do vento para o período de análise

4.1.2. Temperatura superficial do mar

A figura 6 ilustra a TSM para o período em observação. Para os dias 6, 7 e 8 a região a norte do canal apresentou maiores temperaturas em comparação com a região sul e centro do canal. Notou-se ainda que para região centro as águas mais quentes ocupavam o lado Este (próximo a Madagáscar) e do lado da costa Moçambique observaram-se temperaturas mais baixas com um gradiente negativo em direção ao sul. No geral, as regiões caracterizadas por temperaturas altas registaram em termos de magnitude uma média de 30°C e as caracterizadas por águas relativamente frias com uma média de 27°C.

Para os dias 13, 14 e 15 prevaleceram águas relativamente quentes na região norte do canal com uma região de máxima TSM na ordem de 33°C. Registou-se ainda uma predominância de temperaturas na ordem de 27°C em toda região sul do canal e em grande parte da região central.

Para os dias 19, 20 e 21 na região norte prevaleceram temperaturas altas estendendo-se pela costa Oeste de Madagáscar na zona centro, enquanto isso a região sul harmonizou sua temperatura mantendo-se na ordem de 29°C, em contrapartida ao longo da costa de Moçambique, a região centro apresentou temperaturas relativamente baixas com destaque para alguns pontos em que registou-se pouco menos de 25°C.

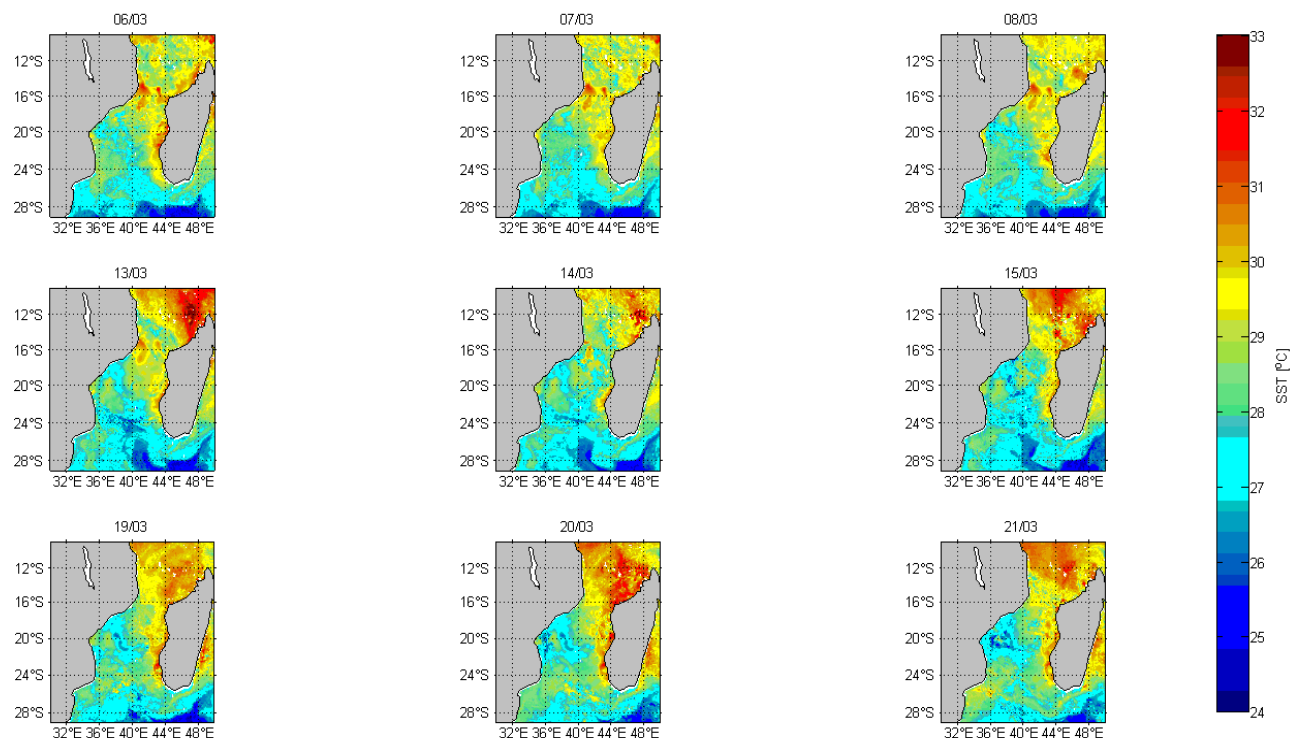


Figura 7 Temperatura superficial do mar para o período de análise

4.1.3. Correntes superficiais

A figura 7 representa as correntes superficiais no CMZ para o período em análise. Notou-se que para os dias 6, 7 e 8 a circulação era caracterizada por redemoinhos com uma intensificação da velocidade próximo da costa moçambicana com valores acima de 1.6 m/s.

Para os dias 13, 14 e 15 houve uma dispersão do sentido das correntes não se verificando o vórtice da região centro que constitui o padrão descrito por (Saetre & Silva, 1984), no entanto naquela região registou-se o máximo da velocidade gerando correntes de até 2 m/s.

Já para os dias 19, 20 e 21 registou-se uma tendência na reconstrução do padrão de circulação similar aos dias antes do ciclone também com maiores velocidades ao longo da costa. Todavia, na região centro do canal verificou-se a reconstrução dos vórtices visualizando-se dois vórtices menores.

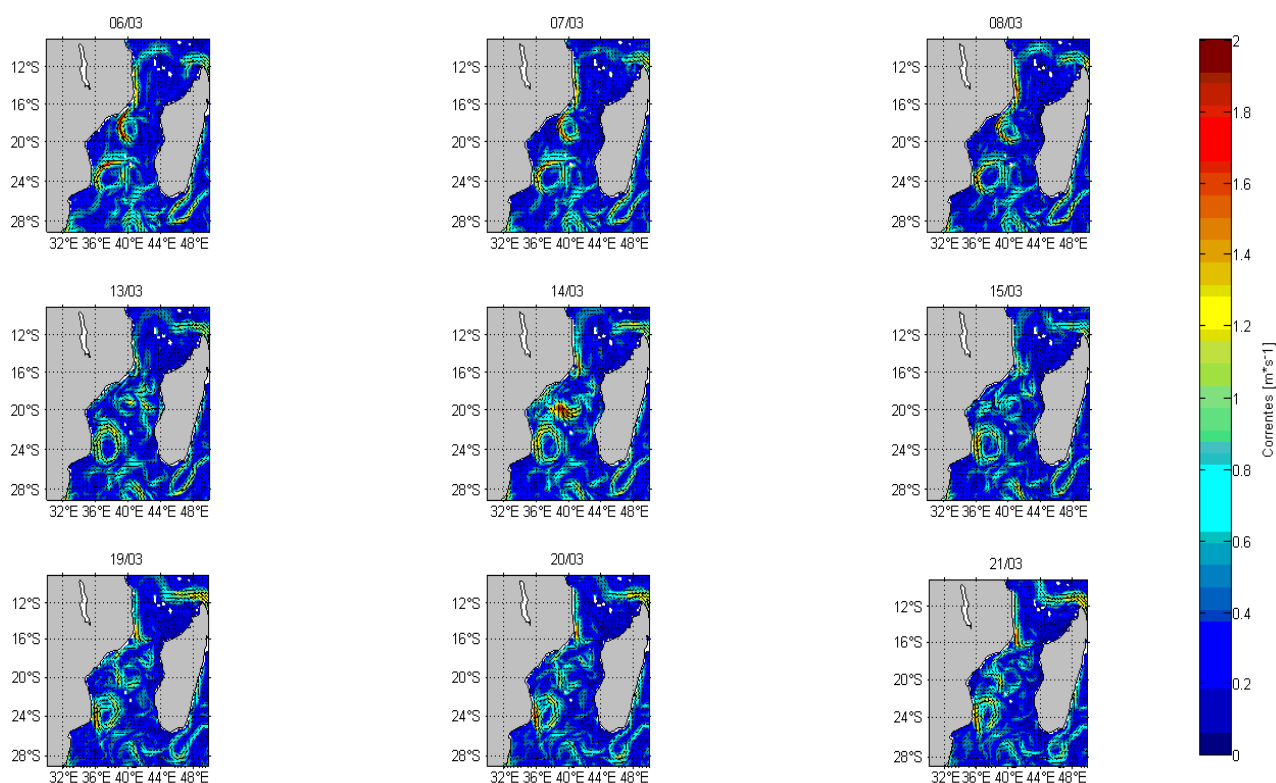


Figura 8 Correntes superficiais para o período em análise

4.1.4. Salinidade superficial

A figura 8 ilustra a distribuição espaço-temporal da SSM no CMZ. Para os dias 6, 7 e 8 a região ao norte do canal registou menor salinidade superficial (35 psu) em comparação com a região sul (36 psu). No entanto importa realçar a região da costa ao longo da província da Zambézia que registou valores mais baixos em torno de 34 psu.

Para os dias 13, 14 e 15 a menor salinidade foi verificada a norte do canal e maiores ao sul, entretanto a região da costa da província da Zambézia sofre uma influência no sentido de aumento da salinidade. Em média as concentrações de sais dissolvidos variam entre 35 psu para zonas com baixa salinidade e 36.5 psu para as de maior salinidade.

Já para os dias 19, 20 e 21 registou-se uma concordância da salinidade em todo o canal com ligeira permanência da salinidade registada em todo o período em análise na ordem de 34 psu. A concordância observada foi no sentido de aumento da salinidade da região norte do canal para próximo de 36.5 psu.

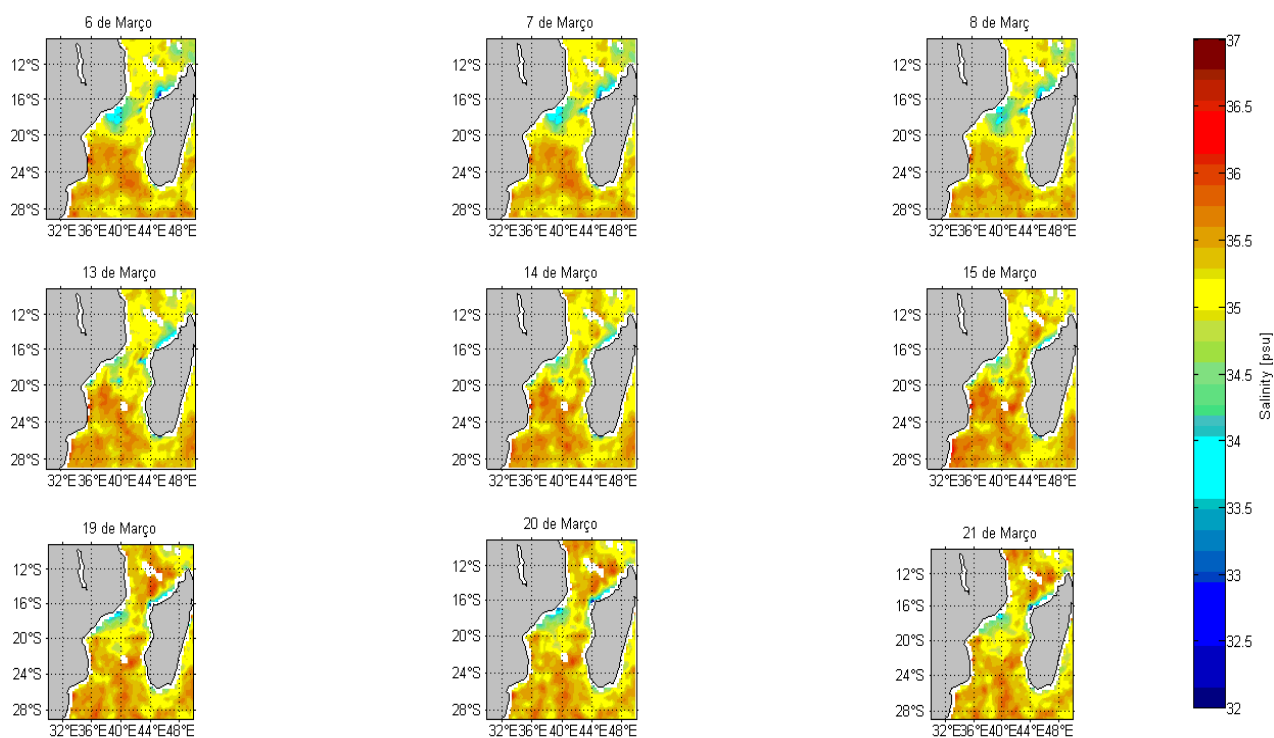


Figura 9 Salinidade superficial da água para o período em análise

4.1.5. Clorofila

Na figura 9 está representada a concentração da clorofila para a região de estudo. Para o período antes do ciclone (27 de Fevereiro) as maiores concentrações da clorofila estão na zona costeira tanto na costa de Moçambique destacando-se o Banco de Sofala como na de Madagascar com concentrações acima de 0.2 mg/m^3 e para o mar aberto as concentrações em média estavam na ordem de 0.08 mg/m^3 .

Já para no período após o ciclone (29 de Março) houve um aumento no nível de clorofila tanto para a região costeira assim como em mar aberto para a região centro e sul do canal com valores acima de 0.12 mg/m^3 e a região norte mostrou-se fraca com valores abaixo de 0.08 mg/m^3 .

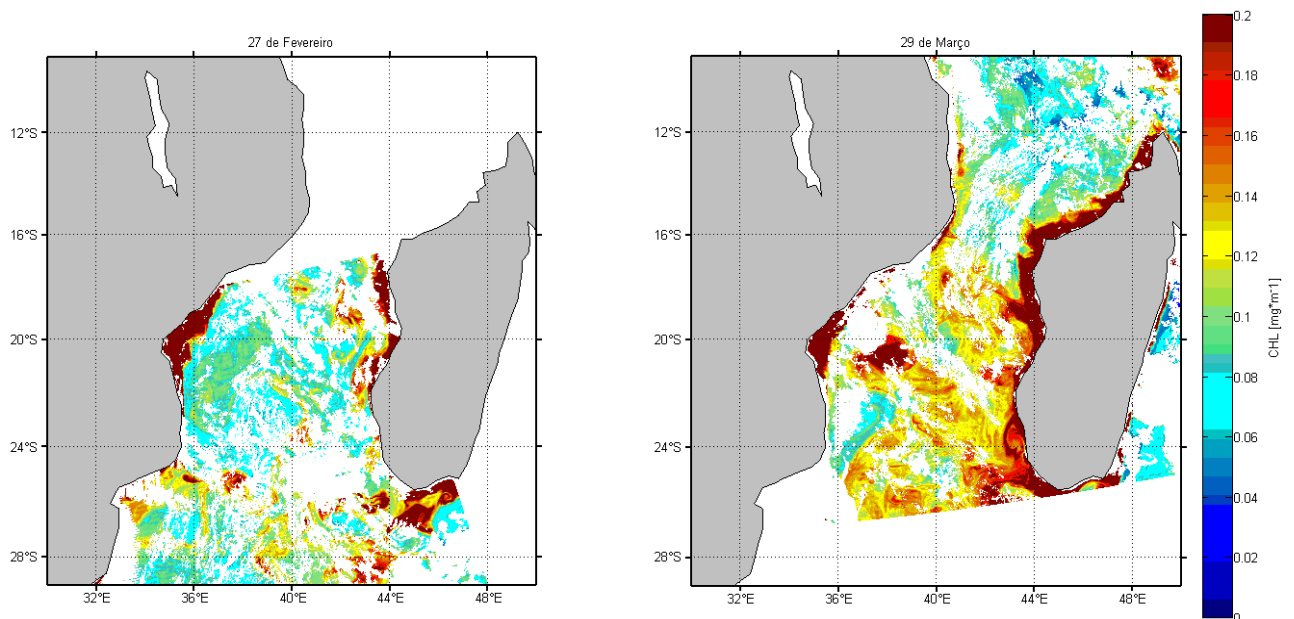


Figura 10 Distribuição da clorofila ao longo do canal para o período antes e depois do ciclone

4.2. Comparação dos parâmetros

4.2.1. Temperatura superficial do mar

A figura 10 ilustra a TSM para o ano normal (2018) e o ano com ciclone (2019). Para o ano normal verificaram-se temperaturas relativamente altas na região norte e centro do país (30°C) e as mais baixas foram verificadas na região sul do canal (26°). Dos três dias amostrados notaram-se temperaturas mais altas no último dia em que atingiu valores na ordem de 31°C .

Já para o ano com ciclone as máximas temperaturas foram observadas a norte do canal e ao longo da costa oeste de Madagáscar ($30^{\circ} - 32^{\circ}$) e as baixas foram observadas a sul do canal e ao longo da costa moçambicana ($26^{\circ} - 28^{\circ}\text{C}$).

Quando observados em regiões norte, centro e sul verificou-se que comparativamente ao ano sem ciclone, o ano com ciclone registou temperaturas altas no norte, baixas no centro ao longo da costa moçambicana e altas no sul.

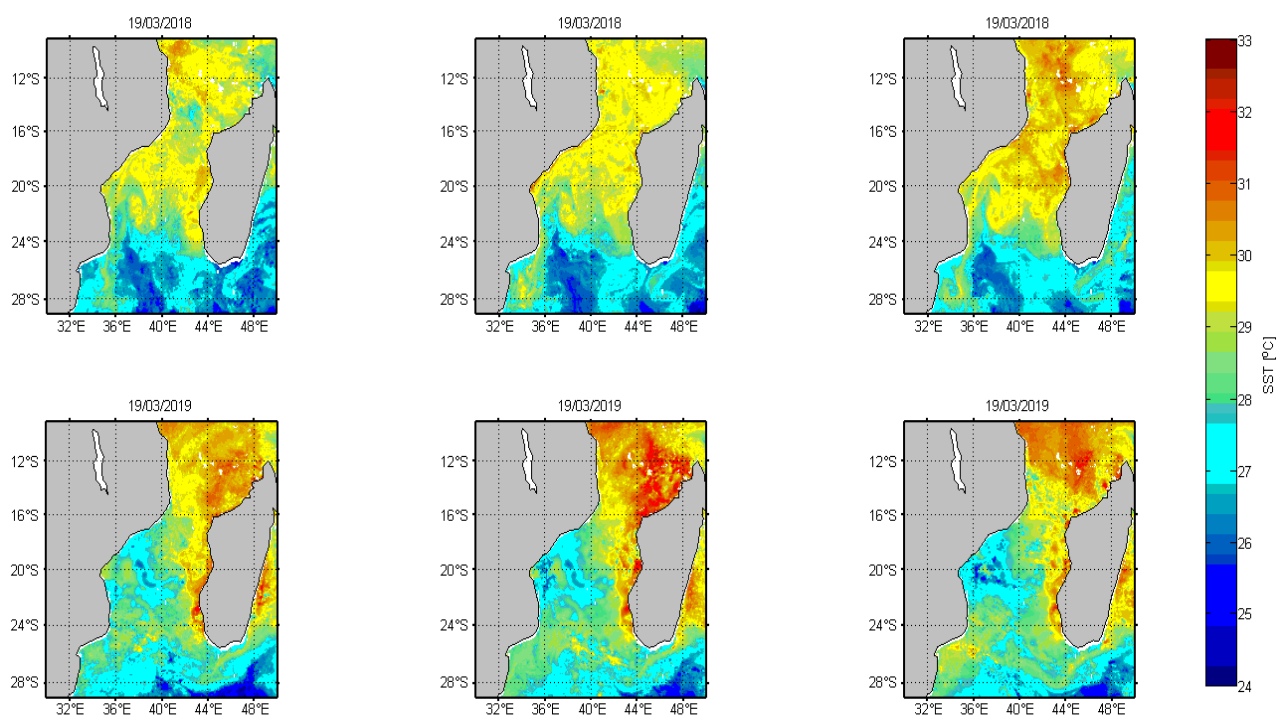


Figura 11 Temperatura superficial do mar para os anos com e sem ciclone

4.2.2. Correntes Superficiais

A figura 11 representa as correntes superficiais referentes ao período sem ciclone 19, 20 e 21 de Março e o período com ciclone 19, 20 e 21 de Março.

Comparativamente ao ano com ciclone, o ano sem ciclone registou velocidades de corrente mais baixas em todo o CMZ prevalecendo maiores velocidades nas regiões em que se localizam os grandes vórtices que caracterizam a circulação na região. As intensidades máximas foram de 1.4 m/s exclusivamente ao longo dos vórtices com maior destaque na zona centro.

Para o ano com ciclone facilmente se verificam velocidades altas com maior intensidade na região centro por se tratar da área de incidência do ciclone. A semelhança do ano sem ciclone as maiores velocidades localizaram-se ao longo dos vórtices com intensidades acima de 1.8 m/s.

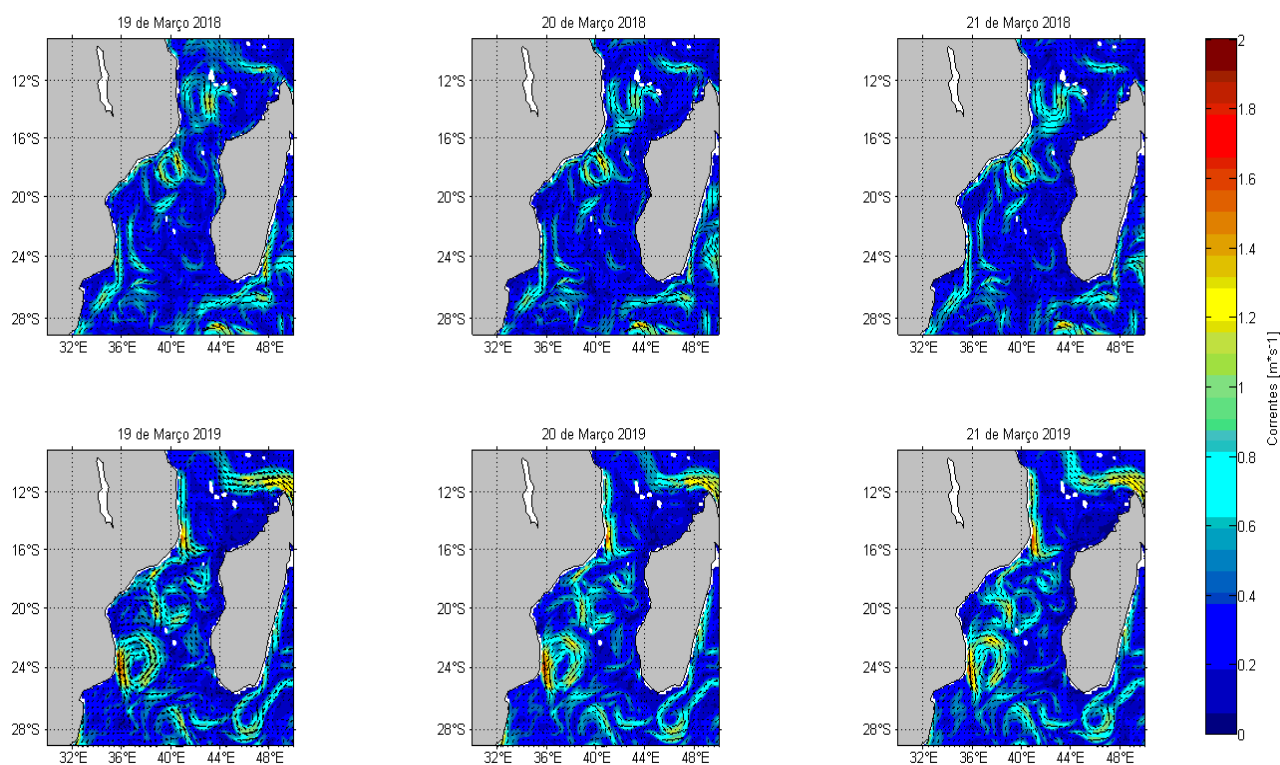


Figura 11 Comparação das correntes superficiais entre 2018 e 2019

4.2.3. Salinidade

A figura 12 representa a distribuição da SSM ao longo do canal para anos com e sem ciclone (2019 e 2018 respectivamente). No ano sem ciclo registou-se maior SSM na região sul e um pouco a sul da região centro (36.5 psu) e as mais baixas registaram-se no norte (35 psu).

Já para o ano com ciclone houve uma redistribuição da salinidade em todo o canal registando-se máximos de 35.5 psu na maioria dos pontos. No entanto importa destacar uma pequena região no centro em que registaram-se salinidades abaixo de 34 psu.

Em comparação com o ano sem ciclone, o ano com ciclone apresenta uma subida na salinidade da região norte com consequente diminuição na salinidade da região sul.

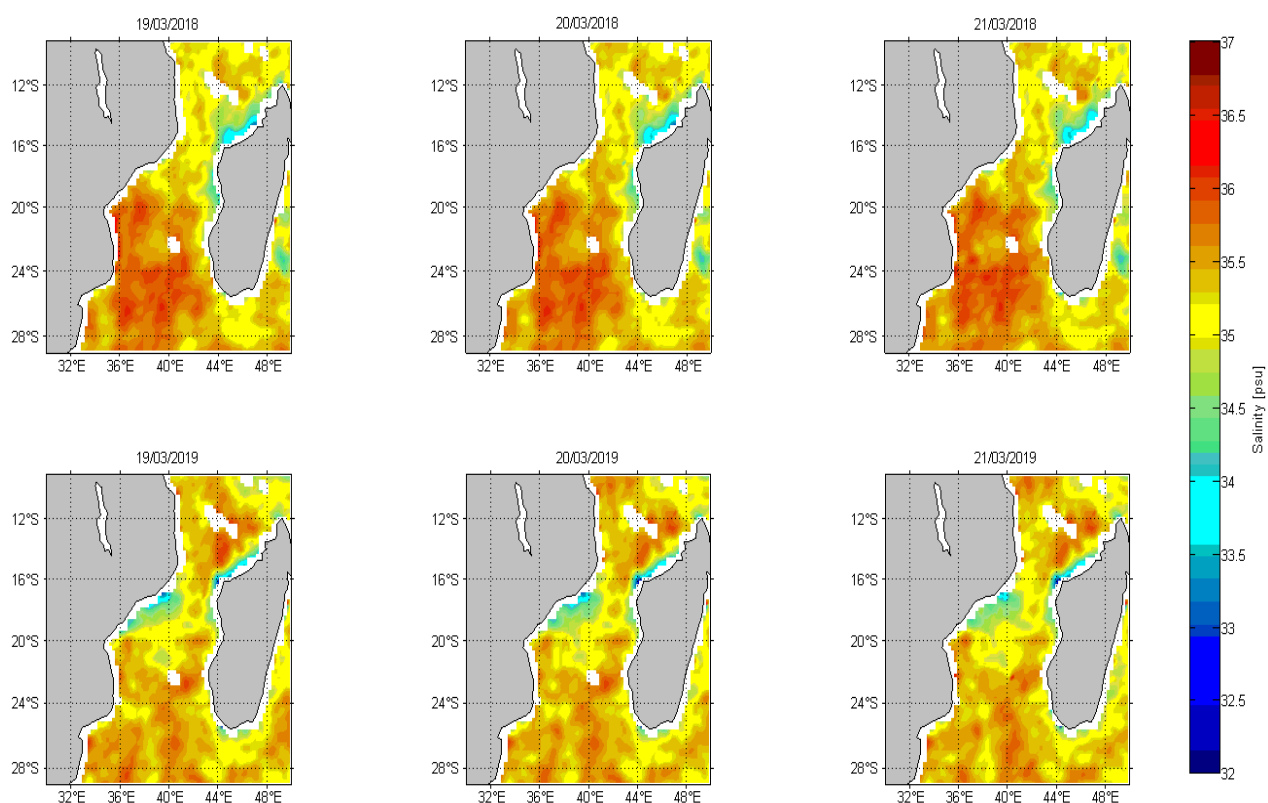


Figura 12 Salinidade superficial para anos com e sem ciclone

4.2.4. Clorofila

A figura 13 ilustra a concentração da clorofila ao longo do canal para o ano sem ciclone (2018) e o ano com ciclone (2019).

Comparativamente ao período sem ciclone houve um aumento na concentração da clorofila na região sul do canal. O aumento que se verifica é particularmente para a região do mar aberto em que evidenciou-se um aumento de 0.8 mg.m^{-3} para 0.16 mg.m^{-3} . Notou-se ainda que em volta do vórtice anticiclónico da região centro a concentração esteve acima de 0.2 mg.m^{-3} . Já para região norte a concentração manteve-se baixa.

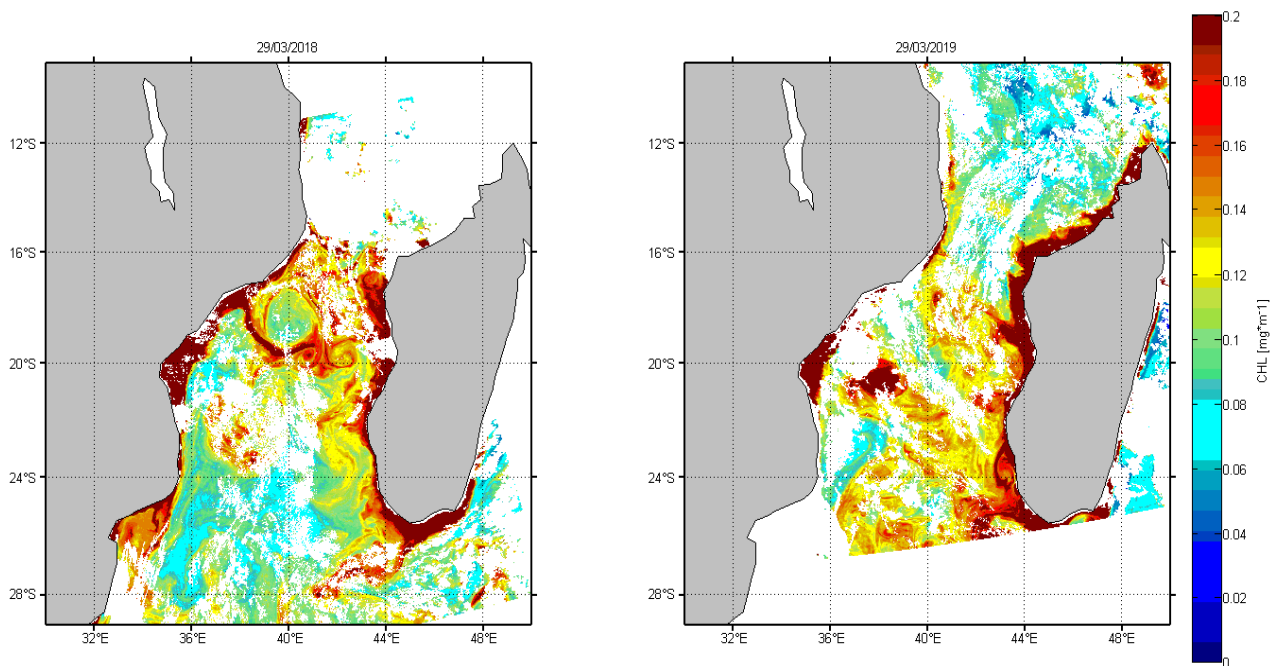


Figura 13 Distribuição da clorofila para anos com e sem ciclone

5. Discussão

5.1. Caracterização dos parâmetros

Após o ciclone observam-se temperaturas relativamente frias para a região da costa da Beira ao longo do canal em resposta a perda de energia térmica dos oceanos pelos processos de troca de calor entre o oceano e a atmosfera, deixando um rastro de temperaturas frias. Este resultado é sustentado por Schade & Emanuel, (1999). No entanto, (Mavume, Rydberg, Rouault, & Lutjeharms, 2009) diz que devido ao aquecimento global verifica-se um aumento na intensidade dos CT's e isto verifica-se principalmente nos anos do evento El-Nino, daí que o aumento na intensidade dos CT's esteja associado ao aumento na TSM. Ainda em conformidade com o autor, no CMZ os ciclones se formam a uma temperatura de 2.25°C da temperatura média de formação no sudoeste do oceano Índico.

Saetre & da Silva (1984) defendem que a circulação no CMZ é caracterizada por sucessão de vórtices anticiclónicos (vórtices maiores) intercalados por vórtices ciclónicos (vórtices menores) no verão. No entanto estes resultados revelam que este sistema de circulação não se verificou a quando da máxima intensidade do vento. A circulação superficial reflecte a interação de varias componentes como é o caso da topografia do fundo (Lutjeharms & Ballegooyent, 1984), gradiente de salinidade/densidade vertical, efeito de rotação da terra entre outros. No entanto a principal forçante é o vento e dependendo da intensidade do vento apresentar direções proporcionais ao sentido do vento e intensidade também proporcional a intensidade do vento (Zhang, *et al.*, 2016). Este autor em seu estudo verificou ainda que as máximas velocidades são impressas para o lado direito da trajectória do ciclone e quando se trata de CT's as velocidades podem exceder a 2.0m.s⁻¹.

A SSM é bastante controlada por processos costeiros para regoes de natureza costeira e pelo número de rios que se encontram na região centro e norte de Moçambique e estão constantemente descarregando água doce contribuem para a diluição da água do mar reduzindo a SSM que se regista nessa região. Deste modo os padrões que se verificam podem estar associados a precipitação directa registada que foi alta e a introdução de água doce por parte dos rios corroborando assim com o observado por Yue et al (2018) uma vez que só próximo do rio que mais descarrega no CMZ (rio Zambeze) com uma descarga em media 3000 m³/s isso de acordo com o estudo de Nehama & Reason (2015) que se verificam as menores SSM.

Por outro lado, temos que pelo facto desta salinidade ser controlada por processos costeiros, na superfície ela será inversamente proporcional ao comportamento da TSM. Durante a fase de forçamento do sistema, as altas intensidades do vento induzem fortes misturas verticais e afloramento, causando desta forma o arrefecimento superficial e consequentemente a redução da TSM e aumento da SSM. O mesmo foi observado por Yue et al (2018) em que verificou um incremento máximo de

2.2 psu a direita da trajetória do ciclone e um decaimento máximo de 1.4 psu a esquerda. O autor anteriormente citado sugere que tal comportamento da SSM esteja associado a rotação do vento a superfície que resulta numa alta mistura vertical trazendo águas do fundo com alta SSM para superfície.

A concentração de clorofila observada resulta da redistribuição pelo sistema de circulação do canal e devido ao input dos nutrientes por via dos rios uma vez que o ciclone Idai esteve associado a alta quantidade de chuva, entretanto no seu estudo Zhang *et al* (2016) mostrou uma correlação fraca entre a TSM com a concentração da clorofila e Salyuk *et al* (2014) analisando 123 CT's demonstrou que em 81% dos ciclones analisados após a passagem do ciclone houve o aumento na concentração da clorofila.

5.2. Comparação dos parâmetros

Relativamente ao período sem ciclone, no ano do ciclone registaram-se TSM baixas ao longo da costa da cidade da Beira em resposta ao fenómeno de ressurgência que é responsável por trazer à superfície água relativamente fria da sub-superfície para superfície e também pelo nível de precipitação que está associado a estes sistemas. Zhang *et al* (2016) em seu estudo registou uma redução na TSM devido as misturas verticais, as trocas de calor entre a atmosfera e o oceano e por advecção. Um outro aspecto que esse autor considerou é que o movimento do ciclone contribui bastante nas respostas da TSM, no sentido de que ciclones que se movimentam lentamente causam maiores quedas de TSM em comparação aos velozes, visto que os de movimento lento levarão maior tempo no oceano causando intensas misturas verticais e maiores perdas de calor para a atmosfera.

Embora não tenha sido abordado nesse trabalho a ação do cisalhamento do vento, este é um dos factores que contribui para o arrasto da água com temperaturas altas para a região polar e associado a esta ideia de Corrêa (2010) Que diz que quando ocorre quando há aumento do cisalhamento dos ventos no extratropical do hemisfério sul nota-se aumento na TSM induzindo uma redução no gradiente térmico entre o equador e os polos. A TSM que se observa no sul do canal deve estar associada a este factor.

A base da produtividade primária nos oceanos é a existência de nutrientes e a luz do sol para que ocorra a fotossíntese. Zhao *et al* (2008) afirma que a concentração dos nutrientes aumenta com a profundidade. Embora o input dos rios tenham grande contribuição no fornecimento dos nutrientes para favorecer a fotossíntese e garantir a produtividade primária, a concentração de clorofila observada após o ciclone pode ser em resultado de ressurgência costeira em resultado de agitação contribuindo para a mistura vertical da coluna de água e resfriamento da superfície do mar. Isso foi

também observado por (Zhao, *et al.*, 2008) em seu estudo que encontrou um aumento na concentração da clorofila de 0.14 mg.m^{-3} para 0.5 mg.m^{-3} e atribuiu como causa a ressurgência provocada pelos ciclones.

No caso em que o incremento é em resultado da ressurgência é aplicado apenas para a costa. No entanto, neste estudo registou-se aumento também mar a dentro e este aumento deve-se a redistribuição da clorofila pelos mecanismos de transporte e o principal mecanismo de transporte na região é a circulação pelas características com que se desencadeia.

6. Conclusões e recomendações

6.1. Conclusões

Com base nos resultados das análises feitas foi possível concluir que o ciclone Idai teve um grande efeito sobre algumas das variáveis em estudo (TSM, SSM e concentração da clorofila) e em outras não tao forte em longo prazo (ventos e circulação superficial).

O vento é um dos parâmetros que caracterizou-se por fortes intensidades (até 27 m.s^{-1}) em volta do olho do ciclone mas após o ciclone restabeleceu o seu padrão em termos de direção e intensidade.

Foi notável também que para o ano com ciclone no norte do canal as TSM eram mais altas (32°C contra $<30^\circ\text{C}$), no centro verificou-se TSM baixas na costa de Moçambique e TSM altas na costa de Madagáscar e para o sul as TSM foram ligeiramente mais altas, em comparação com o ano sem ciclone respectivamente.

A circulação superficial foi influenciada no sentido de dispersão das correntes no redemoinho da região central do CMZ, no entanto a dispersão prevaleceu apenas quando a intensidade era maior e na localização do ciclone. As máximas velocidades também foram verificadas nessa região (2 m.s^{-1}) correspondente a máxima intensidade do vento.

A SSM apresentou-se quase homogénea de norte a sul no ano do ciclone em comparação ao ano sem ciclone. No entanto, o ano sem ciclone apresentou-se com SSM alta no sul e centro do canal (36.5 psu contra 35.5 psu) e na região norte baixa (com diferença de 0.5 psu).

Para a clorofila evidenciou-se um incremento (de menor que 0.08 para $0.14 - 0.16 \text{ mg.m}^{-3}$) do ano com ciclone para a região sul do canal.

6.2. Recomendações

Na execução deste trabalho enfrentou-se muitos problemas para a aquisição e o uso de dados de clorofila por estarem associados varias componentes do sensoriamente das águas marinhas. Diante dessa necessidades recomenda-se para a comunidade científica que para os próximos estudos seja feita uma modelação deste parâmetro em particular, baseando-se em dados colhidos *in situ* para certas regoes do banco de Sofala e mar a dentro.

Recomenda-se ainda a inclusão de parâmetros atmosféricos para facilitar o rastreio do ciclone e uma análise climatológica de alguns parâmetros para garantir que em caso de outros eventos extremos tenham ocorrido sejam evidenciados e não influenciem na análise.

7. Literatura consultada

- Akbari, E., Alavipanah, S. K., Jeihouni, M., Hajeb, M., Haase, D., & Alavipanah, S. (2017). A review of Ocean/Sea subsurface Water Temperature studies from remote sensing and non-remote sensing methods. *Water*, 25.
- Bié, A. J. (2017). Estudo numérico de Marés meteorológicas na Costa de Moçambique. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Departamento de Ciências Atmosféricas, São Paulo.
- Black, W. J., & Dickey, T. D. (2008). Observations and analyses of upper Ocean responses to Tropical Storms and Hurricanes in the vicinity of Bermuda. *Journal of Geophysical Research*, 113, 25.
- Constanço, M. D. (2016). Estudo da Salinidade nas Águas superficiais das Ribeiras do Concelho de Oeiras. Barcarena.
- Corrêa, C. R. (2010). Condições atmosféricas associadas ao Furacão Catarina e a outros dois casos de estudo. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Meteorologia, Pelotas.
- Costa, M., Galvão, S., & Novo, E. (1998). Quantificação espacial de Clorofila a na Água do Mar utilizando dados do sensor TM/Landsat-5: região Costeira de Ubatuba, SP. Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto., São Paulo.
- Freitas, R. A., Lindemann, D. d., Machado, J., & Justino, F. B. (2011). Padrões dominantes da Energia cinética associada às trajetórias dos Ciclones Extratropicais no Hemisfério Sul. *ResearchGate*, 5.
- Glitzenhirn, E. (2015). Relevância do acoplamento Oceano-Atmosfera na representação do Ciclone Catarina. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Departamento de Ciências Atmosféricas, São Paulo.
- Guerreiro, C. G. (2012). A ação do Vento na circulação Oceânica Costeira utilizando o modelo ROMS: Aplicação ao Golfo de Cádiz. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa: Faculdade de Ciências, Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Lisboa.
- Jullien, S. (2013). Ocean response and feedback to Tropical Cyclones in the South Pacific: processes and climatology. Toulouse: HAL.
- Lutjeharms, J. R., & Ballegooyent, C. V. (1984). Topographic control in the Agulhas Current system. *Deep Sea Research*, 31(11), 17.

- Mathias, R. D. (2012). Análise e classificação de Ciclones utilizando Diagramas de fase: Conceitos e aplicação em previsão de Tempo operacional. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Rio de Janeiro.
- Mavume, A. F., Rydberg, L., Rouault, M., & Lutjeharms, J. R. (2009). Climatology and Landfall of Tropical Cyclones in the SouthWest Indian Ocean. *ResearchGate*, 8(1), 23.
- MICOA. (2007). Programa de Ação Nacional para a Adaptação Às Mudanças Climáticas (NAPA). Direção Nacional de Gestão Ambiental, Maputo.
- Nehama, F. P., & Reason, C. J. (2015). Modelling the Zambezi River Plume. *African Journal of Marine Science*, 13(4), 13.
- Pipkin, B. W., Gorsline, D. S., Casey, R. E., Dunn, D. A., & Schellemborg, S. A. (2000). Laboratory exercises in Oceanography (3 ed.). Nova York: W. H. Freeman and Company.
- Reboita, M. S., Gan, M. A., Rocha, R. P., & Custódio, I. S. (2017). Ciclones em Superfície nas Latitudes Austrais: Parte I - Revisão Bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32(2), 16.
- Reynolds, R. W., Smith, T. M., Liu, C., B.Chelton, D., S.Casey, K., & Schilax, M. G. (2007). Daily High-Resolution-Blended analyses for Sea Surface Temperature. *Jornal of Climate*, 20, 24.
- Saetre, R., & Silva, A. J. (1982). Water Masses and circulation of the Mozambique Channel. *ElSevier*, 83.
- Saetre, R., & Silva, A. J. (1984). The circulation of the Mozambique Channel. *ElSevier*, 31(5), 24.
- Salyuk, P. A., Golik, I. A., & Stepochkin, I. E. (2014). Satellite remote sensing using for analysing of Chlorophyll – "a" concentration changes during Tropical Cyclones passing in NorthWestern Pacific. . *Asia-Pacific Journal of Marine Science & Education*, 111.
- Schade, L. R., & Emanuel, K. A. (1999). The Ocean's effect on the intensity of Tropical Cyclones: Results from a simple coupled Atmosphere–Ocean model. *Jornal of Atmospheric Sciences*, 56, 10.
- Souza, R. B. (2003). Sensoriamente remoto dos Oceanos. *Espaço & Geografia*, 6(1), 23.
- Yue, X., Zhang, B., Liu, G., Li, X., Zhang, H., & He, Y. (2018). Upper Ocean response to Typhoon Kalmaegi and Sarika in the South China Sea from multiple-Satellite observations and numerical simulations. *Remote sensing*, 22.
- Zhang, W.-Z., Lin, S., & Jiang, X.-M. (2016). Influence of Tropical Cyclones in the Western North Pacific. *INTECH (open science)*, 23.

Zhao, H., Tang, D., & Wang, Y. (8 de Agosto de 2008). Comparison of Phytoplankton blooms triggered by two Typhoons with different intensities and translation speeds in the South China Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 365, 9.