

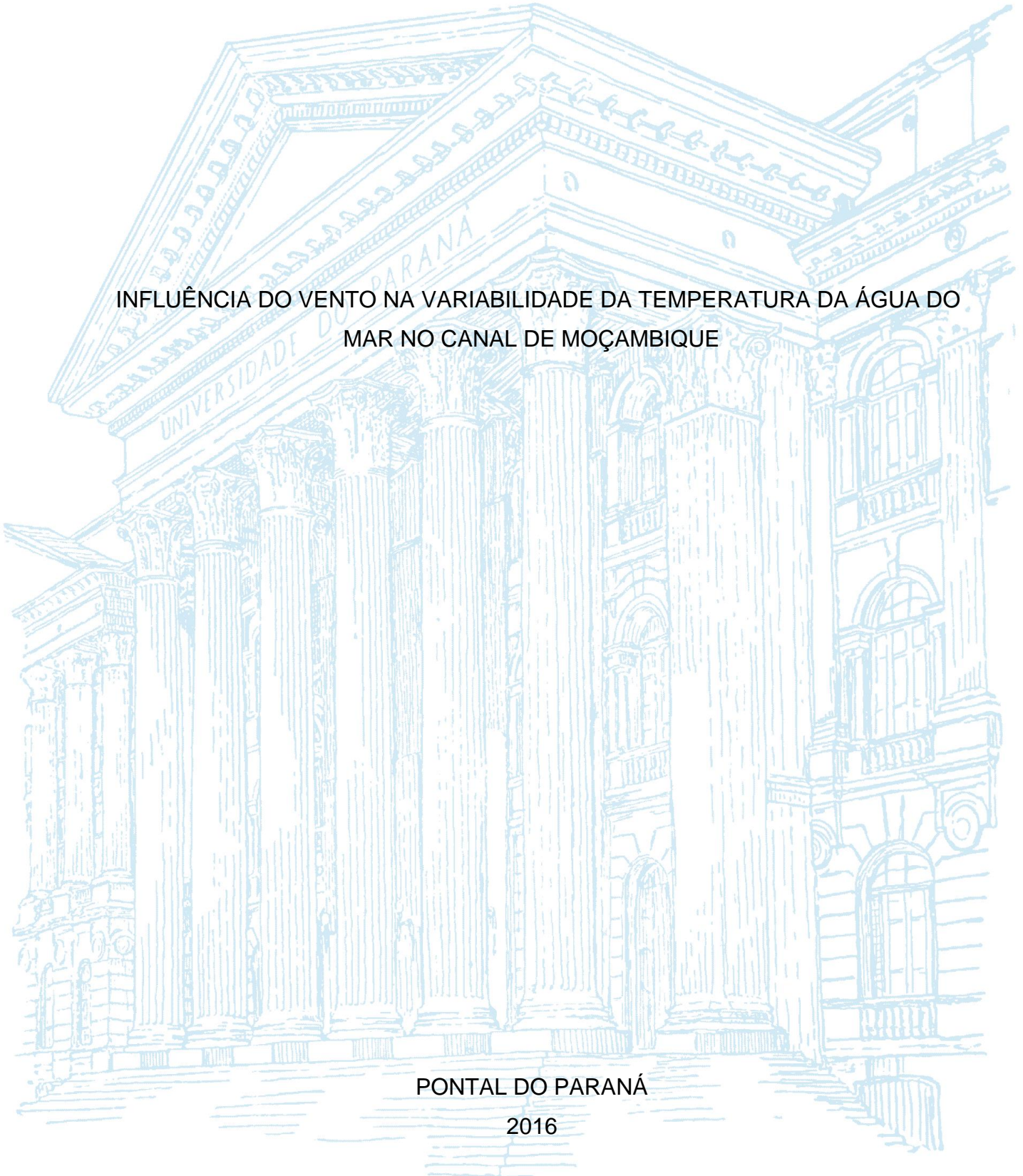
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NICOLE GABRIELE PALOSCHI

INFLUÊNCIA DO VENTO NA VARIABILIDADE DA TEMPERATURA DA ÁGUA DO
MAR NO CANAL DE MOÇAMBIQUE

PONTAL DO PARANÁ

2016



NICOLE GABRIELE PALOSCHI

INFLUÊNCIA DO VENTO NA VARIABILIDADE DA TEMPERATURA DA ÁGUA DO
MAR NO CANAL DE MOÇAMBIQUE

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Oceanografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio A. Noernberg

Coorientador: Prof. Dr. Michael J. Roberts

PONTAL DO PARANÁ

2016

CATALOGAÇÃO NA FONTE:
UFPR / SiBi - Biblioteca do Centro de Estudos do Mar
Fernanda Pigozzi – CRB 9/1151

P181i Paloschi, Nicole Gabriele
Influência do vento na variabilidade da temperatura da água do mar do Canal de Moçambique. / Nicole Gabriele Paloschi. – Pontal do Paraná, 2016.
40 f.: il., 29 cm.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio A. Noernberg.
Coorientador: Prof. Dr. Michael J. Roberts.

Monografia (Graduação) – Curso de Oceanografia, Centro de Estudos do Mar, Setor Reitoria, Universidade Federal do Paraná.

1. Oceano - temperatura. 2. Oceanografia. I. Título. II. Noernberg, Mauricio A. III. Roberts, Michael J. IV. Universidade Federal do Paraná.

CDD 551.52

TERMO DE APROVAÇÃO

Nicole Gabriele Paloschi

“Investigação sobre a influência do vento na variabilidade da temperatura da água do mar do Canal de Moçambique.”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Prof.Dr.Eduardo Marone-CEM/UFPR

Prof. Dr. Marcelo Sandin Dourado-CEM/UFPR

MSc.Mihael Machado de Souza-CEM/UFPR

Prof.Dr.Mauricio Almeida Noernberg
Presidente

Pontal do Paraná, 07 de novembro de 2016

RESUMO

A circulação superficial e subsuperficial do Canal de Moçambique é complexa e variável, tendo como principal forçante os vórtices anticiclônicos de mesoescala. Estes, formados na região próxima ao estreitamento, controlam os fluxos conforme se deslocam ao sul do canal para a região de retroflexão da Corrente das Agulhas. A partir de imagens de satélite das componentes do vento e de dados de temperatura da água do mar a 18 m em quatro pontos ao longo do Canal de Moçambique, foi realizada uma investigação sobre a influência do vento, por meio do Transporte de Ekman, na variabilidade da temperatura da água. Não foi possível observar um padrão que permita inferir que o vento é a principal causa nas mudanças de temperatura da água. No entanto, a análise de densidade espectral mostrou picos de energia semelhantes associados ao Transporte de Ekman e à temperatura. Isso mostra que, ao invés de atuarem como causa/consequência, a temperatura e o vento estão suscetíveis a uma forçante em comum. Também fica clara a necessidade de maiores investigações a respeito de fenômenos de menor escala, que podem estar interagindo com os vórtices e modificando o padrão conhecido de fluxos.

Palavras-chave: Temperatura da água do mar, Canal de Moçambique, Vento, Transporte de Ekman.

ABSTRACT

The superficial and subsuperficial flow in the Mozambique Channel is highly complex and variable, driven mostly by mesoscale anticyclonic eddies. The later are formed close to the narrow section and control the flow as moving to the south into the Agulhas retroflection region. Based on satellite wind components and seawater temperature data at 4 points (18 m deep) along the channel, an investigation was made about the influence of the wind via Ekman Transport in the changes of seawater temperature variability. It was not possible to visualize a pattern that allows inferring the wind as the main cause of the changes in seawater temperature. Although, the power spectrum analysis showed similar energy peaks associated to Ekman Transport and temperature. This shows that wind and temperature do not operate as cause/consequence. Instead, both are being driven by the same forcing. It is also clear that more investigation is needed about smaller scale events that might be interacting with eddies and modifying the known flow pattern.

Keywords: Ocean temperature, Mozambique Channel, Wind, Ekman Transport.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (a) O padrão de correntes da Espiral de Ekman sob condições ideais. (b) Para a Camada de Ekman como um todo, a força resultante do vento é balanceada pela Força de Coriolis, que no hemisfério norte é a 90° à direita do movimento médio da camada.	11
Figura 2: Dinâmica de ressurgência e subsidência para o hemisfério sul.....	12
Figura 3: Mapa do Continente africano, com destaque para o Canal de Moçambique.	15
Figura 4: (a) Localização dos instrumentos pertencentes ao projeto WIOCOS e localização dos registradores de temperatura subaquática utilizados neste estudo.....	21
Figura 5: Séries temporais da variação diária da temperatura da água do mar e do Transporte de Ekman na estação Mozambique Island.	24
Figura 6: Densidade do espectro de potência da anomalia de temperatura da água e do Transporte de Ekman na estação Mozambique Island.	25
Figura 7: Séries temporais da variação diária da temperatura da água do mar e do Transporte de Ekman na estação Nosy Iranja.	25
Figura 8: Densidade do espectro de potência da anomalia de temperatura da água e do Transporte de Ekman na estação Nosy Iranja.	26
Figura 9: Séries temporais da variação diária da temperatura da água do mar e do Transporte de Ekman na estação Zambia Reef.....	28
Figura 10: Densidade do espectro de potência da anomalia de temperatura da água e do Transporte de Ekman na estação Zambia Reef.....	28
Figura 11: Séries temporais da variação diária da temperatura da água do mar e do Transporte de Ekman na estação Nosy Ve (Tulear).	29
Figura 12: Densidade do espectro de potência da anomalia de temperatura da água e do Transporte de Ekman na estação Nosy Ve (Tulear).	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Localização dos registradores de temperatura subaquática.	21
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

AMSR-E	–	Advanced Microwave Scanning Radiometer – Earth Observation System
EMC	–	Corrente Leste de Madagascar
ERC	–	Ecosistema de Ressurgência Costeira
FFT	–	Fast Fourier Transform
L	–	leste
N	–	norte
NCDC	–	National Climatic Data Center
NOAA	–	National Oceanic and Atmospheric Administration
O	–	oeste
OHI	–	Organização Hidrográfica Internacional
QuickSCAT	–	Quick Scatterometer
RTS	–	Registradores de Temperatura Subaquática
S	–	sul
SEC	–	Corrente Sul Equatorial
SSM/I	–	Spatial Sensor Microwave Image (F13, F14, F15)
TMI	–	Tropical Microwave Image
u	–	componente zonal do vento
v	–	componente meridional do vento
WIOCOS	–	Western Indian Ocean Coastal Observing System

LISTA DE SÍMBOLOS

D_E	–	profundidade
F_c	–	força de Coriolis
F_t	–	estresse friccional
My	–	Transporte de Ekman ao longo da costa
τ_{along}	–	componente do estresse do vento na superfície ao longo da costa
ρ	–	densidade da água do mar
f	–	parâmetro de Coriolis
ρ_a	–	densidade do ar
C_d	–	coeficiente de arrasto adimensional
U	–	componente meridional dos ventos diários
$ U $	–	velocidade do vento
Ω	–	velocidade angular da Terra
θ	–	latitude
P	–	parcela de água
W	–	vento
V_0	–	fluxo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 RESSURGÊNCIA COSTEIRA	11
1.2 VÓRTICES DE MESOESCALA	13
1.3 JUSTIFICATIVA	14
2 HIPÓTESE	14
3 OBJETIVOS	14
3.1 OBJETIVO GERAL	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4 MATERIAIS E MÉTODOS	15
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	15
4.1.1 Oceanografia do Canal de Moçambique	16
4.1.2 Efeitos da morfologia da plataforma	18
4.1.3 Efeitos de ventos e maré.....	19
4.1.4 O Grande Sistema da Corrente das Agulhas	19
4.2 DADOS <i>IN-SITU</i>	20
4.3 DADOS DE SATÉLITE.....	22
4.4 CÁLCULO DO TRANSPORTE DE EKMAN	22
4.5 ANÁLISE DO ESPECTRO DE POTÊNCIA	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1 SEÇÃO NORTE: MOZAMBIQUE ISLAND E NOSY IRANJA.....	23
5.2 SEÇÃO SUL: ZAMBIA REEF E NOSY VE (TULEAR)	27
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

1.1 RESSURGÊNCIA COSTEIRA

O estresse friccional entre o oceano e a atmosfera, provocado pelos sistemas de vento predominantes, transmite *momentum* para a superfície do mar, gerando correntes superficiais na mesma direção. Com o passar do tempo, essas correntes sofrem deflexão em sua direção devido à força de Coriolis, ficando conhecida como Espiral de Ekman ao atingir estado de equilíbrio estacionário. Um ângulo de desvio de 45° no sentido anticiclônico (para a direita no hemisfério norte e para a esquerda no hemisfério sul) é formado entre a direção do vento e a corrente superficial. A camada superior transfere *momentum* para a camada imediatamente inferior e assim por diante, de modo que a velocidade decresce exponencialmente e o ângulo de desvio aumenta até a profundidade em que a velocidade seja nula, sendo denominada de profundidade de influência da fricção ou profundidade da corrente dirigida pelo vento. A resultante dos vetores da Espiral de Ekman se dá a 90° da direção do vento e o volume de água transportado nessa direção é denominado Transporte de Ekman (POND E PICKARD, 1983; FIGURA 1).

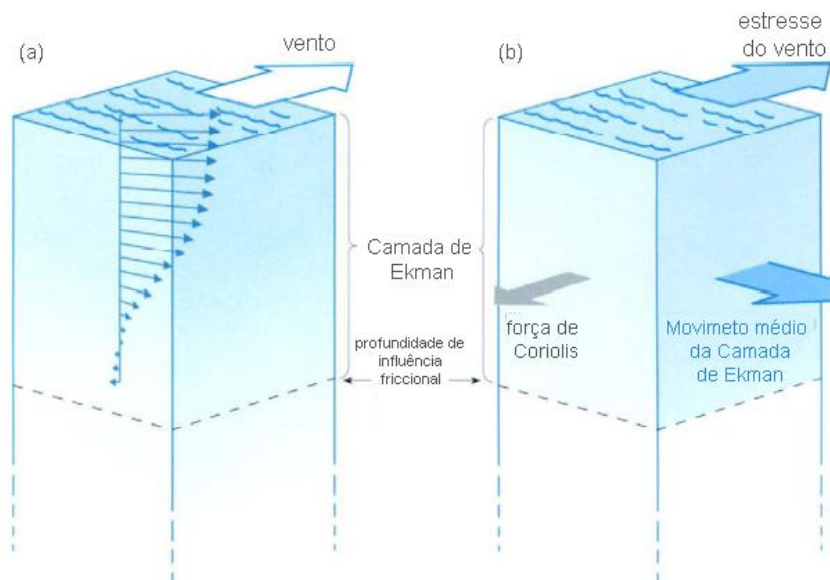


Figura 1: (a) O padrão de correntes da Espiral de Ekman sob condições ideais resulta da ação do vento sobre a superfície. Os comprimentos e direções das setas azuis escuras representam a velocidade e direção das correntes dirigidas pelo vento. (b) Para a Camada de Ekman como um todo, a força resultante do vento é balanceada pela Força de Coriolis, que no hemisfério norte é a 90° à direita do movimento médio da camada. (FONTE: adaptado de Pond e Pickard, 1983).

Levando-se em consideração o vento constante em direção, mas variando em velocidade, o transporte de Ekman perpendicular ao vento irá variar e as camadas superficiais irão convergir ou divergir. A continuidade, então, irá requerer que a convergência seja acompanhada de movimento de subsidência, ao passo que a divergência será acompanhada de movimento de ressurgência (FIGURA 2).

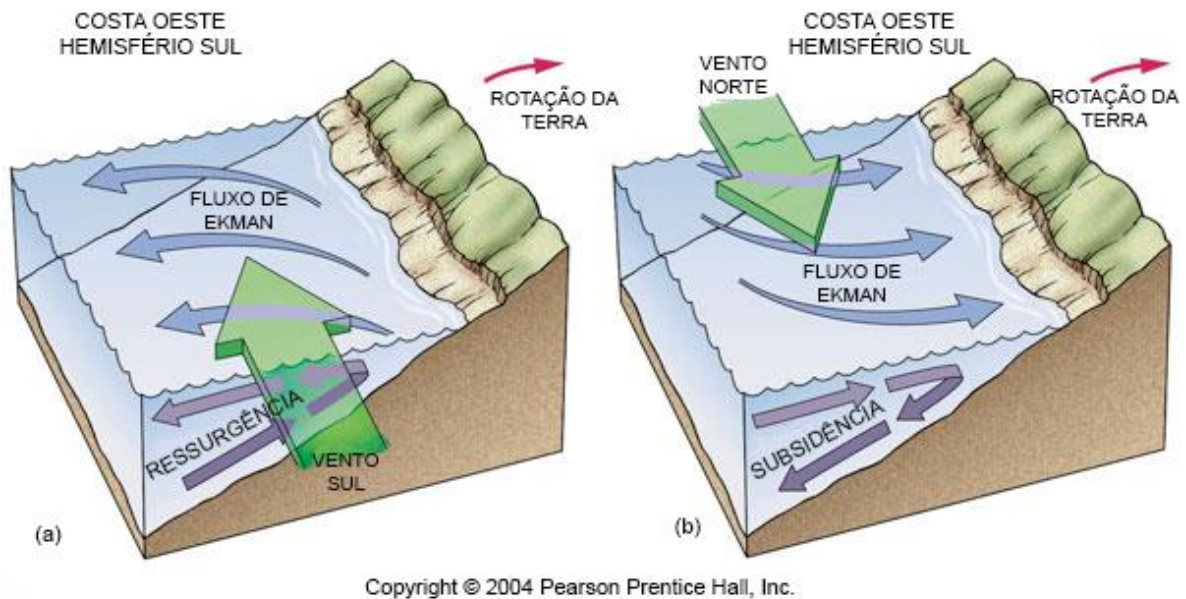


Figura 2: Dinâmica de ressurgência e subsidência para o hemisfério sul. (a) Formação de ressurgência a partir de vento sul (seta verde) incidente na costa, advestando água superficial (setas azuis) para oeste, em direção ao oceano aberto. Essa água é, então, substituída por águas profundas afloradas para a superfície (setas roxas). (b) A direção do vento é norte, advestando água em direção à costa, resultando em subsidência. (FONTE: adaptado de Thurman e Trujillo, 2004).

A ressurgência ocorre em diversas regiões dos oceanos (e.g. Sistema de Correntes da Califórnia (HUYER, 1983), das Canárias (ARÍSTEGUI *et al.*, 1994), do Peru (TARAZONA e ARNTZ, 1983) e de Cabo Frio (VALENTIN, 2001), para citar algumas). Uma vez que as águas profundas afloradas são, em geral, relativamente mais frias e ricas em nutrientes, promovem a produção primária e, por isso, sistemas de ressurgência costeira estão entre os ecossistemas mais produtivos do oceano global (WARE, 1992; PAULY e CHRISTENSEN, 1995; BAKUN e WEEKS, 2008; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ *et al.*, 2012). De acordo com o *Ocean Explorer*, da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), embora as regiões de ressurgência costeira somem apenas 1% da superfície oceânica, contribuem grosseiramente para 50% do total global de desembarques de pescado.

1.2 VÓRTICES DE MESOESCALA

O transporte de calor e material nos oceanos desempenha papel dominante no controle do clima global e absorção de gases de efeito estufa. As circulações termohalina e dirigida pelo vento de larga escala são tradicionalmente consideradas as principais responsáveis pelo transporte oceânico, embora sozinhas não possam explicar o transporte como um todo. Desde a sua detecção global nos oceanos, vórtices de mesoescala com comprimentos de 50-300 km têm sido atribuídos como contribuintes chave no transporte de calor, carbono dissolvido e outros marcadores biogeoquímicos (CHELTON *et al.*, 2011).

Trata-se de feições definidas por linhas de corrente fechadas, podendo ser ciclônicos ou anticiclônicos (sentido horário e anti-horário, respectivamente, no caso do hemisfério sul). O sentido de rotação de um vórtice afeta o comportamento da superfície livre em seu interior, resultando em anomalias negativas (positivas) da altura da superfície do mar para vórtices ciclônicos (anticiclônicos).

Os vórtices de mesoescala no oceano correspondem dinamicamente a sistemas de alta e baixa pressão na atmosfera. Seu papel nas mudanças climáticas vai desde a influência na circulação pelo transporte e mistura de sal e calor até troca (geralmente extração) de energia potencial e de momentum do fluxo médio. Os processos associados aos vórtices são de importância primária para a dinâmica de correntes intensas de contorno oeste, pela troca de energia e momentum por meio de processos de instabilidade e/ou retificação. A contribuição dessas feições para o transporte meridional de calor e água doce é pequena em diversas regiões, mas não pode ser ignorada em escala global.

Sistemas de ressurgência de contorno leste são muito dinâmicos e frequentemente associados à presença de vórtices que participam ativamente no transporte de propriedades costeiras para o oceano aberto. Como exemplo pode-se citar os anéis da Corrente das Agulhas, que determinam a maior parte da troca entre as bacias oceânicas do Índico e do Atlântico sul (RUIJTER *et al.*, 2005; DE KRUG e TOURNADRE, 2012; BACKBERG *et al.*, 2016). À medida que se desprendem, consistem em fonte de águas quentes e salinas importantes para a circulação termohalina global (RUIJTER *et al.*, 1999).

1.3 JUSTIFICATIVA

Oceano Índico ocidental é uma região de complexas dinâmicas e forte variabilidade na extensão de fenômenos que impactam substancialmente o clima da África oriental e meridional. A grande maioria dos trabalhos realizados na região, especialmente no Canal de Moçambique, é baseada em modelagem numérica e dados altimétricos oriundos de satélite. Além disso, os poucos casos que compreendem aquisição de dados *in-situ* não apresentam longa escala temporal. Sendo assim, é de extrema importância que mais estudos sejam feitos a partir de observações diretas para que se possa aprimorar a compreensão da circulação oceânica na tropical porção oeste do Oceano Índico.

Uma vez que a ação do estresse causado pelo vento é a força motriz mais importante por trás da circulação oceânica superficial, além de ser um agente fundamental para os processos dinâmicos do oceano, estudar a troca de momentum entre o oceano e a atmosfera por meio do estresse do vento é muito importante para a compreensão de processos oceânicos, interações ar-mar e variações climáticas.

2 HIPÓTESE

Se houver transporte de Ekman positivo associado à redução na temperatura da água do mar durante ausência da passagem de vórtices e/ou dipolos, então pode-se dizer que o padrão de ventos está associado à ressurgência costeira no Canal de Moçambique.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo é investigar a ação do vento como força motriz na variação da temperatura da água do mar a 18 m de profundidade no Canal de Moçambique.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar eventos de queda na temperatura da água;
- Identificar eventos de Transporte de Ekman positivo e/ou negativo;
- Comparar as séries temporais, associando picos de energia espectral compatíveis entre elas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O Canal de Moçambique (FIGURA 3) é um elemento do Oceano Índico entre a ilha-nação de Madagascar e a porção sudeste do continente africano, mais especificamente, o país de Moçambique.



Figura 3: Mapa do Continente africano, com destaque para o Canal de Moçambique. (Fonte: Organização Hidrográfica Internacional).

A Organização Hidrográfica Internacional (OHI) define os limites do Canal de Moçambique como sendo:

- ao norte: uma linha entre o estuário do Rio Rovuma (10°28'S 40°26'E) até Ras Habu, o extremo norte da Grande Comoro, até Cap d'Ambre, a extremidade norte de Madagascar (11°57'S 49°17'E);
- a leste: a costa oeste de Madagascar;
- ao sul: uma linha de Cap Sainte-Marie, extremidade sul de Madagascar, até Ponta do Ouro, em Moçambique (26°53'S 32°56'E);
- a oeste: a região continental da África do Sul.

Apesar de o limite oeste ter sido definido pela OHI como sendo a costa sul africana, é mais corretamente definido como a costa de Moçambique. A largura varia, aproximadamente, entre 800-900 km nos extremos norte e sul até um mínimo de 400 km em seu estreitamento (entre Angoche-Moçambique e Tambohorano-Madagascar) com profundidade máxima de 3290 m e cerca de 1600 km de comprimento (STEELE *et al.*, 2009).

De acordo com o *World Heritage Marine Programme*, da UNESCO, a formação do canal teve início há cerca de 180 milhões de anos, quando ocorreu o rifteamento do continente Gondwana e Madagascar, até então estando unido à Índia, Austrália e Antártica, separou-se da costa africana. Sua configuração permanece relativamente constante há 140 milhões de anos.

4.1.1 Oceanografia do Canal de Moçambique

Caracterizado por circulação superficial e subsuperficial complexa e variável, o Canal de Moçambique é dominado por atividades de mesoescala (BIASTOCH e KRAUSS, 1999; RUIJTER *et al.*, 2004; LUTJEHARMS, 2006) e está relacionado à circulação de larga escala do Oceano Índico (BACKEBERG e REASON, 2010) Giros são geralmente formados no estreitamento do canal (~16°S) entre as bacias norte e central, migrando para o sul principalmente ao longo da costa de Moçambique (SCHOUTEN *et al.*, 2003). Os giros também são formados na ponta sul de Madagascar, sendo que alguns adentram o canal, deslocando-se para o norte ao longo da costa oeste de Madagascar (QUARTLY e SROKOSZ, 2004).

Devido ao formato do canal, interações entre giros ou interações entre giros e a plataforma são comuns e contribuem para diferentes processos oceanográficos, que são marcados principalmente pela distribuição de clorofila na superfície (QUARTLY e SROKOSZ, 2004; KAI e MARSAC, 2009; OMTA *et al.*, 2009).

Aspectos oceanográficos do canal eram inexistentes até a descoberta de vórtices altamente variáveis, frequentemente dipolos (pareamento de um ciclone e um anticiclone), que se formam na região próxima a Comoros. Como resultado da vorticidade importada para a Corrente Sul Equatorial (SEC), conforme esta flui em torno da região norte de Madagascar, vórtices ciclônicos e anticiclônicos são gerados. Algumas vezes um giro mais amplo também é formado, circulando em volta das Ilhas Comoros.

Frequentemente, vórtices são gerados em pares que se movem em direção sul ao longo do canal, sendo que 6 a 8 pares podem ser formados no período de um ano. As consequências dessas formações afetam toda a região e todos os níveis de funções biológicas. Devido ao movimento rotatório e ao fato de atingirem até o fundo do canal, vórtices também resultam em ressurgência e subsidência da água, aquecendo e resfriando temperaturas em seus centros e transportando nutrientes ao longo da termoclina.

Essa dinâmica afeta profundamente as comunidades pelágicas, incluindo fitoplâncton, zooplâncton, invertebrados, peixes, aves e mamíferos marinhos. Embora nem todas as consequências biológicas da passagem de vórtices sejam conhecidas, eles podem ser considerados como sistemas oceânicos únicos de extrema importância, não somente para a biologia das espécies e os processos ecossistêmicos, mas também para a pesca e diversos usos econômicos.

A alta dinâmica dos vórtices e a rede formada pelas diversas correntes no canal corresponde à aproximadamente 50% do transporte de água para a Corrente das Agulhas, criando uma conexão na teia de transporte de massas d'água do Oceano Índico para o Oceano Atlântico. Essa contribuição de água entre os oceanos pode ser um fator significativo na configuração climática em escala planetária.

Sabe-se que giros de mesoescala afetam de forma significativa a estrutura da produção biológica, começando do mais baixo nível trófico (RODRIGUES e LORENZZETTI, 2001) por meio da introdução de nutrientes na zona eufótica e, conseqüentemente, blooms de fitoplâncton. Esses processos, no entanto, dependem fortemente da maturidade dos giros e advecção dentro de gradientes de determinadas propriedades (KAI e MARSAC, 2009) ou interações entre giros e o vento (MCGILLICUDDY *et al.*, 2007).

O fluxo no Canal de Moçambique é dominado por giros anticiclônicos deslocando-se sentido sul (SÆTRE e DA SILVA, 1984; BIASTOCH e KRAUSS, 1999).

Estes giros apresentam escalas espaciais de cerca de 300–500 km e propagam-se para o sul com velocidade aproximada de 3–6 km/dia (SCHOUTEN *et al.*, 2003). Concorrentemente, a Corrente Leste de Madagascar (EMC) reflete para sudoeste de Madagascar (SIEDLER *et al.*, 2009), gerando giros ciclônicos e anticiclônicos com até 250 km de diâmetro que se propagam-se sentido oeste para a Corrente das Agulhas (QUARTLY e SROKOSZ, 2004). Embora os giros do Canal de Moçambique e a EMC não sejam contínuos com a Corrente das Agulhas, ambos afetam significativamente sua dinâmica e contribuem para os fluxos de volume, sal e calor (LUTJEHARMS, 2007).

4.1.2 Efeitos da morfologia da plataforma

A plataforma continental do Canal de Moçambique mostra-se relativamente curta no lado oeste do estreitamento (em torno de 16°S) e ampla no lado leste. Também é bastante estreita nos dois lados do canal em sua porção mais ao sul. O restante da plataforma moçambicana é extensa, embora o lado madagascarense seja mais estreito. Logo ao sul da desembocadura do canal existe um desalinhamento na linha de costa próximo de Maputo, conhecida como Delagoa Bight. O mesmo se repete a sul de Angoche (~16°S). Ao redor das ilhas, particularmente Comoros, ao norte, a plataforma também é mais curta. Essas formas do limite de plataforma apresentam efeitos marcados no movimento das águas costeiras (LUTJEHARMS, 2006).

O fluxo ao longo do contorno leste é calmo, quando comparado ao lado oeste (SÆTRE, 1985; LUTJEHARMS *et al.*, 2000), com menores velocidades e menor energia cinética de vórtices. Os limites oeste da plataforma são influenciados principalmente pela passagem de vórtices originados ao norte do canal e pelos efeitos secundários de sua passagem. É possível que partes da margem leste da plataforma também sejam influenciadas pela passagem desses vórtices (LUTJEHARMS, 2006), mas os dados disponíveis até o momento são inadequados para mostrar essa influência.

4.1.3 Efeitos de ventos e maré

As condições meteorológicas do Canal de Moçambique foram resumidas por Van Heerden e Taljaard (1998). No verão austral, a direção média do vento é uniformemente de sudeste e fraca. No inverno, há divergência nas direções médias do vento: a porção sul apresenta ventos sudeste e a porção norte, ventos noroeste.

Durante o verão, as águas de plataforma do Canal de Moçambique também são influenciadas pela passagem de ciclones tropicais que, por regra, movem-se para sul ao longo do canal (VAN HEERDEN e TALJAARD, 1998). O efeito de ciclones nos movimentos da água sobre a plataforma é drástico, sendo que observações de correntes in-situ mostraram inversão na direção de correntes em profundidades de até 200 m durante a passagem de um ciclone severo (LUTJEHARMS, 2006).

As marés consistem em um importante componente dos movimentos da água no canal. Existe um aumento gradual no range de maré de menos de 2 m ao norte e ao sul para mais de 5 m na região central. Isso é produto de um sistema duplo de ondas, dirigido pelas terminações, que se desenvolve no canal. As correntes de maré são importantes nas partes rasas, mas os ventos, geralmente fracos, possuem efeito limitado nos principais movimentos de água sobre a plataforma.

4.1.4 O Grande Sistema da Corrente das Agulhas

Considerada como uma das mais fortes correntes de limite oeste, a Corrente das Agulhas forma parte do subgiro Sudoeste do Oceano Índico (LUTJEHARMS, 2007), fluindo em direção sul ao longo da costa africana, desde os 27°S, refletindo e deslocando-se para leste, retornando para o Oceano Índico Sul, ao sul da África (entre 40 e 42°S – STRAMMA e LUTJEHARMS, 1997).

A fonte à montante da Corrente das Agulhas possui contribuições distintas do fluxo ao longo do Canal de Moçambique, do fluxo rumo aos polos da Corrente Leste de Madagascar e da recirculação do subgiro do Oceano Índico Sudoeste, o qual é responsável pela maior parte do volume transportado (40 Sv de um total de 60 Sv nos primeiros 1000 m – STRAMMA e LUTJEHARMS, 1997).

Quando alcança a ponta do continente, provoca um grande giro anticiclônico, que meandra de volta ao Oceano Índico, agora chamada Corrente de Retorno das Agulhas (VAN LEEUWEN *et al.*, 2000). Próximo ao ponto de retorno, na área de

retroflexão, grandes anéis anticiclônicos são carregados para dentro do Oceano Atlântico Sul (LUTJEHARMS e GORDON, 1987).

A variabilidade de mesoescala no norte da Corrente das Agulhas ocorre na forma de meandros ciclônicos intermitentes, conhecidos como Pulsos de Natal (GRÜNDLINGH, 1983). Esses pulsos formam-se no Cabo de Natal, entre 29° e 30°S, onde o suave sopé e a larga plataforma apresentam condições favoráveis para a ocorrência de instabilidades e subsequente crescimento de meandros (RUIJTER *et al.*, 1999). Os Pulsos de Natal ocorrem aproximadamente seis vezes por ano e propagam-se à jusante com taxas de 10 km/dia (LUTJEHARMS e VALENTINE, 1984). Uma fonte adicional de variabilidade são os vórtices do Canal de Moçambique. Sua propagação para a região de formação da Corrente das Agulhas foi confirmada por estudos prévios de altimetria (BIASTOCH e KRAUSS, 1999; SCHOUTEN *et al.*, 2002). A interação dos vórtices com a Corrente das Agulhas tem mostrado influência na frequência e duração dos fenômenos de anel de derramamento das Agulhas, na região de retroflexão. Van Leeuwen *et al.* (2000) descrevem dois mecanismos que fazem com que isso aconteça: 1) o progresso sentido sul dos giros do Canal de Moçambique dão origem à formação dos Pulsos de Natal e estes, por sua vez, precedem os eventos de anel de derramamento na retroflexão por cerca de 180 dias; 2) a migração dos vórtices do Canal de Moçambique para a região de retroflexão das Agulhas pode levar a uma oclusão precipitada do giro de retroflexão, permitindo que o anel de derramamento ocorra.

4.2 DADOS *IN-SITU*

Observações in-situ são muito escassas no Canal de Moçambique. Por essa razão, o Centre for Observational and Operational Oceanography do Departamento de Assuntos Ambientais da África do Sul criou o WIOCOS (Western Indian Ocean Coastal Observing System, FIGURA 4a), que compreende a instalação de arranjos de equipamentos monitorados.

Como parte do projeto, Registradores de Temperatura Subaquática (RTS) modelo Seamon Mini Temperature Recorder, com precisão $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ foram implantados no leito oceânico, a 18 m de profundidade em quatro pontos: norte e sul de Madagascar e norte e sul de Moçambique (FIGURA 4b).

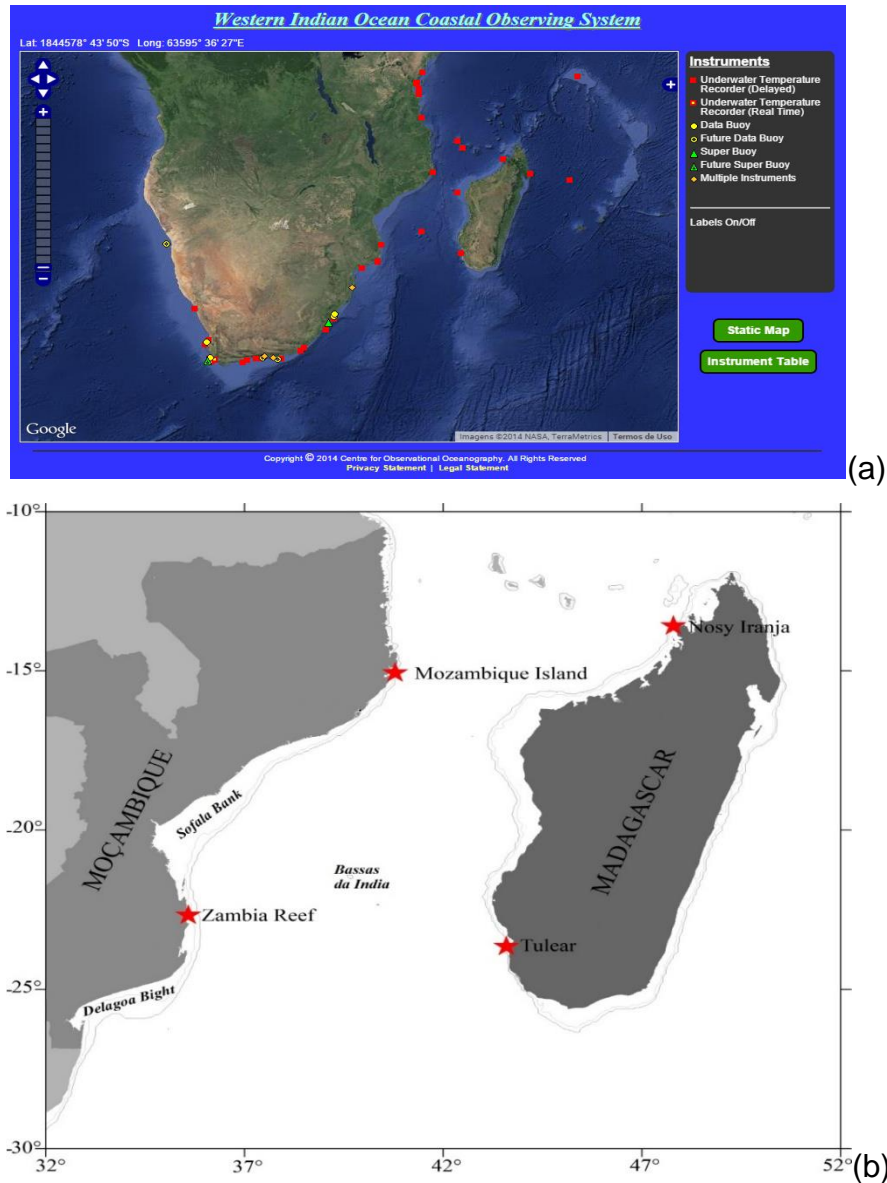


Figura 4: (a) Localização dos instrumentos pertencentes ao projeto WIOCOS. Disponível em http://www.cfoo.co.za/moored_inst.php. (b) Localização dos registradores de temperatura subaquática utilizados neste estudo.

Foram obtidos dados horários de temperatura de agosto de 2003 a dezembro de 2009, com disponibilidade variando de acordo com cada estação. Para análise dos dados as séries foram normalizadas, ou seja, foram utilizadas médias diárias, eliminando assim as oscilações entre dia e noite e da maré.

Tabela 1: Localização dos registradores de temperatura subaquática.

Nome da Estação	Localização
Zambia Reef	22°46'16"S – 35°35'02"E
Mozambique Island	15°03'52"S – 40°47'06"E
Nosy Ve (Tulcar)	23°39'18"S – 43°35'08"E
Nosy Iranja	13°35'34"S – 47°47'03"E

Com o intuito de excluir as variações diárias e sazonais da temperatura da água para que não interferissem na análise das variações, a série temporal foi normalizada subtraindo-se o valor da média diária da série completa de cada estação dos valores diários correspondentes da série original e, então, dividido pelo desvio padrão médio.

Para este estudo, um evento de queda de temperatura foi definido como maior que 2°C. Esse valor corresponde à metade da variação do maior evento de temperatura dentre todas as estações (~4°C).

4.3 DADOS DE SATÉLITE

Dados diários da velocidade do vento na superfície do mar (m.s-1) e vetores componentes da velocidade do vento (zonal (u) e meridional (v)) a uma altura de referência de 10 m e resolução de 0.25° foram utilizados. Seis anos (2003-2009) de dados de Nível-3 foram derivados de contínuas observações de múltiplos satélites: Advanced Microwave Scanning Radiometer – Earth Observation System (AMSR-E), Spatial Sensor Microwave Image (SSM/I-F13, -F14, -F15), Quick Scatterometer (QuickSCAT) e Tropical Microwave Image (TMI). A combinação de diferentes produtos de vento aumenta a resolução espacial e temporal dos produtos de cada satélite, preenchendo espaços e reduzindo subamostragens e erros aleatórios. Os dados são fornecidos pelo NOAA/NCDC através do site <http://www.ndcd.noaa.gov/oa/rsad/air-sea/seawinds.html>. Os vetores do vento seguem a convenção oceanográfica atual, ou seja, leste positivo indica vento oeste e norte positivo indica vento sul.

4.4 CÁLCULO DO TRANSPORTE DE EKMAN

Para melhor compreensão da influência do vento na ocorrência de quedas de temperatura da água, foi aplicado o cálculo de transporte de Ekman para cada estação de acordo com a metodologia de Myers e Drinkwater (1988), Bakun (1989), Halpern (2002) e Malauene *et al.* (2014):

$$M_y = -\frac{\tau_{along}}{\rho \times f} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde τ_{along} é a componente de estresse do vento na superfície ao longo da costa, ρ é a densidade da água do mar (1024 kg.m^{-3}) e f é o parâmetro de Coriolis para cada estação. τ_{along} e f foram calculados utilizando as seguintes fórmulas, respectivamente:

$$\tau_{along} = \rho_a C_d |U|U \quad (\text{Eq. 2})$$

$$f = 2\Omega \sin\theta \quad (\text{Eq. 3})$$

onde a constante ρ_a é a densidade do ar ($1,3 \text{ kg.m}^{-3}$), C_d é o coeficiente de arrasto adimensional ($\sim 0,0011$), U é a componente meridional do vento da compilação dos dados diários fornecidos pelo NOAA/NCDC a 10m de altura para cada estação, $|U|$ é a velocidade do vento, Ω é a velocidade angular da Terra ($2\pi/24 \times 3600 \approx 7,272 \times 10^{-5} \text{ rad.s}^{-1}$) e θ é a latitude de cada estação.

4.5 ANÁLISE DO ESPECTRO DE POTÊNCIA

A técnica de análise espectral utilizada neste trabalho baseia-se no método proposto por Welch (1967). Este emprega a Fast Fourier Transform (FFT) para estimar a densidade de potência espectral. Para isso, foi aplicada uma janela do tipo Hanning sobre segmentos com 1/3 do comprimento total das séries e sobreposição de 50%. Desse modo, obtêm-se a estimativa de densidade espectral média. Como resultado, perde-se resolução espectral, mas a confiabilidade da existência das concentrações de energia é maior.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Levando em consideração a grande extensão do Canal de Moçambique ($\sim 1600 \text{ km}$), as estações foram divididas em norte e sul, uma vez que diversos fenômenos ocorrem em porções diferentes do canal. Dessa forma, é possível fazer uma relação mais adequada da influência das variabilidades em cada região.

5.1 SEÇÃO NORTE: MOZAMBIQUE ISLAND E NOSY IRANJA

Na estação de Mozambique Island (Figura 5), a temperatura da água variou entre $19,41^\circ\text{C}$ e $29,55^\circ\text{C}$, com anomalias de temperatura entre $-3,51$ e $2,17^\circ\text{C}$. Foram

observados 17 eventos de queda de temperatura da água, 2°C e 4,6°C, sendo o último o maior valor registrado dentre todas as estações. Os eventos de maiores quedas de temperatura ocorreram durante o verão austral (setembro-março).

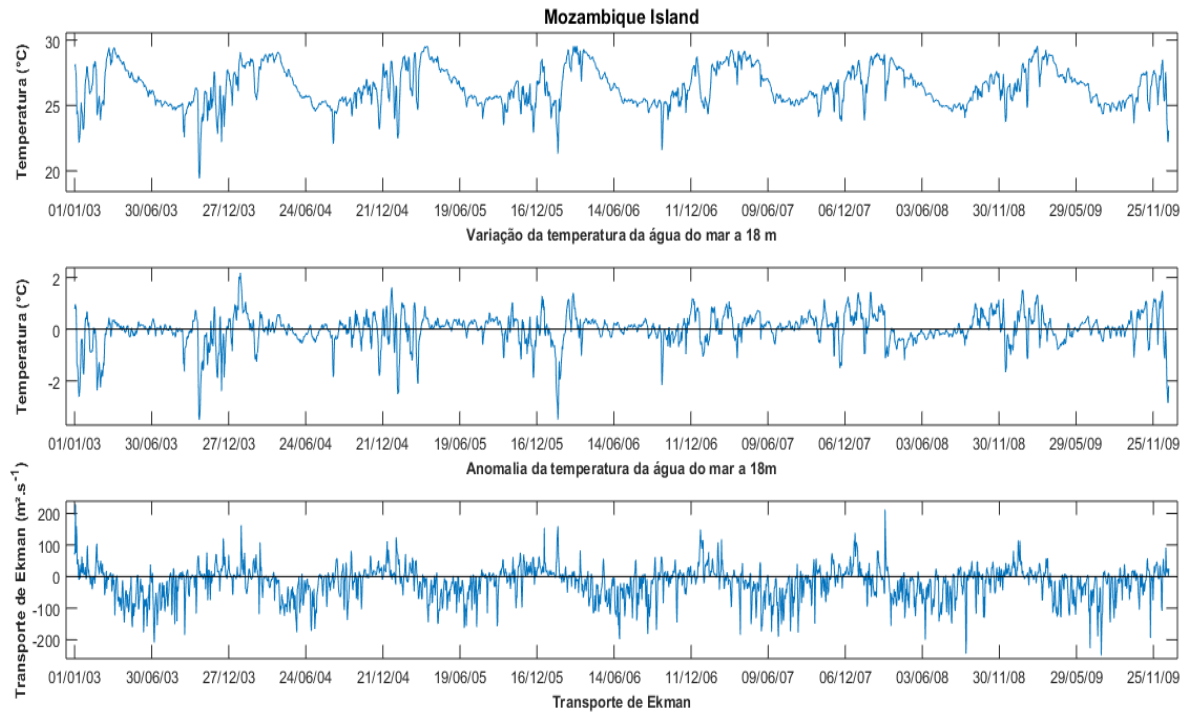


Figura 5: Séries temporais da variação diária da temperatura da água do mar a 18 m (acima), anomalia da temperatura (meio) e do Transporte de Ekman (abaixo) na estação Mozambique Island.

Fica evidente a variação sazonal tanto nos valores da temperatura da água quanto do Transporte de Ekman. Saetre e Silva (1982) tratam dessa sazonalidade marcada como resultado da influência do Sistema de Monções do Oceano Índico. No entanto, há controvérsias a respeito dessa afirmação, sendo que Ridderinkhof e Ruijter (2003) afirmaram que a influência do sistema restringe-se à porção noroeste do Oceano Índico. Por sua vez, Lutjeharms (2006) caracterizou o Oceano Índico Sudoeste como extensão que não é diretamente influenciada pelos ventos de Monções no que diz respeito à circulação.

O espectro de potência da temperatura (FIGURA 6) mostrou principais picos entre 10, 15 e 22 dias, destacando-se também picos em 39 e 60 dias. O Transporte de Ekman teve seu pico de energia mais intenso aos 10 dias, seguido por outro em 340 dias.

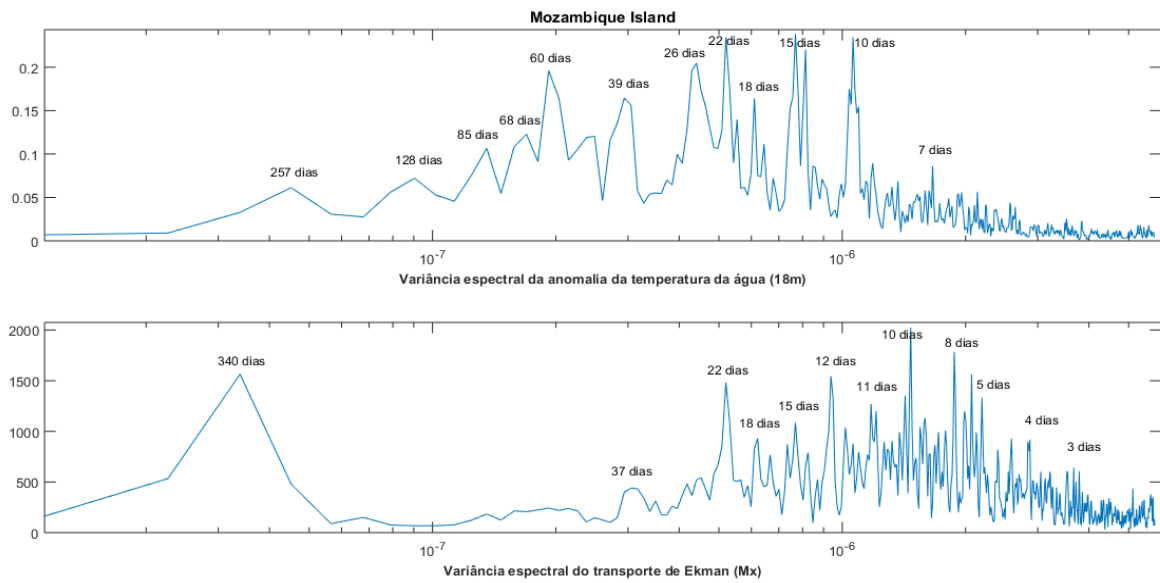


Figura 6: Densidade do espectro de potência da anomalia de temperatura da água do mar a 18 m (acima) e do Transporte de Ekman (abaixo) na estação Mozambique Island.

A estação Nosy Iranja (FIGURA 7) possui série temporal de apenas 3 anos devido à dificuldade de acesso ao local para recolhimento do RTS. Por localizar-se ao lado leste do canal, espera-se que o Transporte de Ekman negativo provoque queda de temperatura da água.

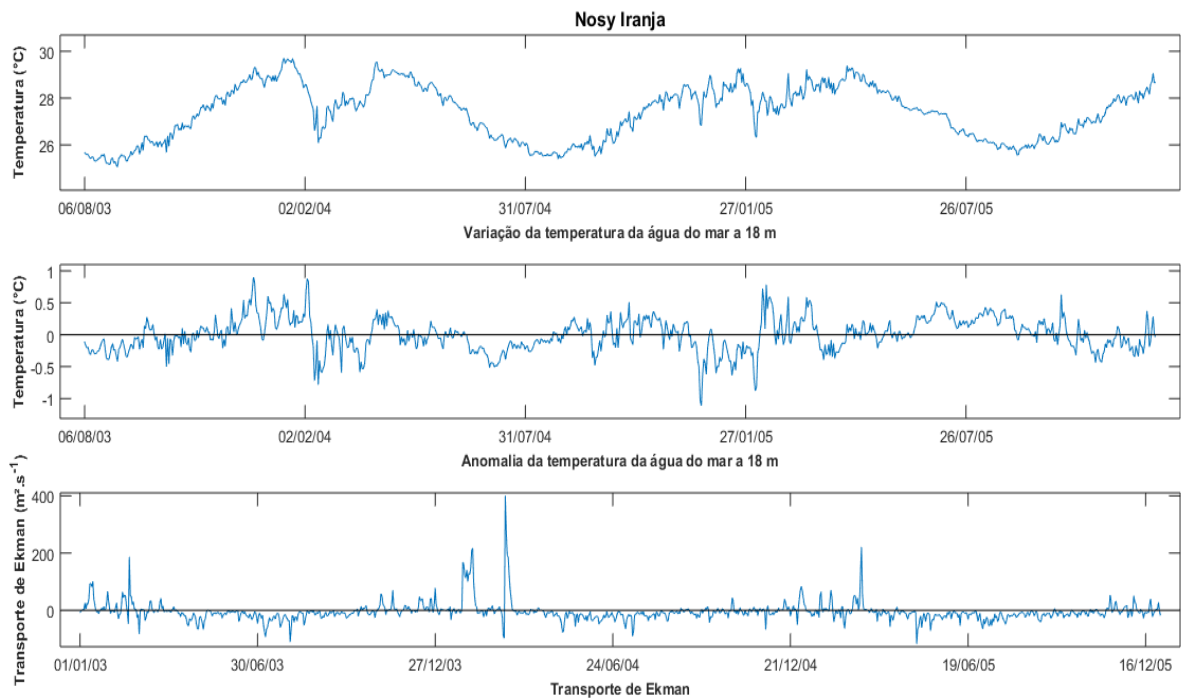


Figura 7: Séries temporais da variação diária da temperatura da água do mar a 18 m (acima), da anomalia da temperatura (meio) e do Transporte de Ekman (abaixo) na estação Nosy Iranja.

A temperatura da água variou entre 25,06°C e 29,69°C. Não houve nenhum evento de queda de temperatura em Nosy Iranja, sendo que as variações mais evidentes se deram entre 0,9 e 1,6°C.

A predominância do Transporte de Ekman se deu no sentido negativo, com mínimo de $-117,64 \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$. No entanto, os eventos mais intensos ocorreram no sentido positivo, atingindo máximo de $400,74 \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$. Seguindo o padrão observado em Mozambique Island, os maiores valores foram observados durante o verão austral.

Os maiores picos de densidade espectral na temperatura da água ocorreram em 16, 36 e 115 dias (FIGURA 8). O Transporte de Ekman apresentou picos de densidade semelhantes aos da temperatura da água aos 37 e 21 dias, embora o maior pico seja em 9 dias.

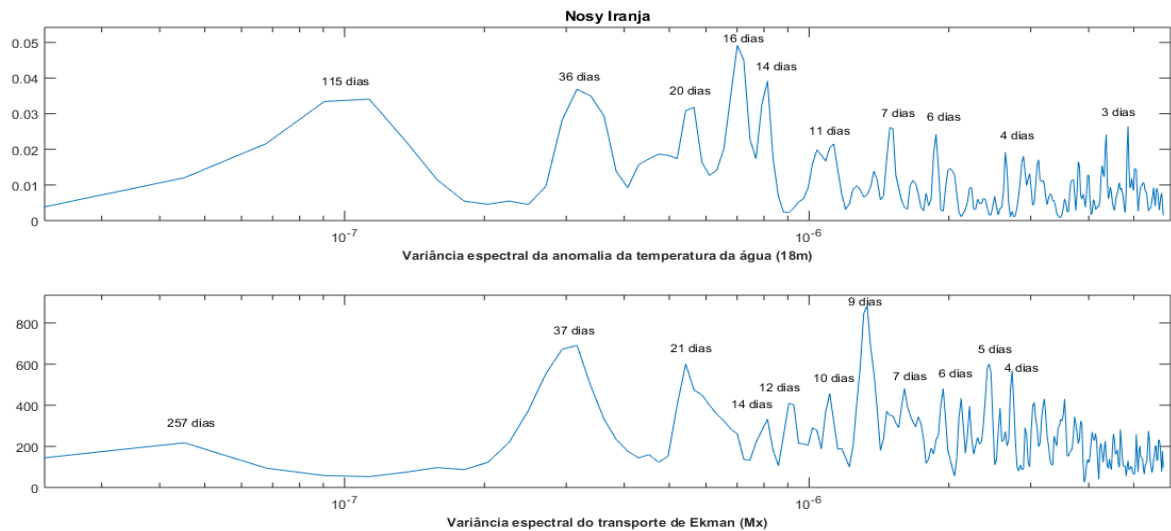


Figura 8: Densidade do espectro de potência da anomalia de temperatura da água do mar a 18 m (acima) e do Transporte de Ekman (abaixo) na estação Nosy Iranja.

A região norte do Canal de Moçambique ($\sim 17^\circ\text{S}$) é conhecida como área de formação dos vórtices anticiclônicos dominantes da circulação do canal. Os picos de energia espectral entre 40 e 52 dias estão associados à instabilidade barotrópica nas proximidades de Cape Amber (norte de Madagascar) (BIASTOCH e KRAUSS, 1999; QUADFASEL e SWALLOW, 1986; SCHOTT *et al.*, 1988; SCHOUTEN *et al.*, 2003). Os picos entre 60 a 68 dias estão associados aos vórtices se propagando para sul (SWART *et al.*, 2010). O desencadeamento da formação de vórtices está provavelmente relacionado ao sinal migrando para oeste, que pode ser uma onda baroclínica de Rossby, com período de cerca de 70 dias. Schouten *et al.*, (2003) e

Harlander *et al.* (2009) associaram os picos em torno de 68 dias à combinação dos vórtices do Canal de Moçambique e das ondas de Rossby.

O pico espectral no campo bissemanal (10-20 dias) mostrou-se forte e agudo em ambas as estações. Sengupta *et al.* (2001) foram os primeiros a relacionar um pico de mesmo período no campo de velocidade subsuperficial meridional como às ondas de Yanai (combinação de ondas de Rossby e ondas gravitacionais) (MOORE e MCCREARY, 1990). Sengupta *et al.* (2001) fizeram uma simulação da velocidade meridional no Oceano Índico Equatorial, mostrando que a frequência bissemanal é presente apenas quando utilizados dados de ventos diários, não havendo esse mesmo pico com aplicação de ventos climatológicos como forçante. A temperatura da água apresentou pico espectral bissemanal muito mais abrupto do que os ventos que, aparentemente, a desencadearam, evidenciando a importância das forçantes remotas, dos processos de mistura e da propagação vertical para as respostas oceânicas (SCHOTT *et al.*, 2009).

5.2 SEÇÃO SUL: ZAMBIA REEF E NOSY VE (TULEAR)

A estação de Zambia Reef (FIGURA 9) apresentou temperaturas entre 20,68 e 29,07°C. Seis eventos de queda de temperatura foram observados, com valores entre 2 e 3°C, sendo o maior durante maio de 2004. O Transporte de Ekman manteve-se majoritariamente constante e positivo (entre 50 e 150m².s⁻¹), sendo o valor máximo um pico destacado no verão de 2003, de 553,62 m².s⁻¹. O My negativo mais intenso foi de -156,86 m².s⁻¹, sendo também uma variação abrupta, mas observada durante o inverno de 2006.

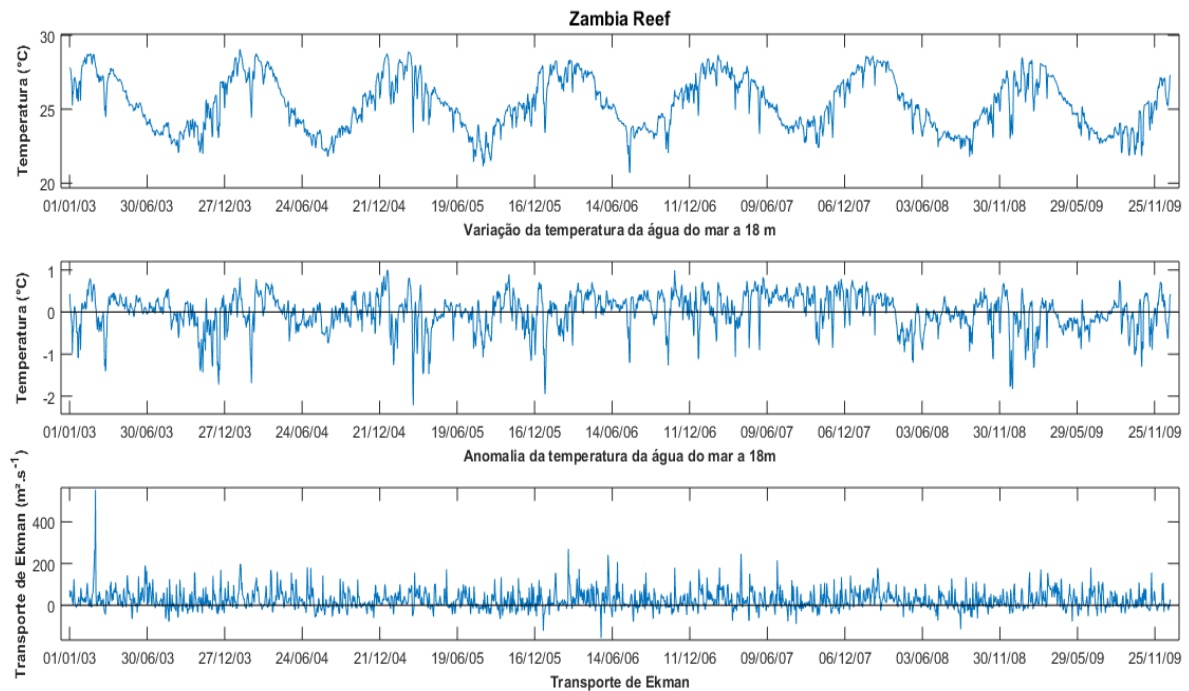


Figura 9: Séries temporais da variação diária da temperatura da água do mar a 18 m (acima), da anomalia da temperatura (meio) e do Transporte de Ekman (abaixo) na estação Zambia Reef.

A análise da densidade espectral da temperatura (FIGURA 10) mostrou concentração de energias mais altas para períodos de 10, 18 e 27 dias. Picos com menores intensidades de energia, mas também evidentes são observados em períodos de 23, 32, 35 e 39 dias. Para o Transporte de Ekman, os maiores picos foram em períodos de 6, 8 e 12 dias.

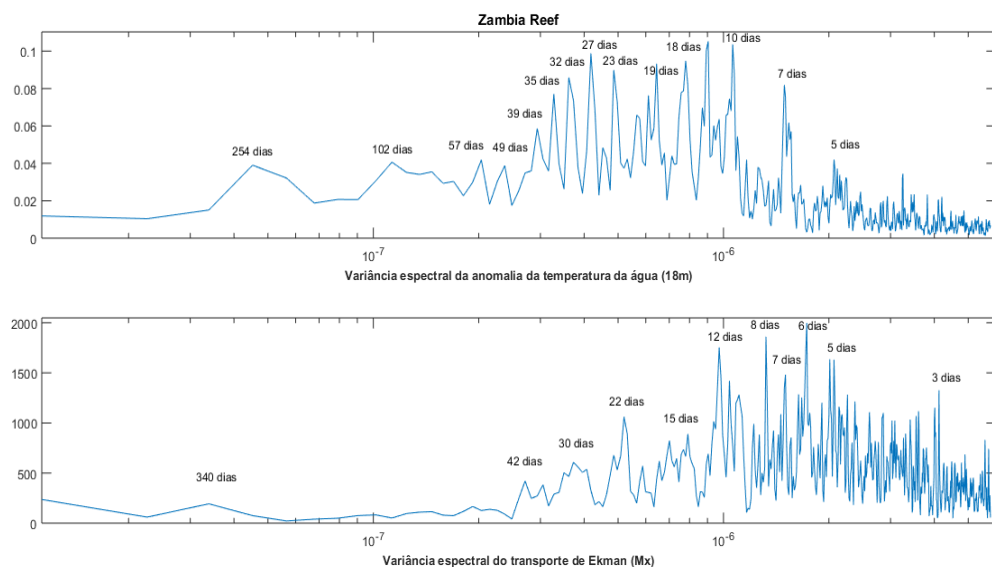


Figura 10: Densidade do espectro de potência da anomalia de temperatura da água do mar a 18 m (acima) e do Transporte de Ekman (abaixo) na estação Zambia Reef.

Em Nosy Ve (Tulear) (FIGURA 11) foi observada a maior variabilidade na temperatura da água ($9,3^{\circ}\text{C}$), com valores entre $20,77$ e $30,07^{\circ}\text{C}$. 6 eventos de queda de temperatura foram observados na estação, com valor mínimo de 2°C e máximo de 4°C . O transporte de Ekman apresentou padrão semelhante ao de Zambia Reef, com predominância de valores positivos entre 50 e $150\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ e valor máximo durante o verão ($191,75\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$). Destacam-se 4 mudanças abruptas no sentido do Transporte de Ekman para negativo, com valor máximo de $-229,68\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$, todos durante o verão austral.

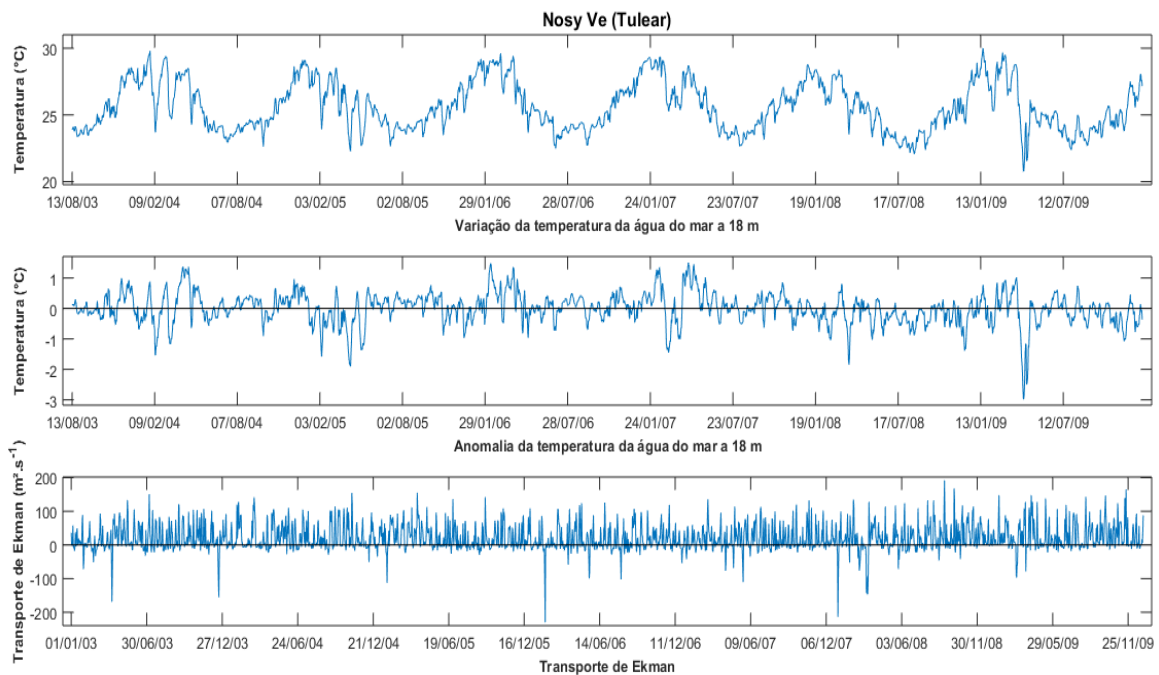


Figura 11: Séries temporais da variação diária da temperatura da água do mar a 18 m (acima), da anomalia da temperatura (meio) e do Transporte de Ekman (abaixo) na estação Nosy Ve (Tulear).

O espectro de potência da temperatura da água (FIGURA 12) mostrou um pico forte e contrastante no período de 22 dias. Outros picos evidentes, mas em menor intensidade, podem ser observados aos 30 e 42 dias.

O Transporte de Ekman apresentou picos intensos nas frequências entre 4 e 9 dias. Há também um pico na frequência de 22 dias, com menor intensidade.

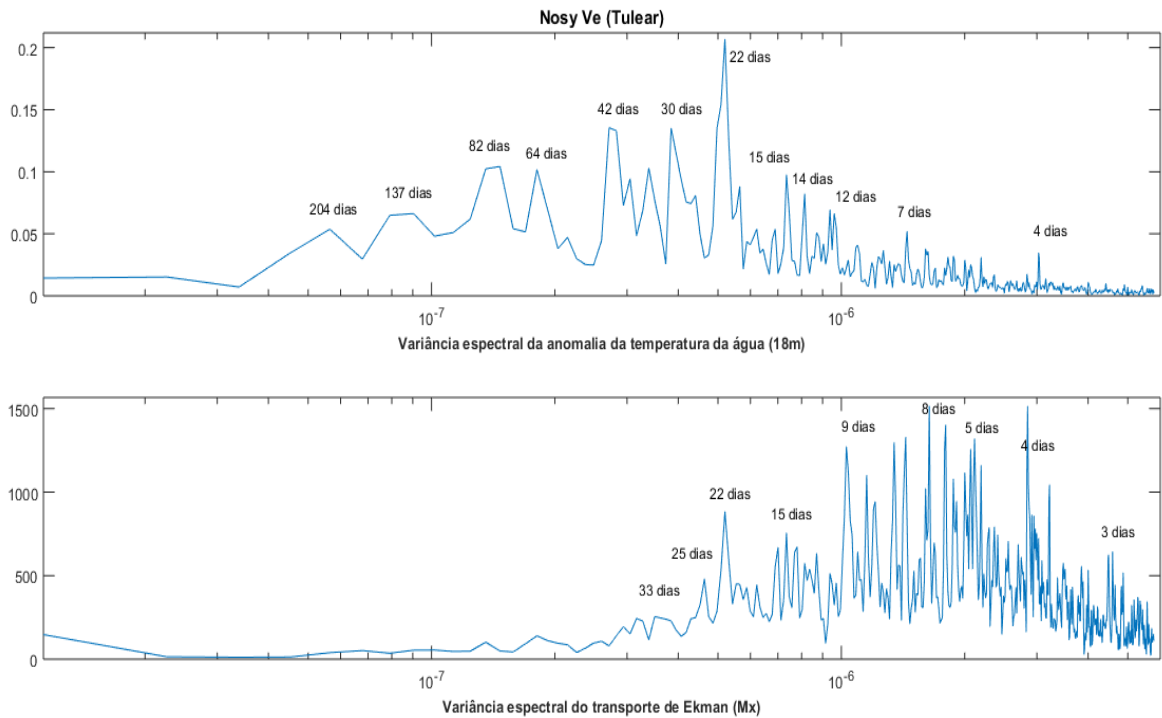


Figura 12: Densidade do espectro de potência da anomalia de temperatura da água do mar a 18 m (acima) e do Transporte de Ekman (abaixo) na estação Nosy Ve (Tulear).

O Canal de Moçambique é uma das principais áreas fontes da Corrente das Agulhas (SCHOTT *et al.*, 2009). Como descrito anteriormente, frequências entre 60 e 68 dias estão associadas à passagem de vórtices anticiclônicos formados ao norte do Canal de Moçambique e propagando-se para o sul.

A Corrente Sul Equatorial do Oceano Índico bifurca em torno de 20°S , formando as ramificações norte e sul da Corrente Leste de Madagascar (EMC) (SCHOTT *et al.*, 1988). Ao atingir a ponta sul de Madagascar, a EMC separa do contorno oeste. Imagens de temperatura da superfície do mar (DIMARCO *et al.*, 2000) e imagens da cor do oceano (MACHU *et al.*, 2002) mostraram que há movimento anticiclônico na região, com vórtices associados. Esses vórtices derivam no sentido oeste e sudoeste, sendo que uma porção deles interage com os vórtices do Canal de Moçambique e, subsequentemente, viajam ao longo do limite *offshore* da Corrente das Agulhas para a região de retroflexão. Lá, a corrente de vórtices combinados da EMC e do canal exerce controle na frequência e no tempo em que os Anéis das Agulhas se desprendem (SCHOUTEN *et al.*, 2002). Ainda de acordo com os mesmos autores, com frequência em torno de quatro vezes por ano ocorre uma onda de Kelvin equatorial que atinge a costa da Indonésia. Propaga-se então para sul, sendo o gatilho

de ondas de Rossby que deslocam-se para oeste ao longo do Oceano Índico subtropical, formando grandes anéis com a mesma frequência de quatro por ano ao atingir as regiões de Madagascar e do Canal de Moçambique.

Sætre e da Silva (1984), com base em uma série de diversos cruzeiros hidrográficos, afirmaram que a circulação da porção sul do Canal de Moçambique é dominada por vórtices anticiclônicos durante o verão. Schouten *et al.* (2003) afirmaram que a frequência com que ocorrem é em torno de 7 por ano no estreitamento do canal, reduzindo para 5 por ano na região central e diminuindo ainda mais até o limite sul do canal. Essa redução pode estar associada com a dissipação dos vórtices em torno de 20°S e mistura a fim de formar feições maiores.

As ilhas de Bassas da India e Île Europa ajudam a restringir a rota tomada pelos vórtices do Canal de Moçambique na região RUIJTER *et al.* (2002). O fluxo sul a 25°S frequentemente leva à formação de um vórtice ciclônico na região de Delagoa Bight (LUTJEHARMS e DA SILVA, 1988). Isso pode estar relacionado com as variações da temperatura em menores intervalos e com as mudanças abruptas no sentido do Transporte de Ekman, embora estudos específicos da região sejam necessários para comprovar a afirmação.

O sinal com frequência de 4 por ano é dominante ao sul do canal e em torno de 24°S, estando associado às ondas de Rossby vindas de leste e adentrando o canal por meio de uma onda de Kelvin ao redor de Madagascar, que desprende as ondas de Rossby do oeste da ilha (SCHOUTEN *et al.*, 2003).

Na porção leste, um número de feições ciclônicas pode ser observado, próximo ao limite sul de Madagascar. Não são feições permanentes, apresentando periodicidade de 24 dias (QUARTLY e SROKOSZ, 2004). Já na parte oeste, de acordo com os mesmos autores, vórtices anticiclônicos apresentaram intervalos de 48 dias entre eventos, com frequências entre 5 e 6 por ano (60 a 73 dias) (QUARTLY e SROKOSZ, 2004).

O sinal bissemanal foi sugerido por Sengupta *et al.* (2001) como resposta às ondas de Yanai. Quartly e Srokosz (2004) sugerem que alguns vórtices podem ser aprisionados conforme atravessam a Davie Ridge, uma cordilheira com 300 km de extensão e até 2500 m de profundidade ao centro do Canal de Moçambique. Além disso, as ilhas de Bassas da India e Île Europa também ajudam a restringir feições anticiclônicas ao sul de Madagascar. O confinamento e a possível deformação dos

vórtices por essas feições podem estar associados com diversos picos de frequência ou mesmo interagindo com as forçantes já mencionadas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

O estudo realizado teve como objetivo identificar semelhanças nos padrões de variabilidade da temperatura da água do mar e do vento por meio do Transporte de Ekman. Grande variabilidade na temperatura e nos padrões de vento foi observada, tanto entre estações quanto ao longo da série temporal de cada ponto. Não foi encontrada nenhuma relação que indique que o vento seja a forçante por trás das variações de temperatura a 18 m no Canal de Moçambique.

Existe semelhança entre os padrões observados entre as estações ao norte e entre as estações ao sul, embora haja grande divergência na variabilidade entre as extremidades do canal. As diferenças mais significativas entre estações de mesma latitude podem estar associadas à influência das correntes, que são muito mais intensas e variáveis no lado oeste do Canal.

A estação Mozambique Island mostrou a maior variabilidade ao longo da série, tanto na temperatura quanto no Transporte de Ekman, provavelmente porque encontra-se próxima à região de formação dos vórtices anticiclônicos. Além disso, de acordo com Ridderinkhof e Ruijter (2003), os vórtices na porção norte chegam a ter diâmetros que ocupam todo o comprimento do estreitamento, atingindo até o fundo do canal (2500 m).

Em todas as situações houve concordâncias entre picos de energia espectral entre a temperatura e o Transporte de Ekman. Uma vez que a série temporal não mostra relação do vento – e do consequente Transporte de Ekman – como forçante nas variações de temperatura é provável que essas altas concentrações de energia estejam relacionadas à passagem de vórtices, provocando alterações semelhantes em periodicidades semelhantes.

O padrão de circulação no Canal de Moçambique é um dos mais diversos e complexos do mundo. No entanto, poucas observações diretas são feitas no local, principalmente em longas escalas de tempo. A maioria dos estudos são realizados com base em modelos matemáticos e dados de altimetria oriundos de satélite. Embora sejam de grande importância para a identificação e compreensão dos principais fenômenos que proporcionam variabilidade na região, ainda apresentam uma visão

geral muito distante do canal, uma vez que se trata de um ambiente de grande extensão e altamente dinâmico, de forma que as interações entre as forçantes dos fluxos possam estar sendo subestimadas.

Sabe-se que os vórtices anticiclônicos de mesoescala desempenham papel principal na circulação do Canal de Moçambique. No entanto, os vórtices isolados não explicam toda a dinâmica e a variabilidade do local. Pouco se investiga a respeito de fenômenos de menor escala que podem estar alterando o padrão dos vórtices, bem como interagindo com eles, aumentando a complexidade na formação dos padrões de fluxo do canal.

Embora não haja clareza a respeito da influência dos ventos nas anomalias de temperatura da água, a diversidade de picos espectrais com grandes concentrações de energia em períodos incompatíveis com aqueles gerados pela passagem de vórtices evidencia a importância dessas forçantes secundárias para maior entendimento sobre a variabilidade existente no canal. Além disso, uma série de dados direta e de longa escala temporal colabora para o preenchimento de lacunas a respeito das diversas forçantes envolvidas na circulação do Canal de Moçambique.

REFERÊNCIAS

- ARÍSTEGUI, J. e colab. **Island-induced eddies in the Canary Islands**. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, v. 41, n. 10, p. 1509–1525, 1994.
- BACKBERG, B. C. e colab. **The greater Agulhas Current system: an integrated study of its mesoscale variability**. v. 8778, n. October, 2016.
- BACKEBERG, B. C. e REASON, C. J. C. **A connection between the South Equatorial Current north of Madagascar and Mozambique Channel Eddies**. Geophysical Research Letters, v. 37, n. 4, Fev 2010. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/2009GL041950>>.
- BAKUN, Andrew. **Global Climate Change and Intensification of Coastal Ocean Upwelling**. v. 892, n. 1974, 1989.
- BAKUN, Andrew e WEEKS, Scarla J. **The marine ecosystem off Peru: What are the secrets of its fishery productivity and what might its future hold?** Progress in Oceanography, v. 79, n. 2–4, p. 290–299, Out 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.027>>.
- BIASTOCH, Arne e KRAUSS, Wolfgang. **The role of mesoscale eddies in the source regions of the Agulhas current**. Journal of Physical Oceanography, v. 29, n. 9, p. 2303–2317, 1999.
- CHELTON, Dudley B. e colab. **The Influence of Nonlinear Mesoscale Eddies on Near-Surface Oceanic Chlorophyll**. Science, v. 334, n. 6054, p. 328–332, 21 Out 2011. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1208897>>.
- DE RUIJTER, Wilhelmus P.M. e colab. **Eddies and dipoles around South Madagascar: formation, pathways and large-scale impact**. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, v. 51, n. 3, p. 383–400, Mar 2004. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0967063703001997>>.
- DE RUIJTER, Wilhelmus P M e RIDDERINKHOF, Herman e SCHOUTEN, Mathijs W. **Variability of the southwest Indian Ocean**. n. November 2004, p. 63–76, 2005.
- DIMARCO, Steven F e CHAPMAN, Piers e NOWLIN, Worth D. **Satellite observations of upwelling south of Madagascar**. v. 27, n. 24, p. 3965–3968, 2000.
- GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, E. e colab. **Net primary productivity, upwelling and coastal currents in the Gulf of Ulloa, Baja California, México**. Ocean Science, v. 8, n. 4, p. 703–711, 30 Ago 2012. Disponível em: <<https://www.ocean-sci.net/8/703/2012/>>.
- GRÜNDLINGH, Marten L. **On the Course of the Agulhas Current**. South African Geographical Journal, v. 65, n. 1, p. 49–57, 13 Abr 1983. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03736245.1983.10559671>>.

HALPERN, David. **Offshore Ekman transport and Ekman pumping off Peru during the 1997-1998 El Niño**. *Geophysical Research Letters*, v. 29, n. 5, p. 19-1-19-4, Mar 2002. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/2001GL014097>>.

HARLANDER, U. e colab. **Long-term observations of transport, eddies, and Rossby waves in the Mozambique Channel**. *Journal of Geophysical Research*, v. 114, n. C2, p. C02003, 11 Fev 2009. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/2008JC004846>>.

HUYER, Adriana. **Coastal upwelling in the California current system**. *Progress in Oceanography*, v. 12, n. 3, p. 259–284, Jan 1983. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0079661183900101>>.

KAI, Emilie Tew e MARSAC, Francis. **Patterns of variability of sea surface chlorophyll in the Mozambique Channel : A quantitative approach**. n. April, 2009.

KRUG, M e TOURNADRE, J. **Satellite observations of an annual cycle in the Agulhas Current**. v. 39, n. August, p. 1–6, 2012.

LUTJEHARMS, J. R. E. THE COASTAL OCEANS OF SOUTH-EASTERN AFRICA (15W). ROBINSON, A. R.; BRINK, K. H. (Org.). . *The Sea*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2006. v. 14B. p. 783–834.

LUTJEHARMS, J. R. E. **Three decades of research on the greater Agulhas Current**. *Ocean Science*, v. 3, n. 1, p. 129–147, 23 Fev 2007. Disponível em: <<http://www.ocean-sci.net/3/129/2007/>>.

LUTJEHARMS, J. R. E. e DA SILVA, António Jorge. **The Delagoa Bight eddy**. *Deep-Sea Research*, v. 35, n. 4, p. 619–634, 1988.

LUTJEHARMS, J. R. E. e GORDON, A. L. **Shedding of an Agulhas ring observed at sea**. *Nature*, v. 325, n. 6100, p. 138–140, Jan 1987. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/325138a0>>.

LUTJEHARMS, J. R.E. e VALENTINE, H. R. **Southern ocean thermal fronts south of Africa**. *Deep Sea Research Part A, Oceanographic Research Papers*, v. 31, n. 12, p. 1461–1475, 1984.

LUTJEHARMS, J. R E e WEDEPOHL, P. M. e MEEUWIS, J. M. **On the surface drift of the East Madagascar and Mozambique currents**. *South African Journal of Science*. [S.l: s.n.], 2000

MACHU, E e colab. **First hydrographic evidence of the southeast Madagascar upwelling cell**. v. 29, n. 21, p. 10–13, 2002.

MALAUENE, B.S. e colab. **Cool, elevated chlorophyll-a waters off northern Mozambique**. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v. 100, n. JANUARY, p. 68–78, Fev 2014. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0967064513004116>>.

MCGILLICUDDY, Dennis J. e colab. **Eddy/Wind Interactions Stimulate Extraordinary Mid-Ocean Plankton Blooms**. *Science*, v. 316, n. 5827, p. 1021–1026, 18 Maio 2007. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1136256>>.

MOORE, Dennis W. e MCCREARY, Julian P. **Excitation of intermediate-frequency equatorial waves at a western ocean boundary: With application to observations from the Indian Ocean**. *Journal of Geophysical Research*, v. 95, n. C4, p. 5219, 1990. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/JC095iC04p05219>>.

MYERS, R. A. e DRINKWATER, K. F. **Offshelf Ekman transport and larval fish survival in the Northwest Atlantic**. *Biological Oceanography*, v. 6, n. 1, p. 45–64, 1988.

OMTA, A.W. e colab. **The interpretation of satellite chlorophyll observations: The case of the Mozambique Channel**. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 56, n. 6, p. 974–988, Jun 2009. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0967063709000211>>.

PAULY, D. e CHRISTENSEN, V. **Primary production required to sustain global fisheries**. *Nature*, v. 376, n. 6537, p. 279–279, Jul 1995. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/376279b0>>.

POND, Stephen e PICKARD, George L. **Introductory Dynamical Oceanography**. [S.l.]: Elsevier, 1983. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/C20090242887>>.

QUADFASEL, Detlef R. e SWALLOW, John C. **Evidence for 50-day period planetary waves in the South Equatorial Current of the Indian Ocean**. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, v. 33, n. 10, p. 1307–1312, Out 1986. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0198014986900373>>.

QUARTLY, G. D. e SROKOSZ, M. A. **Eddies in the southern Mozambique Channel**. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v. 51, n. 1–3, p. 69–83, 2004.

RIDDERINKHOF, H. e DE RUIJTER, W.P.M. **Moored current observations in the Mozambique Channel**. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v. 50, n. 12–13, p. 1933–1955, Jul 2003. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0967064503000419>>.

RODRIGUES, Regina R. e LORENZZETTI, João a. **A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the Southeast Brazilian coastal upwelling**. *Continental Shelf Research*, v. 21, n. 4, p. 371–394, 2001.

RUIJTER, W P M De e colab. **Indian-Atlantic interocean Dynamics , estimation and impact ring shedding**. v. 104, 1999.

RUIJTER, Wilhelmus P M De e colab. **Observations of the flow in the Mozambique Channel**. v. 29, n. 10, p. 3–5, 2002.

SAETRE, R e SILVA, A J. **Water masses and circulation on the Mozambique channel**. Revista de Investigação Pesqueira, n. November, p. 3–38, 1982.

SÆTRE, Roald. **Surface currents in the Mozambique channel**. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, v. 32, n. 12, p. 1457–1467, Dez 1985. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B757K-48CG4JD-2D/2/08b3364a546111edfcec722f3e62035>>.

SÆTRE, Roald e DA SILVA, António Jorge. **The circulation of the Mozambique channel**. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, v. 31, n. 5, p. 485–508, Maio 1984. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0198014984900980>>.

SCHOTT, Friedrich e colab. **The Boundary Currents East and North of Madagascar 2: Direct Measurements and Model Comparisons**. Journal of Geophysical Research, v. 93, n. C5, p. 4963–4974, 1988.

SCHOTT, Friedrich A e XIE, Shang-Ping e MCCREARY JR., Julian P. **INDIAN OCEAN CIRCULATION AND CLIMATE VARIABILITY**. n. 2007, p. 1–46, 2009.

SCHOUTEN, M. W. e colab. **An oceanic teleconnection between the equatorial and southern Indian Ocean**. Geophysical Research Letters, v. 29, n. 16, p. 59-1-59-4, 15 Ago 2002. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/2001GL014542>>.

SCHOUTEN, Mathijs W. e colab. **Eddies and variability in the Mozambique Channel**. Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, v. 50, n. 12–13, p. 1987–2003, 2003.

SENGUPTA, Debasis e SENAN, Retish e GOSWAMI, B N. **in the tropical central Indian Ocean**. Geophysical Research Letters, v. 28, n. 7, p. 1267–1270, 2001.

SIEDLER, Gerold e colab. **Modes of the southern extension of the East Madagascar Current**. v. 114, n. May 2008, p. 1–15, 2009.

STEELE, John H e THORPE, Steve A e TUREKIAN, Karl K. The Indian Ocean.

STEELE, J. H. (Org.). . Ocean Currents: A Derivative of the Encyclopedia of Ocean Sciences. 2. ed. [S.l.]: Academic Press, 2009. p. 612.

STRAMMA, L e LUTJEHARMS, J R E. **The flow field of the subtropical gyre of the South Indian Ocean**. Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 102, n. C3, p. 5513–5530, 15 Mar 1997. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/96JC03455>>.

SWART, N C e colab. **Observed characteristics of Mozambique Channel eddies**. v. 115, n. March, p. 1–14, 2010.

TARAZONA, J e ARNTZ, W. The Peruvian Coastal Upwelling System. SEELIGER, U.; KJERFVE, B. (Org.). . Coastal Marine Ecosystems of Latin America. [S.l.]: Springer, Berlin, Heidelberg, 1983. v. 144. p. 229–244.

THURMAN, H. V. e TRUJILLO, A. P. **Introductory Oceanography**. 10. ed. University of California: Pearson Prentice Hall, 2004.

VALENTIN, J L. The Cabo Frio Upwelling System, Brazil. SEELIGER, U.; KJERFVE, B. (Org.). . Coastal Marine Ecosystems of Latin America. 144. ed. [S.l.]: Springer, Berlin, Heidelberg, 2001. v. 144. p. 97–105. Disponível em: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-3-662-04482-7_8>.

VAN HEERDEN, John e TALJAARD, J. J. Africa and Surrounding Waters. Meteorology of the Southern Hemisphere. Boston, MA: American Meteorological Society, 1998. p. 141–174. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-1-935704-10-2_6>.

VAN LEEUWEN, Peter Jan e DE RUIJTER, Will P. M. e LUTJEHARMS, Johann R. E. **Natal pulses and the formation of Agulhas rings**. Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 105, n. C3, p. 6425–6436, 15 Mar 2000. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/1999JC900196>>.

WARE, D M. **Production characteristics of upwelling systems and the trophodynamic role of hake**. South African Journal of Marine Science, v. 12, n. 1, p. 501–513, Jun 1992. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2989/02577619209504721>>.

WELCH, P. **The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms**. IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics, v. 15, n. 2, p. 70–73, Jun 1967. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1161901/>>.