



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E ECOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA AMBIENTAL

Aspectos Meteo-oceanográficos
associados com a Concentração de
Clorofila-*a* ao longo da Cadeia
Vitória-Trindade

Angelo Teixeira Lemos

Vitória
2014

Angelo Teixeira Lemos

Aspectos Meteo-oceanográficos
associados com a Concentração de
Clorofila-*a* ao longo da Cadeia
Vitória-Trindade

Tese apresentada ao Departamento de
Oceanografia e Ecologia da Universidade
Federal do Espírito Santo, para a obtenção
de Título de Doutor em Oceanografia Am-
biental, na Área de Oceanografia Física.

Orientador: Prof. Dr. Renato David Ghi-
solfi

Vitória
2014

Aluno, Angelo Teixeira Lemos.

Aspectos Meteo-oceanográficos associados com a Concentração de Clorofila-*a* ao longo da Cadeia Vitória-Trindade
117 páginas

Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento de Oceanografia e Ecologia.

1. Montes Submarinos
2. Modelagem
3. HYCOM
4. Satélite

I. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Humanas e Naturais. Departamento de Oceanografia e Ecologia.

Comissão Julgadora:

Prof^o. Dr^o.
Mauro Cirano

Dr^a.
Meyre Pereira da Silva

Prof^a. Dr^a.
Áurea Maria Ciotti

Prof^o. Dr^o.
Renato David Ghisolfi

Prof^o. Dr^o.
Camilo Dias Junior

Às minhas avós (in memoriam) e aos meus pais.

Se vi mais longe foi por estar de pé sobre ombros de gigantes.

Isaac Newton

Agradecimentos

Sem a menor dúvida agradeço primeiramente à Deus, que preparou o caminho exatamente como deveria ser nesses últimos anos, removendo cada obstáculo e deixando tudo pronto para que eu pudesse caminhar sozinho, nunca esquecerei de cada detalhe.

Aos meus pais, que deixaram a maior e melhor herança que um filho pode ter, a vontade do conhecimento, encontrar o desconhecido, achar a resposta, enfim, a educação, na mais pura essência da palavra. Podia não ter condições de comprar uma roupa de marca, um brinquedo moderno, mas material escolar, livros, etc., nunca faltaram. Obrigado.

Ao meu amor, Karoline, por simplesmente mudar minha vida para melhor em todos os sentidos, dando apoio no companheirismo, nas minhas ausências por causa dos estudos, na paciência de cada dia, em todos os detalhes, incentivando nesse caminho nada fácil, eterno agradecimento por tudo e por todo amor!

Meu orientador, Renato Ghisolfi, que na verdade parece ser meu orientador vitalício desde quando entrei na UFES e estando na minha graduação, passando pra co-orientador no mestrado da FURG, e novamente orientador no doutorado. Horas e dias de discussão, bate-boca, conselhos e ideias sem fim, passando de momentos nervosos aos risos. No fim, excelente professor e orientador, e dedico boa parte à sua paciência e dedicação nesses anos.

À DTA Engenharia, pelo apoio aos meus estudos atrelados ao trabalho, permitindo que eu continuasse os estudos na universidade, podendo dizer, sem exagero nenhum, que se não fosse pela empresa e aos colegas de trabalho, esse doutorado não teria acabado.

Aos meus amigos do laboratório Poseidon, quantos momentos de diversão, tensão, risos sem fim, cada um com sua particularidade. Tayná sempre atenciosa e presente, rindo de tudo, Júlia e suas incontáveis linhas vermelhas sempre presentes no Matlab (hahahahaha), Mahatma e o apoio nas análises de clorofila (eu hein!). Enfim, todos, Juliane, Ricardo, Meyre, Luana, Mariana, Nina, Arthur, (devo ter esquecido de alguém),

e também aos colegas que já deixaram o laboratório, Bruno, Igor, Priscila, todos vocês ajudaram de alguma forma em momentos de desespero, conselhos, e muitas, muitas risadas!!!

Aos professores do departamento e aos demais que vieram de outras universidades, muito obrigado pelo conhecimento, atenção e ajuda ao longo desses anos.

Resumo

Montes submarinos representam estruturas oceânicas capazes de interagir com correntes marinhas gerando feições e processos oceanográficos secundários sobre a hidrodinâmica e a comunidade biológica na região do topo. A principal cadeia de montes submarinos do litoral leste brasileiro é a Cadeia Vitória-Trindade (CVT), com extensão de ~ 950 km no sentido leste-oeste entre as longitudes de $38-32^{\circ}W$. Os processos meteo-oceanográficos associados aos Bancos de Vitória, Jaseur, Davis e Dogaressa foram investigados a partir de resultados de modelagem numérica, cálculo de números adimensionais, correntometria *in situ*, fluxo de calor e ventos, a fim de verificar a relação com o aumento na concentração de clorofila-*a* observado no período de inverno nos dados de clorofila-*a* do sensor MODIS satélite Aqua entre 2003 e 2011. Os resultados mostraram um sinal anual na variabilidade temporal dos dados de clorofila-*a* nos topos dos montes submarinos, os quais promoveram aumento de 2 a 3 vezes maiores nas concentrações de clorofila-*a* em relação ao oceano ao redor. Esse resultado é explicado pelas características topográficas dos montes, padrão de correntes superficiais, comportamento termohalino sazonal, fluxo de calor e dinâmica da Camada de Mistura e Camada Isotérmica. A estratificação observada no verão sobre o topo dos montes está associada com a formação do Cone do Taylor, o qual se desenvolveu para Coluna de Taylor no inverno e promoveu a mistura vertical com a disponibilidade dos nutrientes presentes no topo dos montes para a coluna de água. As características batimétricas dos montes e a hidrodinâmica favorecem a formação do Cone sem presença de sazonalidade, entretanto, o aprofundamento da CM e CI, perda de calor do oceano (desestratificação) e mudança no padrão de ventos é que irão desenvolver a Coluna de Taylor e dar condições para o desenvolvimento do *bloom* de fitoplâncton sobre os montes preferencialmente nos meses de inverno.

Palavras-chave: Montes Submarinos, Hidrodinâmica, Modelagem, HYCOM, Satélite

Abstract

Seamounts represent oceanic structures capable of interacting with marine currents generating features and secondary oceanographic processes that affects biological communities especially on their tops. The main seamount chain off Brazilian east coast is the Vitoria-Trindade Chain (VTC), extending ~ 950 km from east to west between $38 - 32^\circ W$. The meteo-oceanographic processes associated with Vitoria, Jaseur, Davis and Dogaressa Banks were investigated using numerical modeling results, non-dimension numbers, in situ current measurements, net heat flux results and wind information in order to verify the relationship between them and the increase in the chlorophyll-*a* concentration observed during winter in the MODIS Aqua satellite data between 2003 and 2011. The temporal chlorophyll-*a* distribution showed an annual cycle on top of the seamounts, with concentrations 2 to 3 times larger than the oceanic waters around. This result is explained by seamounts topographic feature, surface currents, thermohaline seasonal behavior, net heat flux and mixed layer and isothermal layer dynamics. The stratification observed in summer on top of seamounts is associated with the formation of the Taylor Cap, which evolved to Taylor Column in winter due to vertical mixing. As a result nutrients present at the top of seamounts were made available to the water column. Bathymetric features of the seamounts and the hydrodynamic favor the formation of the Cone without the presence of seasonality, however, deepening of Mixed Layer and Isothermal Layer, net heat flux from ocean to atmosphere (destratification) and change in wind patterns will develop the Taylor Column and give conditions for the development of the phytoplankton bloom on the seamounts top preferably in the winter months.

Keywords: Seamounts, Hydrodynamic, Models, HYCOM, Satellite

Lista de Figuras

2.1	Área de estudo compreendendo a distância entre o Banco de Vitória e o Banco de Colúmbia	7
3.1	Representação esquemática do estiramento e compressão de um fluido ao passar por um monte submarino no Hemisfério Norte	14
3.2	Características da circulação residual e domo isopicnal formando um Cone de Taylor sobre um monte submarino no Hemisfério Norte	15
3.3	Representação esquemática da circulação vertical secundária sobre o monte submarino	16
3.4	Esquema dos fatores físicos que controlam a dinâmica localizada em montes submarinos	16
3.5	Amplificação ressonante e geração de fluxo médio	17
3.6	Condições de formação do Cone de Taylor	19
3.7	Esquema mostrando fluxo vertical de nutrientes associado com processos dinâmicos	22
3.8	Esquema mostrando processos advectivos nos montes submarinos do Hemisfério Norte	23
4.1	Distribuição da malha amostral do Programa REVIZEE - Score Central	26
4.2	Média mensal da concentração de clorofila- <i>a</i> para o mês de Janeiro de 2005	30
4.3	Média mensal da concentração de clorofila- <i>a</i> para o mês de Abril de 2005	30

4.4	Média mensal da concentração de clorofila- <i>a</i> para o mês de Julho de 2005	31
4.5	Média mensal da concentração de clorofila- <i>a</i> para o mês de Outubro de 2005	31
5.1	Pontos e transecto de análise de clorofila- <i>a</i> ao longo da CVT	34
5.2	Transectos sobre a CVT para análise do perfil vertical de velocidade, densidade e temperatura para os meses de Janeiro e Julho, e para análise dos dados hidrodinâmicos a partir de um gráfico tipo hovmoller	37
5.3	Transecto de ida e volta do Navio Oc. Antares - Novembro/Dezembro 2011 e de volta do Navio Oc. Cruzeiro do Sul - Julho 2013	38
5.4	Localização dos pontos de análise da intensidade e direção do vento e fluxo de Calor sobre o Banco de Vitória e Davis, e da boia PIRATA. Localização do transecto para o cálculo do RTV e W_E	40
5.5	Pontos do Projeto REVIZEE para o cálculo da CM e CI	43
5.6	Pontos de coleta do Projeto MOVAR e HYCOM- Fevereiro e Agosto/2005	44
5.7	Diagrama os dados utilizados e objetivos	44
6.1	Diagrama de Taylor da comparação entre a série temporal dos dados da componente zonal do vento do Banco de Davis (modelo ETA 20 km) e da Boia PIRATA	46
6.2	Diagrama de Taylor da comparação entre a série temporal dos dados da componente meridional do vento do Banco de Davis (modelo ETA 20 km) e da Boia PIRATA	47
6.3	Perfil vertical de Temperatura dos dados do MOVAR e HYCOM com o resultado da CI para o mês de Fevereiro/2005	48
6.4	Perfil vertical de Temperatura dos dados do MOVAR e HYCOM com o resultado da CI para o mês de Agosto/2005	49

6.5	Variabilidade espaço-temporal da concentração de clorofila- <i>a</i> na trajetória entre o Banco de Vitória e Banco de Dogaressa	51
6.6	Série temporal da distribuição de clorofila- <i>a</i> sobre o Banco de Vitória . .	53
6.7	Série temporal da distribuição de clorofila- <i>a</i> sobre o Banco de Jaseur . .	54
6.8	Série temporal da distribuição de clorofila- <i>a</i> sobre o Banco de Davis . . .	55
6.9	Série temporal da distribuição de clorofila- <i>a</i> sobre o Banco de Dogaressa	56
6.10	Gráfico <i>boxplot</i> das médias sazonais de clorofila- <i>a</i> sobre os Bancos de Vitória, Jaseur, Davis e Dogaressa no período chuvoso	58
6.11	Gráfico <i>boxplot</i> das médias sazonais de clorofila- <i>a</i> sobre os Bancos de Vitória, Jaseur, Davis e Dogaressa no período seco	59
6.12	Média mensal de clorofila- <i>a</i> entre 2003 e 2011 com erro padrão associado	59
6.13	Campo de velocidade horizontal em 20 m - Janeiro/2005	62
6.14	Campo de velocidade horizontal em 400 m - Janeiro/2005	62
6.15	Componente meridional e zonal da velocidade obtidas do ADCP de casco do Navio Oc. Antares sobre a CVT na volta da Ilha de Trindade (30/11 a 07/12/2011)	63
6.16	Imagem de TSM do dia 30/11 e 07/12/2011 sobreposta aos vetores de velocidade superficial coletados pelo ADCP do Navio Oc. Antares	64
6.17	Componente meridional e zonal da velocidade obtidas do ADCP de casco do Navio Oc. Antares sobre a CVT na ida à Ilha de Trindade (30/11 a 07/12/2011)	65
6.18	Campo de velocidade horizontal em 100 m - Janeiro/2005	66
6.19	Campo de velocidade horizontal em 20 m - Julho/2005	67
6.20	Componente meridional e zonal da velocidade obtidas do ADCP de casco do Navio Oc. Cruzeiro do Sul sobre a CVT na volta da Ilha de Trindade (27/07 a 30/07/2013)	68

6.21 Imagem de TSM do dia 30/07/2013 sobreposta aos vetores de velocidade coletados pelo ADCP do Navio Oc. Cruzeiro do Sul	69
6.22 Campo de velocidade horizontal em 100 m - Julho/2005	69
6.23 Perfil 1 - Massa específica - Janeiro/2005 e Julho/2005	72
6.24 Perfil 1 - Componente zonal da velocidade - Janeiro/2005 e Julho/2005	74
6.25 Esquema ilustrando a incidência de corrente sobre um monte submarino no Hemisfério Sul	75
6.26 Perfil 5 - Massa específica - Janeiro/2005 e Julho/2005	77
6.27 Perfil 5 - Componente zonal da velocidade - Janeiro/2005 e Julho/2005	78
6.28 Perfil 7 - Massa específica - Janeiro/2005 e Julho/2005	80
6.29 Perfil 7 - Componente zonal da velocidade - Janeiro/2005 e Julho/2005	80
6.30 Perfil 9 - Massa específica - Janeiro/2005 e Julho/2005	81
6.31 Perfil 9 - Componente zonal da velocidade - Janeiro/2005 e Julho/2005	82
6.32 Variação espaço-temporal da estimativa do R_o sobre a CVT em 30 m de profundidade	84
6.33 Variação espaço-temporal da estimativa do Parâmetro de Bloqueio (B_R) sobre a CVT em 30 m de profundidade	85
6.34 Variação espaço-temporal da estimativa da ζ sobre a CVT em 30 m de profundidade	86
6.35 Rosa-dos-ventos dos dados diários dos meses de Janeiro e Abril entre os anos de 2006 e 2010 para os Bancos de Vitória e Davis	88
6.36 Rosa-dos-ventos dos dados diários dos meses de Julho e Outubro entre os anos de 2006 e 2010 para os Bancos de Vitória e Davis	89
6.37 Variação espaço-temporal do W_E sobre a CVT	90
6.38 Média mensal de fluxo de calor para os Bancos de Vitória e Davis	91
6.39 Média mensal da CI e CM para o Banco de Vitória e no ponto -1 ^o	92
6.40 Média mensal da CI e CM para o Banco de Jaseur e no ponto -1 ^o	93

6.41	Média mensal da CI e CM para o Banco de Davis e no ponto -1 ^o	93
6.42	Média mensal da CI e CM para o Banco de Dogaressa e no ponto -1 ^o . . .	94
6.43	Análise do início da floração anual de fitoplâncton nos Bancos de Vitória, Jaseur e Davis	95
7.1	Esquema de atuação de processos oceanográficos e atmosféricos sobre um monte submarino raso	101
7.2	Esquema de atuação de processos oceanográficos e atmosféricos sobre um monte submarino profundo	101

Lista de Tabelas

2.1	Aspectos morfológicos dos montes submarinos da CVT	8
5.1	Crítérios de Temperatura para CM e CI	41
6.1	Números adimensionais e parâmetros calculados para os Bancos de Vitória, Jaseur, Davis e Dogaressa nos meses de Janeiro e Julho/2005	70

Nomenclatura

ACAS: Água Central do Atlântico Sul

ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler

AIA: Água Intermediária Antártida

AT: Água Tropical

BiCSE: Bifurcação da Corrente Sul Equatorial

CB: Corrente do Brasil

CCOI: Corrente de Contorno Oeste Intermediária

CI: Camada Isotérmica

CM: Camada de Mistura

CODAS: Common Ocean Data Access System

COPPE: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia

CPTEC: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CSE: Corrente Sul Equatorial

CVT: Cadeia Vitória-Trindade

DEGAM: Departamento de Gestão Ambiental

EOSDIS: Earth Observing System Data and Information System

GAC: Global Area Coverage

GEBCO: General Bathymetric Chart of the Oceans

GFS: Global Forecast System

GHRST: Global High Resolution Sea Surface Temperature

GOOS-Brasil: Global Ocean Observing System

HYCOM: HYbrid Coordinate Ocean Model

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MMA: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal

MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MOVAR: Monitoramento da Variabilidade do Transporte de Calor entre o Rio de Janeiro-RJ e a Ilha de Trindade-ES

MUR STT: Multi-scale Ultra-high Resolution Sea Surface Temperature

NCAR: National Center for Atmospheric Research

NCEP: National Centers for Atmospheric Prediction

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

OBPG: Ocean Biology Processing Group

PIRATA: Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic

REVIZEE: Recursos Vivos da Zona Econômica Exclusiva

RTV: Rotacional da Tensão do Vento

SBN: Sub-Corrente Norte

SMA: Secretaria de Coordenação dos Assuntos do Meio Ambiente

TSM: Temperatura Superficial do Mar

TT Temporária formação do Cone de Taylor

UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro

UHDAS: University of Hawaii Data Acquisition System

VV: Vórtice de Vitória

XBT: Batitermógrafos descartáveis

ZEE: Zona Econômica Exclusiva

Sumário

1	Introdução	1
2	Área de Estudo	6
3	Fundamentação Teórica	12
3.1	Montes Submarinos	12
3.2	Interações Biológicas	20
4	Evidências <i>in e ex-situ</i>	25
5	Materiais e Métodos	33
5.1	Sensoriamento Remoto	33
5.2	Hidrodinâmica do Oceano	35
5.3	Interação Oceano-Atmosfera	39
5.4	Aspectos Termohalinos do Oceano	41
6	Resultados e Discussão	45
6.1	Validação dos Resultados	45
6.2	Sensoriamento Remoto	50
6.3	Aspectos termohalinos e dinâmicos do oceano	61
6.4	Interação Oceano-Atmosfera	87

7 Conclusões	97
8 Considerações Finais	102
Referências Bibliográficas	104

Capítulo 1

Introdução

Montes submarinos são algumas das feições mais frequentes sobre o assoalho das bacias oceânicas. Muitos deles possuem origens vulcânicas, associados ao tectonismo de placas em seu processo de formação, ou formando cadeias de montanhas submersas. Essas estruturas batimétricas podem interagir com correntes marinhas, gerando aspectos e processos próprios com possíveis efeitos secundários sobre a biota marinha. Estudos envolvendo montes submarinos são de âmbito multidisciplinar, associando aspectos como geologia de formação, análises químicas da água marinha, produtividade primária e desenvolvimento de cadeia trófica, além da hidrodinâmica resultante da interação das correntes com os montes.

Uma das mais importantes cadeias de montes submarinos no litoral brasileiro é a Cadeia Vitória-Trindade (CVT). A CVT é uma sequência linear de montes submarinos que se situa na região pelágica do Estado do Espírito Santo no Oceano Atlântico Sul ([Motoiki et al., 2012](#)). Essa estrutura geológica tem direção leste-oeste, predominantemente ao longo da latitude $20^{\circ}30'S$, com cerca de 950 km de comprimento. Nela ocorrem aproximadamente 30 montes submarinos de forma cônica, que são considerados morfológicamente como edifícios vulcânicos, dos quais 17 deles têm altura relativa superior a 2500 m. Dentre os montes da CVT, o monte submarino de Colúmbia, Dogaressa,

Davis e Jaseur foram confirmados como vulcões por meio de amostragens e estudos petrológicos (Fodor and Hanan, 2000; Skolotnev et al., 2010). Esses montes submarinos têm forma geral de cone, constituída por elevação no sopé, edifício vulcânico principal e topo planar. A profundidade do topo planar é de aproximadamente 50 m em média nos principais montes submarinos da CVT. O talude lateral dos edifícios vulcânicos é de alto ângulo, variando de 15° a 25°.

De acordo com as características da CVT apresentadas e a grande complexidade biológica, geológica e geomorfológica, espera-se que padrões diferenciados de interação físico-biológica possam ocorrer ao longo de sua extensão através dos diferentes processos de gênese associados. Essas interações podem transformar os montes submarinos em *oásis* nos oceanos oligotróficos, pois muitos processos podem ocorrer ao mesmo tempo, misturando características físicas com biológicas, tipicamente concentradas no topo dessas feições.

Desta forma, a hipótese do presente estudo é de que os montes submarinos da CVT atuam como impulsionadores da atividade biológica no oceano oligotrófico, através de processos hidrodinâmicos e da interação oceano-atmosfera.

Dependendo da distância entre o topo do monte e a picnoclina sazonal, um domo isopícnico pode ser formado. Este domo será restrito a algumas dezenas de metros no caso de um monte submarino raso (topo acima de 400 m de profundidade e dentro da camada fótica), ou se propagar a centenas de metros através de um oceano profundo fracamente estratificado sobre um monte submarino profundo (topo abaixo dos 400 m de profundidade) (Roden, 1987). As regiões rasas do topo dos montes submarinos podem abrigar uma alta diversidade de espécies de grupos biológicos, como recifes de corais rasos e leitos de rodólitos, os quais possuem uma rica biodiversidade em águas relativamente pobres em nutrientes. Esses nutrientes presentes no topo dos bancos submarinos rasos podem ascender pela coluna de água através de processos de ressuspensão impulsionados por correntes marinhas. O desenvolvimento de uma complexa cadeia trófica pode

se formar sobre os montes, promovendo desde o enriquecimento da produtividade primária com o aumento da biomassa fitoplanctônica até o aparecimento de organismos nectônicos.

Os processos que resultam em aumento da clorofila-*a* são oriundos pela interação das correntes com os montes submarinhos, e podem resultar em vórtices e meandros, gerando feições próprias denominadas de Cone ou Coluna de Taylor, geralmente anexados ao topo dessas estruturas. Essas feições podem favorecer a ressurgência ou subsidência de água na região do topo planar, tornando nutrientes biodisponíveis para a cadeia trófica e favorecendo o surgimento de florações anuais de fitoplâncton. Não apenas as correntes superficiais podem favorecer o desenvolvimento biológico, mas também a interação Oceano-Atmosfera através de processos como troca de calor, dinâmica da Camada de Mistura e a atuação da tensão do vento gerando turbulência (Lima and Lentini, 2009). Todos esses agentes oceanográficos em conjunto podem favorecer o aumento da concentração de clorofila-*a* em águas superficiais e tornar os montes submarinos áreas de rica biodiversidade, dependendo da profundidade do topo desses montes.

Além das características citadas anteriormente, o sistema de correntes superficiais na região da CVT sofre variação sazonal, bem como os demais aspectos meteo-oceanográficos citados. Na região de estudo há a influência da Corrente do Brasil (CB) principalmente na porção oeste, transportando Água Tropical (AT) através dos Bancos de Vitória, Montague e Jaseur, fluindo como um fluxo mais organizado no período de verão devido a sua origem de formação ocorrer em menores latitudes nesse período em relação ao inverno. Abaixo da AT encontra-se a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), fluindo na porção picnoclínica do Giro Subtropical. A ACAS bifurca-se aproximadamente na latitude da CVT (Silveira et al., 2000) e parte dela flui para norte como a Sub-Corrente Norte (SBN) do Brasil enquanto a outra vai para o sul incorporada à CB. A ACAS se constitui como uma das massas de água presentes em processos de ressurgência no litoral brasileiro (Lorenzetti et al., 1988; Rodrigues and Lorenzetti, 2001; Castelão and

[Barth, 2006](#)).

Em função dos aspectos já descritos, os principais objetivos do estudo são 1) Avaliar os aspectos morfológicos dos montes submarinos, a hidrodinâmica e a estrutura física da coluna de água para determinar quais montes apresentam condições favoráveis para um desenvolvimento biológico; 2) Identificar se existem fatores favoráveis e um período preferencial para este desenvolvimento biológico; e 3) Analisar a existência de atividade biológica fitoplanctônica diferenciada entre os montes submarinos da CVT. Para atingir esses objetivos, foram realizadas análises das variabilidades sazonais das correntes superficiais através dos resultados de modelagem numérica, foram avaliados fluxos de calor na interface Oceano-Atmosfera, a dinâmica da Camada de Mistura (CM) e da Camada Isotérmica (CI), foram analisados dados de corrente medidos *in situ*, o padrão de ventos, além de mapas mensais da concentração de clorofila-*a* oriundos de imagens de satélite.

Para o desenvolvimento do estudo de correntes superficiais, a COPPE/UFRJ (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro) desenvolveu uma modelagem numérica 1/24^o através do modelo HYCOM (*HYbrid Coordinate Ocean Model*), o qual foi utilizado em uma versão que foi adaptada para o Oceano Atlântico através de uma sequência de aninhamentos de grade ([Gabioux et al., 2013](#)). O objetivo do aninhamento é de melhor representar a interação de correntes com feições batimétricas, dando indícios para estudos futuros que possam detalhar melhor os processos presentes nos montes submarinos, bem como proporcionar a aplicação da teoria descrita na literatura.

Os resultados desta simulação foram associados com dados mensais e semanais do sensor MODIS satélite Aqua Level 3 (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) de clorofila-*a* de 2003 a 2011, dados de vento do modelo ETA 20 km na região de estudo e fluxo de calor através de dados de Reanálise do NCEP/NCAR (*National Centers for Atmospheric Prediction/National Center for Atmospheric Research*). Juntamente

com essas informações foram utilizados dados de ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) processados com o auxílio do CODAS-UHDAS (*Common Ocean Data Access System-University of Hawaii Data Acquisition System*) de dois cruzeiros oceanográficos ocorridos em Novembro/Dezembro de 2011 e Julho de 2013 sobre a região da CVT.

Finalmente, o estudo está organizado pela presente Introdução (Capítulo 1), a identificação da Área de Estudo no Capítulo 2 com as principais características geológicas e biológicas da CVT, seguido pela Fundamentação Teórica (Capítulo 3) e das Evidências *in* e *ex-situ* de processos biológicos e meteo-oceanográficos (Capítulo 4). O Capítulo 5 descreve os Materiais e Métodos usados no estudo, o Capítulo 6 abrange os Resultados encontrados e as Discussões e, por fim, o Capítulo 7 finaliza o estudo com as Conclusões finais.

Capítulo 2

Área de Estudo

A CVT (Figura 2.1) é considerada como um alinhamento magmático originado de hot-spot (Herz, 1977; Fodor and Hanan, 2000). A CVT e o alinhamento magmático de rochas alcalinas de Poços de Caldas e Cabo Frio formam uma sequência contínua de hot-spot (Thomaz-Filho and Rodrigues, 1999). Esses autores interpretaram que a idade dos montes submarinos da CVT aumenta gradativamente de leste para oeste.

No presente estudo a CVT será avaliada entre os limites do Banco de Vitória até o Banco de Colúmbia, dando maior destaque aos três principais montes submarinos da cadeia, o Banco de Vitória, Banco de Jaseur e Banco de Davis.

O Banco de Vitória e Banco de Congress estão presentes a oeste da região da CVT na proximidade com a plataforma continental de Abrolhos, e têm notáveis diferenças morfológicas com os montes submarinos de edifícios vulcânicos, como por exemplo, a forma não cônica e o topo planar com grandes extensões (Thomaz-Filho and Rodrigues, 1999).

O Banco de Vitória e o Banco de Congress estão conectados, formando um banco complexo, denominado no presente estudo como Banco de Vitória, com comprimento total de 150 km e largura média de 15 km, com um topo planar de área total de 1420 km^2 . Esses bancos têm o topo planar incomparavelmente maior do que os edifícios

vulcânicos.

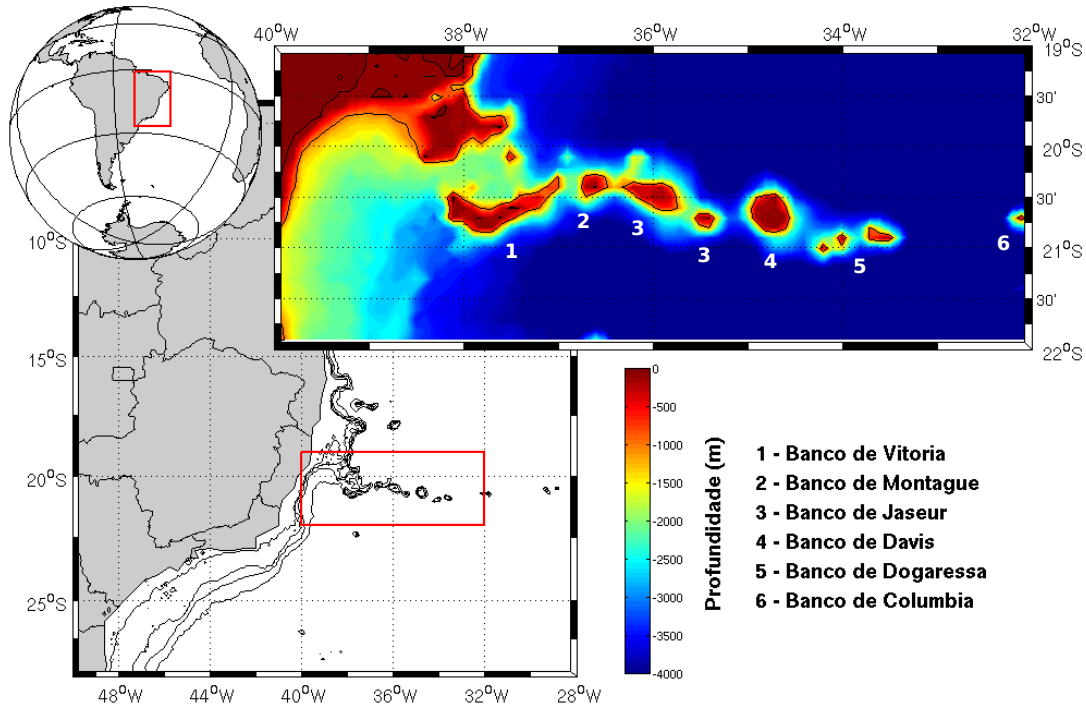


Figura 2.1: Área de estudo compreendendo a distância entre o Banco de Vitória e o Banco de Colúmbia. As isóbatas de 50, 200, 1000 e 2000 m são mostradas na figura.

O talude norte do Banco de Vitória e do Banco de Congress são sub-paralelos ao talude sul do Banco de Besnard, apresentando uma forma de encaixe. Portanto, esses dois montes poderiam ter constituído parte da plataforma continental de Abrolhos e foram desintegrados e transportados até a presente posição com uma distância de migração de 150 km na época do estágio inicial da separação dos continentes. Nesse sentido, considera-se que eles não são edifícios vulcânicos, mas sim fragmentos de plataforma continental desintegrados.

Já os Bancos de Davis e Jaseur foram confirmados como vulcões por meio das amostragens e estudos petrológicos (Fodor and Hanan, 2000; Skolotnev et al., 2010). O Banco de Davis possui cerca de 4000 m de altura com forma circular, tendo comprimento em torno de 50 km e largura do topo planar de aproximadamente 15 km. Essas caracterís-

ticas fazem do Banco de Davis a feição da CVT mais próxima dos estudos numéricos idealizados com montes submarinos. O Banco de Jaseur é caracterizado pela área de topo planar com comprimento de 120 km e largura de 15 km, sendo alongado no sentido leste-noroeste. Esse monte não tem forma cônica, sugerindo que ele é constituído por pelo menos três edifícios vulcânicos de 4000 m de altura e 30 km a 50 km de diâmetro de base.

As principais características batimétricas dos montes submarinos da CVT estão presentes na Tabela 2.1. O valor δ representa a razão entre a altura do monte (h_o) e a profundidade (H). A isóbata de 200 m foi selecionada como a base para representar o diâmetro do monte, de acordo com os valores presentes no Atlas GEBCO (*General Bathymetric Chart of the Oceans*), com resolução de 925 m.

Tabela 2.1: Aspectos batimétricos dos montes submarinos da CVT. O diâmetro foi estimado com referência ao topo planar na isóbata de 200 m considerando o eixo de maior comprimento dos montes.

Monte Submarino	Diâmetro (m)	Prof. do topo (m)	δ
Banco de Vitória	150000	50	0.95
Banco de Montague	10000	50	0.96
Banco de Jaseur			
Submonte 1	40000	50	0.96
Submonte 2	40000	50	0.96
Submonte 3	40000	50	0.96
Banco de Davis	50000	50	0.98
Banco de Dogaressa	20000	60	0.96
Banco de Colúmbia	20000	150	0.94

Os montes submarinos supracitados estão associados a alta atividade biológica sobre os topos. [Pereira-Filho et al. \(2012\)](#) informaram que o topo do Banco de Vitória, Banco de Jaseur e Banco de Davis são rasos (~ 60 m), planos e dominados por um leito de rodolitos. Essa riqueza também foi relatada para os topos dos Bancos de Besnard e Congress. Rodolitos são nódulos calcários formados principalmente ($>50\%$) por algas

coralinas (*Corallinales*, *Rhodophyta*) (Foster, 2001). Essas estruturas são importantes *engenheiros do ecossistema* (Foster et al., 2007), proporcionando um habitat complexo estruturalmente com alta biodiversidade associada, cobrindo vários grupos taxonômicos desde microorganismos e macroalgas até peixes e tartarugas (Amado-Filho et al., 2007, 2010; Pena and Barbara, 2008; Riul et al., 2009). Com base na abundância, dimensões e taxa de crescimento dos nódulos, Pereira-Filho et al. (2012) estimaram a média de produção de $CaCO_3$ a uma taxa de 0,4 a 1,8 $kg.m^{-2}.ano^{-1}$. Com isso, os autores concluíram que o topo desses montes submarinos proporcionam áreas extensas de corais rasos com aproximadamente 0,3% dos bancos de carbonato do mundo. A importância dos leitos de rodolitos encontrados no Banco de Abrolhos é ainda amplamente subestimado (Amado-Filho et al., 2012). Nessa região a produção de $CaCO_3$ é comparada aos maiores depósitos biogênicos existentes, tendo aproximadamente 5% dos bancos de carbonato espalhados pelo mundo. Como o Banco de Vitória, Banco de Besnard e Banco de Congress representam uma extensão da plataforma continental de Abrolhos, é de se esperar, e como já citado por Pereira-Filho et al. (2012), que os topos desses montes sejam ricos em rodolitos. Todos esses fatores sugerem uma alta atividade biológica associada ao topo desses montes, cujos processos oceanográficos podem viabilizar o aumento na concentração de nutrientes e proporcionar florações anuais de fitoplâncton na região do topo e ao seu redor.

A CVT está presente em uma área de complexa hidrodinâmica onde a principal corrente presente na região é a CB. A CB é uma corrente de contorno oeste associada ao Giro Subtropical do Atlântico Sul que se origina a partir da Bifurcação da Corrente Sul Equatorial (BiCSE), formando também a Corrente Norte do Brasil (Stramma and England, 1999) que segue em direção ao Equador.

Diferentes autores analisaram a latitude de ocorrência da BiCSE. Stramma and England (1999) mostraram que a bifurcação ocorre aproximadamente em $15^{\circ}S$ nos primeiros 150 m de profundidade, enquanto Rodrigues et al. (2006) mostraram que a BiCSE ocorre

em $14^{\circ}S$, na mesma profundidade e, por fim, [Soutelino \(2008\)](#) mostrou, com dados sinóticos e médias de verão, que a BiCSE nos primeiros 150 m ocorre em $10^{\circ}S$. Após a bifurcação, a CB flui para o sul ao longo da região de quebra de plataforma, até atingir a área da Convergência Subtropical (entre $33^{\circ}S$ e $38^{\circ}S$), onde conflui com a Corrente das Malvinas e se separa da costa ([Garzoli and Garrafo, 1989](#)).

Entre $15^{\circ}S$ e $20^{\circ}S$, a CB é uma corrente rasa, estreita, quente (temperatura $> 20^{\circ}C$) e salina (> 36) ([Silveira et al., 2000](#); [Silveira, 2006](#)), transportando entre 4 e 6 Sv ([Miranda and Castro, 1981](#); [Evans et al., 1983](#)). Segundo estimativas de [Signorini et al. \(1989\)](#) realizadas entre $19^{\circ}S$ e $25^{\circ}S$ a CB tem um núcleo de máxima velocidade variando entre $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ e $0,4 \text{ m.s}^{-1}$ associada à presença da AT + ACAS, com uma largura de aproximadamente 25-30 km ([Silveira et al., 2000](#)).

A AT foi descrita primeiramente por [Emilson \(1961\)](#) como parte da massa de água quente e salina que ocupa a superfície do Atlântico Sul Tropical, enquanto a ACAS foi descrita inicialmente por [Wust \(1935\)](#) e [Defant \(1941\)](#), e consiste numa massa de água formada por subducção na Convergência Subtropical, e subsequente espalhamento ao longo da superfície de densidade adequada ao seu ajustamento hidrostático ([Sverdrup et al., 1942](#)). Aplicando o critério do método termodinâmico para a região oceânica que abrange a CVT, [Santos \(2011\)](#) determinou que a interface entre a ACAS e a AT ocorre na isóbara de 172 dbar, enquanto que a interface entre a ACAS e a AIA (Água Intermediária Antártida) ocorre em 366 dbar.

Abaixo da CB, a AIA é transportada pela CCOI (Corrente de Contorno Oeste Intermediária) que flui no sentido N-NE transportando de 2 a 4 Sv entre 800 e 1000 m de profundidade, atingindo velocidades máximas de $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ ([Schmid et al., 1995](#)).

Ao sul de $18^{\circ}S$ a CB comporta-se de modo bastante instável devido a presença do Banco de Abrolhos e da CVT, com instabilidades originadas pelo efeito batimétrico que gera meandramentos ao longo do percurso da CB nessa região. A CB trifurca-se ao interagir com a CVT, onde a maior parte de seu volume atravessa os canais central e externo,

enquanto que o canal interno, de menor largura e profundidade, é dominado por fluxos inerciais (Evans and Signorini, 1985; Silveira, 2006; Saulo, 2007).

Existem muitas incertezas em relação ao comportamento das correntes ao longo da CVT. Entretanto, um dos consensos refere-se com a complexidade do sistema de fluxo interagindo com a CVT, principalmente em sua porção oeste. Ao longo da passagem do ramo externo da CB, a CVT influencia diretamente na hidrodinâmica oceânica local, determinando uma variabilidade espaço-temporal do movimento da CB. Após a passagem pela CVT, a CB volta a se organizar nas imediações do Embaiamento de Tubarão, aumentando inclusive o seu transporte de volume, devido a contribuição recebida pela ACAS (Silveira, 2006).

A oeste da CVT, no Embaiamento de Tubarão, ocorre o Vórtice de Vitória (VV), uma feição ciclônica associada com a interação entre água fria de ressurgência e a CB (Schmid et al., 1995). O VV está associado com alta produtividade biológica, concentração de nutrientes e valores de clorofila-*a* (Schmid et al., 1995). Segundo Schmid et al. (1995) o VV é uma feição semi-permanente e representa uma estrutura que pode estar ligada aos efeitos da topografia no fluxo da CB, tendo importante papel biológico na região. Silveira (2006) concluiu que o VV não se trata de uma feição permanente ou estacionária na região, visto que no inverno nenhuma feição similar foi encontrada.

Capítulo 3

Fundamentação Teórica

3.1 Montes Submarinos

Os montes submarinos, assim como a maioria das declividades oceânicas, podem ser caracterizados como áreas hidrodinamicamente mais ativas, em comparação às zonas abissais. A natureza abrupta dos montes submarinos pode causar desvios em fluxos oceânicos de larga escala, gerando uma variabilidade espaço-temporal no campo de correntes (Royer, 1978; Roden, 1994). Muitas dessas características particulares incluem células de circulação fechadas ao redor dos montes (Freeland, 1994), domo de densidade superficial sobre os topos (Owens and Hogg, 1980), amplificação de movimentos de maré (Brink, 1995) e aumento da mistura vertical (Kunze and Sanford, 1997; Eriksen, 1998). Além do fluxo incidente e o efeito periódico das marés, o campo vertical de densidade e a rotação da Terra atuam também como um importante agente gerador de circulação. Alguns autores como Proudman (1916) e Taylor (1917) analisaram o efeito da rotação da Terra e das características de vorticidade sobre os montes submarinos quando ocorre a colisão de um fluxo homogêneo e estacionário. Sob a influência da rotação da Terra, o fluxo é dividido pelo monte e então acelerado para um lado (lado direito observando à jusante do fluxo para o hemisfério sul), formando um isolado fluxo com padrão de

circulação anticiclônica ao redor da estrutura (Roden, 1987; Codiga and Eriksen, 1997). Muitas dessas estruturas formadas são estudadas e identificadas em montes submarinos ao redor do mundo sendo denominada de Cone ou Coluna de Taylor (Huppert, 1975; Huppert and Bryan, 1976). Tais feições interferem bastante na dinâmica biológica desses locais.

A formação do Cone ou da Coluna de Taylor é fundamentada pelo princípio da conservação da vorticidade potencial (Π), na qual um fluido oceânico barotrópico manterá suas características de vorticidade potencial constantes ao longo de sua trajetória na ausência de forças externas, de acordo com a Equação 3.1.

$$\Pi = \frac{\zeta + f}{D} \quad (3.1)$$

Onde ζ é a vorticidade relativa (Equação 3.2), positiva no sentido de rotação da Terra, f representa a vorticidade planetária (Equação 3.3) e D é a profundidade local.

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (3.2)$$

$$f = 2 * \Omega * \text{sen}(\phi) \quad (3.3)$$

Na Equação 3.2, v representa a componente meridional da velocidade e u a componente zonal, enquanto na Equação 3.3 $\vec{\Omega}$ é a velocidade angular da Terra ($7,29 * 10^{-5} \text{ rad.s}^{-1}$) e ϕ é a latitude.

Considerando um fluxo oceânico de um fluido barotrópico em latitude constante no Hemisfério Sul ($-f$), ao passar sobre um monte submarino ele sofre compressão com a diminuição da profundidade, aumento de sua inércia rotacional e adquire vorticidade relativa positiva ($+\zeta$) para manter constante a vorticidade potencial. Após passar pela estrutura o fluxo sofre estiramento com o aumento da profundidade, diminuição da sua

inercial rotacional e adquire vorticidade relativa negativa ($-\zeta$). Nesse sentido, sobre o monte submarino se formará um giro anticiclônico. Em um oceano barotrópico homogêneo o domo formado sobre o topo do monte submarino pode estender-se até a superfície, formando a Coluna de Taylor (Figura 3.1). Por outro lado, em um oceano estratificado, o domo não chegará até a superfície, formando o Cone de Taylor (Figura 3.2) (Huppert, 1975; Huppert and Bryan, 1976).

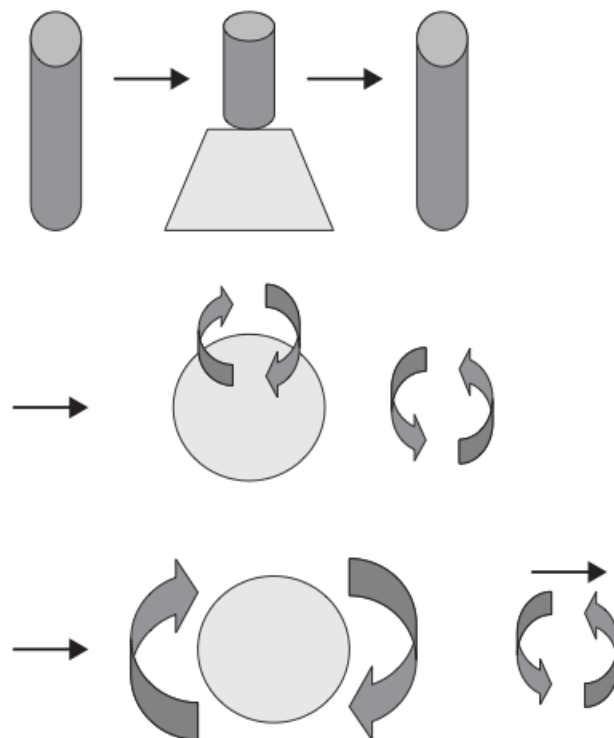


Figura 3.1: Representação esquemática do estiramento e compressão de um fluido ao passar por um monte submarino no Hemisfério Norte. Fonte: Pitcher et al. (2007).

Fluxos energéticos de marés podem desempenhar importante papel na geração de células de circulação sobre os montes. Por exemplo, Eriksen (1991) e Kunze and Sanford (1997) verificaram que em muitos casos os fluxos anticiclônicos em montes submarinos (por exemplo, os montes Fieberling e Cobb) foram associados principalmente às marés,

e não às correntes incidentes. Esse processo é mais característico em áreas de baixa energia de correntes (regiões oceânicas fora de alcance das correntes de contorno leste e oeste) e com maiores amplitudes de maré. Esse processo de magnificação das correntes de maré é denominado de *ajustamento da maré*.

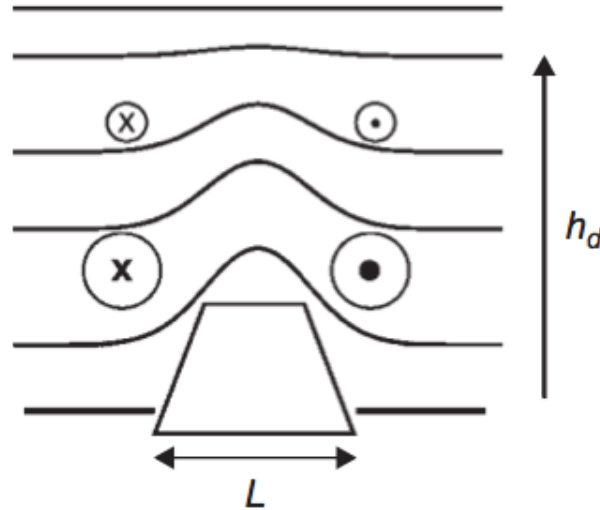


Figura 3.2: Características da circulação residual e domo isopicnal formando um Cone de Taylor sobre um monte submarino no Hemisfério Norte. Fonte: Pitcher et al. (2007).

O ajustamento é o resultado da interação não linear das correntes com a declividade batimétrica onde, por um efeito combinado da batimetria com a fricção, se produz assimetria no transporte de maré durante seu ciclo (Eriksen, 1991). O ajustamento de maré leva a uma circulação secundária sobre o topo do monte submarino, consistindo em células verticais fechadas que geram subsidência no topo e afastamento de água sobre os flancos (Eriksen, 1991; Brink, 1995) (Figura 3.3). Esse processo resulta em uma anomalia de água quente sobre o monte (Haidvogel et al., 1993), podendo adquirir velocidade de descida em torno de 25 m.dia^{-1} , como no monte submarino Fierbeling (Brink, 1995).

A geração de Cone ou Coluna de Taylor não depende somente das condições do fluxo, mas também das características morfológicas do monte, tais como sua dimensão linear

(L), sua altura (h_o) e sua razão de profundidade (δ) (Figura 3.4).

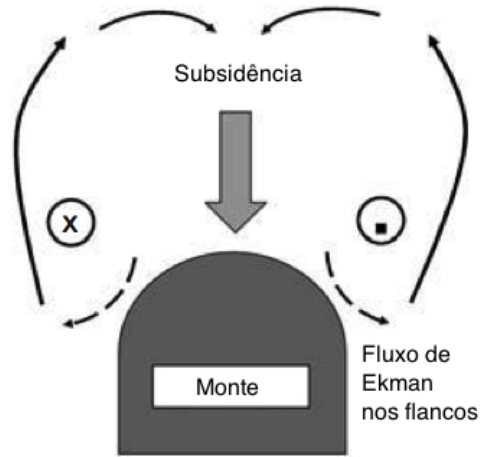


Figura 3.3: Representação esquemática da circulação vertical secundária sobre o monte submarino. Fonte: Adaptado de Pitcher et al. (2007).

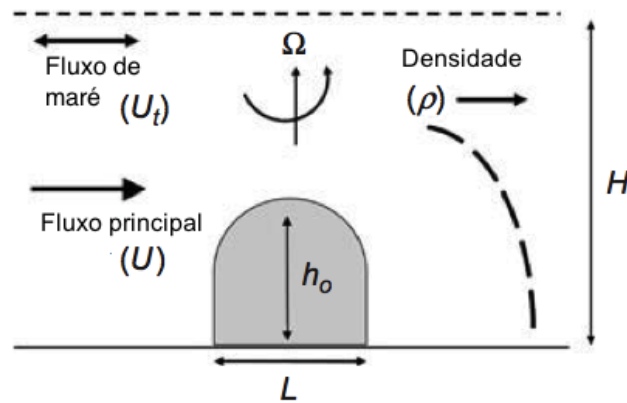


Figura 3.4: Esquema dos fatores físicos que controlam a dinâmica localizada em montes submarinos. L representa o comprimento do monte e h_o sua altura. Fonte: Adaptado de Pitcher et al. (2007)

Entretanto, uma das questões que devem ser analisadas seria qual é a forma ideal de um monte submarino capaz de interagir com um fluxo a fim de proporcionar condições ideais para a formação e manutenção de um domo isopicnal sobre o monte.

Através de experimentos numéricos com um monte submarino ideal (na forma de uma

tangente hiperbólica), Beckmann (1999) respondeu a essa pergunta utilizando três parâmetros básicos: Fração de altura (δ) entre o monte e a profundidade total, raio do monte (R) e declividade (%). A declividade representa a divisão entre a diferença de altura com a distância do comprimento, ambos entre o topo e o talude do monte submarino, podendo ser expressa em percentual.

Os resultados (Figura 3.5) mostraram que um máximo de ressonância e ajuste médio do fluxo ocorreu para um raio de 20 km, enquanto que as variações da declividade do monte entre 24% e 30% apresentaram as melhores condições de ajuste do fluxo para formação do domo isopicnal. Encostas mais íngrimes parecem ter capacidade limitada em aprisionar ondas para uma forçante periódica. Por fim, as mais fortes amplificações parecem ocorrer em montes submarinos intermediários (topo acima de 400 m porém fora da zona fótica) e altos (topo acima de 400 m e dentro da camada fótica), enquanto que um máximo correspondente de ajuste de fluxo foi somente observado para montes submarinos altos.

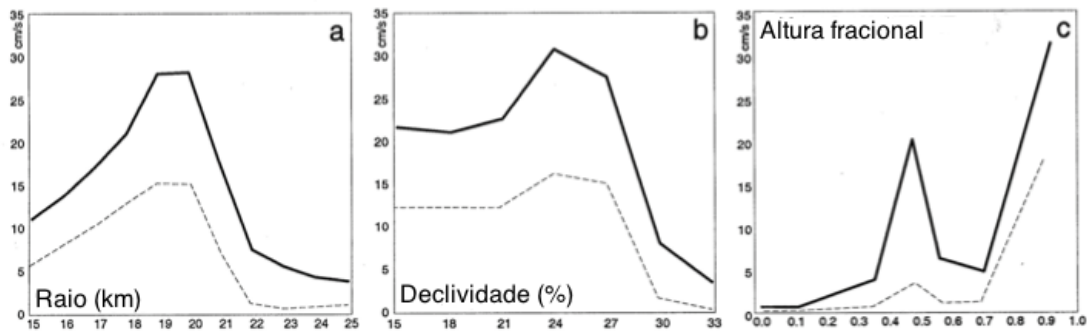


Figura 3.5: Amplificação ressonante (linha sólida) e geração de fluxo médio (linha pontilhada) para uma forçante periódica. O quadro (a) mostra que as melhores condições de formação do domo isopicnal são para montes submarinos com raio (km) entre 18 e 20 km, enquanto que o quadro (b) mostra que a declividade do monte deve estar entre 21 e 27%, e por fim o quadro (c) mostra que a altura fracional acima de 0,7 mostra as melhores condições de formação do domo. Fonte: Adaptado de Beckmann (1999).

Entretanto, no oceano real não existem perfeições nem valores exatos, mas estratificação, variabilidade na velocidade e direção das correntes, turbulência e formas irregu-

lares nos montes submarinos, o que leva a supor que as condições para a formação da Coluna de Taylor sejam mais complexas. Nesse sentido, números adimensionais foram utilizados por diversos autores na tentativa de melhor determinar a possibilidade de formação dessas estruturas.

A altura fracional (δ) de um monte submarino (Equação 3.4) foi utilizada por [Chapman and Haidvogel \(1992\)](#) para classificá-lo em pequeno ($\delta < 0,4$), médio ($0,4 < \delta < 0,7$) ou alto ($\delta > 0,7$).

$$\delta = \frac{h_o}{H} \quad (3.4)$$

A importância da rotação da Terra na dinâmica sobre o monte submarino pode ser avaliada pelo número de Rossby (R_o) (Equação 3.5). [Chapman and Haidvogel \(1992\)](#) concluíram que para $R_o > 0,2$ o Cone de Taylor não se formará.

$$R_o = \frac{U}{f * L} \quad (3.5)$$

Onde U é a velocidade de fluxo sobre o monte submarino ($m.s^{-1}$) e L é o comprimento do monte (m). Os autores mostraram que a formação do Cone ou Coluna de Taylor depende do valor de δ , considerando-se uma condição de quasi-geostrofia de um fluxo homogêneo colidindo com um monte submarino com topografia Gaussiana. Para um $\delta > 0,7$, o Cone de Taylor somente se formará para um $R_o < 0,15$ (Figura 3.6). Nas condições do estudo realizado pelos autores a formação temporária do Cone de Taylor ficou restrita para $0,1 < R_o < 0,2$ e $0,4 < \delta < 0,7$.

A relação entre R_o e δ caracteriza o B_R (Equação 3.6), denominada de Parâmetro de Bloqueio ([Roden, 1987](#)).

$$B_R = \frac{h_o * f * L}{H * U} \quad (3.6)$$

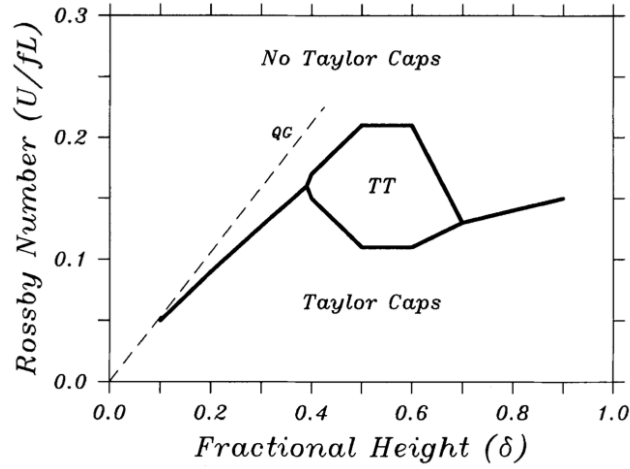


Figura 3.6: Condições de formação do Cone de Taylor. TT representa a formação temporária do Cone de Taylor. Fonte: [Chapman and Haidvogel \(1992\)](#)

Onde f é o parâmetro de Coriolis (s^{-1}), L é o comprimento do monte submarino, H é a profundidade total e U é a velocidade do fluxo incidente. O autor determinou que para valores de $B_R \simeq 4$ haverá um vórtice anticiclônico que permanece no topo do monte, se $B_R \simeq 12,5$ o vórtice permanece anexado ao topo do monte, e se $B_R \simeq 18$, o vórtice anticiclônico se forma e se desprende junto ao fluxo à jusante.

Em situações de estratificação oceânica é aplicado o número de Burger (B) (Equação 3.7) para quantificar a importância relativa da estratificação vertical e da escala de altura para a escala da força de Coriolis e o comprimento horizontal, determinando qual fator é mais importante no controle das características do fluxo ([Hogg, 1973](#); [Huthnance, 1978](#)).

$$B = \frac{N^2 * H^2}{f^2 * L^2} \quad (3.7)$$

Onde N representa a estratificação vertical (Equação 3.8).

$$N = \left[\left(-\frac{g}{\rho} \right) * \left(\frac{d\rho}{dz} \right) \right]^{1/2} \quad (3.8)$$

Onde g representa a aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m.s}^{-2}$) e z é a coordenada vertical. Pequenos valores de B indicam que os efeitos de estratificação do fluxo formando Cone ou Coluna de Taylor são menos importantes em relação às escalas batimétricas. Se a estratificação aumenta o domo isopicnal acima do monte diminui exponencialmente sua extensão vertical (escalado por h_c - Equação 3.9) a partir da profundidade do topo em direção à superfície (Owens and Hogg, 1980).

$$h_c = \frac{L * f}{N} \quad (3.9)$$

O posicionamento da picnoclina em relação à profundidade do topo dos montes influencia no deslocamento vertical do domo. Em montes profundos (topo abaixo dos 400 m e termoclina distante do topo) pode se desenvolver grandes deslocamentos verticais. Por outro lado, em montes intermediários e rasos (topo dentro da zona fótica) o desenvolvimento vertical do domo é menor (Genin, 2004).

O desenvolvimento de vórtices ciclônicos e anticiclônicos associados a montes submarinos pode ocorrer com o aumento na intensidade do fluxo incidente. Roden (1987) observou que um aumento do fluxo promoveu o desenvolvimento de ressurgência à montante e subsidência à jusante da direção do fluxo. Um par de vórtices será formado, sendo um anticiclônico e outro ciclônico. O vórtice ciclônico se forma anexado ao monte e posteriormente advectado à jusante, enquanto que um vórtice anticiclônico permanece sobre o monte. Em um ambiente fortemente estratificado, um vórtice ciclônico pode ocorrer sobre um anticiclônico (Roden, 1987).

3.2 Interações Biológicas

Os processos hidrodinâmicos ao redor dos montes submarinos podem resultar em uma complexa interação de correntes marinhas com as declividades batimétricas, gerando

vórtices e meandros. Esses processos podem desencadear uma série de respostas biológicas, enriquecendo o ambiente marinho e criando verdadeiros *oásis* no oceano profundo oligotrófico, através do aumento ou retenção da biomassa.

A produtividade está ligada principalmente ao crescimento do fitoplâncton, que é limitado pela variabilidade de nutrientes e luz. A disponibilidade de nutrientes em regiões pelágicas é provavelmente o principal limitante em regiões oceânicas tropicais, já que estas não possuem problemas em disponibilidade de luz.

O enriquecimento da biomassa de fitoplâncton é frequentemente encontrado em associação com batimetrias abruptas tais como *headlands*, bancos e ilhas devido a entrada de nutrientes inorgânicos para dentro de águas superficiais via processos de mistura (Mann and Lazier, 1996). Dower et al. (1992) e Comeau et al. (1995) registraram um aumento na geração de biomassa através de análises de fitoplâncton sobre o monte submarino Cobb em 1991. Mouriño et al. (2001) também observaram no monte submarino Great Meteor o enriquecimento de biomassa fitoplanctônica. No monte submarino Fieberling também foi observado o enriquecimento da produtividade primária e aumento de biomassa, principalmente sobre os flancos (Haury et al., 2000).

Normalmente, a condição de enriquecimento deve ocorrer de forma periódica ou estacionária, de modo a permitir que a produtividade se desenvolva. Dentre os processos físicos mencionados capazes de gerar esse aumento na produtividade, seis merecem destaque:

1. Domo isopicnal devido a formação do Cone de Taylor trará águas ricas em nutrientes para águas superficiais, em particular para dentro da zona eufótica em montes submarinos de águas rasas (Genin and Boehlert, 1985) (Figura 3.7).
2. Domo isopicnal pode gerar regiões localizadas de alta estratificação de densidade sobre os montes submarinos, o qual pode estabilizar a coluna de água, ajudando a promover a produtividade (Comeau et al., 1995).

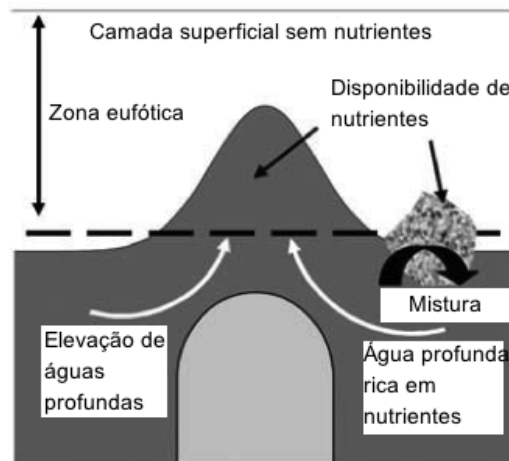


Figura 3.7: Esquema mostrando fluxo vertical de nutrientes associado com processos dinâmicos agindo nos montes submarinos. Fonte: Adaptado de [Pitcher et al. \(2007\)](#)

3. Aumento da mistura vertical devido a estratificação da maré, aceleração do fluxo e interação de ondas internas podem também misturar nutrientes em águas profundas e levá-las à superfície.
4. Padrão de circulação fechado ou semi-fechado ao redor dos montes submarinos podem também ser um importante mecanismo de retenção de material, ou advectá-lo para águas vizinhas, aumentando a produtividade nos montes ([Goldner and Chapman, 1997](#); [Mohn and Beckmann, 2002](#)) (Figura 3.8).
5. Aceleração de fluxo assimétrico nos flancos dos montes submarinos, ou topo, podem aumentar os fluxos horizontais de material orgânico com implicações para a distribuição de sedimentos ao redor dos montes ([Roberts et al., 1974](#); [Turnewitsch et al., 2004](#)).
6. Advecção de material orgânico (plâncton, entre outros) e nutrientes a partir de campos distantes para dentro de uma *esfera de influência* do monte submarino pode ser significativa se os processos dinâmicos locais não sustentarem condições para o enriquecimento da produtividade sobre os montes submarinos e uma fonte

externa de nutrientes/alimento é necessária.

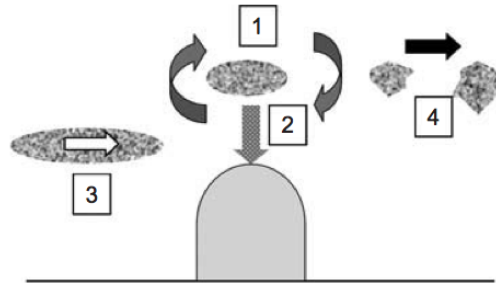


Figura 3.8: Esquema mostrando processos advectivos nos montes submarinos do Hemisfério Norte: 1 - matéria orgânica e larvas retidas por circulação vertical e anticiclônica; 2 - subsidência de material orgânico para a comunidade bentônica; 3 - incidência de corrente com entranhamento; 4 - dispersão advectiva e desenvolvimento de *manchas bioógicas*. Fonte: Pitcher et al. (2007)

De um modo geral, os efeitos de enriquecimento registrados sobre os montes submarinos ocorreram naqueles com topos mais rasos do que 300 m e duraram poucos dias. Goldner and Chapman (1997) mostraram a partir de estudos de modelagem que uma retenção significativa de partículas ocorreria. A retenção pela circulação dependeria da aceleração da velocidade e da proximidade das partículas na região de máxima velocidade residual, resultando em uma maior retenção. Mouriño et al. (2001) estimaram um tempo de residência de aproximadamente 3 semanas sobre o monte submarino Great Meteor. Dower et al. (1992) observaram um enriquecimento nos níveis de clorofila-*a* sobre o monte submarino Cobb superior a 2 semanas. Genin and Boehlert (1985) observaram uma variabilidade nos perfis de clorofila-*a* sobre os montes submarinos do Pacífico com uma escala de tempo de semanas. O monte submarino Great Meteor, com topo a 400 m da superfície, apresentou produtividade primária de modo sazonal e em escalas de tempo curtas (Mouriño et al., 2001).

Genin and Dower (2007) informaram que manchas de água de ressurgência devem permanecer sobre um monte submarino tempo suficiente para afetar a produção do zooplâncton, pelo menos durante um ciclo de geração (semanas à meses). A ausência do

desenvolvimento de zooplâncton a níveis tróficos superiores sugere que águas de ressurgência gerada pelos montes submarinos raramente penetram na camada fótica e quase nunca permanecem aprisionadas acima do monte mais do que poucos dias. Embora um longo tempo de residência seja teoricamente possível como parte de um Cone de Taylor, nenhum estudo já realizado mostrou uma alta concentração de biomassa de zooplâncton sobre um monte submarino. Muito pelo contrário, alguns estudos sobre montes submarinos no leste do Pacífico (Genin et al., 1988, 1944) e oceano Atlântico (Nellen, 1973) mostraram que águas sobrejacentes aos montes submarinos tinham menor biomassa de zooplâncton do que nas águas vizinhas, mostrando que a dinâmica desses organismos sobre o monte provavelmente não é relacionada ao local.

Embora o aumento da concentração tenha sido observado nos montes submarinos no leste do Pacífico, nem sempre manchas de clorofila-*a* são uma característica consistente (Genin and Boehlert, 1985; Mouriño et al., 2001). Esse autores sugerem que a variabilidade é a característica mais marcante, como se o processo ocorresse em forma de *pulsos*, dependente da sazonalidade, incidência de correntes, podendo também variar em escala e profundidade.

Capítulo 4

Evidências *in e ex-situ*

Estudos realizados sobre os montes submarinos da CVT mostraram que sobre os topos existe a presença de leitos de rodolitos (Pereira-Filho et al., 2012), relacionados à alta atividade biológica principalmente sobre os Bancos de Vitória, Banco de Jaseur e Banco de Davis. Associados aos rodolitos o topo desses montes submarinos proporcionam áreas extensas de corais rasos, proporcionando um hábitat complexo com alta biodiversidade (Foster et al., 2007).

Estimativas de concentração de clorofila-*a in situ* e de nutrientes sobre os montes da CVT também foram realizadas pelo Programa de Avaliação do Potencial Sustentável dos Recursos Vivos da Zona Econômica Exclusiva (REVIZEE) Score Central com pontos amostrais no litoral sudeste (Figura 4.1). O REVIZEE foi um programa interinstitucional e multidisciplinar que teve entre seus objetivos a obtenção de um quadro oceanográfico de caráter abrangente, incluindo as áreas das oceanografias física, química, geológica e biológica no final da década de 90. O Programa REVIZEE, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA), através da Secretaria de Coordenação dos Assuntos do Meio Ambiente (SMA) /Departamento de Gestão Ambiental (DEGAM), realizou o levantamento dos potenciais sustentáveis de captura dos recursos vivos na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) .

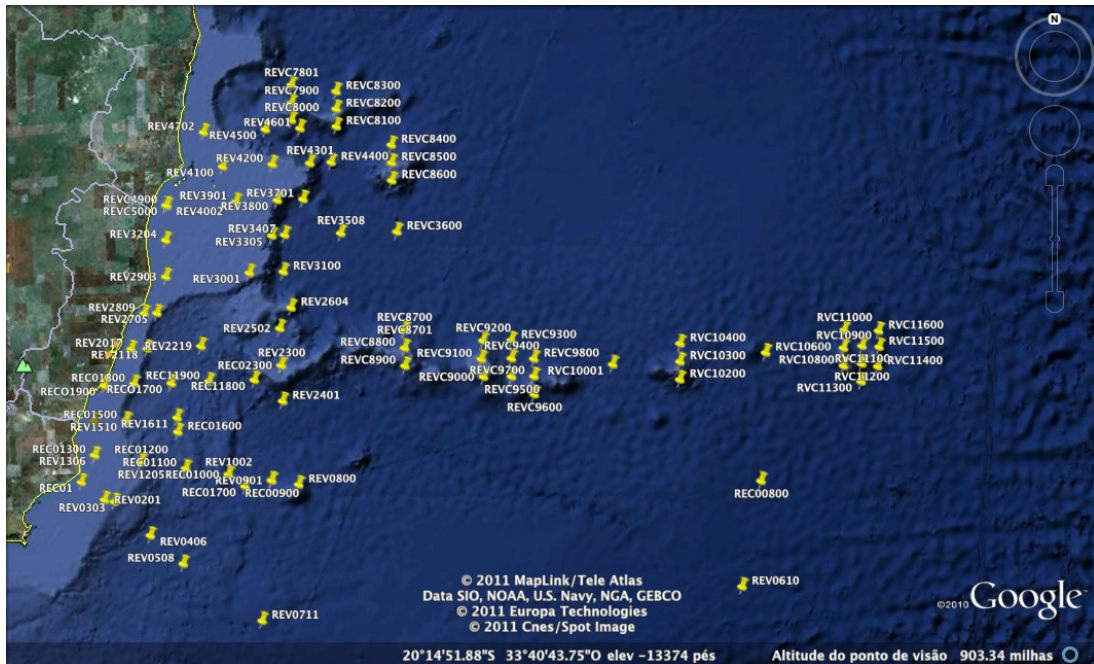


Figura 4.1: Distribuição da malha amostral do Programa REVIZEE - Score Central. Os pontos demarcam as coletas realizadas no período de Novembro e Dezembro/1998.

Além de legalizarem o Brasil quanto ao atendimento das disposições da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar no que se refere aos recursos vivos, os resultados obtidos também permitiram o reordenamento do setor pesqueiro nacional, tendo como base dados técnico-científicos consistentes e atualizados.

Os dados de clorofila-*a* obtidos pelo Programa comprovaram a oligotrofia das águas oceânicas da região, porém concentrações maiores ($> 0,3 \mu\text{M}$) foram observadas sobre a CVT, podendo refletir a fertilização da zona fótica (Metzler et al., 1997).

As campanhas de 1998 (primavera) e 2000 (outono) do Programa REVIZEE mostraram que sobre essas regiões as concentrações sobre os montes foram em torno de 2 a 3 vezes maiores do que as águas ao seu redor, condição essa mais evidente em geral nos meses de inverno (Silva, 2001). Sobre o Banco de Vitória os resultados mostraram valores em torno de $0,1\text{-}0,15 \text{ mg.m}^{-3}$ no verão, subindo para $0,2\text{-}0,25 \text{ mg.m}^{-3}$ no outono, e

atingindo o máximo em torno de $0,3-0,4 \text{ mg.m}^{-3}$ no inverno, voltando a decair a partir da primavera.

Os resultados bio-ópticos do REVIZEE sobre os montes submarinos mostraram que a comunidade fitoplanctônica coletada não havia se desenvolvido para níveis tróficos de maior biomassa, consistindo em sua maioria de organismos pico e nanoplânctônicos, e pouca biomassa zooplanctônica. Essa informação indica que a cadeia alimentar sobre os montes submarinos não se desenvolveu até maiores níveis tróficos, ou seja, o enriquecimento por nutrientes de águas profundas não durou tempo suficiente para esse desenvolvimento.

Os resultados obtidos em campo apontaram o Banco de Davis, como o de maior densidade picoplanctônica heterotrófica e nanoplâncton autotrófico, com $2 \times 10^9 \text{ cel.L}^{-1}$ e $> 1,5 \times 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$, respectivamente. O nanoplâncton heterotrófico também teve maiores concentrações de densidade nas estações mais extremas da CVT, com valores maiores do que $10 \times 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$. Os maiores valores de densidade do microfitoplâncton ($> 9 \times 10^2 \text{ cel.L}^{-1}$) ocorreram na camada superficial até 50 m, na região compreendida entre o Banco de Abrolhos e o Cabo de São Tomé, incluindo máximos pontuais na CVT (Tenenbaum et al., 2007).

Em águas oceânicas as concentrações de nutrientes diminuem com o aumento de distância da costa, refletindo fontes terrestres e costeiras, naturais (rios e manguezais, por exemplo), ou antropogênicas (esgoto não tratado, lixiviação da agricultura, entre outros) (Costa Jr et al., 2008). Os resultados do REVIZEE mostraram que especialmente o ortofosfato (forma assimilada de Fósforo para o fitoplâncton) caracterizou a oligotrofia da região central da zona econômica exclusiva, com valores mais elevados ($> 1,0 \mu\text{M}$) nas estações situadas sobre a CVT (Rezende et al., 2007).

As maiores concentrações de nitrogênio amoniacal (fonte mais energética de nitrogênio inorgânico para assimilação pelo fitoplâncton) foram encontradas nas estações localizadas no litoral sul da Bahia, sobre a plataforma continental, e ao longo da CVT ($> 0,3$

μM). As concentrações de nitrogênio amoniacal são em geral muito baixas em regiões oceânicas, caracterizando o seu aspecto oligotrófico. Os dados de nitrito analisados pelo REVIZEE mostraram concentrações mais elevadas desse nutriente ($> 0,15 \mu\text{M}$) na região da CVT, onde segundo [Rezende et al. \(2007\)](#) as características geológicas da região favorecem o afloramento da ACAS e o transporte de nutrientes oriundos da zona afótica. Apesar dos autores citarem esse processo de ressurgência da ACAS sobre os montes submarinos da CVT, eles não explicaram como ocorre (forçantes e variabilidade espaço-temporal, por exemplo) e nem quais foram os critérios e análises utilizadas para caracterizar a presença dessa massa de água na região.

Os valores de nitrato acompanharam a tendência dos valores de ortofosfato e nitrogênio amoniacal, com altas concentrações encontradas na região da CVT. O nitrato é regenerado pelas bactérias a partir da oxidação de formas orgânicas nitrogenadas e participa como principal elemento nutriente para o fitoplâncton. No caso do nitrato, a velocidade de disponibilização é menor que a de consumo, tornando-o dessa forma um elemento limitante ao desenvolvimento das algas ([Niencheski et al., 1999](#)).

O silicato também apresentou altas concentrações sobre a CVT, principalmente em torno da profundidade de 200 m. Esse nutriente é muito importante pois atua no desenvolvimento de organismos fitoplanctônicos (diatomáceas, por exemplo), que utilizam esse elemento nutritivo na produção de suas carapaças.

Os resultados sobre a distribuição espacial da concentração dos nutrientes na região de estudo obtidos pelo REVIZEE serviram para mostrar que as regiões de ressurgência de água costumam ser identificadas por diferenças em suas características químicas, mostrando que sobre a CVT a causa provável de ascensão de nutrientes seria a menor profundidade do topo dos montes, associada a uma modificação na passagem das correntes ([Bonecker et al., 1992](#)).

Além das medições *in situ*, muitos trabalhos desenvolvidos ao longo do litoral brasileiro utilizaram imagens de satélite para analisar a distribuição espaço-temporal da concen-

tração de clorofila-*a* (Martins, 2002; Ciotti et al., 2010; Lentini and Carvalho, 2011; Machado et al., 2013).

Imagens de médias mensais de clorofila-*a* do sensor MODIS satélite Aqua Level 3 (OBPG, EOSDIS - *Ocean Biology Processing Group, Earth Observing System Data and Information System*) foram tratadas com o uso do software livre Seadas6.2 para a extração dos dados. Os resultados mostraram as maiores concentrações de clorofila-*a* durante o período de inverno, possivelmente os meses de maior biomassa.

As médias mensais dos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro de 2005 são mostradas nas Figura 4.2, Figura 4.3, Figura 4.4 e Figura 4.5, respectivamente. O ano de 2005 foi escolhido por representar o ano no qual foram obtidos os dados da modelagem numérica do HYCOM. Com relação a região da CVT, nas figuras é possível observar as menores concentrações de clorofila-*a* para o mês de Janeiro ($\sim 0,1 \text{ mg.m}^{-3}$), aumentando no mês de Abril e atingindo altos valores no mês de Julho ($\sim 0,3-0,7 \text{ mg.m}^{-3}$), voltando a decair a partir do mês de Outubro. No entanto, esse padrão fica evidente apenas nos Bancos de Vitória, Jaseur e Davis, mostrando que, possivelmente, esses montes submarinos possuem processos físicos-biológicos associados que os diferem dos demais montes submarinos da CVT.

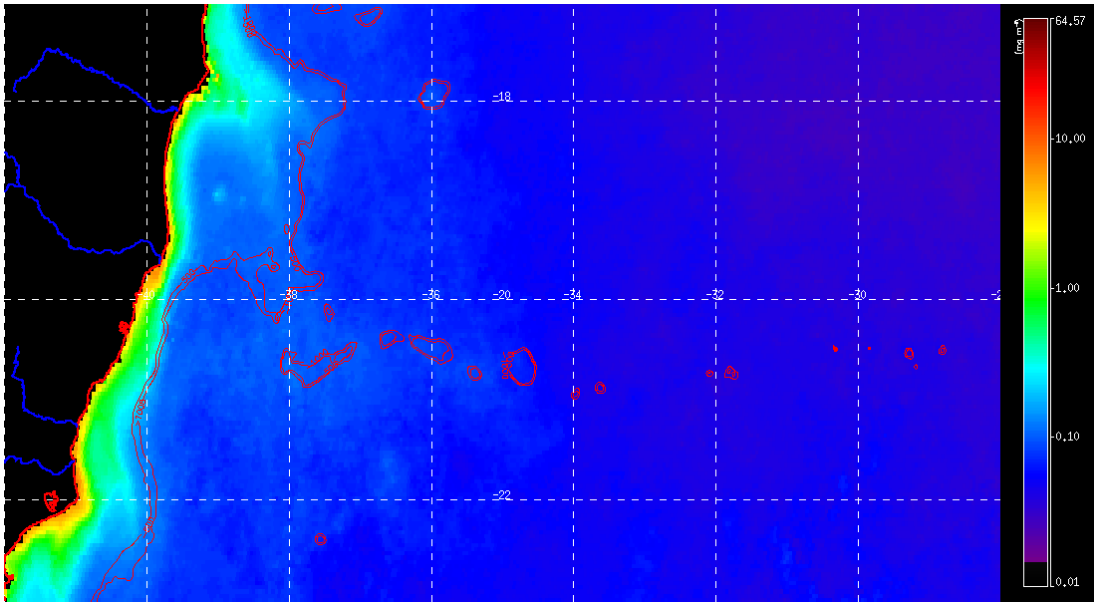


Figura 4.2: Média mensal da concentração de clorofila-*a* para o mês de Janeiro de 2005. Os contornos em vermelho evidenciam as profundidades de 500 m e 1000 m, e destacam os bancos da CVT. Baixas concentrações de clorofila-*a* ($\sim 0,1 \text{ mg.m}^{-3}$) ocorrem sobre a CVT.

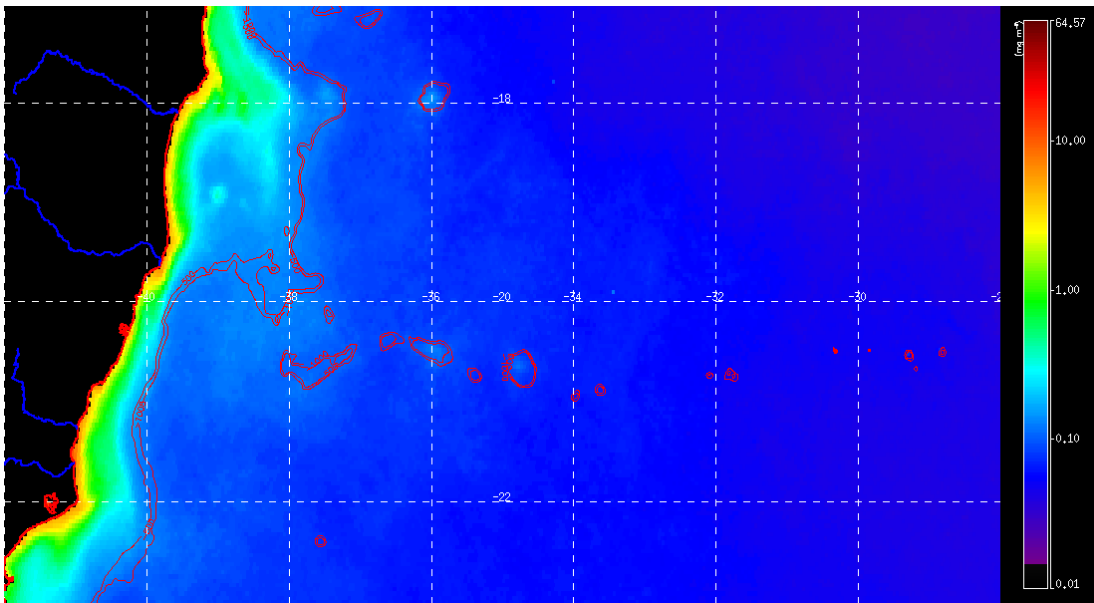


Figura 4.3: Média mensal da concentração de clorofila-*a* para o mês de Abril de 2005. Os contornos em vermelho evidenciam as profundidades de 500 m e 1000 m, e destacam os bancos da CVT. Valores de clorofila-*a* começam a aumentar sobre a CVT.

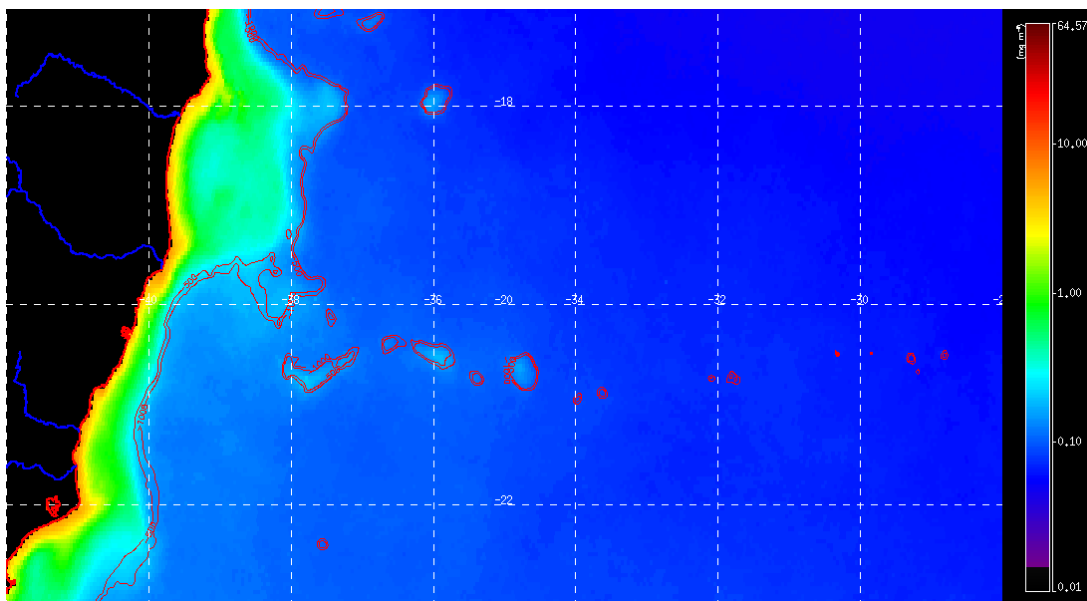


Figura 4.4: Média mensal da concentração de clorofila-*a* para o mês de Julho de 2005. Os contornos em vermelho evidenciam as profundidades de 500 m e 1000 m, e destacam os bancos da CVT. Maiores concentrações de clorofila-*a* sobre a CVT ($\sim 0,3-0,7 \text{ mg.m}^{-3}$).

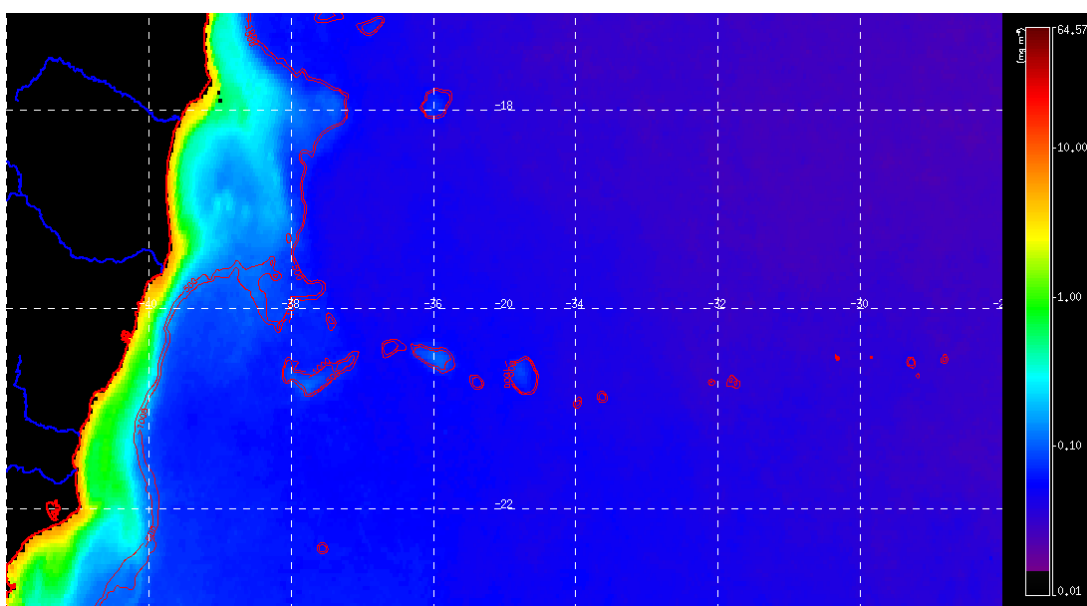


Figura 4.5: Média mensal da concentração de clorofila-*a* para o mês de Outubro de 2005. Os contornos em vermelho evidenciam as profundidades de 500 m e 1000 m, e destacam os bancos da CVT. As concentrações de clorofila-*a* começam a diminuir.

[Metzler et al. \(1997\)](#) evidenciaram a produtividade primária na região do Atlântico sudoeste através de imagens de satélite do sensor SeaWiFS desde a primavera de 1997 até a primavera de 2000, e observaram núcleos mais elevados de produção ao norte do Banco de Abrolhos e sobre a CVT, nos Bancos de Vitória, Montague e Jaseur, estendendo-se no inverno até o Banco de Dogoressa e as ilhas Trindade e Martin Vaz. Além disso, os autores concluíram que ocorreu uma sazonalidade geral para a região, com maiores valores de produção biológica durante os meses de inverno.

Dados *in situ* de temperatura coletados pelo Projeto MOVAR (Monitoramento da Variabilidade do Transporte de Calor entre o Rio de Janeiro-RJ e a Ilha de Trindade-ES) próximo da área de estudo. O MOVAR foi desenvolvido junto ao programa GOOS-Brasil (*Global Ocean Observing System*) para suprir a porção oceânica ao sul da CVT da grande escassez de dados oceanográficos desde 2004. Maiores informações sobre o projeto são referenciadas em [Mata et al. \(2012\)](#),

A presença de uma Camada de Barreira (CBa) entre a CM e CI é comumente observada em dados medidos *in situ* e modelagem numérica. Essa CBa representa um estrato no oceano responsável pelo isolamento da camada superficial com a camada profunda, impedindo a troca de propriedades como calor. Essa região foi observada entre as CM e CI nos dados do MOVAR, no entanto, não representa objeto de investigação no presente estudo. Os dados do MOVAR foram utilizados para validação dos dados obtidos da modelagem numérica, como será descrito no Capítulo 5.

Capítulo 5

Materiais e Métodos

5.1 Sensoriamento Remoto

A fim de se observar a influência dos montes submarinos da CVT na variação espaço-temporal das concentrações de clorofila-*a* nos seus respectivos topos, foram extraídos dados de médias mensais e semanais resultantes das estimativas de clorofila-*a* realizadas pelo sensor MODIS do satélite Aqua.

Os dados compreendem o período de Janeiro de 2003 até Dezembro de 2011 e correspondem ao Nível 3 do processamento (L3) com resolução espacial de 4 km. Apenas 3,8% do conjunto de dados mensais estavam sem valores, enquanto que o preenchimento com dados semanais nas lacunas sem dados mensais, para os períodos correspondentes, resultou em apenas 0,67% de ausência de dados.

Com a aquisição desses dados, buscou-se quantificar as concentrações mensais de clorofila-*a* através de pontos distintos sobre os montes e em áreas ao norte e ao sul, a fim de se realizar comparações entre os valores encontrados. Desta forma, definiu-se o padrão equidistante dos pontos em: $0,25^\circ$, $0,5^\circ$ e 1° ao norte e ao sul em relação ao topo dos montes submarinos. Os pontos escolhidos são mostrados na Figura 5.1.

A partir desses pontos foram geradas séries temporais com as concentrações de clorofila-

a em cada ponto, identificando cada sequência longitudinal como um transecto. As médias mensais de 2003 a 2011 também foram agrupadas com o objetivo de verificar os meses nos quais as concentrações de clorofila- a estiveram estatisticamente diferentes em relação ao oceano profundo.

A variabilidade espaço-temporal de clorofila- a foi analisada a partir de gráficos hovmoller. O transecto utilizado neste caso teve origem no Banco de Vitória e terminou no Banco de Colúmbia, passando pelo topo dos montes (Figura 5.1).

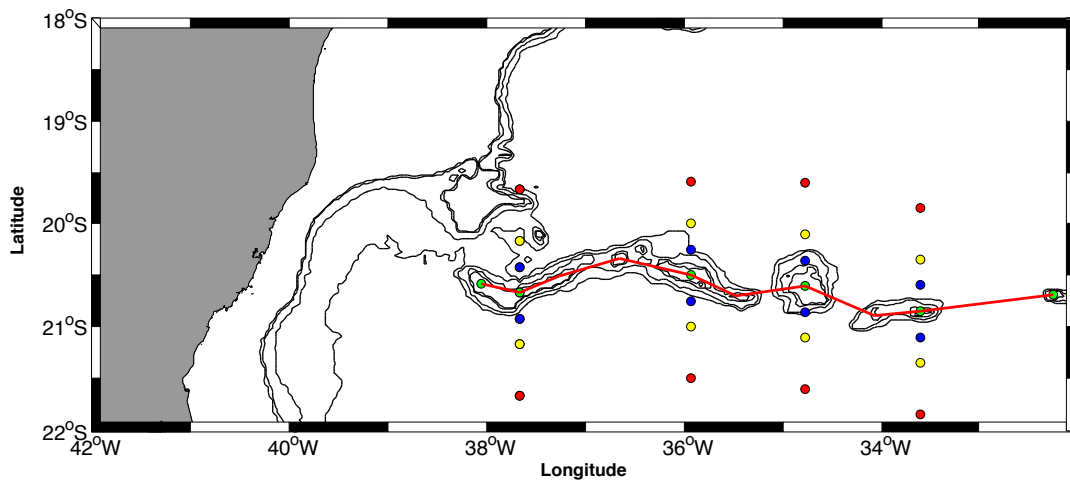


Figura 5.1: Pontos e transecto de análise de clorofila- a ao longo da CVT. Os pontos estão localizados: sobre os topos dos montes (verde), $0,25^\circ$ de distância em relação ao topo (azul); $0,5^\circ$ de distância em relação ao topo (amarelo); 1° de distância em relação ao topo (vermelho). O transecto em vermelho refere-se a linha amostrada para a construção do hovmoller, observe que ela interliga o topo dos montes. As isóbatas de 100, 200, 1000 e 2000 m são mostradas.

O uso do sensoriamento remoto também pode ser utilizado para a identificação de florações anuais de fitoplâncton e padrões de clorofila- a . Como mostrado pelo trabalho de Platt and Sathyendranath (1988), é possível obter uma curva Gaussiana com os dados mensais de clorofila- a através da Equação 5.1, a qual é utilizada para se estimar, por exemplo, o início da floração anual de fitoplâncton. De acordo com Siegel et al.

(2002), a floração anual inicia-se quando a concentração de clorofila-*a* encontra-se 10% acima da mediana da curva de Gauss. O mesmo método foi aplicado por Kampel (2013), que estimou a floração anual de fitoplâncton na Baía de Campos.

$$CSM_{(t)} = CSM_0 + \frac{h}{\sqrt{2\pi}\sigma} * \exp\left[-\frac{(t - d_{max})^2}{2 * (\sigma)^2}\right] \quad (5.1)$$

De acordo com a Equação 5.1, $CSM_{(t)}$ é a função Gaussiana para descrever a série temporal de clorofila-*a* derivada de satélite, CSM_0 é a linha de base de clorofila-*a*, d_{max} é o mês de pico, σ (mês) é o desvio padrão da curva de Gauss e define a largura do pico, $h/\sqrt{2\pi}\sigma$ define a concentração do pico e h é a integral da CSM total acima da linha de base. Esse ajuste foi estimado para os Bancos de Vitória, Jaseur e Davis na CVT. A hipótese da variabilidade sazonal da clorofila-*a* para a análise do comportamento da clorofila-*a* também foi realizada através de gráficos do tipo *boxplot* para o período seco (Junho, Julho e Agosto) e chuvoso (Dezembro, Janeiro e Fevereiro), os quais mostram os limites de 25% a 75% dos dados, o desvio padrão no intervalo de confiança de 95% dos dados e os valores que estão fora do padrão no ponto de análise.

Apesar de não existirem dados coletados *in situ* na região da CVT durante o período de Janeiro de 2003 até Dezembro de 2011, os valores encontrados foram relacionados com medidas realizadas em outros trabalhos publicados, tanto através de medições diretas quanto por sensoriamento remoto. Com esse propósito, foram utilizadas informações dos resultados do Projeto REVIZEE nas duas campanhas, de 1998 e 2000.

5.2 Hidrodinâmica do Oceano

Resultados numéricos de uma simulação datada para o ano de 2005 com o modelo HYCOM (Bleck et al., 1992) realizada pela COPPE/UFRJ foram usados nesta análise (Gabioux et al., 2013). Essa simulação possui resolução espacial de $1/24^\circ$ sendo forçada

em superfície por campos atmosféricos sinóticos (de 6 em 6h) de Reanálise 2 do NCEP (Kanamitsu et al., 2002).

Neste caso, adotaram-se como forçantes de reanálise os campos de temperatura do ar, umidade específica a 10 m, radiação líquida de onda longa, radiação de onda curta, tensão do vento e taxa de precipitação. A maré foi prescrita nos contornos levando em consideração as oito principais constantes harmônicas (M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , O_1 , P_1 , Q_1 , K_1), interpoladas a partir dos resultados do modelo TPXO7.2 (<http://volkov.oce.orst.edu/tides/global.html>). A área selecionada para o presente estudo é parte integrante da simulação que abrangeu a região sudeste brasileira, entre as latitudes de $12^\circ S$ e $35^\circ S$ e longitudes $54^\circ W$ e $35^\circ W$. A mesma, por sua vez, esteve aninhada em uma simulação com $1/12^\circ$ de resolução para a região da METAREA-V (que abrangeu desde $\sim 36^\circ S$ a $\sim 7^\circ N$ e desde $\sim 20^\circ W$ até o continente Americano), que por sua vez foi aninhada em uma simulação de média resolução ($1/4^\circ$) para todo o Atlântico (cujo domínio espacial se estendeu desde $\sim 78^\circ$ até $\sim 50^\circ N$ e desde $\sim 98^\circ W$ até $\sim 21^\circ E$).

Campos horizontais de correntes em diferentes profundidades para os meses de Janeiro e Julho foram selecionados para se analisar o padrão hidrodinâmico. Isso foi feito em função das principais diferenças encontradas nos dados de clorofila-*a* na região de estudo. Similarmente, distribuições verticais da componente meridional e zonal da velocidade, temperatura e densidade ao longo de 10 transectos também foram selecionados, tal qual mostrado na Figura 5.2 através das linhas pontilhadas em azul. Após a análise das correntes, foi selecionado um transecto sobre a CVT (linha vermelha) abrangendo os principais montes submarinos analisados (Banco de Vitória, Jaseur e Davis) (Figura 5.2).

Ao longo desse transecto foram calculadas, com frequência diária, a intensidade do fluxo, a vorticidade relativa (ζ), a divergência horizontal, o parâmetro de bloqueio (B_{CH} e B_R) e o número de Rossby (R_o) na profundidade de 30 m em uma análise diária com gráfico do tipo hovmoller para o ano de 2005.

Para os cálculos dos números adimensionais ao longo do transecto foram considerados a altura relativa dos montes como $\delta = 0,98$, comprimento médio (L) de 86000 m dos picos dos montes submarinos, profundidade do oceano em 4000 m e o parâmetro de Coriolis como $5 \times 10^{-5} s^{-1}$ para a latitude de $20,4^{\circ}S$.

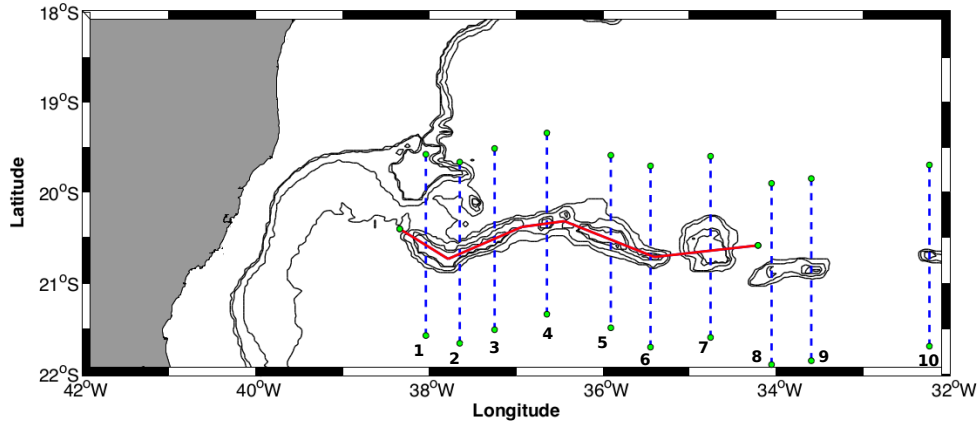


Figura 5.2: Transectos sobre a CVT para análise do perfil vertical de velocidade, densidade e temperatura para os meses de Janeiro e Julho (linhas pontilhadas em azul), e para análise dos dados hidrodinâmicos a partir de um gráfico tipo hovmoller (linha vermelha sobre a CVT).

Os resultados hidrodinâmicos foram comparados com informações obtidas na literatura tanto através de medições *in situ* quanto por modelagem numérica na região do Embaiamento de Tubarão e da CVT, considerando principalmente o comportamento da CB e a intensidade das velocidades encontradas. Esses resultados serviram para verificar a validações das informações obtidas no presente estudo.

Foram utilizados dois conjuntos de dados de corrente coletados *in situ* para a identificação de possíveis feições oceanográficas na região da CVT e verificação dos resultados da modelagem numérica. O primeiro compreende dados coletados por um ADCP de casco no Navio Oceanográfico Antares, no período de 30/11 a 07/12/2011, o qual partiu do Rio de Janeiro com destino à Ilha de Trindade e Martin Vaz, retornando para a cidade de Vitória. O segundo conjunto de dados foi obtido também através de um

ADCP de casco a bordo do Navio Oceanográfico Cruzeiro do Sul, o qual navegou sobre a CVT apenas no retorno das ilhas oceânicas, no período de 27/07 a 30/07/2013. Os dados de ambos os cruzeiros foram tratados com auxílio do CODAS, que compreende um conjunto de pacotes de processamento de dados de ADCP de casco desenvolvido pela UHDAS em linguagem de programação Python. As trajetórias de ida e retorno do Navio Oc. Antares onde foram coletados os dados de correntometria são mostradas na Figura 5.3, bem como o retorno do Navio Oc. Cruzeiro do Sul no período de inverno.

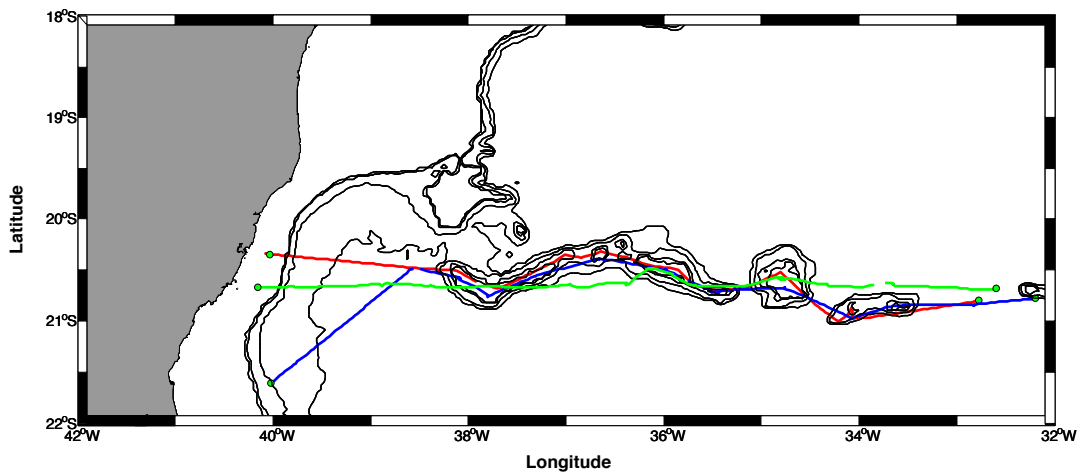


Figura 5.3: Transecto de ida (azul) e volta (vermelho) do Navio Oc. Antares - Novembro/Dezembro 2011 e de volta (verde) do Navio Oc. Cruzeiro do Sul - Julho 2013.

Os dados coletados serviram para comprovar algumas feições como vórtices e possíveis processos como subsidência e ressurgência ao redor dos montes submarinos. Devido à baixa frequência de operação do equipamento, não foi possível amostrar dados sobre o topo dos montes.

Sobreposto aos dados de corrente na região da CVT foram utilizadas imagens de satélite de Temperatura Superficial do Mar (TSM) obtidas pelo sensor MODIS através do projeto MUR STT, (*Multi-scale Ultra-high Resolution Sea Surface Temperature*) com resolução espacial de 1 km. Os dados são disponíveis para download (<http://mur.jpl.nasa.gov/>)

e foram utilizados para auxílio na identificação de processos oceanográficos na região dos transectos no mesmo período de amostragem.

5.3 Interação Oceano-Atmosfera

A análise da interação oceano-atmosfera foi realizada a partir dos resultados da distribuição de ventos e do fluxo de calor na região da CVT. Os resultados da intensidade e direção do vento utilizados para a análise de intensidade e direção foram obtidos através do modelo ETA 20 km do CPTEC/INPE, (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) o qual iniciou a operação em 21 de abril de 2005 utilizando dados do NCEP, e a partir de novembro de 2005 utilizando dados do modelo GFS (*Global Forecast System*). Os resultados foram obtidos para o mês de Janeiro/2006 até Julho de 2010 na região de estudo. Através desses dados foram estimadas médias mensais de intensidade e direção do vento sobre o Banco de Vitória e Banco de Davis, por serem os extremos da região estudada da CVT (Figura 5.4) para se conhecer o comportamento típico do vento nessas duas regiões e sua possível influência na CM e CI.

Os resultados do modelo ETA 20 km também foram utilizados para o cálculo da componente vertical do Rotacional da Tensão do Vento (RTV) e do Bombeamento de Ekman (W_E) em um transecto na região da CVT (Figura 5.4). O cálculo do RTV e W_E são mostrados nas Equações 5.2 e 5.3, respectivamente. Os valores da Tensão do Vento (τ_x e τ_y) foram obtidos através das Equações 5.4 e 5.5. Os resultados do modelo ETA 20 km foram validados através de dados medidos *in situ* pela Boia do Projeto PIRATA (*Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic*), localizada próximo do Banco de Davis (Figura 5.4), abrangendo a mesma escala espacial de dados diários de Janeiro/2006 até Julho de 2010. O resultado dessa comparação foi analisado com o diagrama de Taylor (Taylor, 2001).

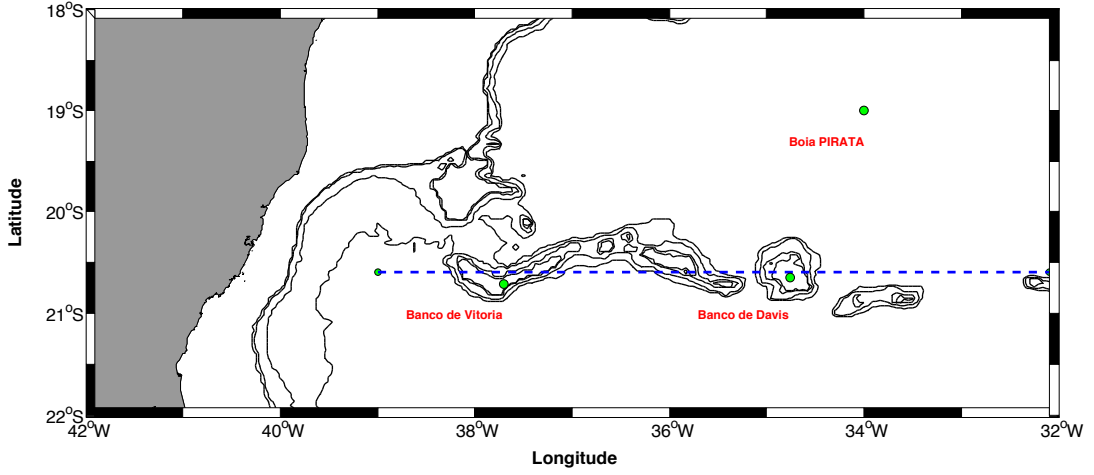


Figura 5.4: Localização dos pontos de análise da intensidade e direção do vento e fluxo de Calor sobre o Banco de Vitória e Davis, e da boia PIRATA. A linha tracejada localiza o transecto utilizado para a estimativa do RTV e W_E .

$$RTV = \frac{\partial \tau_y}{\partial x} - \frac{\partial \tau_x}{\partial y} \quad (5.2)$$

$$W_E = \frac{3600 * 100 * \left(\frac{\partial \tau_y}{\partial x} - \frac{\partial \tau_x}{\partial y} \right)}{\rho * f} \quad (5.3)$$

$$\tau_x = \rho * Cd * u * |u| \quad (5.4)$$

$$\tau_y = \rho * Cd * v * |v| \quad (5.5)$$

Onde ρ é a massa específica do ar, Cd é o Coeficiente de Arrasto, u e v representam a velocidade, e $\vec{\Omega}$ é a velocidade angular de rotação da Terra.

Para a análise do fluxo de calor foram novamente considerados os bancos que formam os extremos da CVT, ou seja, o Banco de Vitória e o Banco de Davis. Desta forma, foram extraídos dados de médias mensais de fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível, fluxo líquido de onda longa e fluxo de onda curta para o período de 1981 até 2010 dos

dados de Reanálise do NCEP. Os pontos de análise escolhidos podem ser observados na Figura 5.4.

5.4 Aspectos Termohalinos do Oceano

Os resultados termohalinos do modelo HYCOM foram usados na estimativa da espessura da CM e CI de acordo com a metodologia proposta por [Kara et al. \(000a\)](#). De acordo com os autores, existem muitos critérios e diferentes formas de se realizar o cálculo da CM e CI dependendo da referência que é utilizada. A Tabela 5.1 mostra os critérios de temperatura comumente utilizados para calcular a CM e CI no oceano.

Tabela 5.1: Critérios de Temperatura para CM e CI

Autor	ΔT
Martin (1985)	SST 0.1°C
Thompson (1976)	SST 0.2°C
Price et al. (1986)	SST 0.5°C
Kelly and Qiu (1995)	SST 0.5°C
Obata et al. (1996)	SST 0.5°C
Monterey and Levitus (1997)	SST 0.5°C
Lamb (1984)	SST 1.0°C
Wagner (1996)	SST 1.0°C

Para o presente estudo a CI foi definida como sendo a camada na qual a temperatura decresce em $0,8^{\circ}C$, de acordo com trabalhos de [Kara et al. \(2003\)](#), [Kara et al. \(000a\)](#), [Kara et al. \(000b\)](#), [Levitus et al. \(1994\)](#) e [Levitus and Boyer \(1994\)](#). Já a CM foi calculada utilizando o critério de densidade (Equação 5.6), a partir de uma variação em relação ao encontrado na profundidade de 10 m. Essa profundidade superficial de referência foi escolhida para evitar dados imprecisos que possam ser coletados/calculados através de equipamentos/modelagem.

$$\Delta_\sigma = \sigma_\theta(T_{10} - 0.8, S_{\Delta T}, P_0) - \sigma_\theta(T_{10}, S_{10}, P_0) \quad (5.6)$$

Na Equação 5.6 os valores de T_{10} e S_{10} representam temperatura e salinidade em 10 m, e P_0 foi padronizado como zero. O valor $S_{\Delta T}$ representa a salinidade na profundidade em que a temperatura foi encontrada com valor de -0,8 em relação à superfície. Esse critério para o valor de Δ_σ leva em consideração, além das variações de temperatura, as variações de salinidade, e seu papel na mistura superficial oceânica. Esse critério tem sido utilizado por proporcionar uma representação ótima da profundidade da CM, e é recomendado como o mais apropriado para validação de modelos por levar em consideração a temperatura e salinidade. Maiores detalhes podem ser encontrados em [Kara et al. \(2003\)](#), [Kara et al. \(000a\)](#) e [Kara et al. \(000b\)](#).

Após a definição dos critérios escolhidos, foram selecionados pontos sobre o topo dos principais montes submarinos (Vitoria, Jaseur, Davis e Dogaressa) e a -1° para o sul, de acordo com a Figura 5.1, onde foram extraídos dados de Salinidade e Temperatura do modelo numérico HYCOM e calculadas as profundidades da CM e CI com o erro padrão em um intervalo de confiança de 95%.

Nesse estudo não foram utilizados os resultados de CM fornecidos diretamente pelo HYCOM pois não foram utilizados apenas dados de modelagem nessa análise, mas também dados provenientes de medições *in situ* do Projeto MOVAR, desta forma, o mesmo critério deveria ser aplicado para ambos os conjuntos de dados.

A CM e CI também foram calculadas para os pontos de coleta do Projeto REVIZEE em 1998. Foram selecionados os pontos sobre e próximo dos montes submarinos da CVT a fim de comparar com os resultados obtidos pela modelagem numérica do modelo HYCOM $1/24^\circ$ (Figura 5.5). Apesar da diferença temporal entre os resultados do REVIZEE (1998) e da modelagem da COPPE/UFRJ (2005), também foi realizada uma comparação entre os resultados para o mês de Dezembro (período de coleta dos

dados do REVIZEE).

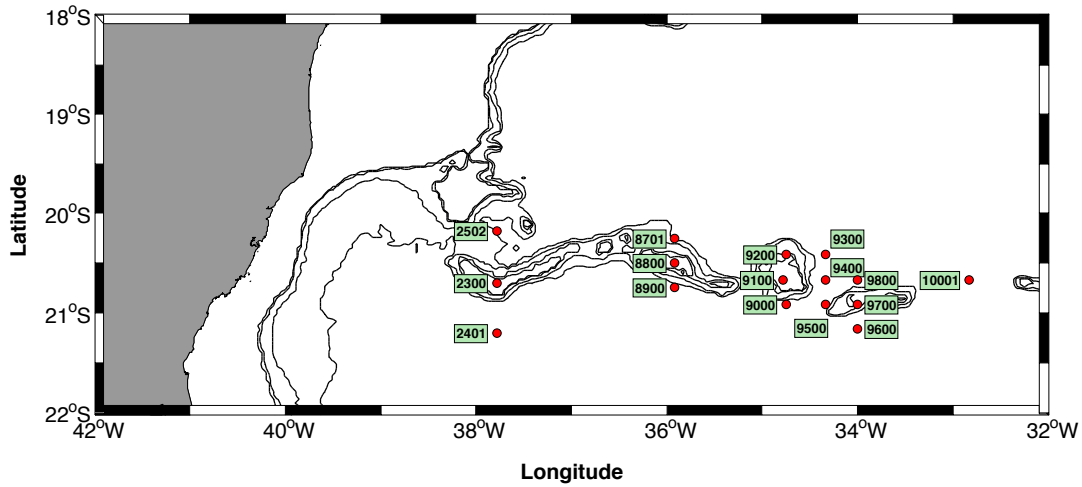


Figura 5.5: Pontos do Projeto REVIZEE para o cálculo da CM e CI.

Para verificar se a CM e CI apresentaram resultados representativos para o oceano no ano de 2005, foram utilizados dados coletados *in situ* pelo Projeto MOVAR para comparar com os resultados da modelagem numérica da COPPE/UFRJ. Os dados de temperatura do MOVAR são disponíveis online, e foram coletados através do lançamento de batitermógrafos descartáveis (XBT). Através dos dados de temperatura foram estimados valores de salinidade de acordo com o ajuste polinomial apresentado por Caspel et al. (2010).

Os dados de temperatura e salinidade da modelagem da COPPE/UFRJ foram extraídos nos locais próximos da CVT onde foram realizadas as coletas do MOVAR nos meses de Fevereiro e Agosto de 2005 (Figura 5.6), e serviram para comparar com as informações obtidas pela modelagem nos cálculos da CM e CI. O resumo da investigação inicial, objetivos e todos os dados utilizados no presente estudo pode ser observado no diagrama da Figura 5.7. O diagrama exhibe que os estudos iniciais foram realizados através de observações qualitativas de imagens de satélite sobre a região da CVT, mostrando altas concentrações de clorofila-*a* nos meses de inverno e baixas nos meses de verão. A partir

de então traçou-se um perfil de investigação dos possíveis processos que estariam ligados a essa sazonalidade. Foram utilizados banco de dados provenientes de modelagem numérica e coletas realizadas *in situ*, os quais em conjunto com a bibliografia disponível serviram para elucidar os principais processos meteo-oceanográficos associadas com a dinâmica de concentração de clorofila-*a* ao longo da CVT.

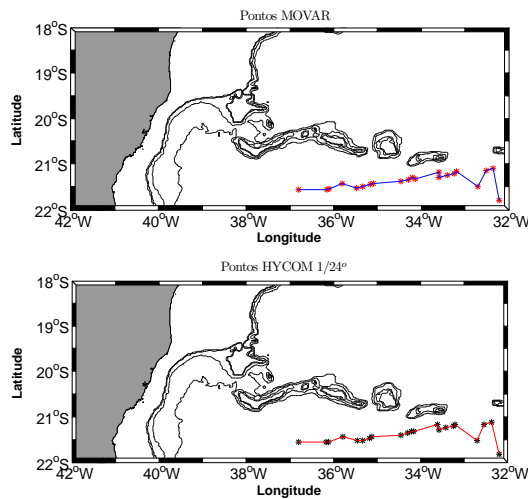


Figura 5.6: Pontos de coleta do Projeto MOVAR (pontos vermelhos) e HYCOM (pontos azuis)- Fevereiro (gráfico superior) e Agosto/2005 (gráfico inferior).

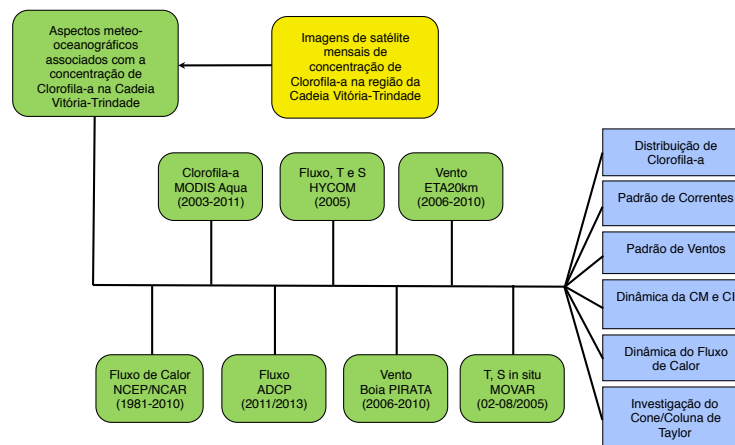


Figura 5.7: Diagrama mostrando os dados utilizados e os principais objetivos.

Capítulo 6

Resultados e Discussão

6.1 Validação dos Resultados

Atualmente há uma grande escassez de dados medidos *in situ* por embarcações na região da CVT que possam ser utilizados na discussão e validação de resultados de modelagem numérica e imagens de satélite.

A ausência de observações de clorofila-*a in situ* no período de 2003 a 2011 não permitiu uma validação direta com os resultados obtidos neste estudo. Porém, as observações feitas dentro do REVIZEE para a região da CVT nas campanhas de 1998 e 2000 foram comparadas por [Ciotti \(2001\)](#) com dados do banco de imagens GAC (*Global Area Coverage*) do SeaWiFS com resolução espacial de 5 km. As concentrações de clorofila-*a* relatadas pela autora para o Banco de Vitória indicaram valores em torno de 0,1-0,15 $mg.m^{-3}$ no verão, subindo para 0,2-0,25 $mg.m^{-3}$ no outono, e atingindo o máximo em torno de 0,3-0,4 $mg.m^{-3}$ no inverno, voltando a decair a partir da primavera. Segundo [Silva \(2001\)](#) esses valores foram condizentes com os dados observados *in situ*. O padrão de variabilidade sazonal para a região da CVT indicou menores concentrações no verão, aumento no outono, máximos no inverno, e nova queda na primavera, o qual também foi similar para o Banco de Jaseur e Davis. Os resultados observados no presente es-

tudo estão dentro da faixa de valores relatados, indicando que as observações feitas pelo MODIS Aqua são comparáveis.

A região oceânica além dos limites da plataforma continental na costa leste brasileira é pouco provida de dados medidos *in situ* que possam ser usados para validar modelos numéricos oceânicos e atmosféricos. Os resultados de vento do modelo ETA 20 km foram comparados com dados da Boia PIRATA no período de Janeiro/2006 até Julho/2010. O diagrama de Taylor desta comparação é mostrado nas Figuras 6.1 (componente zonal) e 6.2 (componente meridional). Para ambas as componentes, as correlações foram acima de 0,7, a variabilidade dos resultados do modelo foi maior do que os dados *in situ* (desvio-padrão) e os valores de RMS foram baixos. Os valores estatísticos encontrados entre as duas séries temporais mostraram que os resultados do modelo ETA 20 km estiveram adequados ao estudo para a discussão do papel do vento na dinâmica sobre os montes submarinos.

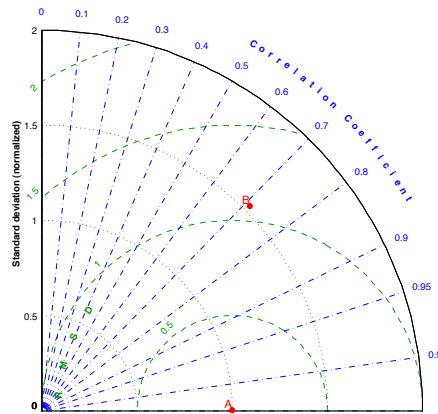


Figura 6.1: Diagrama de Taylor da comparação entre a série temporal dos dados da componente zonal do vento do Banco de Davis (modelo ETA 20 km) e da Boia PIRATA. O Ponto A representa a medida observada, enquanto o Ponto B é a modelagem.

O campo termohalino da modelagem numérica foi comparado com os dados obtidos nos cruzeiros do Projeto MOVAR de Fevereiro (Figura 6.3) e Agosto/2005 (Figura 6.4), e observados os comportamentos da CM e CI ao longo dos pontos.

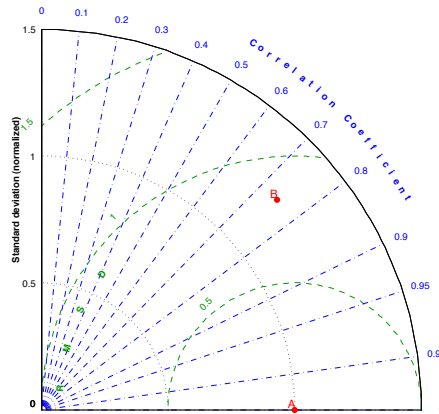


Figura 6.2: Diagrama de Taylor da comparação entre a série temporal dos dados da componente meridional do vento do Banco de Davis (modelo ETA 20 km) e da Boia PIRATA. O Ponto A representa a medida observada, enquanto o Ponto B é a modelagem.

Ambos os conjuntos de dados mostraram a tendência de redução da CI no verão (Fevereiro) e o seu aprofundamento no inverno (Agosto). No entanto, os valores da CI indicaram um maior aprofundamento nas observações da modelagem do que aquelas obtidas *in situ*, em torno de 20 m. Apesar desta diferença, os dados apresentaram um mesmo comportamento de variabilidade e foram considerados adequados para os propósitos deste estudo.

Observações de longo período de correntometria para a região de estudo são escassas. No entanto, [Gabioux et al. \(2013\)](#) mostraram que os resultados da modelagem usada neste estudo são consistentes e reproduzem o comportamento da CB de acordo com a literatura, exemplo [Peterson and Stramma \(1991\)](#). A simulação também foi capaz de gerar mesoescala e representar bem o padrão de variabilidade oceânica da borda oeste do Atlântico Sul ([Gabioux et al., 2013](#)), região em que uma das principais características é a presença de intensa atividade de mesoescala (meandramento e formação de vórtice) associada à CB ([Mascarenhas et al., 1971](#); [Campos et al., 1995](#); [Assireu et al., 2003](#)).

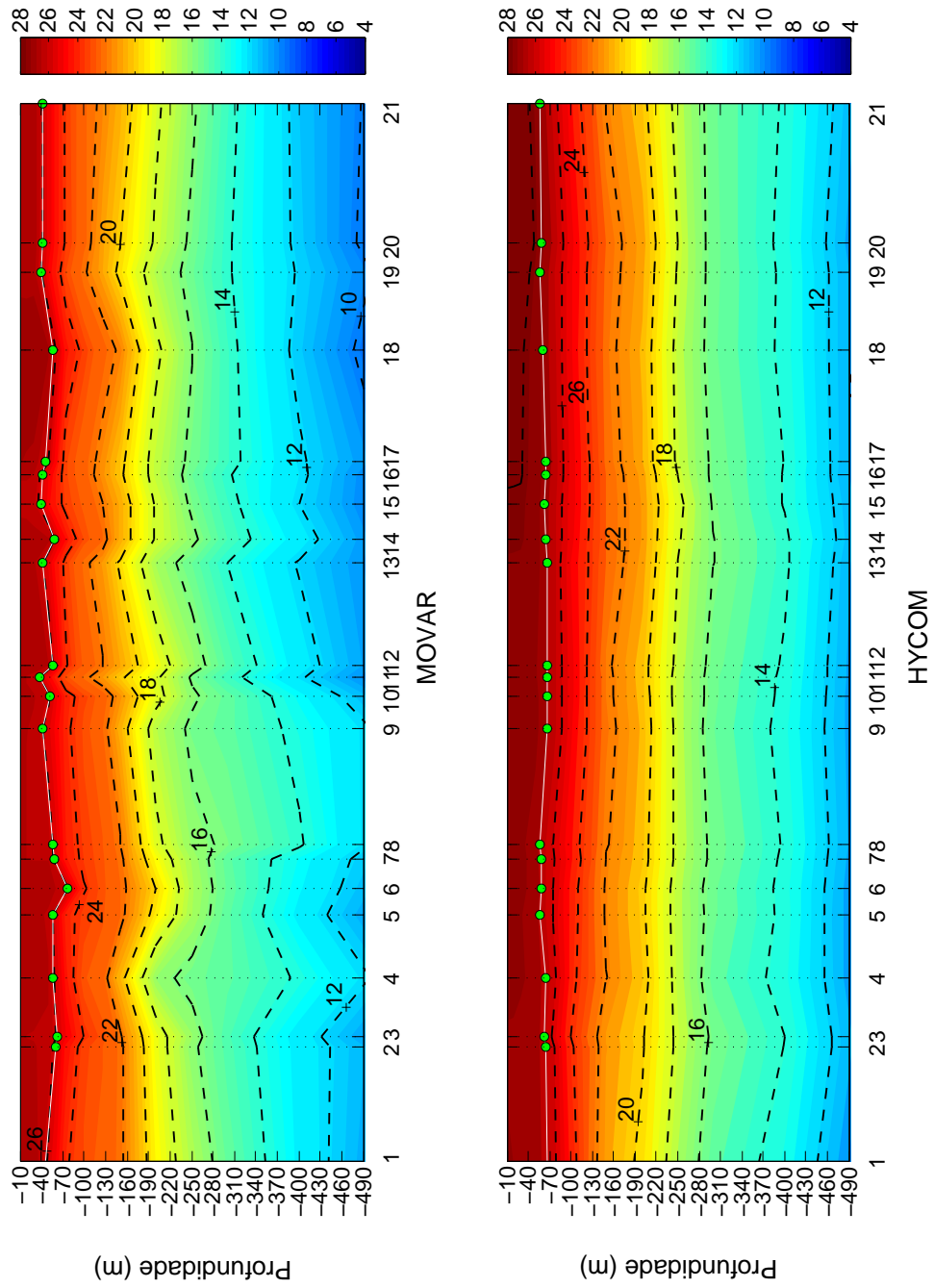


Figura 6.3: Perfil vertical de Temperatura ($^{\circ}C$) dos dados do MOVAR (esquerda) e HYCOM (direita) com o resultado da CI (linha branca) para o mês de Fevereiro/2005. O transecto é mostrado na Figura 5.6.

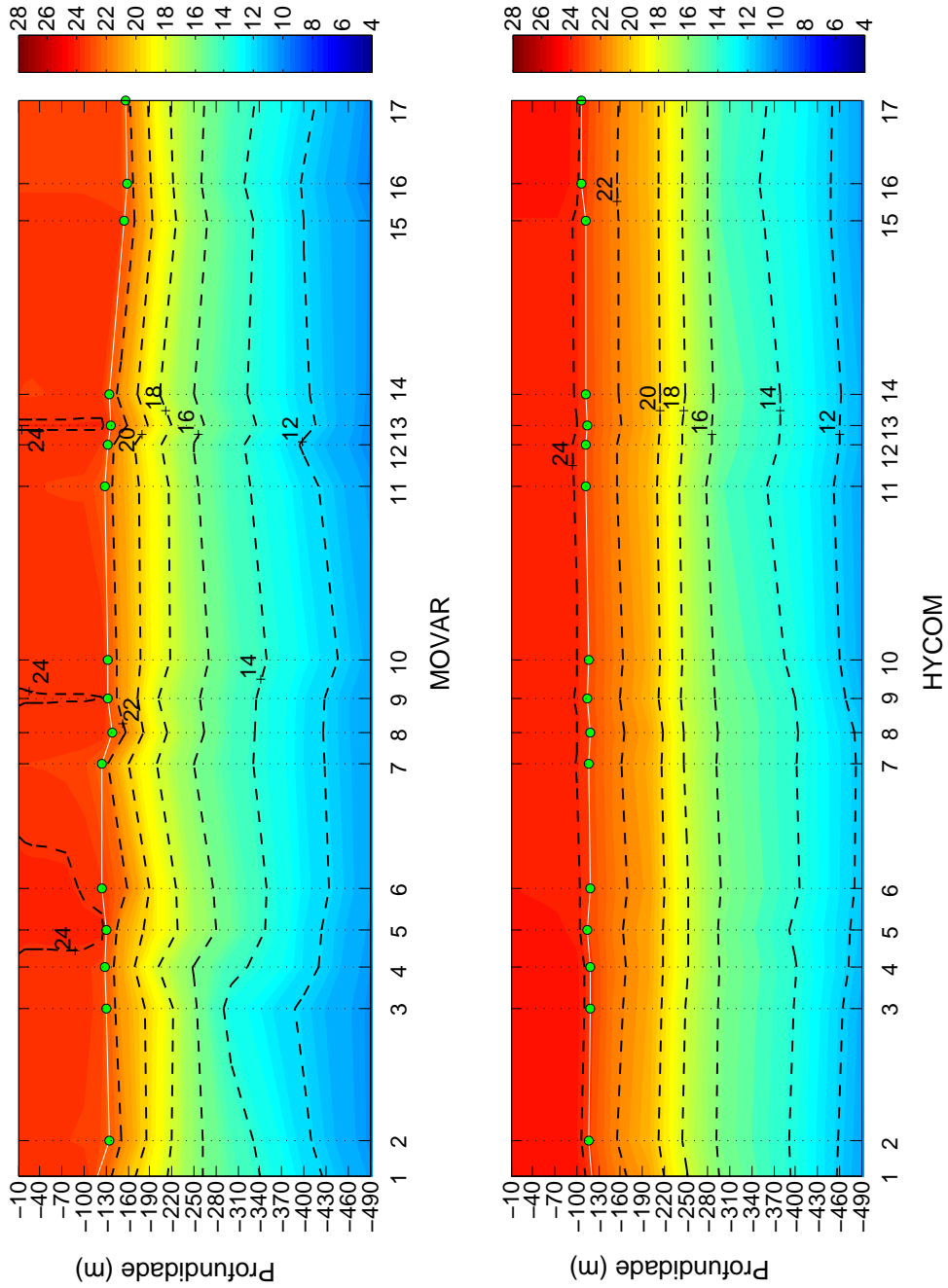


Figura 6.4: Perfil vertical de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) dos dados do MOVAR (esquerda) e HYCOM (direita) com o resultado da CI (linha branca) para o mês de Agosto/2005. O transecto é mostrado na Figura 5.6.

6.2 Sensoriamento Remoto

As análises da variabilidade sazonal da concentração de clorofila-*a* através das imagens de satélite devem levar em consideração os aspectos de disponibilidade de nutrientes, luz, características termohalinas e correntes oceânicas. Em águas oceânicas a oligotrofia é a principal característica, que no caso da região de estudo é caracterizada pela presença da AT nas primeiras dezenas de metros da coluna de água. A disponibilidade de nutrientes é função de fatores físicos, como a difusão turbulenta, processos advectivos, sedimentação do próprio fitoplâncton e também de complexos processos químicos de mineralização, processos estes quase sempre subestimados em muitos estudos teóricos e experimentais (Costa, 1996). A presença da CVT pode atuar como fator propulsor do aumento da concentração de clorofila-*a* no oceano oligotrófico, através da presença dos montes submarinos rasos (Banco de Vitória, Jaseur e Davis) e sua interação com a hidrodinâmica e processos de interação Oceano-Atmosfera.

A fim de investigar essa hipótese, a Figura 6.5 mostrou a distribuição espaço-temporal de clorofila-*a* sobre o topo dos montes. Os resultados indicam que espacialmente a CVT pode ser dividida em quatro regiões distintas: a primeira corresponde a faixa de longitudes entre $38^{\circ}W$ e $36,5^{\circ}W$, abrangendo o Banco de Vitória, no qual a concentração de clorofila-*a* foi observada ao longo de todo o monte, mas principalmente na sua porção oeste; a segunda faixa correspondente ao Banco de Jaseur, entre $36,5^{\circ}W$ e $35,5^{\circ}W$, com a maior concentração centrada em $36^{\circ}W$; a terceira faixa ficou confinada entre $34,6^{\circ}W$ e $34,9^{\circ}W$, no topo do Banco de Davis e, por fim, a partir desse monte até $32^{\circ}W$, não foram observados padrões distintos entre o topo do Banco de Dogaressa e Colúmbia em relação ao oceano profundo, mostrando que esses montes submarinos não foram capazes de influenciar a concentração de clorofila-*a*. Assim, considerando-se o aspecto zonal e a profundidade do topo, os resultados sugerem que a presença dos montes pode funcionar como locais de agregação e desenvolvimento fitoplanctônico.

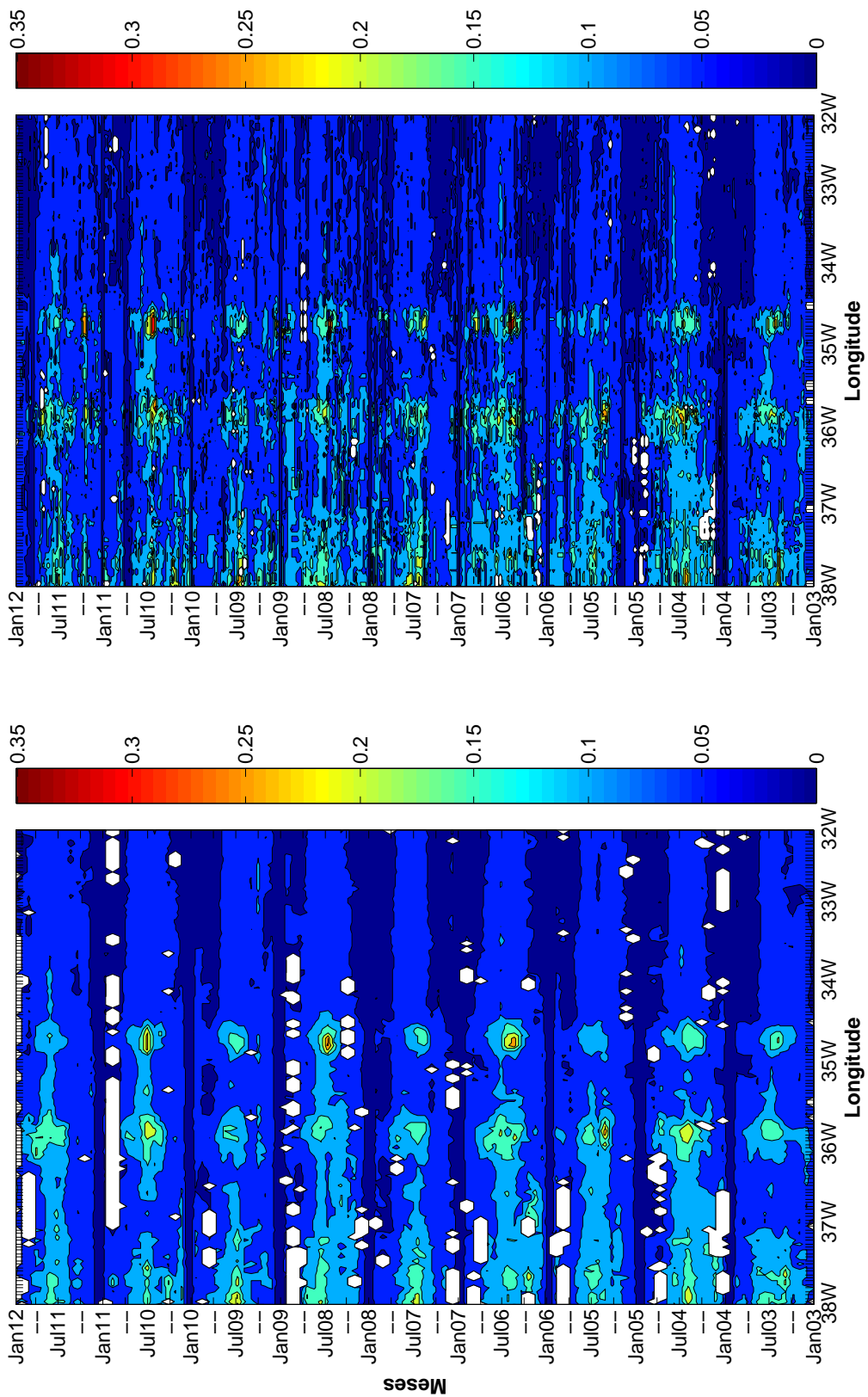


Figura 6.5: Variabilidade espaço-temporal da concentração de clorofila- a ($mg.m^{-3}$) na trajetória entre o Banco de Vitória e Banco de Dogoressa de acordo com o transecto mostrado na Figura 5.1. No gráfico inferior observam-se os resultados das médias mensais, enquanto que o gráfico superior observam-se os dados mensais sobrepostos com os dados semanais.

A Figura 6.5 também evidenciou uma variabilidade temporal, quando as menores concentrações foram observadas no período de verão, principalmente em torno do mês de Janeiro, com valores variando entre 0-0.1 $mg.m^{-3}$, passando a subir no outono próximo do mês de Abril (0.1-0.15 $mg.m^{-3}$) e atingindo o máximo no inverno em torno do mês de Julho, com valores variando entre 0.2-0.3 $mg.m^{-3}$. Esses resultados estão de acordo com aqueles observados por Ciotti (2001) e Silva (2001) na análise de imagens de satélite do SeaWiFS e amostragens *in situ* do programa REVIZEE, respectivamente, para os anos de 1998 e 2000. O padrão também concorda com aquele relatado por Ciotti et al. (2010), indicando que existe uma variabilidade anual na Área 4 (região da CVT), com os maiores valores no outono e inverno, e os menores na primavera e verão. Kampel (2013) também observou o mesmo padrão sazonal para a Bacia de Campos utilizando imagens do MODIS sobre a plataforma continental e talude entre os anos de 2002 e 2011.

A variabilidade espaço-temporal da clorofila-*a* na direção meridional a partir do topo dos montes também foi investigada e os resultados são mostrados nas Figuras 6.6 (Banco de Vitória), Figura 6.7 (Banco de Jaseur), Figura 6.8 (Banco de Davis) e Figura 6.9 (Banco de Dogaressa). Nos resultados apresentados, dois aspectos se destacam: 1- tanto na latitude relativa ao topo do monte quanto ao seu redor, em todos os montes se observou o padrão anual como sendo o ciclo mais marcante de variabilidade temporal; 2- a concentração de clorofila-*a* observada sobre o topo dos montes submarinos é distinta entre eles e, para um mesmo monte submarino, apresenta variação interanual.

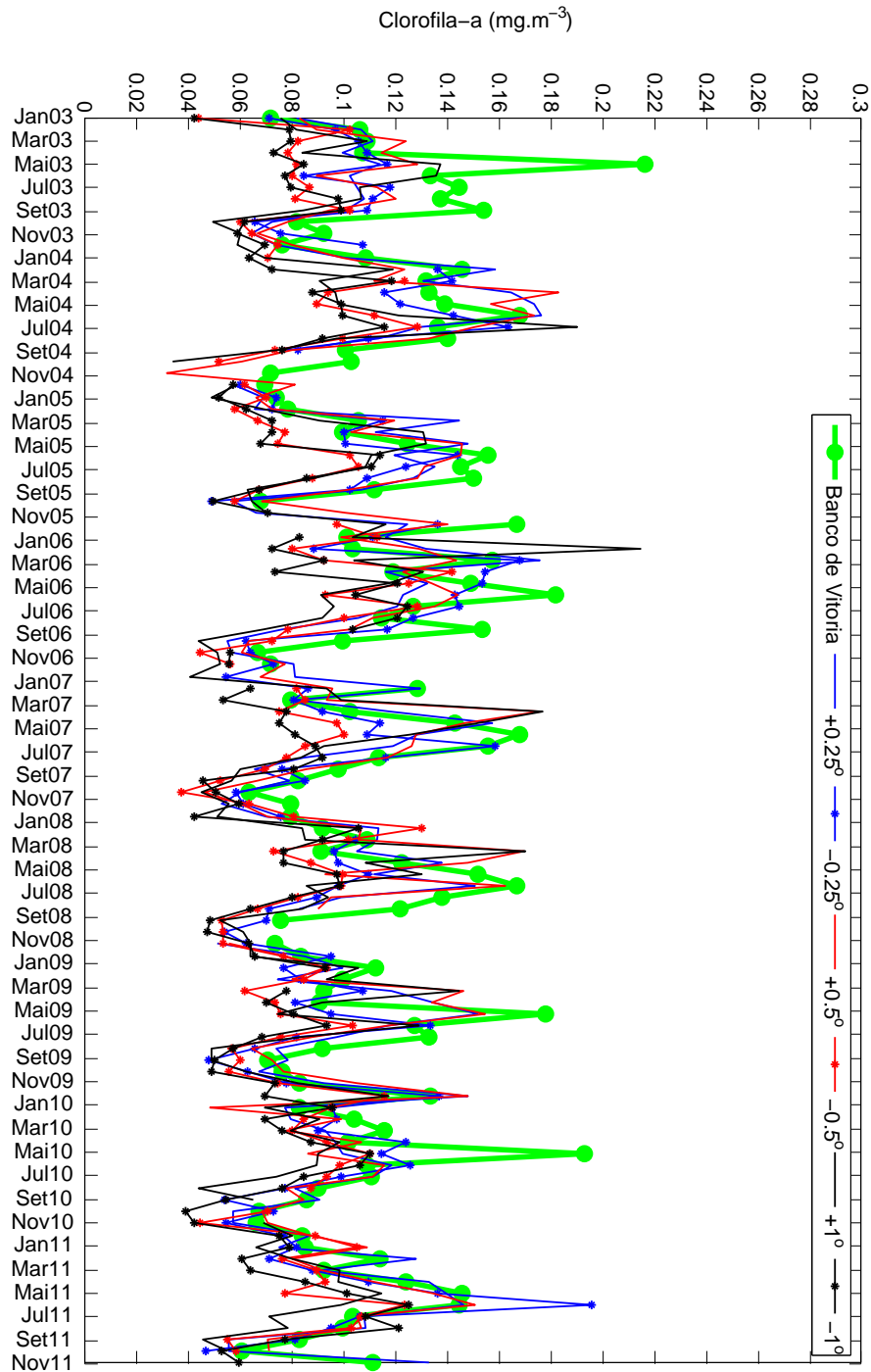


Figura 6.6: Série temporal da distribuição de clorofila-a ($mg.m^{-3}$) sobre o Banco de Vitória. Valores negativos/positivos indicam latitudes ao sul/norte do topo do monte. Observe que a concentração de clorofila-a ao sul do monte (-1°) é menor que as demais. Os pontos de análise sobre e próximo ao Banco de Vitória podem ser observados na Figura 5.1.

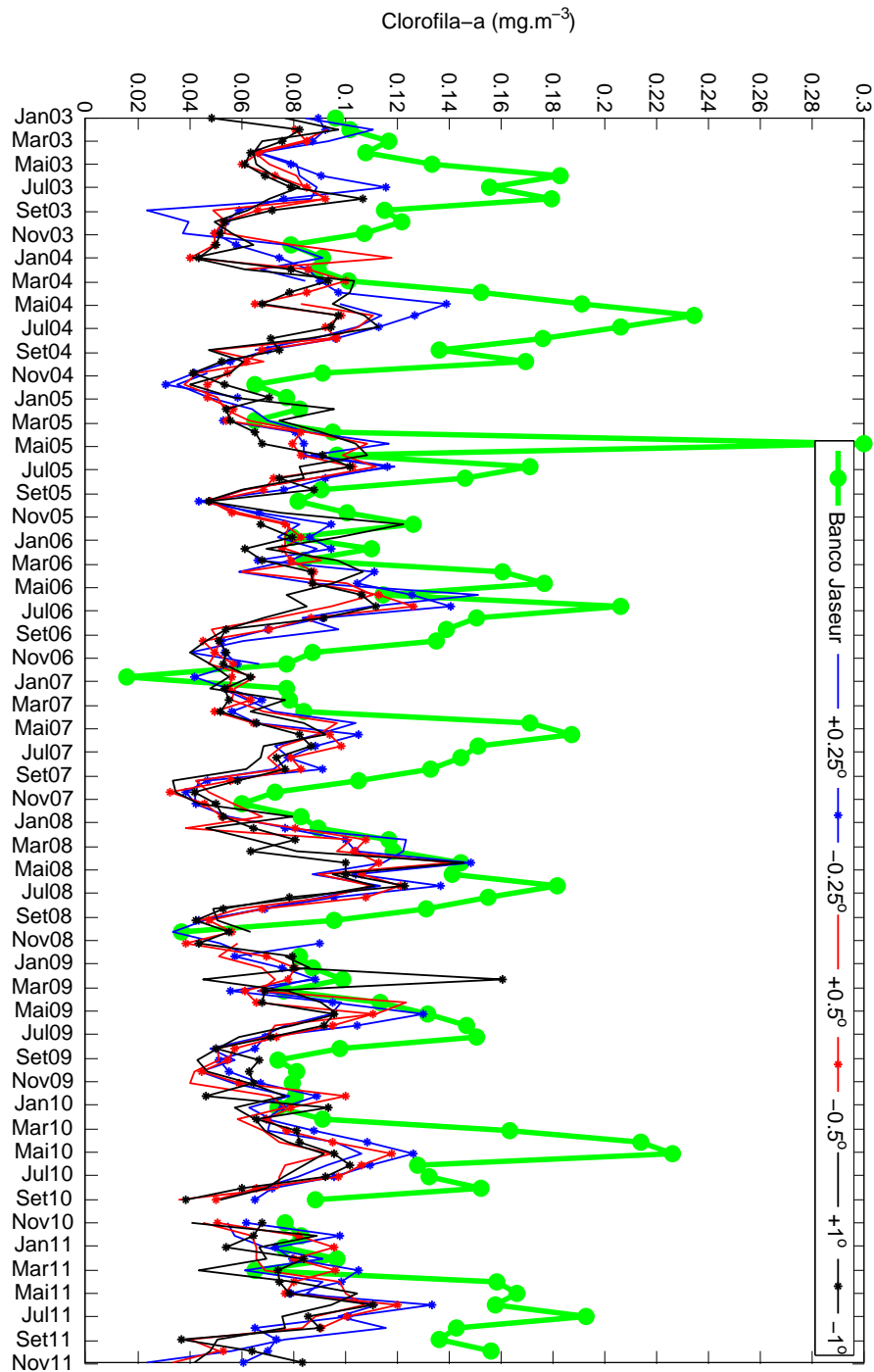


Figura 6.7: Série temporal da distribuição de clorofila-*a* ($mg.m^{-3}$) sobre o Banco de Jaseur. Valores negativos/positivos indicam latitudes ao sul/norte do topo do monte. O topo do monte se distingue por apresentar maiores concentrações em relação ao oceano ao redor. Os pontos de análise sobre e próximo ao Banco de Jaseur podem ser observados na Figura 5.1.

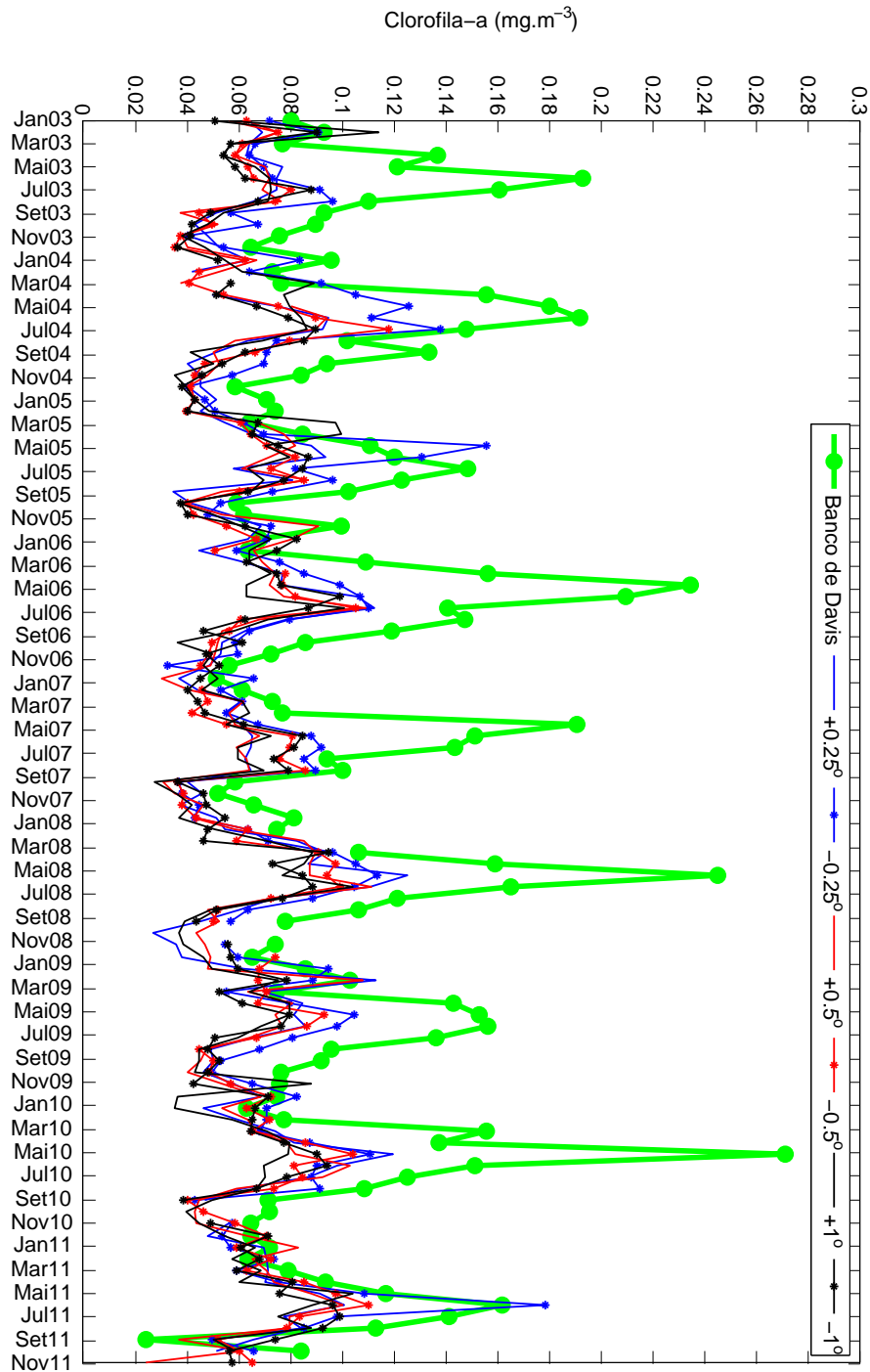


Figura 6.8: Série temporal da distribuição de clorofila- a ($mg.m^{-3}$) sobre o Banco de Davis. Valores negativos/positivos indicam latitudes ao sul/norte do topo do monte. O topo do monte apresenta concentração de 2 a 3 vezes maiores do que o oceano ao redor. Os pontos de análise sobre e próximo ao Banco de Davis podem ser observados na Figura 5.1.

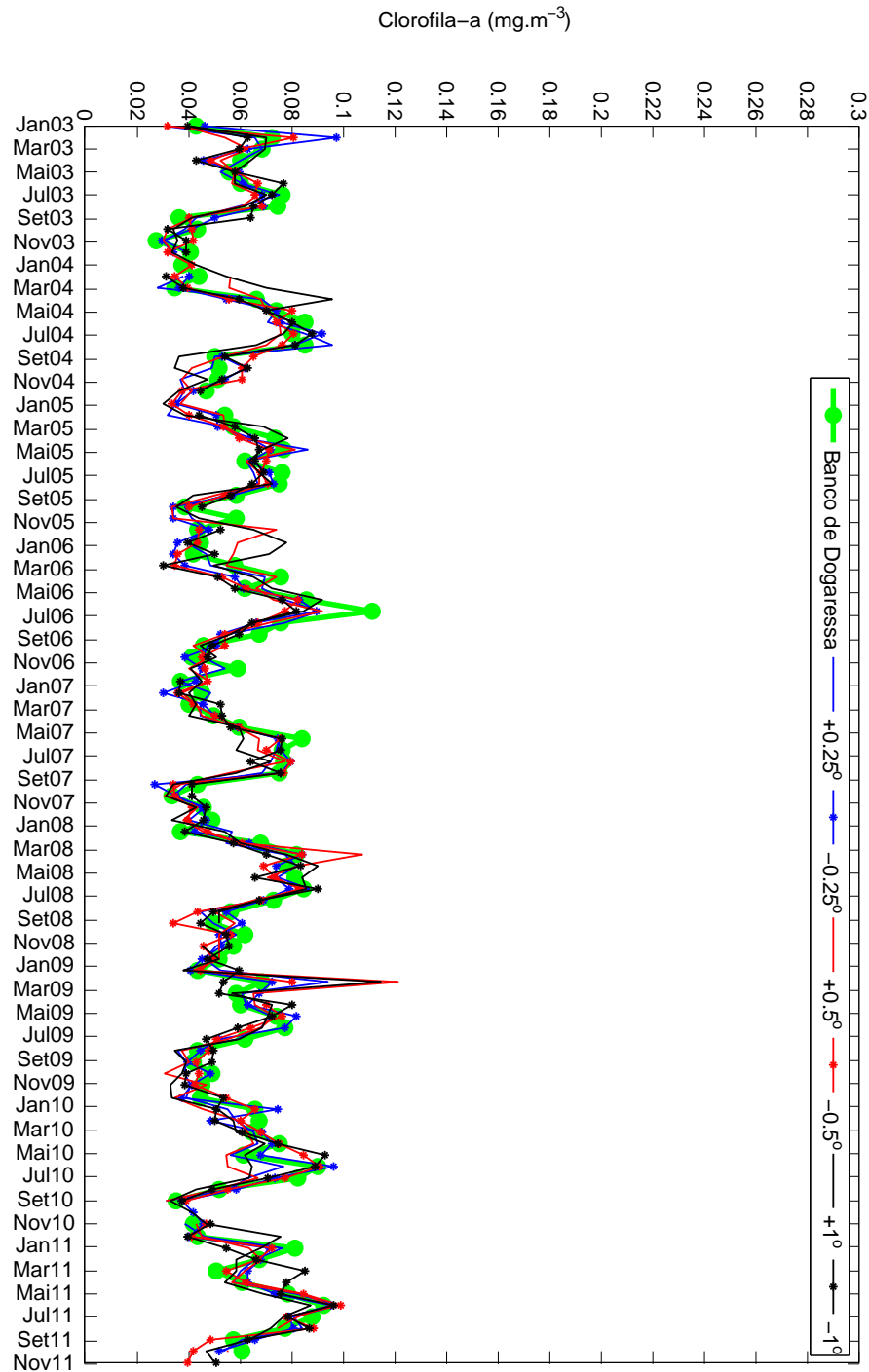


Figura 6.9: Série temporal da distribuição de clorofila-*a* ($mg.m^{-3}$) sobre o Banco de Dogaressa. Valores negativos/positivos indicam latitudes ao sul/norte do topo do monte. O topo apresenta comportamento e níveis de concentração iguais ao do oceano ao redor. Os pontos de análise sobre e próximo ao Banco de Dogaressa podem ser observados na Figura 5.1.

Com relação ao aspecto espacial, no Banco de Vitória (Figuras 6.6) os resultados mostraram que, com exceção do ponto ao sul do monte (-1°), não foram claramente identificadas diferenças entre o topo do monte e o seu redor. Tal característica pode ser associada à proximidade do monte com a plataforma continental (Bancos de Abrolhos e Besnard), a presença do Vórtice de Abrolhos e sua variabilidade espaço-temporal (Soutelino et al., 2011), bem como a advecção associada ao bloqueio do fluxo da CB pela CVT e/ou o padrão de escoamento da CB na área.

No perfil sobre o Banco de Jaseur (Figura 6.7) foi observado um padrão distinto em relação ao Banco de Vitória. Na região central do monte foram observadas as maiores concentrações, principalmente nos meses de inverno, como mostrado na Figura 6.5, e as menores no oceano profundo ao seu redor. Porém, em alguns períodos (inverno de 2006, 2008 e 2009) as concentrações nos pontos $0,25^\circ$ e $0,5^\circ$ ($\sim 0.14 \text{ mg.m}^{-3}$) aproximaram-se das encontradas sobre o topo ($\sim 0,18 \text{ mg.m}^{-3}$). Possivelmente, essas variações pontuais estão associadas a processos ou condições também pontuais, as quais estão fora do escopo deste estudo. O perfil sobre o Banco de Davis apresentou a maior diferenciação entre a concentração de clorofila-*a* no topo do monte e o seu redor, comparativamente aos demais montes submarinos da CVT. De modo geral as concentrações sobre o topo estiveram cerca de duas a três vezes maiores em relação aos pontos $0,25^\circ$, os quais foram equivalentes ao topo apenas nos invernos de 2005 e 2011. Por fim, o perfil sobre o Banco de Dogaressa (Figura 6.9) não apresentou distinção em relação ao oceano profundo, como observado também na Figura 6.5.

A diferenciação sazonal foi investigada comparando-se a concentração de clorofila-*a* sobre o topo dos montes submarinos da CVT com aquela referente a latitude de 1° ao sul e ao norte do respectivo monte. Durante o período chuvoso (Dezembro a Fevereiro) (Figura 6.10) as concentrações sobre os montes foram estatisticamente similares àquelas no oceano profundo em todos os montes analisados (Banco de Vitória, Jaseur, Davis e Dogaressa).

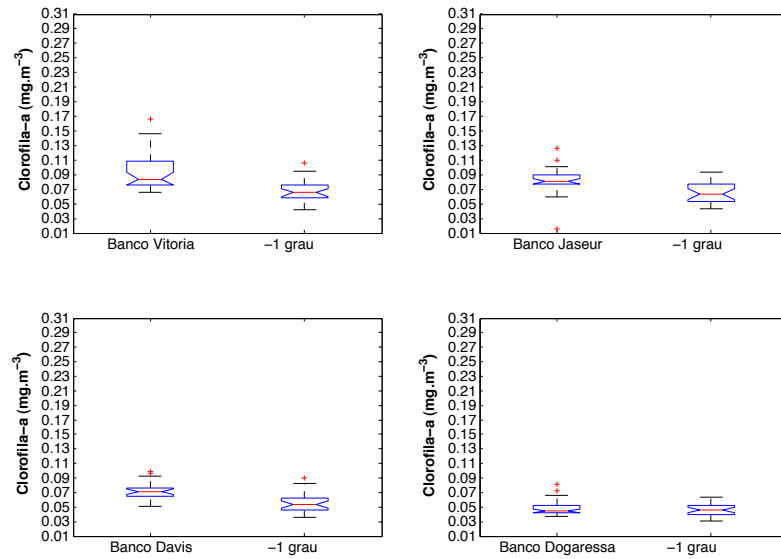


Figura 6.10: Gráfico *boxplot* das médias sazonais de clorofila-*a* ($mg.m^{-3}$) sobre os Bancos de Vitória, Jaseur, Davis e Dogaressa no período chuvoso. A linha inferior e superior da caixa azul representam 25% e 75% dos dados, respectivamente, a linha vermelha a mediana, a linha preta tracejada o desvio padrão e as cruces em vermelho os valores fora do padrão observado.

Processo inverso foi evidenciado no período seco (Julho a Agosto) (Figura 6.11), quando há distinção entre as médias estimadas sobre o monte e ao seu redor. Porém, os resultados também mostraram que houve sobreposição do intervalo de desvio padrão entre os dois pontos nos quatro montes analisados.

Para melhor investigar este aspecto de sobreposição, a análise da distribuição da média mensal de clorofila-*a* entre os anos de 2003 a 2011 (Figura 6.12) mostrou que para o Banco de Vitória apenas no mês de Junho o topo do monte submarino apresentou concentrações maiores do que nos pontos 1^o ao norte e ao sul.

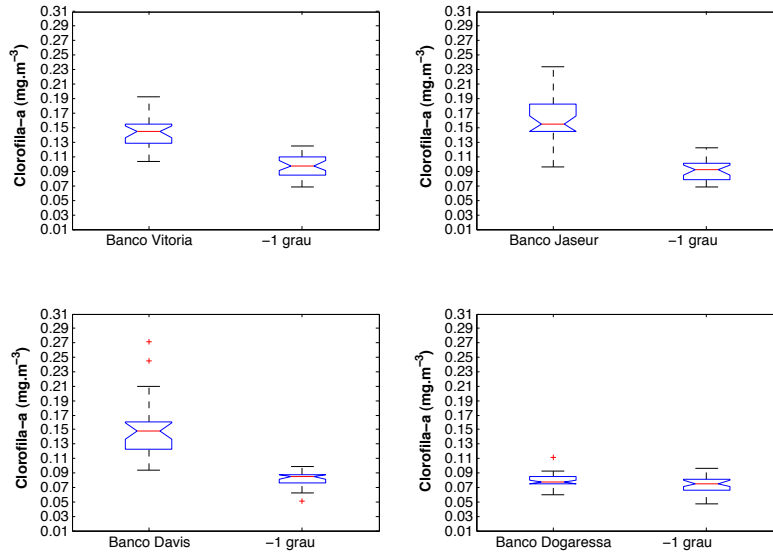


Figura 6.11: Gráfico *boxplot* das médias sazonais de clorofila-*a* ($mg.m^{-3}$) sobre os Bancos de Vitória, Jaseur, Davis e Dogaressa no período seco. A linha inferior e superior da caixa azul representam 25% e 75% dos dados, respectivamente, a linha vermelha a mediana, a linha preta tracejada o desvio padrão e as cruzes em vermelho os valores fora do padrão observado.

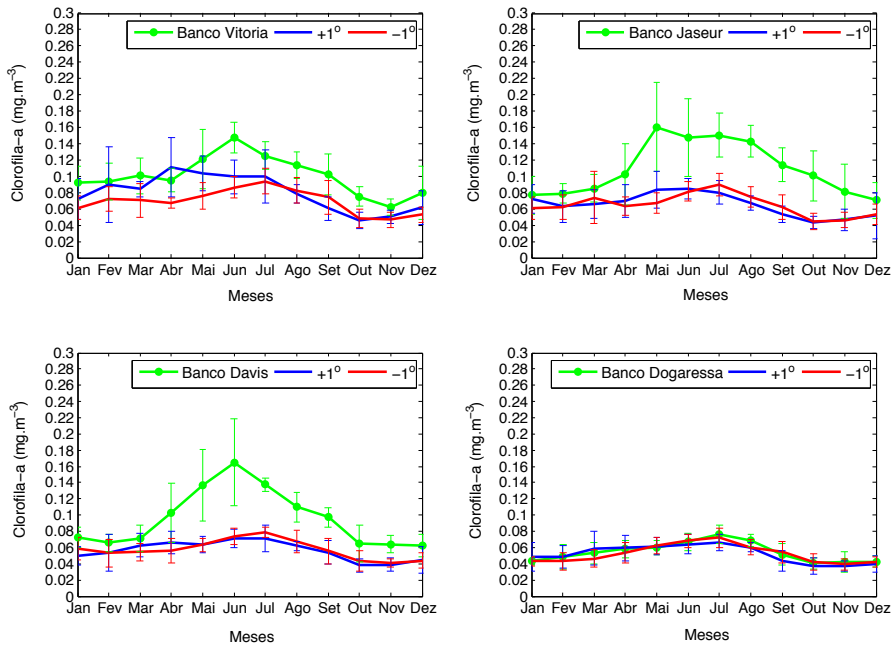


Figura 6.12: Média mensal de clorofila-*a* ($mg.m^{-3}$) entre 2003 e 2011 com erro padrão associado para os Bancos de Vitória, Jaseur, Davis e Dogaressa.

No Banco de Jaseur pode-se afirmar que estatisticamente as concentrações sobre o topo são maiores do que no oceano ao redor nos meses de Maio a Outubro, enquanto o mesmo pode ser afirmado para o Banco de Davis entre os meses de Maio a Setembro. O topo do Banco de Dogaressa não apresentou distinções em relação ao oceano circundante. Considerando-se os resultados apresentados até o momento, acredita-se haver evidências suficientes que suportem a hipótese de que a presença da cadeia atua como um fator de aumento na concentração de clorofila-*a* no oceano oligotrófico. Tal resultado seria esperado haja vista os inúmeros estudos feitos no monte submarino Cobb (Dower et al., 1992; Comeau et al., 1995), monte submarino Great Meteor (Mouriño et al., 2001) e monte Fieberling (Haury et al., 2000), onde isso de fato ocorre.

Apesar de não estar no escopo do presente trabalho, o comportamento do zooplâncton e da comunidade de peixes também podem sofrer variações com a presença de montes submarinos. O mecanismo de *bottom trapping* é muitas vezes observado sobre essas estruturas, podendo ocorrer ou não, na qual os organismos zooplancônicos permanecem presos sobre os topos dos montes durante o processo de migração vertical, sendo rapidamente consumidos por predadores visuais. Com o fraco desenvolvimento da comunidade zooplancônica, e conseqüentemente da cadeia trófica, a concentração de peixes sobre montes submarinos é algo escasso (Rogers, 1994). Agregações de peixes podem ser mantidas através da predação sobre migradores verticais que são interceptados e aprisionados durante o processo de migração (Isaacs and Schwartzlose, 1965; Genin et al., 1988, 1944; Williams and Koslow, 1997; Fock et al., 2002).

De acordo com Tenenbaum et al. (2007), as células de fitoplâncton encontradas sobre os montes da CVT durante o Projeto REVIZEE foram de organismos menores, geralmente picoplancônica heterotrófica e nanoplâncton autotrófico. Possivelmente isso indica que os processos de ressurgência não permanecem por tempo suficiente para desenvolver a cadeia trófica. Silva (2001) demonstrou através dos resultados do Projeto REVIZEE, que o aumento da biomassa sobre os montes foi de 2 a 3 vezes maior que a concentração

de clorofila-*a* no oceano profundo. Desta forma, propiciando um acúmulo de células de características oligotróficas, sem impacto para desenvolver a cadeia trófica e atrair peixes de valor comercial (Dias, 1996; Susini-Ribeiro, 1999).

Segundo Silva (2001), a comunidade de fitoplâncton observada sobre os montes durante as campanhas do Projeto REVIZEE não difere significativamente das águas ao redor em termos de pigmentação e tamanho celular, sugerindo que os processos físicos ligados ao aumento da biomassa sobre os montes propiciam um acúmulo de células de características oligotróficas. Assim, o fitoplâncton favorece a produção regenerada, sem impacto no suporte de espécies de peixes com interesse comercial (Dias, 1996; Susini-Ribeiro, 1999).

Destaca-se no entanto que o simples fato de existir o monte não refletiu em um incremento na concentração de clorofila-*a* associado a ele (ex. Dogaressa) e que os montes apresentam aspectos distintos no que se refere à interação com correntes superficiais e perfis termohalinos.

6.3 Aspectos termohalinos e dinâmicos do oceano

A análise do campo hidrodinâmico na região da CVT se iniciará por uma breve descrição qualitativa dos campos horizontais de velocidade obtidos da modelagem numérica. Da mesma maneira, os resultados do perfil vertical de correntes obtidos *in situ* pelo ADCP serviram para comprovar feições e características presentes na CVT que foram observadas na modelagem numérica.

No campo médio superficial para o mês de Janeiro (Figuras 6.13) o sistema de correntes mostrou a presença de um dipolo vortical na região do Embaiamento de Tubarão entre $38^{\circ}W$ e $40^{\circ}W$. O vortice ciclônico esteve centrado em aproximadamente $20,4^{\circ}S$ com diâmetro em torno de 150 km abrangendo desde a quebra de plataforma até as imediações do Banco de Vitória. O vórtice anticiclônico localizou-se ao sul, centrado em

aproximadamente $21,3^{\circ}S$, com diâmetro em torno de 140 km. Esse sistema de dipolo foi identificado até a profundidade de 400 m (Figura 6.14), mas nesse caso claramente associado a um fluxo inverso daquele superficial, possivelmente associado a CCOI. Apesar desta feição ser uma importante questão ainda em pesquisa, ela não faz parte do escopo deste estudo e não será discutida.

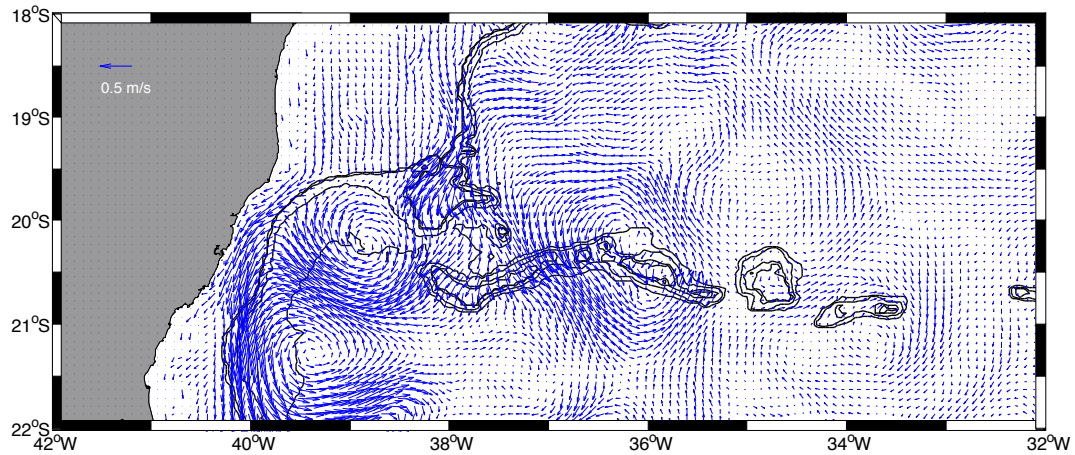


Figura 6.13: Campo de velocidade horizontal ($m.s^{-1}$) em 20 m - Janeiro/2005.

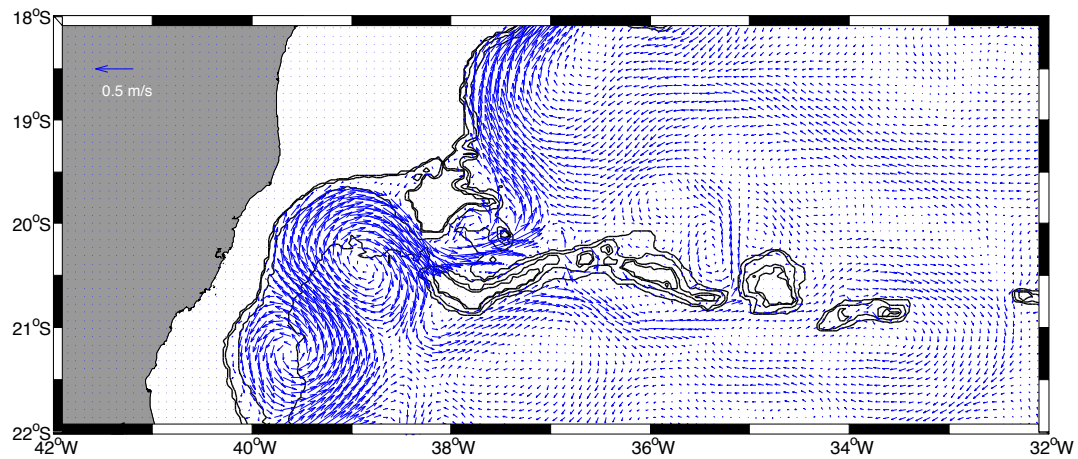


Figura 6.14: Campo de velocidade horizontal ($m.s^{-1}$) em 400 m - Janeiro/2005.

O vórtice mais ao norte esteve localizado na mesma região onde já foi documen-

tada a presença do VV (Schmid et al., 1995), tendo o mesmo sentido ciclônico, o qual favoreceria o processo de ressurgência na região (Gaeta et al., 1999; Costa, 2007). No transecto de retorno do Navio Oc. Antares em Dezembro/2011 (Figura 6.15) também observou-se um giro ciclônico centrado no Embaiamento de Tubarão até a profundidade de 175 m, sendo possivelmente o VV.

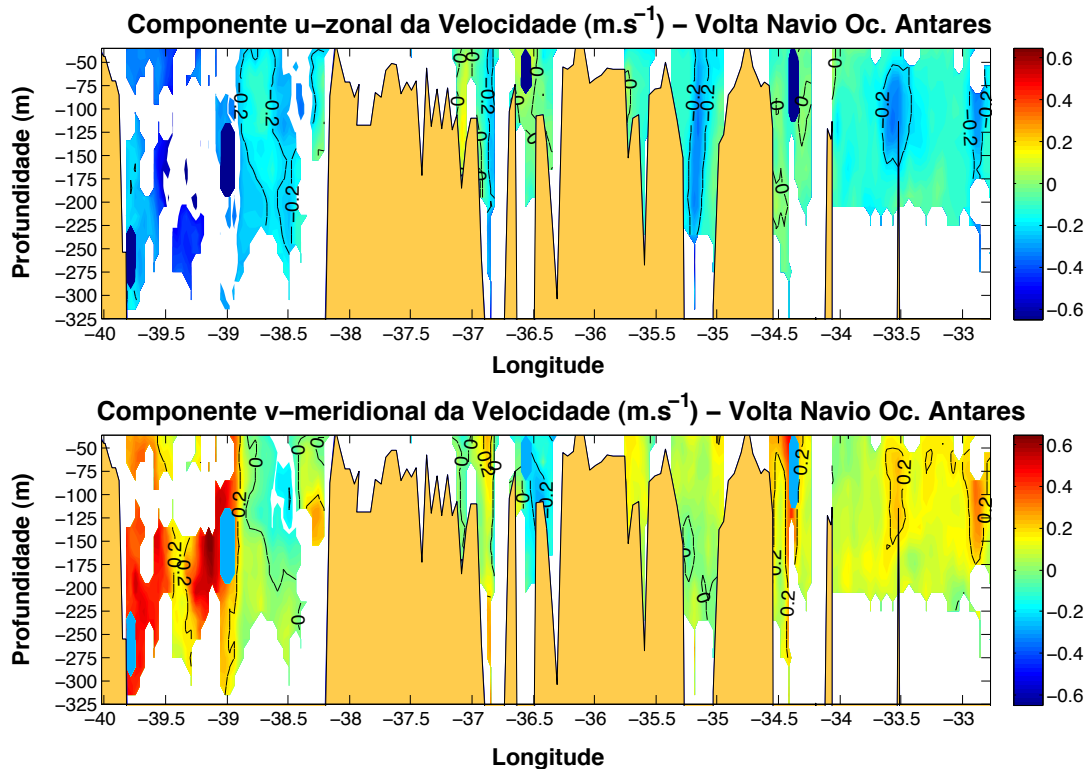


Figura 6.15: Componente meridional e zonal da velocidade ($m.s^{-1}$) obtidas do ADCP de casco do Navio Oc. Antares sobre a CVT na volta da Ilha de Trindade (30/11 a 07/12/2011). Ao longo da trajetória merecem destaque os limites do Bancos de Vitória ($38,3^{\circ}S$ e $36,9^{\circ}S$), Banco de Jaseur ($36,5^{\circ}S$ e $35,25^{\circ}S$) e Banco de Davis ($35^{\circ}S$ e $34,5^{\circ}S$). Os transectos podem ser observados na Figura 5.3.

O sinal térmico superficial desta feição (Figura 6.16) não foi identificado nas imagens TSM GHRSSST (*Global High Resolution Sea Surface Temperature*) pois a composição resultante não evitou o problema da contaminação por nuvens na região naquele período. Devido à baixa frequência do ADCP não foi possível observar as velocidades

de corrente em baixas profundidades (sobre os montes) e em menor escala espacial, interferindo na observação de velocidades próximas aos montes submarinos em escala de metros.

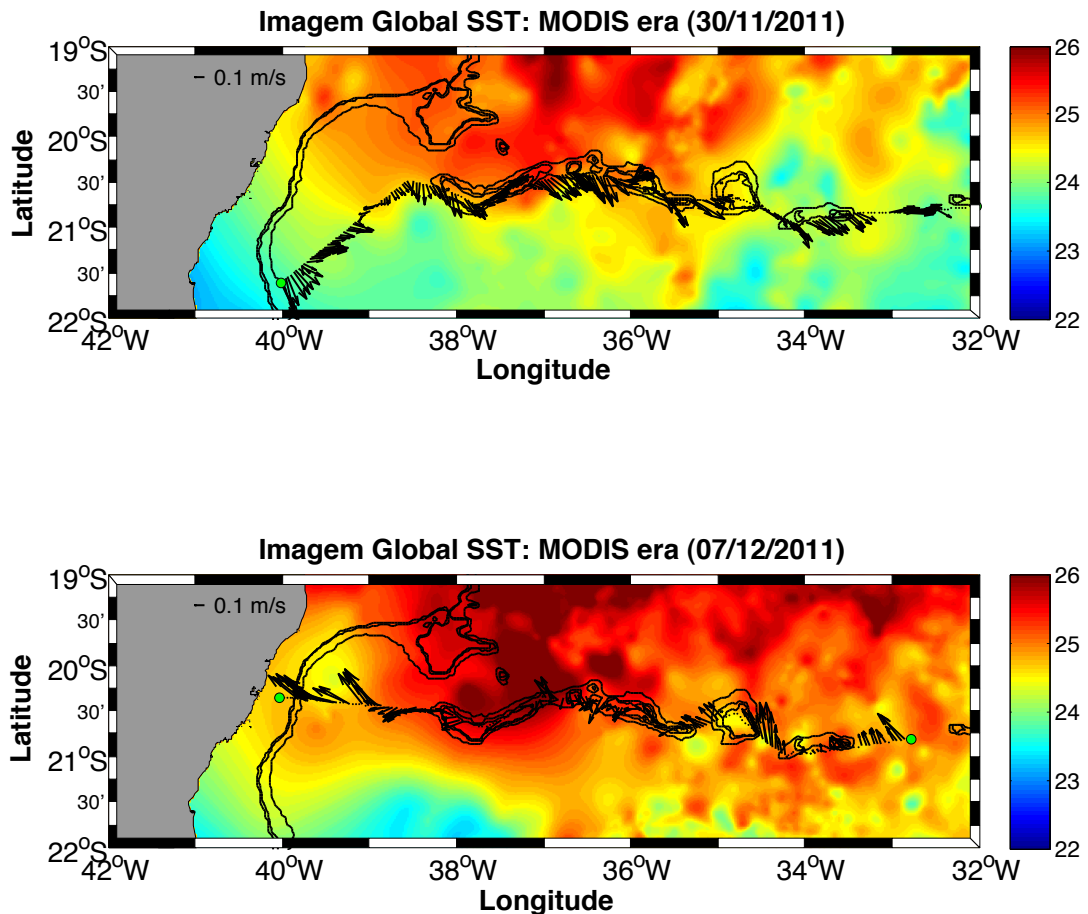


Figura 6.16: Imagem de TSM ($^{\circ}C$) do dia 30/11 (superior) e 07/12/2011 (inferior) sobreposta aos vetores de velocidade ($m.s^{-1}$) superficial (20 m) coletados pelo ADCP do Navio Oc. Antares. O transecto pode ser observado na Figura 5.3.

No trajeto de ida até a Ilha de Trindade (Figura 6.17) foi possível observar a ocorrência de um forte fluxo superficial fluindo para o sul entre o Banco de Vitória e o Banco de Jaseur, passando pelo Banco de Montague, entre as longitudes de $37^{\circ}W$ e $36,3^{\circ}W$, com velocidade da componente meridional variando entre $0,2$ e $0,6 m.s^{-1}$ nos primeiros 150 m de profundidade. Esse canal representa um trecho da trifurcação da

CB fluindo para sul ao passar pela CVT, como já documentado por [Silveira \(2006\)](#).

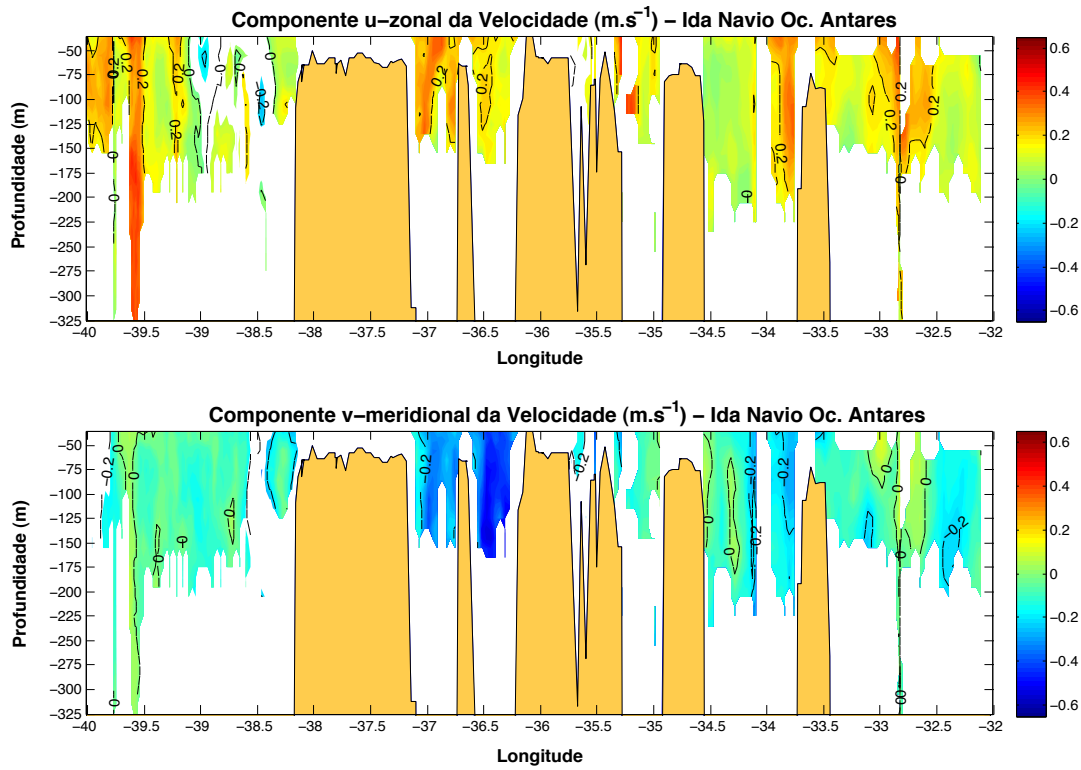


Figura 6.17: Componente meridional e zonal da velocidade ($m.s^{-1}$) obtidas do ADCP de casco do Navio Oc. Antares sobre a CVT na ida à Ilha de Trindade (30/11 a 07/12/2011). Ao longo da trajetória merecem destaque os limites dos Bancos de Vitória ($38,2^{\circ}S$ e $37,2^{\circ}S$), Banco de Jaseur ($36,25^{\circ}S$ e $35,3^{\circ}S$) e Banco de Davis ($35^{\circ}S$ e $34,5^{\circ}S$). Os transectos podem ser observados na Figura 5.3.

Através dos dados da modelagem numérica foi possível observar a trifurcação da CB ao passar pela CVT ([Silveira, 2006](#); [Saulo, 2007](#); [Passos, 2011](#)), a qual ficou bem evidenciada ao nível de 100 m de profundidade (Figura 6.18). Nessa divisão observou-se uma ramificação da CB próximo ao Banco de Abrolhos, em torno de $19,6^{\circ}S$ com velocidade meridional de $-0,2 m.s^{-1}$ fluindo para o sul em um canal estreito de aproximadamente 15 km de largura. No segundo canal, entre o Banco de Vitória e o Banco de Besnard (aproximadamente 40 km de largura), outra ramificação da CB anexada ao talude norte do monte submarino fluiu em direção à costa, com núcleo de velocidade

centrado em 80 m de profundidade e velocidade zonal em torno de $-0,35 \text{ m.s}^{-1}$. Por fim, o terceiro canal de fluxo da CB contornou a extremidade leste do Banco de Vitória, passando entre o monte submarino e o Banco de Jaseur, de aproximadamente 60 km de largura (atravessando o Banco de Montague), retornando em direção à costa com uma velocidade zonal mais fraca, em torno de $-0,15 \text{ m.s}^{-1}$, também centrado em 80 m de profundidade. Após passar pelos canais entre o Banco de Vitória e o Banco de Jaseur, a CB retornou em direção à costa ao longo da latitude de 21°S , onde foi incorporada ao fluxo costeiro da CB, aumentando o transporte de volume (Silveira, 2006; Saulo, 2007; Santos, 2011; Pimentel, 2012).

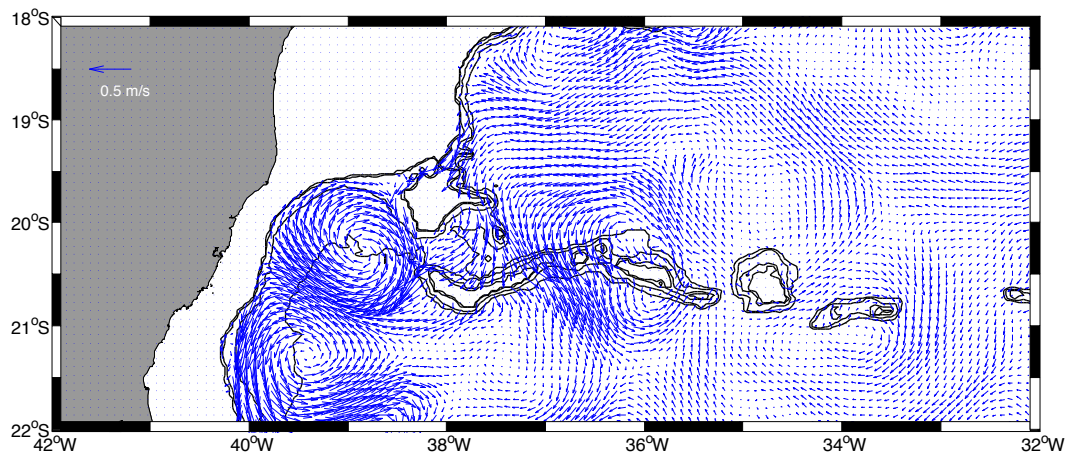


Figura 6.18: Campo de velocidade horizontal (m.s^{-1}) em 100 m - Janeiro/2005.

Nesse contexto, os montes parecem exercer um importante papel na divisão e posterior reorganização da CB, cujo fluxo principal retorna em direção à costa, alimentando o vórtice anticiclônico e voltando a fluir para o sul. A CB possivelmente influenciou na formação de um vórtice anticiclônico ao redor do Banco de Jaseur, como visto na Figura 6.18. Entretanto, esse giro não foi o responsável pela formação do Cone de Taylor, já que este foi formado por um fluxo residual secundário da interação do monte submarino com a corrente incidente.

Apesar disso, esse sistema de correntes superficiais é responsável pelo espalhamento de partículas sobre e ao redor dos montes submarinos, bem como a geração dos sistemas secundários de giro. Em termos de velocidade, os dados de ADCP ajudaram a confirmar as maiores/menores velocidades de corrente superficial na porção oeste/leste da CVT, como observado também nos resultados da modelagem numérica.

Comparativamente, no campo médio superficial de Julho/2005 (Figuras 6.19) foi observado um maior desenvolvimento de instabilidades ao longo e associados à CVT, as quais poderiam favorecer a ascensão ou subsidência de água sobre e próximo aos montes submarinos. Vórtices anexados aos montes submarinos nesse sistema são capazes de gerar enriquecimento da produtividade planctônica e bentônica (Darnitski, 1980; Lopukhin, 1986; Sorokin, 1987; Boehlert and Genin, 1987).

Os resultados mostraram um único vórtice ciclônico próximo ao Embaiamento de Tubarão, com núcleo centrado em aproximadamente $20,75^{\circ}S$. Nesse período a CB também trifurcou-se nas imediações do Banco de Vitória e ao sul do Banco de Abrolhos, porém com menor intensidade de fluxo. Resultados semelhantes foram encontrados, por exemplo, por Silveira (2006) e Saulo (2007).

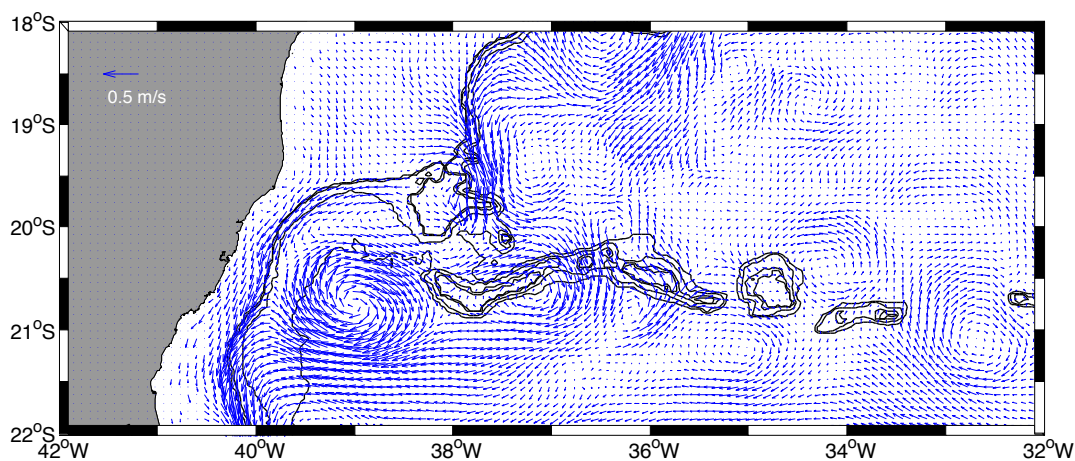


Figura 6.19: Campo de velocidade horizontal ($m.s^{-1}$) em 20 m - Julho/2005.

Ainda no período de inverno, os dados de ADCP do Navio Oc. Cruzeiro do Sul, obtidos no final de Julho/2013 (Figura 6.20), também mostraram a presença de uma formação ciclônica (possivelmente o VV) até a profundidade de 250 m, evidência essa também confirmada através da imagem de TSM sobreposta aos vetores de velocidade superficiais (Figura 6.21).

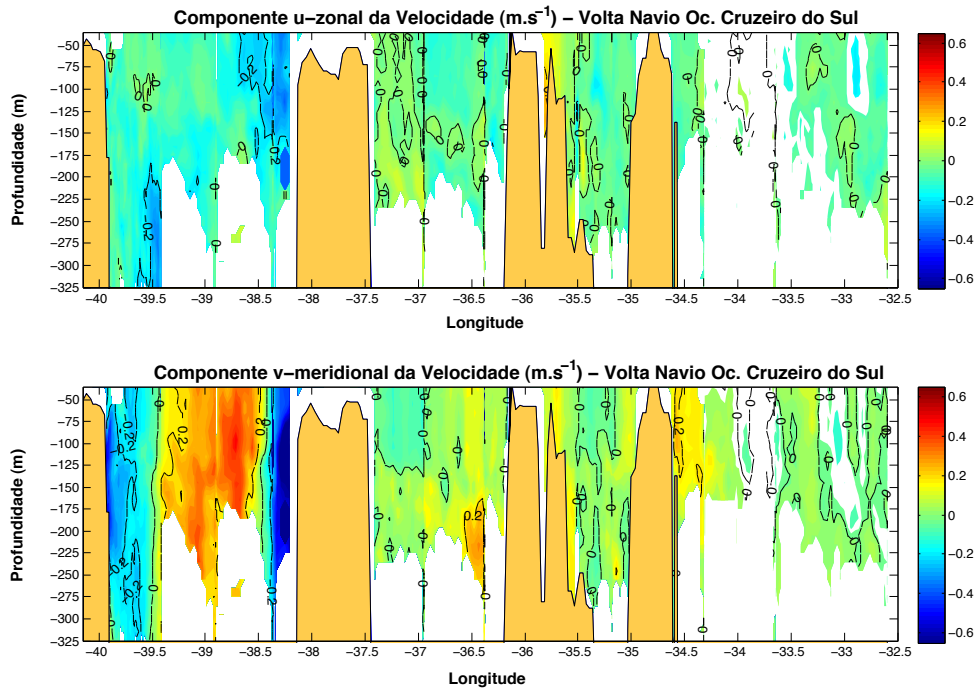


Figura 6.20: Componente meridional e zonal da velocidade ($m.s^{-1}$) obtidas do ADCP de casco do Navio Oc. Cruzeiro do Sul sobre a CVT na volta da Ilha de Trindade (27/07 a 30/07/2013). Ao longo da trajetória merecem destaque os limites do Bancos de Vitória ($38,2^{\circ}S$ e $37,5^{\circ}S$), Banco de Jaseur ($36,25^{\circ}S$ e $35,3^{\circ}S$) e Banco de Davis ($35^{\circ}S$ e $34,5^{\circ}S$). Os transectos podem ser observados na Figura 5.3.

Neste período, o vórtice esteve próximo ao Banco de Vitória e apresentou velocidades meridionais mais intensas com tendência de ressurgência de água próximo ao monte. No mês de Julho, ao contrário do observado no mês de Janeiro, nos primeiros 100 m de profundidade não observou-se a formação do giro sobre o Banco de Jaseur, e sim um fluxo superficial fraco ($0,2-0,4 m.s^{-1}$) o qual dividiu o monte submarino em duas regiões, similar ao observado nas simulações numéricas (Figura 6.22).

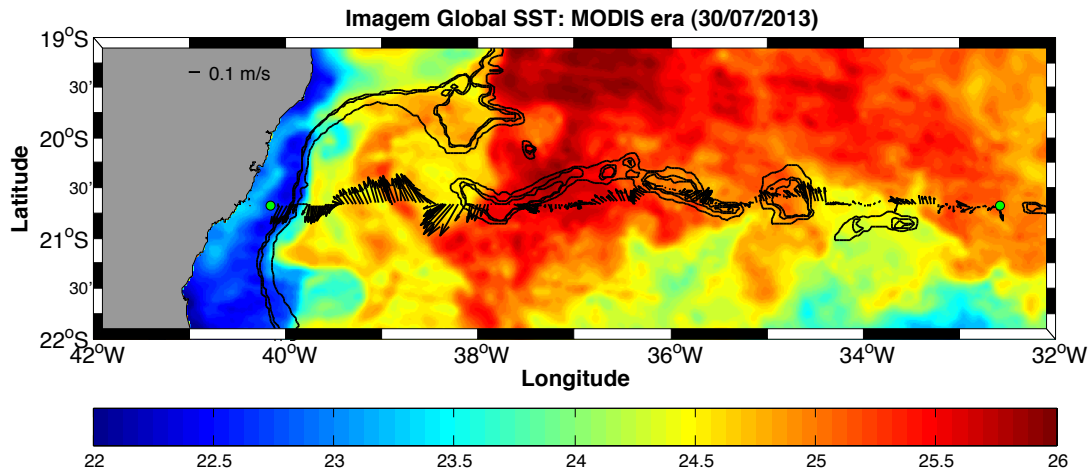


Figura 6.21: Imagem de TSM ($^{\circ}C$) do dia 30/07/2013 sobreposta aos vetores de velocidade ($m.s^{-1}$) superficial (20 m) coletados pelo ADCP do Navio Oc. Cruzeiro do Sul. O transecto pode ser observado na Figura 5.3.

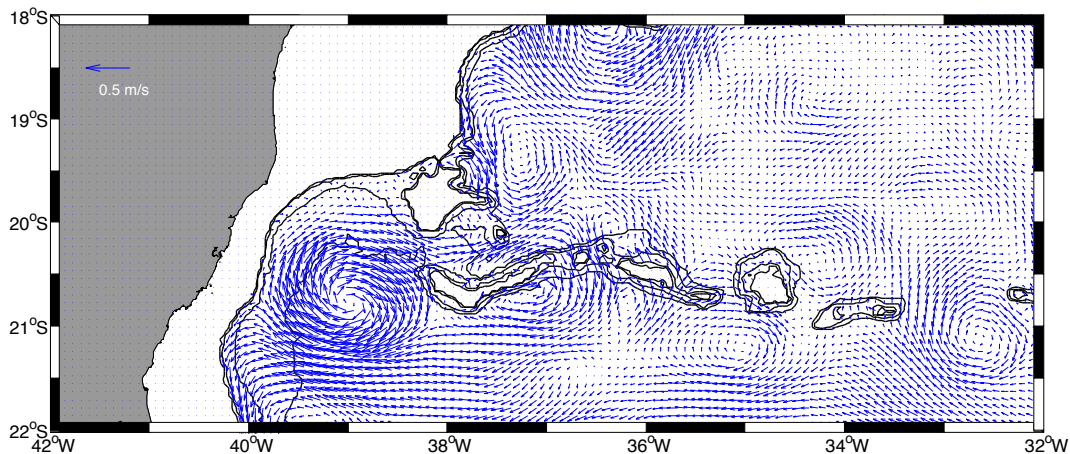


Figura 6.22: Campo de velocidade horizontal ($m.s^{-1}$) em 100 m - Julho/2005.

De acordo com os resultados da simulação, entre esses dois fluxos formou-se um vórtice anticiclônico ao sul do monte. Nos dados de ADCP do Cruzeiro do Sul (Figura 6.20) foi possível observar as baixas velocidades associadas a esse período sazonal ao redor do Banco de Jaseur (em torno de $0,1 m.s^{-1}$), entretanto, devido à trajetória do navio não foi possível identificar o vórtice anticiclônico ao sul. Se esse achado é uma indicação de uma ocorrência permanente deste tipo de feição neste período do ano, isso

ainda é uma questão aberta e requer mais dados para comprovação.

Na região do Banco de Davis, os dados de correntometria obtidos tanto pelo Navio Oc. Antares (Dezembro/2011) quanto pelo Cruzeiro do Sul (Julho/2013) indicaram baixas velocidades na região (em torno de $0,2 \text{ m.s}^{-1}$). Ainda durante o inverno, foi possível evidenciar um vórtice anticiclônico ao redor da estrutura, com a maior intensidade da componente meridional da velocidade ($0,2 \text{ m.s}^{-1}$) no lado leste ($34,5^\circ W$) do que no lado oeste ($35,2^\circ W$), com velocidade em torno de $0,1 \text{ m.s}^{-1}$ (Figura 6.20). Essa circulação anticiclônica observada no inverno ao redor do Banco de Davis pode estar de acordo com o desenvolvimento da Coluna de Taylor, observada no perfil vertical das isopicnais. Segundo a teoria apresentada no item Fundamentação Teórica a interação entre o campo dinâmico resulta no desenvolvimento de feições como a Coluna ou o Cone de Taylor, os quais devem modificar o campo termohalino associado. Para avaliar a possibilidade de formação dessas estruturas foram estimados parâmetros e números adimensionais para os Bancos de Vitória, Jaseur, Davis e Dogaressa (Tabela 6.1), conforme descrito no item Fundamentação Teórica.

Tabela 6.1: Números adimensionais e parâmetros calculados para os Bancos de Vitória, Jaseur, Davis e Dogaressa nos meses de Janeiro e Julho/2005. O valor δ representa a relação entre h_o e H , R_o é número de Rossby, B_R é o Parâmetro de Bloqueio, N é a frequência de Brünt-Vaisälla, B é o número de Burguer e h_c é a extensão vertical do Cone de Taylor a partir do topo do monte.

Números e parâmetros	Janeiro				Julho			
	Vitória	Jaseur	Davis	Dogaressa	Vitória	Jaseur	Davis	Dogaressa
δ	0,95	0,96	0,98	0,96	0,95	0,96	0,98	0,96
R_o	0,105	0,095	0,035	0,066	0,073	0,07	0,038	0,053
B_R	1,918	1,748	0,655	0,132	1,338	1,285	0,695	0,105
N	0,018	0,015	0,02	0,008	0,0094	0,0049	0,004	0,009
B	92,16	900	1024	972	25,13	96,06	40,96	32,74
h_c	41,6	50	37,5	93,7	79,78	153,06	187,5	83,3

Os quatro montes submarinos apresentaram δ acima de 0,7, informando que são montes submarinos rasos, segundo a classificação de [Chapman and Haidvogel \(1992\)](#), enquanto que o valor de R_o indicou que em ambos os períodos houve a possibilidade de

se desenvolver o Cone ou a Coluna de Taylor (já que $R_o < 0,15$ - [Chapman and Haidvogel \(1992\)](#)) para todos os montes analisados. Segundo os mesmos autores, montes submarinos rasos tendem a elevar as isopicnais para regiões mais próximas à superfície, podendo ter maior/menor extensão vertical com o aumento/diminuição do fluxo incidente.

Os resultados encontrados para o B_R , como descrito no item Fundamentação Teórica, mostraram que o giro anticiclônico tende a permanecer sobre o topo dos montes submarinos analisados ($B_R \simeq 4$), dadas as características morfológicas dos montes. Os valores de B indicaram a estratificação da coluna de água, quanto menor os números, menos estratificado o sistema encontra-se. Desta forma, no mês de Julho os resultados dos números mostraram ser uma ordem de grandeza menores, comparados com os resultados do mês de Janeiro, indicando mistura do sistema oceânico superficial no período de inverno, e estratificação no verão.

Apesar do valor de R_o ter indicado que em ambos os montes submarinos estudados (Vitória, Jaseur e Davis) há características de desenvolver o Cone de Taylor ao longo do ano, o desenvolvimento para Coluna de Taylor está condicionado por duas características: a estratificação da coluna de água e a profundidade do topo do monte submarino. Os resultados de h_c mostraram que em Janeiro a extensão do Cone de Taylor foi limitada entre 40 e 50 m nos Bancos de Vitória, Jaseur e Davis (topo em 50 m), ficando limitada verticalmente pela estratificação superficial. O Banco de Dogaressa apresentou desenvolvimento vertical maior da estrutura ($h_c \simeq 90$ m), quer seja porque a profundidade média do topo do monte é maior ($\simeq 150$ m), e também porque a estratificação vertical foi reduzida (Tabela 6.1) para impedir o seu desenvolvimento vertical. No mês de Julho, com a mistura da coluna de água, o valor de h_c foi maior em todos os montes analisados, atingindo a superfície nos montes que possuem profundidade média de 50 m (Vitória, Jaseur e Davis), enquanto que no Banco de Dogaressa o desenvolvimento vertical, apesar de ser em torno de 80 m a partir do topo do monte, não foi capaz de

atingir a superfície devido a profundidade média do topo do monte ser três vezes maior do que a dos demais analisados.

Os resultados de Janeiro para o Perfil 1 (Esquerda - Figura 6.23) mostraram o desenvolvimento de uma perturbação no campo isopicnal associada ao Banco de Vitória, elevando as isopicnais.

A elevação das isopicnais sobre o topo do monte condiz com a formação do Cone de Taylor em um ambiente estratificado (Owens and Hogg, 1980), sendo um processo restrito ao fundo do monte submarino por não possuir fluxo vertical suficiente para romper a piconclina, impedindo também a transferência de nutrientes do topo do monte submarino para os níveis superficiais.

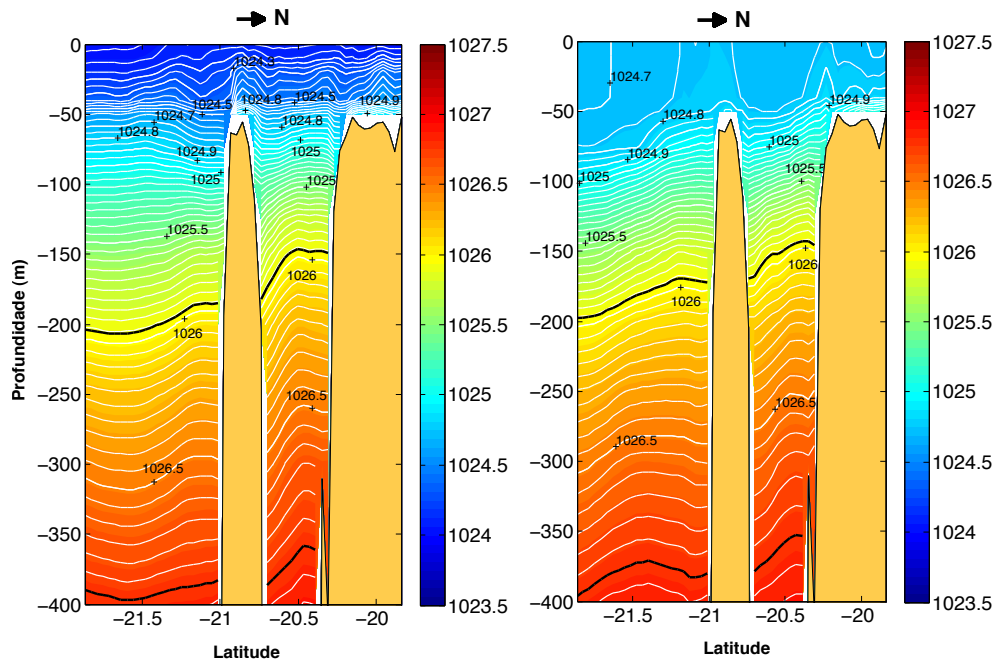


Figura 6.23: Perfil 1 - Massa específica ($kg.m^{-3}$) (esquerda) - Janeiro/2005 e (direita) - Julho/2005. As isopicnais destacadas em preto representam os limites da ACAS. A plataforma continental está centralizada na latitude de $20^{\circ}S$, enquanto entre $20,7^{\circ}S$ e $21^{\circ}S$ encontra-se o Banco de Vitória. O transecto pode ser observado na Figura 5.2.

A elevação das isopicnais está associada à incidência do fluxo diretamente no lado norte do monte submarino, a qual causa um empilhamento de água junto ao flanco

do monte submarino, gerando uma força gradiente de pressão contrária ao sentido do fluxo, balanceada pela força de Coriolis. Esse processo resulta em uma subida de água fria para o topo do monte submarino, deslocando a água mais quente e menos densa que estava sobre o topo em direção à jusante do fluxo. Na Figura 6.23 (esquerda) esse processo foi observado com a incidência do fluxo vindo de norte, causando a elevação das isopicnais, e o posterior decaimento à jusante, gerando a perturbação sobre o topo. No período de inverno (direita da Figura 6.23) a desestratificação da coluna de água aliada a diminuição da intensidade da velocidade do fluxo incidente, diminui o efeito de elevação e decaimento das isopinais (Huppert and Bryan, 1976; Chapman and Haidvogel, 1992).

Ainda no inverno, pôde-se observar que as isotermas do Perfil 1 atingiram a superfície (Direita - Figura 6.23), já que o h_c estimado ($\sim 79,78$ m) foi maior do que a profundidade média do topo do monte (50 m), formando a Coluna de Taylor, feição resultante da mistura vertical sobre o monte, processo que permite a ressurgência de água possivelmente rica em nutrientes do topo do monte para a superfície (O'hara et al., 2010).

A elevação das isopicnais, processo denominado também como domo isopicnal, representa a teoria demonstrada por Proudman (1916) e Taylor (1917) quando um fluxo interage com um monte, processo esse mostrado também por Pitcher et al. (2007).

Como discutido por Huppert and Bryan (1976) e Chapman and Haidvogel (1992), o padrão de correntes incidentes é fundamental para o entendimento do processo de elevação e decaimento das isopicnais. O perfil vertical de velocidade zonal para o mês de Janeiro associado ao Perfil 1 (Esquerda - Figura 6.24) mostrou que associado ao fluxo incidente à montante a velocidade zonal foi mais intensa ($-0,2 \text{ m.s}^{-1}$) do que à jusante (0 a $-0,1 \text{ m.s}^{-1}$).

Como descrito anteriormente, o perfil de velocidade irá desenvolver uma circulação residual anticiclônica interagindo com o monte submarino, desenvolvendo o Cone da Taylor. Entretanto, essa estrutura se estende verticalmente a partir do topo depen-

dendo da intensidade do fluxo. O aumento da intensidade do fluxo restringe o Cone de Taylor à região de contato direto com o monte, enquanto que menores velocidades de fluxo incidente irão promover o desenvolvimento vertical do Cone acima do topo do monte (Chapman and Haidvogel, 1992).

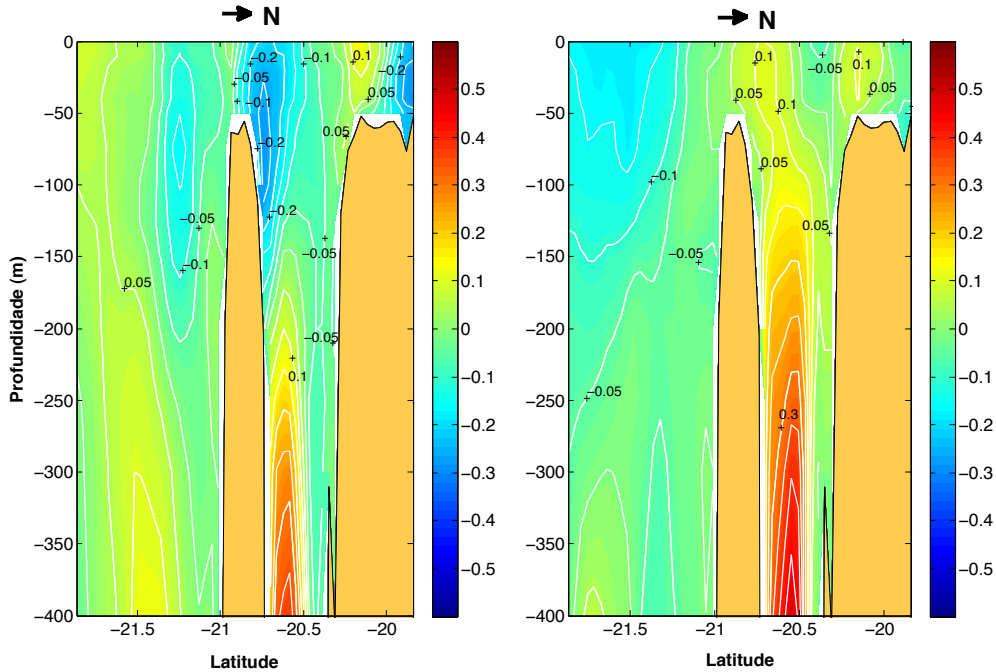


Figura 6.24: Perfil 1 - Componente zonal da velocidade ($m.s^{-1}$) (esquerda) - Janeiro/2005 e (direita) - Julho/2005. A plataforma continental está centralizada na latitude de $20^{\circ}S$, enquanto entre $20,7^{\circ}S$ e $21^{\circ}S$ encontra-se o Banco de Vitória. O transecto pode ser observado na Figura 5.2.

O campo de velocidade zonal no entorno do Banco de Vitória (Figura 6.24) mostrou que o fluxo incidente de norte contornou o monte submarino criando maiores velocidades anexadas ao monte submarino no lado incidente e entrando na página ($\simeq -0,2m.s^{-1}$), enquanto que no lado oposto as velocidades foram menores (entre $0-0,1 m.s^{-1}$), sugerindo um giro anticiclônico residual ao redor do monte. Esse processo foi descrito por Chapman and Haidvogel (1992) para montes submarinos rasos, intermediários e

profundos. De acordo com os autores, em um cenário de oceano estratificado, a corrente incidente sobre um monte submarino no hemisfério norte/sul irá acelerar o fluxo à esquerda/direita do monte, sentido à jusante. Esse processo está relacionado com a dinâmica de vorticidade ao redor e sobre um monte submarino. O vórtice anticiclônico gerado e estacionário sobre o monte submarino irá promover essa intensificação do fluxo ao lado direito (hemisfério sul) devido à subida de água mais densa e fria do fundo nesse lado e a formação do giro, e conseqüentemente a formação e desprendimento do vórtice ciclônico gerado à jusante do fluxo. Obviamente, esse processo é dependente do tamanho do monte submarino. Porém, estudos desenvolvidos por [Huppert and Bryan \(1976\)](#) e [Chapman and Haidvogel \(1992\)](#) mostraram que a dinâmica é similar em ambos os casos, ocorrendo variação na forma e deslocamento vertical do Cone de Taylor. A Figura 6.25 exemplifica o processo para o hemisfério sul.

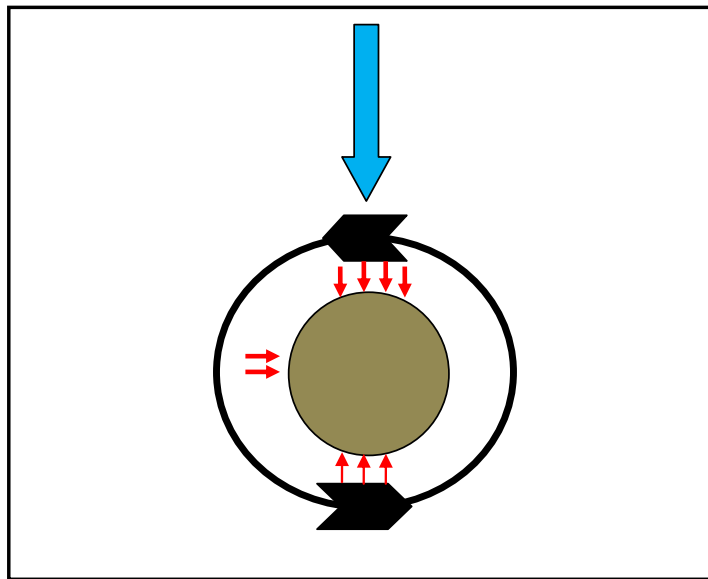


Figura 6.25: Esquema mostrando o fluxo incidente (seta azul) em um monte submarino visto de cima. A formação de uma circulação residual anticiclônica ao redor do monte é evidenciada pela seta preta, e a resultante do transporte de Ekman pelas setas vermelhas. A maior intensidade de deslocamento vertical é mostrada à direita e no local do fluxo incidente.

A diferença de intensidade do fluxo resultante do balanço geostrófico ao redor do monte, relacionado ao processo de aprisionamento de fundo (*bottom-trapping*) irá desenvolver uma leve assimetria à montante e à jusante sobre o centro do monte submarino (Chapman and Haidvogel, 1992). O mesmo processo foi observado para os montes submarinos analisados no presente estudo, porém, a assimetria observada foi diretamente proporcional à intensidade do fluxo incidente.

A ascensão de água gerada pelo Cone de Taylor e o seu desenvolvimento assimétrico ocorre em função do giro anticiclônico e pelo balanço geostrófico que favorece o desenvolvimento de velocidade vertical nos flancos do monte submarino em direção à superfície, principalmente no lado de colisão com o fluxo incidente, gerando subsidência no lado oposto à jusante (Proudman, 1916; Taylor, 1917; Huppert, 1975; Huppert and Bryan, 1976; Owens and Hogg, 1980; Chapman and Haidvogel, 1992). Esse processo de ascensão de água observado nos Bancos de Vitória, Jaseur e Davis culminou com isopieciais elevadas no porção norte do monte submarino (maior incidência de correntes), decaindo na porção sul com a diminuição da velocidade. O lado de elevação e diminuição das isopieciais irá depender do lado de incidência do fluxo. A ascensão de água estará limitada verticalmente pela estratificação superficial (mais intensa no verão).

No inverno a ascensão de água irá atingir a superfície nos montes submarinos rasos da CVT (Vitória, Jaseur e Davis) devido à maior mistura vertical proporcionada pela perda de calor do oceano e aumento na intensidade dos ventos, desenvolvendo a Coluna de Taylor. Em montes submarinos profundos (Banco de Dogaressa), a maior mistura vertical observada no inverno não atinge o topo do monte, conseqüentemente o Cone de Taylor não terá extensão vertical suficiente para atingir a superfície e formar a Coluna de Taylor.

A intensidade do fluxo total incidente observada no Perfil 1 foi maior em Janeiro ($\sim 0,8-1 \text{ m.s}^{-1}$) do que em Julho ($\sim 0,2-0,5 \text{ m.s}^{-1}$), o que sugere que velocidades baixas sejam necessárias para o desenvolvimento da Coluna de Taylor. O aumento da velo-

cidade irá proporcionar um R_o elevado, o que não favorece a formação da Coluna de Taylor (Chapman and Haidvogel, 1992).

O perfil isopical de Janeiro sobre o Banco de Jaseur (Perfil 5 - Esquerda - Figura 6.26) mostrou a formação de um domo sobre o topo do monte, estendendo-se verticalmente em torno de 50 m acima do topo em direção à superfície e de uma Coluna de Taylor em Julho (Direita - Figura 6.26). Como observado na Figura 6.27, as velocidades associadas ao Banco de Jaseur são menores do que no Banco de Vitória, devido à maior distância em relação a área de atuação da CB ao longo da CVT.

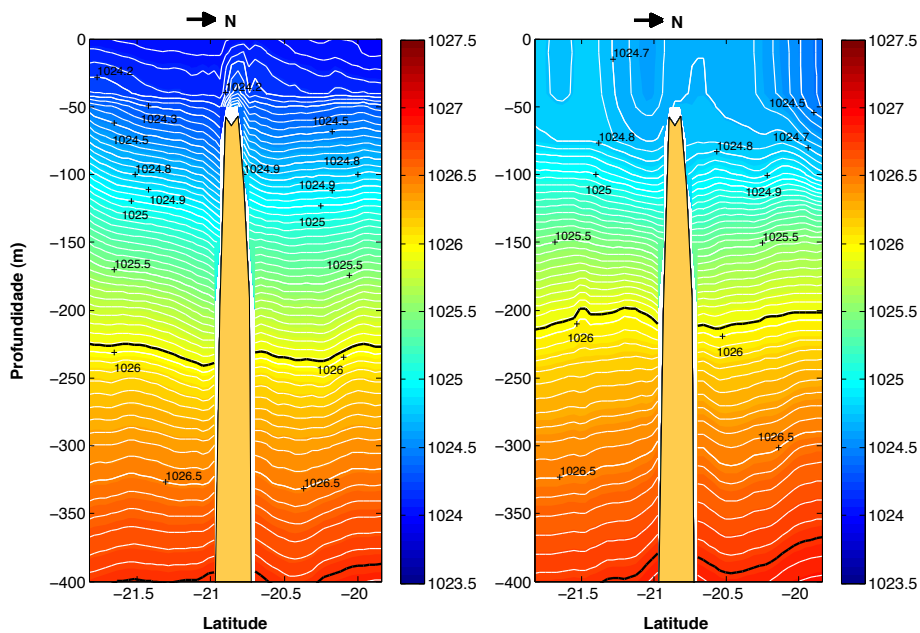


Figura 6.26: Perfil 5 - Massa específica ($kg.m^{-3}$) (esquerda) - Janeiro/2005 e (direita) - Julho/2005. As isopícnais destacadas em preto representam os limites da ACAS. O Banco de Jaseur é representado entre as latitudes de $20,7^{\circ}S$ e $21^{\circ}S$. O transecto pode ser observado na Figura 5.2.

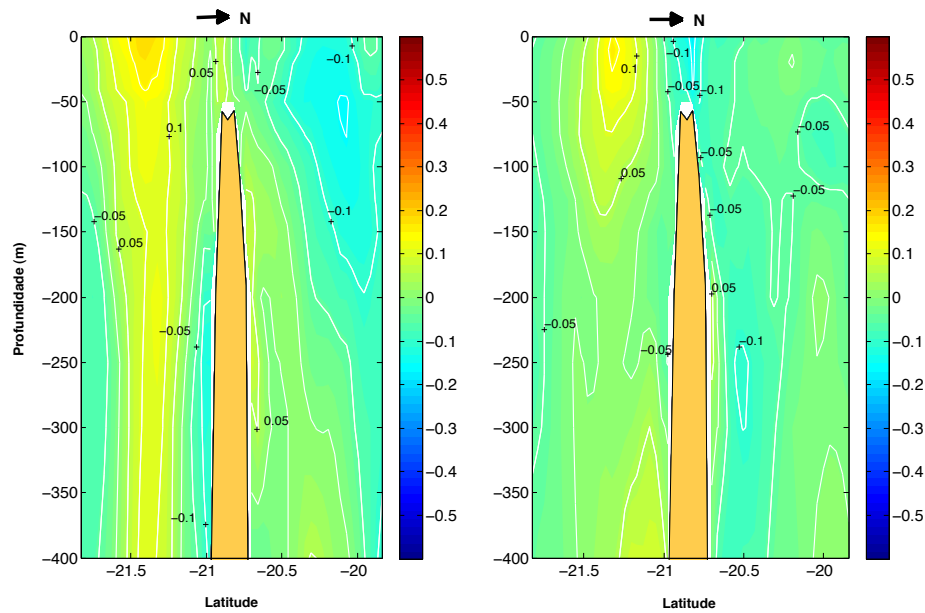


Figura 6.27: Perfil 5 - Componente zonal da velocidade ($m.s^{-1}$) (esquerda) - Janeiro/2005 e (direita) - Julho/2005. O Banco de Jaseur é representado entre as latitudes de $20,7^{\circ}S$ e $21^{\circ}S$. O transecto pode ser observado na Figura 5.2.

Da mesma forma que para o Banco de Vitória, a distribuição vertical de massa específica para o mês de Janeiro sobre o Banco de Jaseur (Figura 6.26) mostrou a formação do Cone de Taylor sobre o monte estendendo-se verticalmente em torno de 50 m devido à estratificação observada nesse período ($B \sim 900$), não favorecendo a mistura vertical dos nutrientes presentes no topo do monte de modo que as concentrações de clorofila-*a* foram baixas (Figura 6.7).

No mês de Julho, o perfil vertical de massa específica sobre o Banco de Jaseur (Direita - Figura 6.26) indicou desestratificação ao longo da coluna de água acima do monte ($B \sim 96,04$) e o desenvolvimento da Coluna de Taylor de forma que os nutrientes presentes no topo do monte tornaram-se disponíveis às camadas superficiais, favorecendo o aumento da biomassa fitoplanctônica sobre o monte, como observado nas séries temporais de concentração de clorofila-*a* para o mesmo período (Figura 6.7).

O mesmo padrão descrito para os Bancos de Vitória e de Jaseur foi observado no Per-

fil 7 sobre o Banco de Davis em Janeiro (Esquerda - Figura 6.28) e Julho (Direita - Figura 6.28). Sem a incidência de correntes superficiais mais intensas (Figura 6.29) durante o mês de Janeiro o deslocamento vertical foi baixo ($h_c \sim 37,5$ m), enquanto que no inverno o $h_c \sim 187,5$ m indicou o desenvolvimento da Coluna de Taylor.

Desta forma, o desenvolvimento da Coluna de Taylor, que irá promover o desenvolvimento de biomassa e o aumento da concentração de clorofila-*a* sobre o monte através da quebra da piconclina, é restrito apenas no inverno com a mistura vertical da coluna de água, como foi observado nos resultados das imagens do MODIS Aqua sobre o monte (Figura 6.8). Diferentemente do observado nos montes submarinos analisados, o Banco de Dogaresa não está sob influência dos processos de mistura superficiais, por estar localizado a uma profundidade média de 150 m. As isopicnais sobre o monte em Janeiro (Esquerda - Figura 6.30) mostraram que o domo isopicnal estendeu-se a aproximadamente 93,7 m acima do topo na ausência de estratificação, entretanto, ficou restrito no desenvolvimento vertical com a presença da piconclina em torno de 50 m.

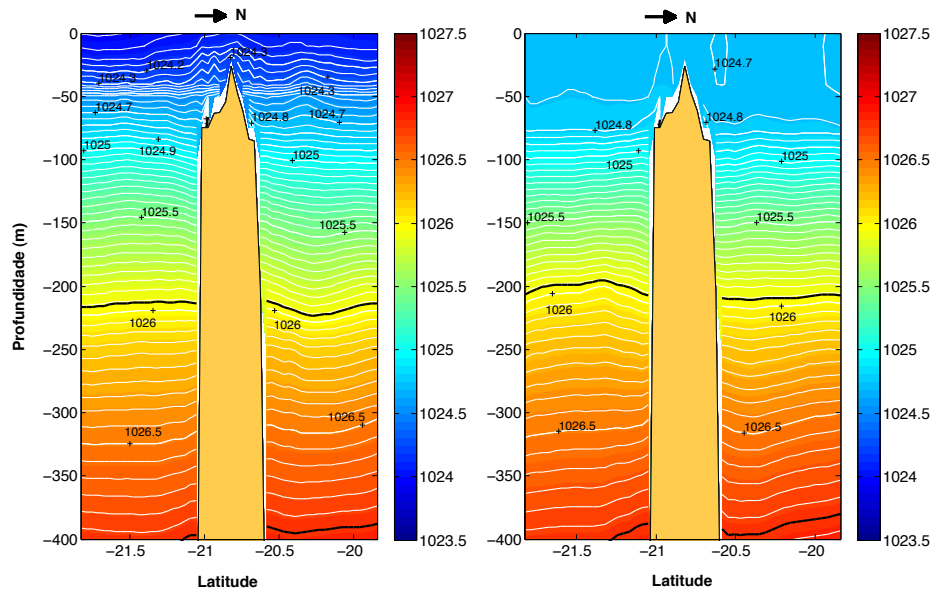


Figura 6.28: Perfil 7 - Massa específica ($kg.m^{-3}$) (esquerda) - Janeiro/2005 e (direita) - Julho/2005. As isopicnais destacadas em preto representam os limites da ACAS. O Banco de Davis é representado entre as latitudes de $20,6^{\circ}S$ e $21,1^{\circ}S$. O transecto pode ser observado na Figura 5.2.

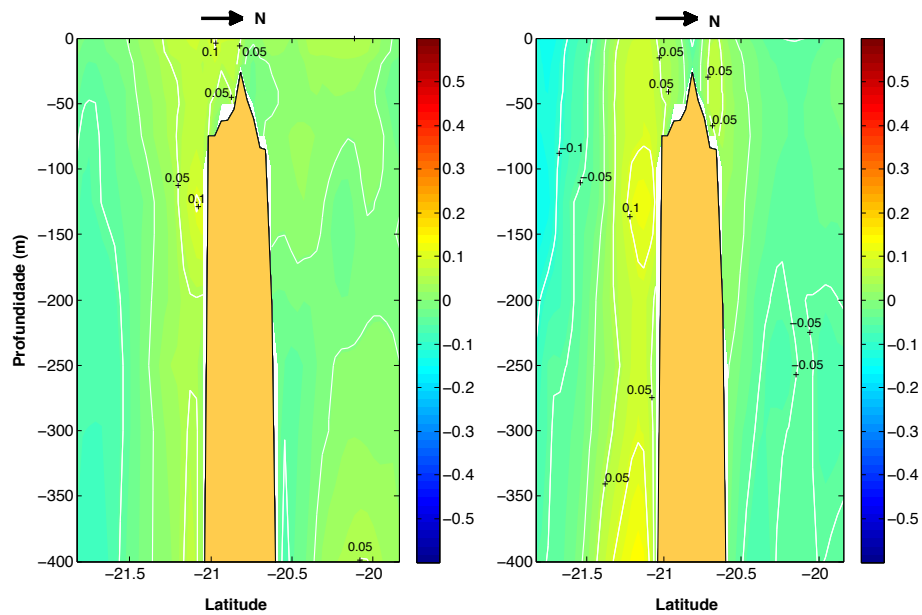


Figura 6.29: Perfil 7 - Componente zonal da velocidade ($m.s^{-1}$) (esquerda) - Janeiro/2005 e (direita) - Julho/2005. O Banco de Davis é representado entre as latitudes de $20,6^{\circ}S$ e $21,1^{\circ}S$. O transecto pode ser observado na Figura 5.2.

No mês de Julho (Direita - Figura 6.30) ocorreu a mistura vertical, porém o processo ficou restrito nos primeiros 70 m de profundidade, não atingindo o topo do Banco de Dogaressa em 150 m, e desse forma não disponibilizando nutrientes do topo para a coluna vertical. Os perfis de velocidade em Janeiro e Julho (Figura 6.31) confirmaram as baixas velocidades encontradas na região, com pouca possibilidade de espalhamento de partículas através de advecção horizontal.

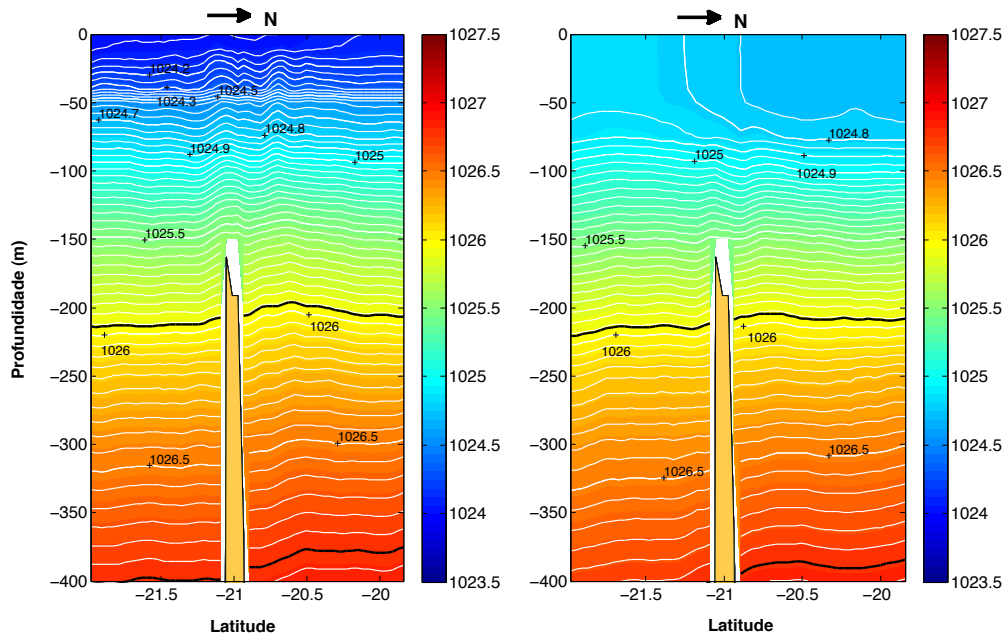


Figura 6.30: Perfil 9 - Massa específica ($kg.m^{-3}$) (esquerda) - Janeiro/2005 e (direita) - Julho/2005. As isopicnais destacadas em preto representam os limites da ACAS. O Banco de Dogaressa é representado em torno da latitude de $21^{\circ}S$. O transecto pode ser observado na Figura 5.2.

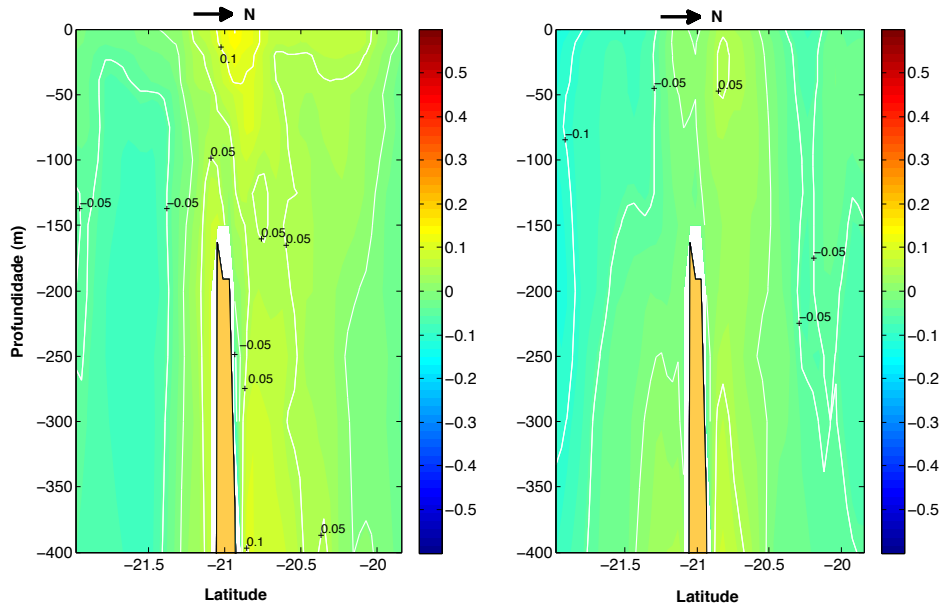


Figura 6.31: Perfil 9 - Componente zonal da velocidade ($m.s^{-1}$) (esquerda) - Janeiro/2005 e (direita) - Julho/2005. O Banco de Dogoressa é representado em torno da latitude de $21^{\circ}S$. O transecto pode ser observado na Figura 5.2.

As análises dos resultados de modelagem numérica e dos dados medidos *in situ* foram realizadas em escala sazonal, observando principalmente as principais diferenças entre os períodos de verão e inverno. Através desses resultados foi possível observar que no verão existe a tendência de estratificação da coluna de água, e posterior mistura no inverno. Já os parâmetros e números adimensionais mostraram que tanto no verão quanto no inverno há a possibilidade de formação do Cone de Taylor sobre os montes submarinos da CVT, e se formados, ficam anexados sobre o topo dos montes, evoluindo para Coluna de Taylor no inverno com a mistura vertical, com excessão do Banco de Dogoressa. Apesar desses resultados, variações diárias e mensais podem ocorrer sobre os montes. A fim de verificar a variação temporal das condições apresentadas por Chapman and Haidvogel (1992) para a formação do Cone de Taylor ($R_o < 0,15$), para um monte submarino alto ($\delta > 0,7$) foram estimados os valores de ζ , R_o , e B_R ao longo do transecto mostrado na Figura 5.2 ao longo do ano.

Tanto sobre o Banco de Vitória e o Banco de Jaseur, foram observados valores de $R_o > 0,15$ principalmente nos períodos de verão e primavera e menores que $0,15$ no outono e inverno (Figura 6.32). Sobre o Monte de Davis, no entanto, os valores de R_o foram sempre menores que $0,15$ ao longo de todo o ano. Igualmente, as estimativas de B_R (Figura 6.33) indicaram que o vórtice anticiclônico formado permaneceria sobre o topo do monte. Os resultados das estimativas de ζ (Figura 6.34) mostraram oscilações entre valores positivos e negativos em períodos intercalados de semanas a meses. Associando-se o campo de ζ com o do R_o verificou-se que sobre o Banco de Davis, por exemplo, $R_o < 0,15$ nem sempre coincidiu com valores de $+\zeta$. Se a condição descrita por Owens and Hogg (1980) e Chapman and Haidvogel (1992) de que o processo de Cone ou Coluna de Taylor somente irá se desenvolver quando houver $+\zeta$ ao redor do monte submarino localizado no hemisfério sul, então o processo deve ocorrer em pulsos de duração variável. Estudos evidenciaram que o processo de retenção de partículas causado pela hidrodinâmica sobre um monte submarino geralmente ocorre em pequenas escalas de tempo (dias à poucas semanas) (Genin and Boehlert, 1985; Dower et al., 1992; Mouriño et al., 2001).

Desta forma, o controle do desenvolvimento do Cone é dependente da $+\zeta$. Entretanto, o desenvolvimento da Coluna de Taylor, que irá promover o desenvolvimento de biomassa e o aumento da concentração de clorofila-*a* sobre o monte, necessita de desestratificação, processo esse aparentemente restrito ao período de outono e inverno. O papel da troca de calor e momentum através da interface oceano-atmosfera será discutido no item a seguir. Finalmente, em nenhum dos perfis apresentados houve indicação que havia subida da ACAS sobre o topo dos montes, ou seja, sem ressurgência. Nesse caso, o efeito será causado pela desestratificação.

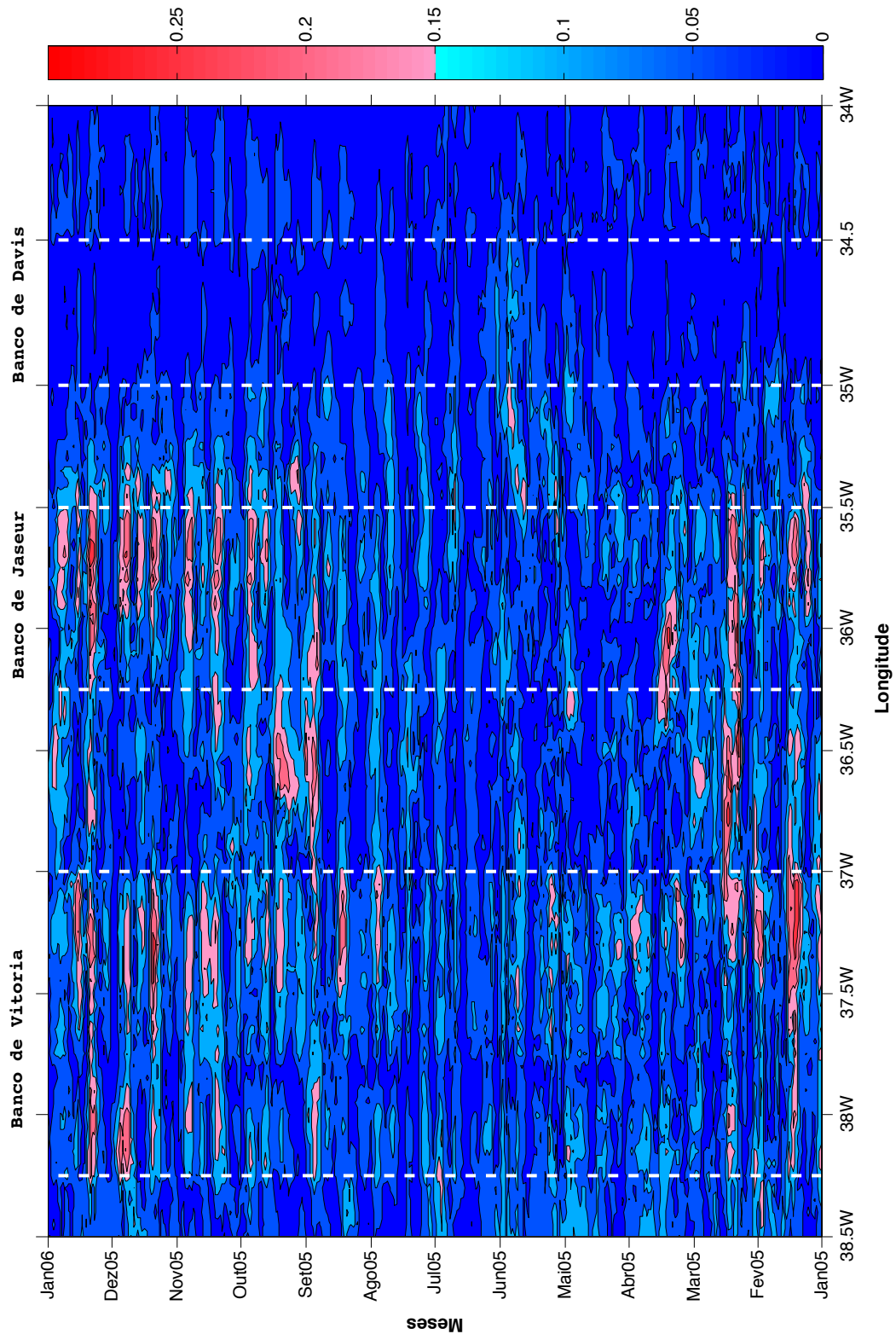


Figura 6.32: Variação espaço-temporal da estimativa do R_o sobre a CVT em 30 m de profundidade. Os pares de linhas em branco tracejadas representam os Bancos de Vitória, Jaseur e Davis. $R_o > 0,15$ representa não formação do Cone de Taylor para montes submarinos altos ($\delta > 0,7$) (Chapman and Haidvogel, 1992). O transecto pode ser observado na Figura 5.2.

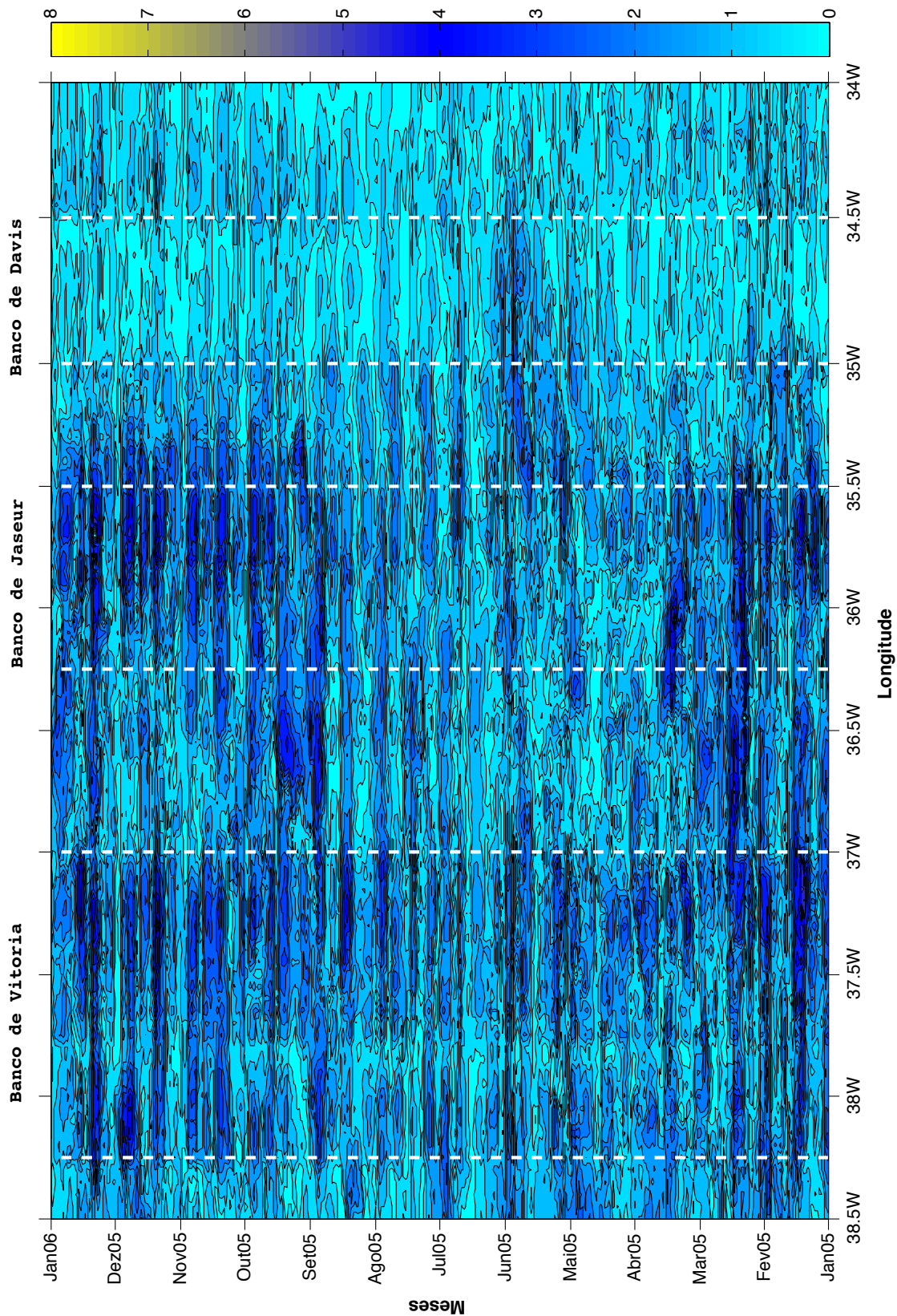


Figura 6.33: Variação espaço-temporal da estimativa do Parâmetro de Bloqueio (B_R) sobre a CVT (Figura 5.2) em 30 m de profundidade. Os pares de linhas em branco tracejadas representam os Bancos de Vitória, Jaseur e Davis. Valores de $B_R \sim 4$ indicam vórtice anticiclônico sobre o topo do monte (Roden, 1987). O transecto pode ser observado na Figura 5.2.

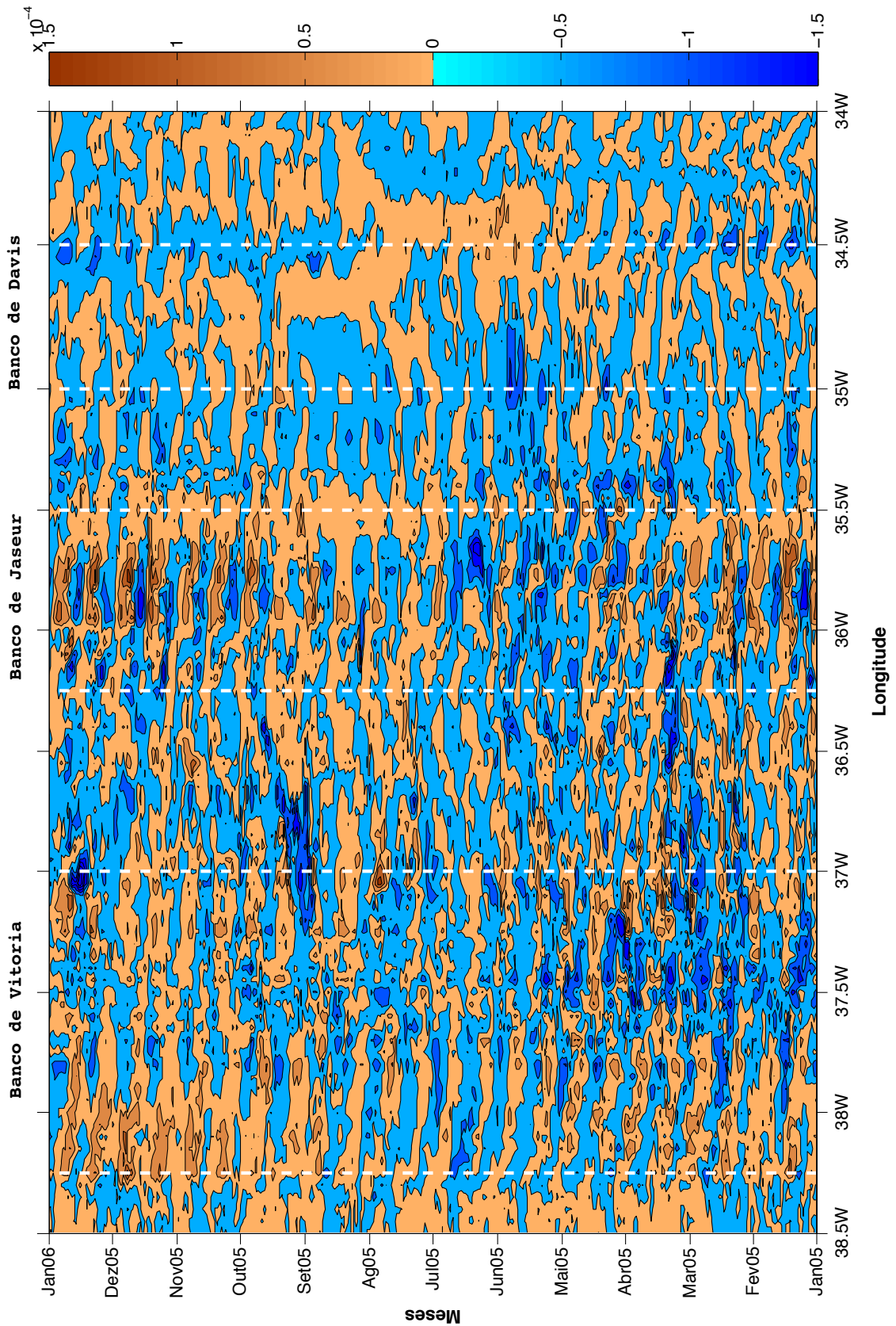


Figura 6.34: Variação espaço-temporal da estimativa da ζ sobre a CVT (Figura 5.2) em 30 m de profundidade. Os pares de linhas em branco tracejadas representam os Bancos de Vitória, Jaseur e Davis. O transecto pode ser observado na Figura 5.2.

6.4 Interação Oceano-Atmosfera

Os resultados de intensidade e direção de vento oriundos do modelo ETA 20 km correspondem a médias mensais (Janeiro/2006 até Julho de 2010) em dois pontos (Banco de Vitória e Davis). Para o verão, durante o mês de Janeiro (Figura 6.35) ocorreu o predomínio de ventos NE com intensidades variando entre 7 e 9 $m.s^{-1}$ ao longo da CVT desde o Banco de Vitória até o Banco de Davis. Já em Abril (Figura 6.35), no período de transição para o outono, foram observadas as mudanças no padrão do vento ao longo da CVT. Neste mês, houve a diminuição da frequência dos ventos de NE (de 40% em Março para 10-20% em Abril) com uma maior participação de ventos de S/SE. Outro fato que chamou a atenção é que nesse período houve uma diminuição na intensidade média dos ventos. Esse padrão foi tanto no Banco de Vitória quanto no Banco de Davis e se estendeu aproximadamente até o mês de Junho. Como mostrado por [Rodrigues and Lorenzetti \(2001\)](#), durante o mês de Julho (inverno - Figura 6.36), ventos de E são frequentes e relativamente intensos com alguns componentes de S normalmente associados a passagem dos sistemas frontais pela região. Neste período houve uma diferenciação na direção dos ventos entre os dois montes.

Na região do Banco de Abrolhos os ventos predominantes são de NE (média de 23,3%) também, mudando para as direções de SE e S no outono e inverno (55% and 48%, respectivamente), como mostrado pelos dados da estação meteorológica localizada próximo de Caravelas entre 2002 e 2005 ([Teixeira et al., 2013](#)).

Enquanto sobre o Banco de Vitória o predomínio era de ventos de NE, na região mais oceânica próximo do Banco de Davis o predomínio observado foi de ventos de E. Esse fato pode estar relacionado com o padrão de deslocamento do Centro de Alta Pressão do Atlântico em direção à oeste com possível modificação no seu formato ([Tsuchiya, 1985](#)). Por fim, na primavera (Outubro – Figura 6.36) os ventos retornam ao padrão típico de verão, isto é, de NE com aumento nas suas intensidades.

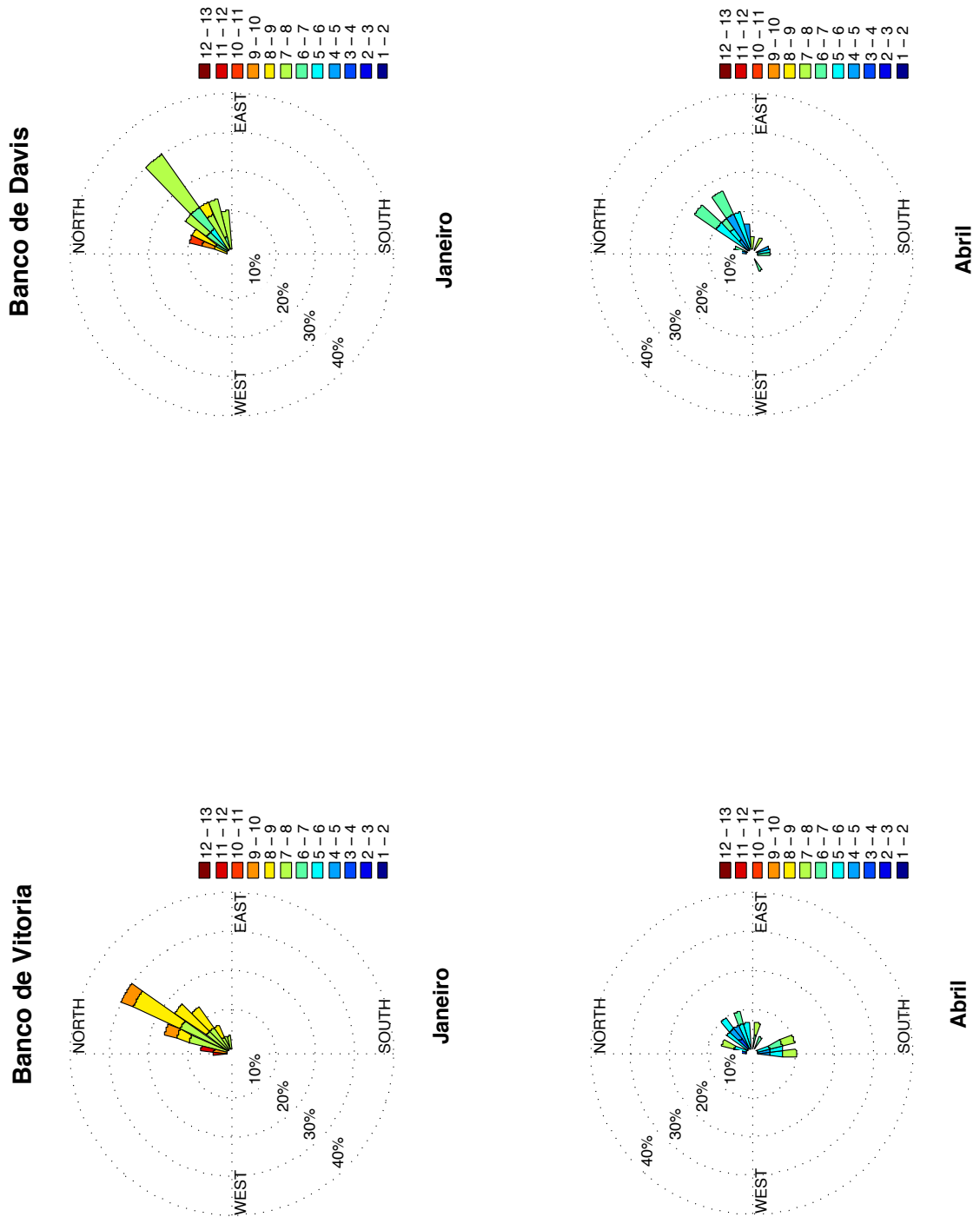


Figura 6.35: Rosa-dos-ventos dos dados diários de velocidade ($m.s^{-1}$) e direção ($^{\circ}$) do vento dos meses de Janeiro e Abril entre os anos de 2006 e 2010 para os Bancos de Vitória e Davis.

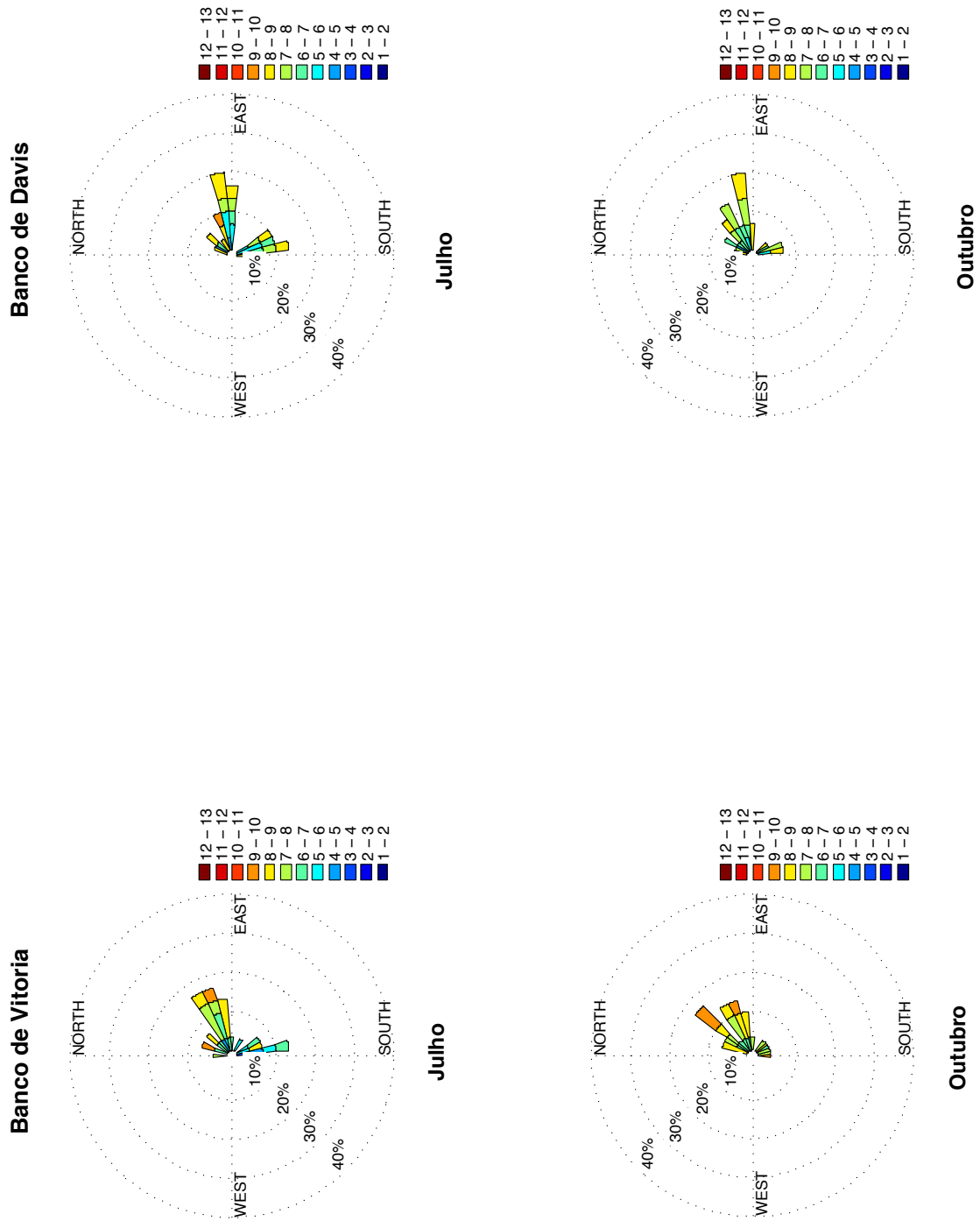


Figura 6.36: Rosa-dos-ventos dos dados diários de velocidade ($m.s^{-1}$) e direção ($^{\circ}$) do vento dos meses de Julho e Outubro entre os anos de 2006 e 2010 para os Bancos de Vitória e Davis.

A partir dos resultados de vento do modelo foi estimada a variação espaço-temporal do bombeamento de Ekman ao longo da latitude $20,4^{\circ}S$ (Figura 5.4). Os resultados mostrados na Figura 6.37 indicaram que na região do Banco de Vitória (entre $39^{\circ}W$ e $36^{\circ}W$) houve uma tendência de subsidência de água (velocidades negativas) associado ao mês de Janeiro, enquanto que no restante do tempo e ao longo do transecto (entre $36^{\circ}W$ e $32^{\circ}W$) o padrão favoreceria a incorporação da ascensão de água, principalmente na região do Banco de Davis. Desta forma, o papel do vento pode favorecer a ressurgência de água na extremidade oeste da CVT juntamente com a formação da Coluna de Taylor no período de inverno, processo que não é possível ocorrer no verão devido a presença da estratificação termohalina.

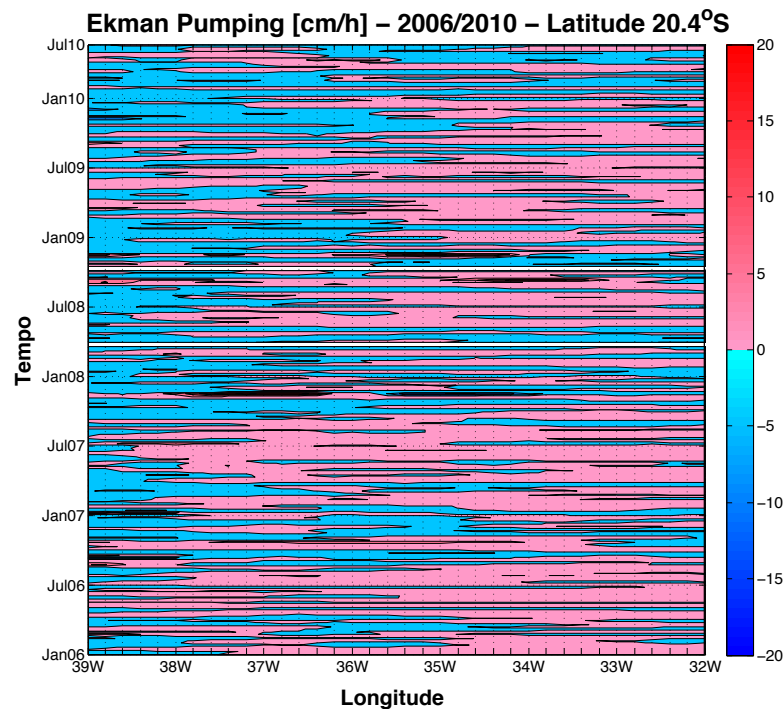


Figura 6.37: Variação espaço-temporal do W_E sobre a CVT. Valores positivos/negativos indicam subida/descida de água. Entre $39^{\circ}W$ e $36^{\circ}W$ (Banco de Vitória) há subsidência de água principalmente no verão, enquanto que a partir de $36^{\circ}W$ (Banco de Davis) predominam processos de ressurgência causados pelo vento. O transecto pode ser observado na Figura 5.4.

Ao longo da CVT o fluxo de calor (Figura 6.38) não mostrou diferenças significativas entre os pontos analisados (Banco de Vitória e Davis). O oceano ganhou calor de Setembro a Março e perdeu nos outros meses. De acordo com Sato (2009), a energia solar impõe o ciclo anual em razão do aquecimento e resfriamento das camadas superficiais dos oceanos, e supre energia aos processos de troca de calor com a atmosfera na forma de evaporação.

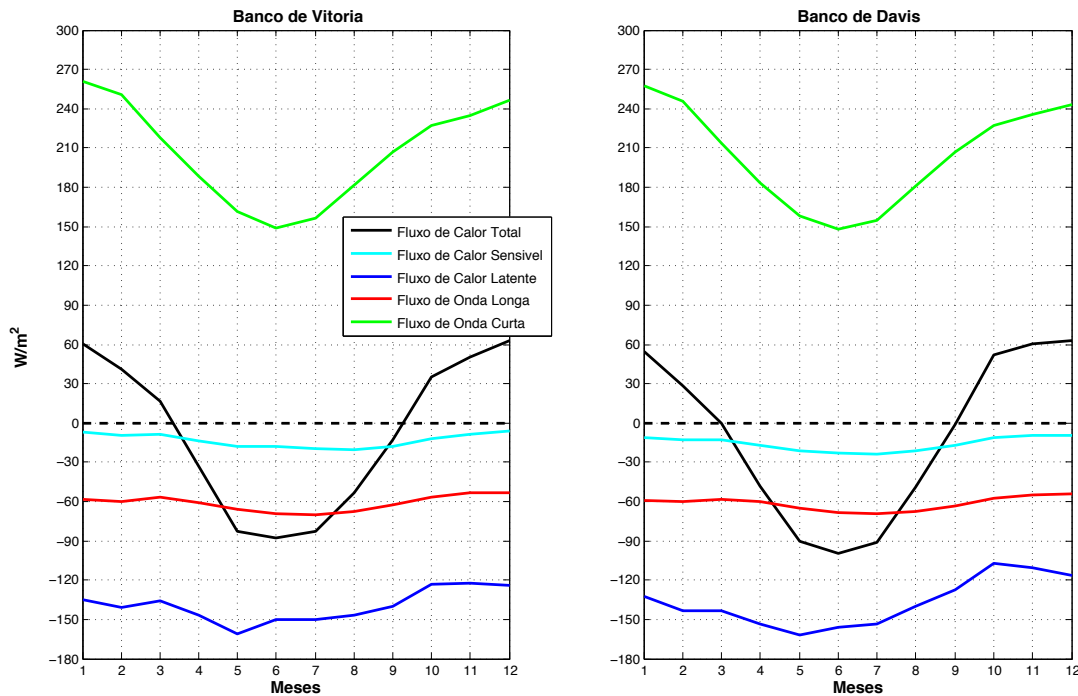


Figura 6.38: Média mensal de fluxo de calor ($W.m^2$) para os Bancos de Vitória (esquerda) e Davis (direita). Valores negativos do fluxo de calor total (linha preta) indicam perda de calor do oceano para a atmosfera.

O oceano começou a perder calor entre os meses de Março e Abril, proporcionando uma maior mistura térmica e desestratificação da coluna de água devido ao resfriamento das camadas superficiais. Para a região da CVT o oceano começou a perder calor acompanhando a mudança de direção e diminuição sazonal na intensidade média dos ventos. O pico de perda calor se deu em Junho a partir de quando os ventos voltam a aumentar as suas intensidades médias.

Ambos os processos favoreceriam o aprofundamento da CM e da CI na região. As profundidades da CM e da CI obtidas através dos resultados de médias mensais de temperatura e salinidade do modelo HYCOM para o ano de 2005 foram estimadas para um ponto 1^o ao sul e para o topo dos Bancos de Vitória (Figura 6.39), Jaseur (Figura 6.40), Davis (Figura 6.41) e Dogoressa (Figura 6.42).

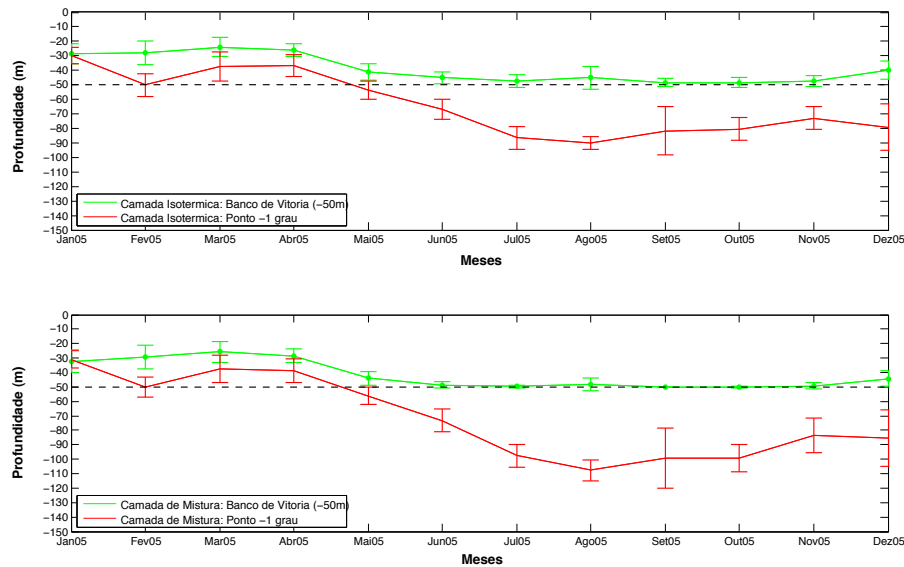


Figura 6.39: Média mensal da CI (superior) e CM (inferior) para o Banco de Vitória (verde) e no ponto -1^o (vermelho). A linha preta tracejada representa a profundidade média de 50 m do topo do monte submarino.

A CM e a CI sobre o Banco de Vitória (Figura 6.39) permaneceram rasas, entre 30 e 40 m, no período de verão, começando a afundar a partir do mês de Abril e atingindo o máximo no inverno entre os meses de Maio a Outubro, quando voltaram a diminuir de espessura. No inverno o oceano perderia calor, resfriando-se e diminuindo a estratificação da camada superficial com a atuação de ventos mais intensos agindo sobre a interface Oceano-Atmosfera (Banse, 1987; Godfrey and Lindstorm, 1989; Kunze and Sanford, 1997; Eriksen, 1998; Mignot et al., 2007; Lima and Lentini, 2009).

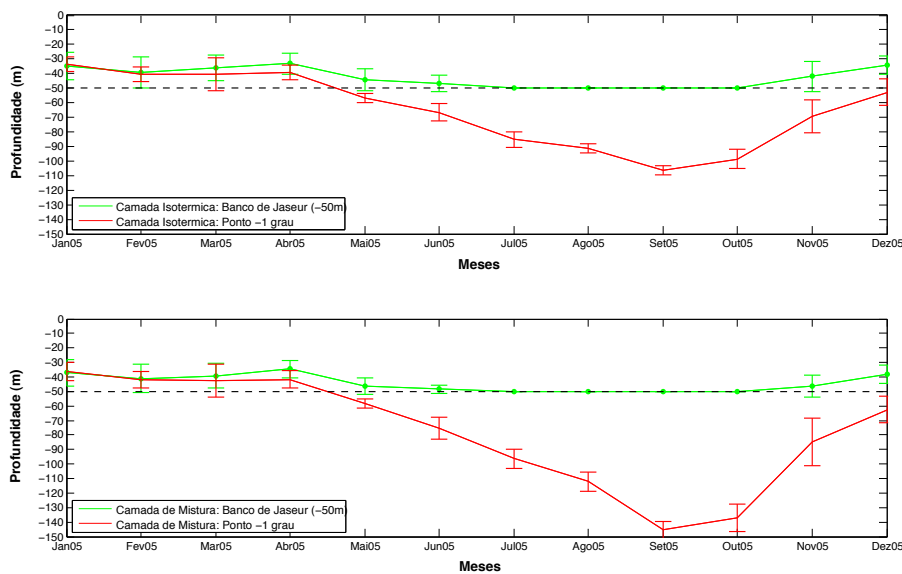


Figura 6.40: Média mensal da CI (superior) e CM (inferior) para o Banco de Jaseur (verde) e no ponto -1° (vermelho). A linha preta tracejada representa a profundidade média de 50 m do topo do monte submarino.

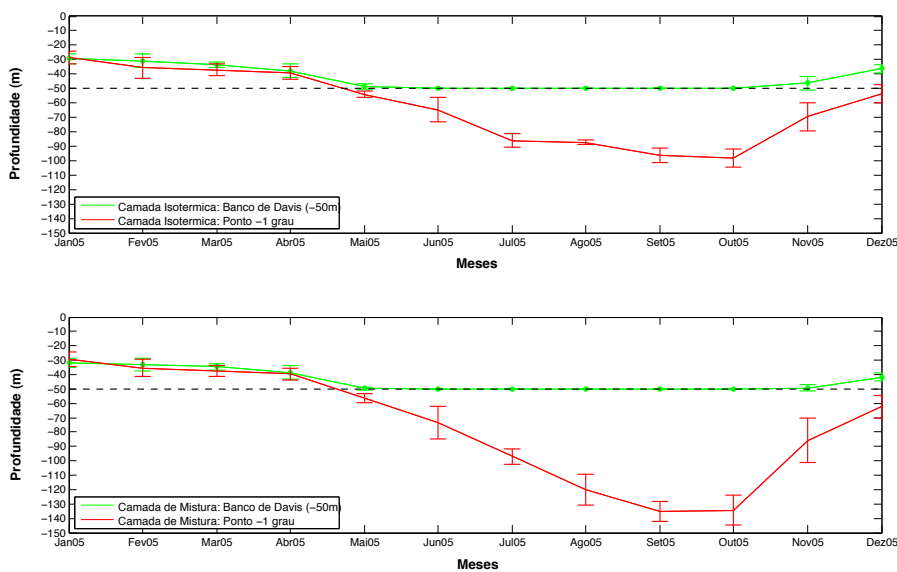


Figura 6.41: Média mensal da CI (superior) e CM (inferior) para o Banco de Davis (verde) e no ponto -1° (vermelho). A linha preta tracejada representa a profundidade média de 50 m do topo do monte submarino.

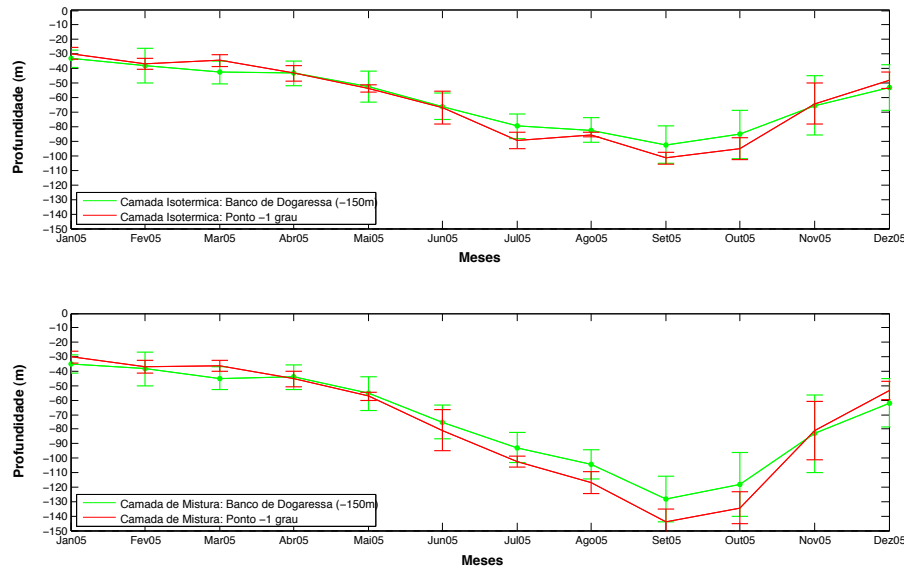


Figura 6.42: Média mensal da CI (superior) e CM (inferior) para o Banco de Dogaressa (verde) e no ponto -1° (vermelho). A linha inferior do gráfico representa a profundidade média de 150 m do topo do monte submarino.

O padrão descrito acima é evidente para o ponto localizado a $-1^{\circ}S$, pois sobre o monte durante o outono e inverno as camadas se estendem desde a superfície do oceano até o topo da estrutura. Nesse período, com toda a coluna de água sob mistura, os nutrientes presentes no topo do monte tornam-se disponíveis para a biota aquática superficial através da quebra da estratificação. Esses nutrientes do topo dos montes submarinos da CVT podem estar associados ao domínio de rodolitos no leito desses montes, como informado por [Pereira-Filho et al. \(2012\)](#) e [O'hara et al. \(2010\)](#).

O padrão de variação temporal descrito para o Banco de Vitória foi o mesmo para os demais montes submarinos. No entanto, para o Banco de Dogaressa (Figura 6.42) a variação temporal da CM e CI mostrou que a profundidade máxima que ambas atingiram foi em torno de 140 m no mês de Setembro, portanto, não atingindo nem permanecendo por tempo suficiente sobre o topo do monte (~ 150 m). Com isso, processos de mistura vertical que pudessem promover a subida de nutrientes para a coluna de água e o aumento da clorofila-*a* não ocorreram (Figura 6.5). A dinâmica avaliada neste estudo

converge no sentido de se entender o desenvolvimento da floração anual fitoplanctônica na região da CVT. Neste sentido a curva de ajuste gaussiana (Equação 5.1) foi imposta às médias mensais para o Banco de Vitória, Jaseur e Davis (Figura 6.43). A análise não foi realizada sobre o Banco de Dogaressa por não existir uma floração anual característica como nos demais montes.

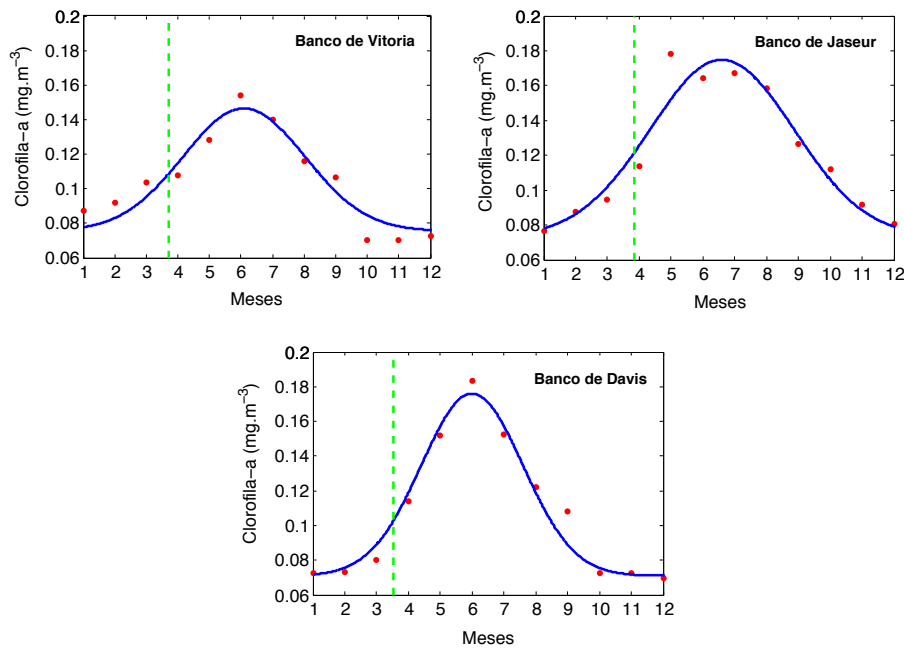


Figura 6.43: Análise do início da floração anual de fitoplâncton nos Bancos de Vitória, Jaseur e Davis. A linha verde tracejada representa o início da floração anual, a linha azul a curva Gaussiana, e os pontos em vermelho as médias mensais.

Nos três montes em questão o início da floração anual fitoplanctônica se iniciou entre os meses de Março e Abril, período no qual ocorreu a mudança no padrão e intensidade dos ventos, o oceano estava perdendo calor com conseqüente aumento tanto na CM quanto na CI. O pico da floração anual ocorreu no inverno quando a camada de água sobre o topo dos montes apresentou baixa estratificação. Tal fato impôs uma homogeneidade na coluna de água. Associando-se os resultados apresentados na Tabela 6.1

com a desestratificação, isso permitiria o desenvolvimento da Coluna de Taylor. Nessa situação, seria possível a movimentação de nutrientes e de células fitoplanctônicas ao longo da coluna de água acima do topo do monte. Por outro lado, a partir de Setembro as concentrações de fitoplâncton diminuem, mês no qual o oceano começa a se aquecer novamente com o subsequente desenvolvimento de estratificação superficial. Neste caso, a amplitude de movimentação vertical se reduziria em função da limitação imposta pela estratificação. Essa dinâmica explicaria o ciclo anual identificado nas Figuras 6.6 a Figura 6.9. A variabilidade temporal tanto sobre o topo dos montes quanto ao seu redor é concordante, associada ao ciclo anual de troca de calor na interface oceano-atmosfera e da CM e CI o que ocorre tanto sobre os montes quanto ao seu redor. A diferenciação apresentada sobre o topo é porque nestes locais houve o desenvolvimento da Coluna de Taylor. O desenvolvimento do Cone de Taylor foi típico do período de verão e primavera associada ao desenvolvimento da estratificação superficial que reduziu a ascensão vertical sobre o topo dos montes.

Capítulo 7

Conclusões

Os resultados mostraram que a região da CVT possui uma alta variabilidade sazonal na concentração de clorofila-*a*, com os menores valores observados no verão, aumentando no outono e atingindo o máximo no inverno, voltando a decair na primavera. Esse processo ocorre de modo diferenciado sobre o topo dos principais montes submarinos (Banco de Vitória, Jaseur e Davis), com concentrações em torno de 2 a 3 vezes maiores do que no oceano ao redor. Desta forma, os montes atuam como propulsores do desenvolvimento biológico fitoplanctônico no oceano oligotrófico, ocorrendo com variações espaciais ao longo da CVT. Na porção oeste as agregações de células ocorrem com maior espalhamento, ao contrário do observado na porção leste, na qual as concentrações de clorofila-*a* tendem a ficar mais confinadas sobre o topo dos montes submarinos. Esse processo é explicado pelas características batimétricas dos montes, pela atuação do sistema de correntes superficiais e pela interação oceano-atmosfera. A CB é a principal corrente com atuação sobre a CVT, principalmente sobre os Bancos de Vitória e Jaseur, interagindo com os montes com variações temporais de intensidade na forma de pulsos, e ajudando a promover maior espalhamento de partículas sobre esses montes em relação aos demais da porção leste da CVT.

Os resultados obtidos pela modelagem numérica confirmaram que sobre o topo do Banco

de Vitória, Jaseur e Davis ocorre o desenvolvimento de um domo isopicnal (Cone de Taylor), o qual promove a subida de água a partir dos flancos/topo do monte em direção à superfície. Foi observado que a extensão vertical do domo é dependente da estratificação da coluna de água, a qual foi identificada como fator limitante da ascensão de nutrientes presentes no topo para a superfície e o desenvolvimento da floração anual de fitoplâncton observada nas imagens de satélite. Devido a maior profundidade do topo do Banco de Dogaressa (150 m), durante o inverno a mistura vertical não consegue atingir o topo do monte submarino, e conseqüentemente possíveis nutrientes presentes no topo não conseguem atingir a superfície, e desta forma as concentrações de clorofila-*a* foram similares ao do oceano profundo, não havendo diferenciação devido a presença do monte.

No período de Janeiro os resultados obtidos de B e dos perfis de massa específica mostraram que existe estratificação sobre o topo dos montes submarinos analisados, com baixa profundidade da CM e da CI ($\sim 20-30$ m), associado ao período de ganho de calor do oceano em torno de $60 W.m^2$. Associado a esse processo, o domo isopicnal estendeu-se verticalmente limitado à profundidade da estratificação (picnoclina), atingindo valores que variaram entre 35-45 m em média ao longo dos montes submarinos da CVT. Com a limitação dos nutrientes na região do topo dos montes, as concentrações de clorofila-*a* associadas ao verão foram baixas, aproximadamente entre $0,8-0,1 mg.m^{-3}$. O processo observado em Julho mostrou a perda de estratificação da coluna de água sobre o topo dos montes submarinos, principalmente devido à perda de calor do oceano para a atmosfera ($\sim 90 W.m^2$) dando condições para a mistura vertical. O vento nesse período atua como fator propulsor de ascensão de partículas na coluna de água ao longo de toda a CVT, e apenas na porção leste nos meses de verão. Desta forma, ocorre o aprofundamento da CM e da CI para níveis entre 70-90 m em média no oceano profundo, ou seja, os montes submarinos com topos de ~ 50 m terão mistura vertical até a superfície nesse período. O Cone de Taylor desenvolvido no verão é limitado à

profundidade sobre o topo devido à estratificação, desenvolve-se para Coluna de Taylor e atinge a superfície no inverno ($h_c \sim 80-140$ m), como observado nos perfis de massa específica. Esse processo permitiu a mistura de nutrientes presentes no topo dos montes para a coluna de água, promovendo o desenvolvimento do fitoplâncton, como observado nas séries temporais de concentração de clorofila-*a* do mesmo período ($\sim 0,14-0,18$ $mg.m^{-3}$). Destaca-se que esse processo somente é possível de ser observados nos montes submarinos que tem o topo localizado dentro dos primeiros 100 m de profundidade.

Os resultados mostraram que as características batimétricas dos montes submarinos ($\delta > 0,7$) e a presença de um fluxo superficial colidindo nos montes irão permitir o desenvolvimento do Cone de Taylor ao redor das estruturas ao longo do ano, de forma periódica através de pulsos sempre que houver $+\zeta$. Desta forma, a hidrodinâmica estará dando condições para a formação do domo isopícnal sobre as estruturas sem variabilidade sazonal. Entretanto, o aumento na concentração de clorofila-*a* sobre os montes de forma diferenciada em relação ao oceano ao redor somente irá ocorrer nos meses de inverno devido à quebra da estratificação e aos processos de interação Oceano-Atmosfera, como a mudança no padrão de ventos, perda de calor do oceano, mistura vertical e aprofundamento da CM e da CI, os quais permitem ao Cone de Taylor se estender verticalmente até atingir a superfície, formando a Coluna de Taylor e promovendo o desenvolvimento biológico.

Os Bancos de Vitória e Jaseur apresentaram concentrações de clorofila-*a* com maior espalhamento do que o Banco de Davis, apesar de ambos terem em média profundidade de 50 m do topo, entretanto, a atuação da CB é maior na porção oeste da CVT, ajudando a promover esse espalhamento. Nesses três montes submarinos rasos foi observado o desenvolvimento do domo isopícnal no mês de Janeiro (Cone de Taylor), desenvolvendo-se para a Coluna de Taylor em Julho com o aumento da mistura vertical, como mostrado através dos resultados da dinâmica da CM e da CI. O Banco de Dogressa não teve essa

característica marcante da floração do fitoplâncton, devido a CM e CI não conseguirem atingir o topo do monte, o qual está em 150 m em média. Apesar disso, o desenvolvimento do Cone de Taylor foi observado sobre o Banco de Dogaressa, porém, sem atingir a superfície e desenvolver a Coluna de Taylor.

As Figuras 7.1 a Figura 7.2 resumem o processo de interação dos montes submarinos rasos e profundos, respectivamente, com o fluxo de calor, atuação do vento, as correntes com a elevação das isopicnais, biodisponibilidade de nutrientes e a floração do fitoplâncton tanto em períodos de verão (esquerda) quanto períodos de inverno (direita).

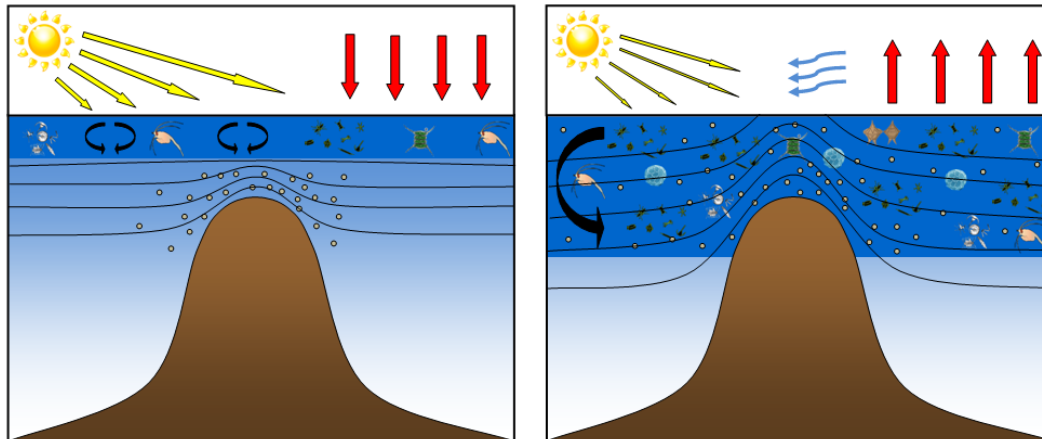


Figura 7.1: Esquema de atuação de processos oceanográficos e atmosféricos sobre um monte submarino raso em situação de verão (esquerda) e inverno (direita). As isolinhas representam as isopicnais, as setas vermelhas representam o ganho e perda de calor do oceano, enquanto as setas amarelas e azuis representam o aquecimento solar e a atuação do vento, respectivamente. A camada azul mais intensa na superfície representa a camada de mistura.

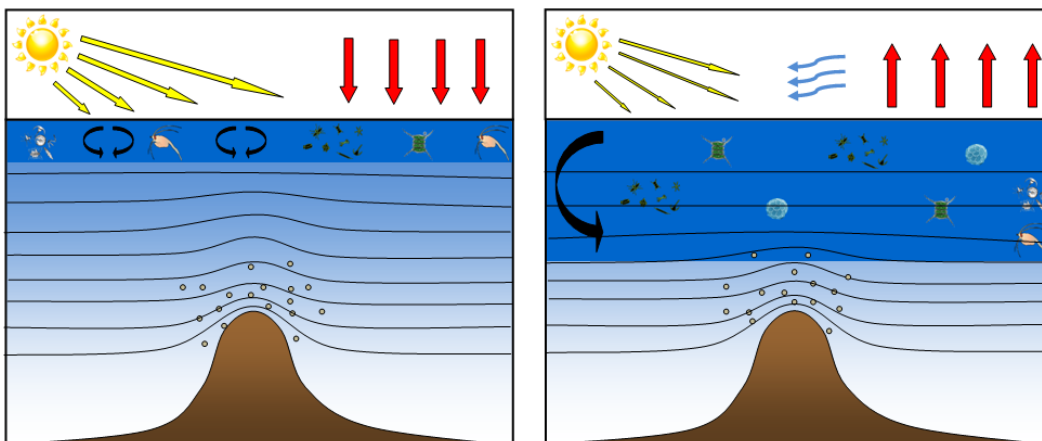


Figura 7.2: Esquema de atuação de processos oceanográficos e atmosféricos sobre um monte submarino profundo em situação de verão (esquerda) e inverno (direita). As isolinhas representam as isopicnais, as setas vermelhas representam o ganho e perda de calor do oceano, enquanto as setas amarelas e azuis representam o aquecimento solar e a atuação do vento, respectivamente. A camada azul mais intensa na superfície representa a camada de mistura.

Capítulo 8

Considerações Finais

As principais limitações do estudo apresentado consistem na falta de campanhas oceanográficas direcionadas à dinâmica dos montes submarinos, como já realizado nos estudos apresentados sobre os montes no Pacífico e Atlântico Norte. Desta forma, a ferramenta utilizada mais abrangente espacialmente foi a modelagem numérica com resolução de $1/24^\circ$, porém, dados de correntometria, nutrientes e clorofila-*a* coletados *in situ* poderiam verificar com maior precisão a influência dos montes na formação do Cone e Coluna de Taylor, bem como o comportamento químico-biológico associado. A complexidade estrutural dos montes submarinos da CVT também foi um fator limitante no estudo realizado em relação ao cálculo dos números adimensionais. Parâmetros como largura, comprimento e profundidade do topo planar foram estimados através de médias espaciais ao longo do monte, pois os mesmos não são compostos por uma estrutura única, e sim com a presença de picos e porções separadas da estrutura principal.

Para um maior entendimento da hidrodinâmica ao redor dos montes submarinos da CVT e do processo de formação e manutenção do Cone e Coluna de Taylor deve-se realizar um maior número de campanhas oceanográficas e amostragens *in situ* de forma sazonal, principalmente com o uso de correntômetros e perfiladores termohalinos sobre o topo e nos flancos, bem como a coleta de material biológico (fitoplâncton e zoo-

plâncton) para uma análise integrada com os processos físicos. Demais processos físicos como marés e ondas internas devem ser relacionados às análises futuras para um entendimento mais complexo sobre a hidrodinâmica ao redor desses montes submarinos. Por fim, estudos numéricos idealizados com a forma estrutural dos montes da CVT podem ser realizados a fim de avaliar quais as condições ideais (direção e intensidade de correntes) são necessárias para a formação de vórtices sobre e anexos aos montes, dando condições para a formação do Cone e Coluna de Taylor e possibilitando o aumento na concentração de clorofila-*a*.

Referências Bibliográficas

- Amado-Filho, G., Maneveldt, G., Manso, R., Marins-Rosa, B., Pacheco, M., and Guimarães, S. (2007). Structure of rhodolith beds from 4 to 55 meters deep along the southern coast of Espírito Santo State, Brazil. *Cienc. Mar.*, 33:399–410.
- Amado-Filho, G., Maneveldt, G., Pereira-Filho, G., Manso, R., Bahia, R., Barros-Barreto, M., and Guimarães, S. (2010). Seaweed diversity associated with a Brazilian tropical rhodolith bed. *Cienc. Mar.*, 36(4):371–391.
- Amado-Filho, G., Moura, R., Bastos, A., Salgado, L., Sumida, P., Guth, A., Francini-Filho, R., Pereira-Filho, G., Abrantes, D., Brasileiro, P., Bahia, R., Leal, R., Kaufman, L., Kleypas, J., Farina, M., and Thompson, F. (2012). Rhodolith Beds Are Major CaCO₃ Bio-Factories in the Tropical South West Atlantic. *j.pone.0035171*, 7(4):e35171. doi:10.1371.
- Assireu, A., Stevenson, M., and Stech, J. (2003). Surface Circulation and Kinetic Energy in the SW Atlantic Obtained by Drifters. *Cont. Shelf Res.*, 23(2):145–157.
- Banse, K. (1987). Seasonality of phytoplankton chlorophyll in the central and southern Arabian Sea. *Deep-Sea Res.*, 34:713–723.
- Beckmann, A. (1999). Dynamical processes at isolated seamounts. *Habilitation thesis, Carl-von-Ossietzky University Oldenburg*, pages 1–154.

- Bleck, R., Rooth, C., and Hu, D. (1992). Salinity-driven Thermocline Transients in a Wind- and Thermohaline-driven Isopycnic Coordinate Model of the North Atlantic. *J. Phys. Oceanogr.*, 22:1486–1505.
- Boehlert, G. and Genin, A. (1987). A review of the effects of seamounts on biological processes. *Am. Geophys. Union*, 47:319–334.
- Bonecker, S., Nogueira, C., Bonecker, A., Santos, L., Reynier, M., and Tenenbaum, D. (1992). Estudo hidrográfico e planctológico da região entre Cabo Frio (Rio de Janeiro) e o arquipélago de Abrolhos (Bahia) - Brasil. *Neritica*, 7:71–86.
- Brink, K. (1995). Tidal and lower frequency currents above Fieberling Guyot. *J. Geophys. Res.*, 100(C6):10817–10832.
- Campos, E., Goncalves, J., and Ikeda, Y. (1995). Water mass structure and geostrophic circulation in the South Brazil Bight - summer of 1991. *J. Geophys. Res. Oceans*, 100:18.537–18.550.
- Caspel, M. R. V., Mata, M. M., and Cirano, M. (2010). Sobre a relação TS na porção central do Atlântico Sudoeste: Uma contribuição para o estudo da variabilidade oceânica no entorno da Cadeia Vitória-Trindade. *Atlantica*, pages 95–110.
- Castelão, M. and Barth, J. (2006). Upwelling around Cabo Frio, Brazil: the importance of the wind stress curl. *Gephys. Res. Lett.*, 33:10.1029/2005GL025182.
- Chapman, D. and Haidvogel, D. (1992). Formation of Taylor Caps over a tall isolated seamount in a stratified ocean. *Geophy. Astro. Fluid*, 64:31–65.
- Ciotti, A. (2001). Variação espacial e temporal da cor do oceano na região central da costa Brasileira. *Relatorio Final Bolsa DTI-REVIZEE*, page 45.
- Ciotti, A., Garcia, C., and Jorge, D. (2010). Temporal and meridional variability of

- Satellite-estimates of surface chlorophyll concentration over the Brazilian continental shelf. *Pan Am. J. Aqua. Sci.*, 5:236–253.
- Codiga, D. and Eriksen, C. (1997). Observation of low-frequency circulation and amplified subinertial tidal currents at Cobb seamount. *J. Geophys. Res.*, 102(C10):22993–23007.
- Comeau, L., Vezina, A., Bourgeois, M., and Juniper, S. (1995). Relationship between phytoplankton production and the physical structure of the water column near Cobb Seamount. *Deep-Sea Res.*, 42:993–1005.
- Costa, K. (1996). Distribución de los nutrientes en el Mediterráneo Occidental (Golfo de León e Mar Catalán)-influencia de los factores físicos. *Tese (Doutorado em Ciências). Centre d'Estudis Avancats de Blanes de la Universidad Politècnica de Catalunya*, page 207.
- Costa, T. (2007). Existe um Vórtice de Vitória Climatológico? *Monografia de conclusão de curso - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo - IO/USP*.
- Costa Jr, O., Nimmo, M., and Attrill, M. (2008). Coastal nutrification in Brazil: A review of the role of nutrient excess on coral reef demise. *J. S. Am. Earth Sci.*, 25:257–270.
- Darnitski, V. (1980). On the geostrophic circulation in areas of underwater mounts in the northern Pacific. *Treatise of Far Eastern Scientific Institute (DVNII), Vladivostok*, 86:63–70.
- Defant, A. (1941). Die absolute topographie des phys. *Ozean. Meteor. Werk.*, 6(2):191–250.
- Dias, C. (1996). Copepods of the east coast of Brazil. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, 39(1):113–122.

- Dower, J., Freeland, H., and Juniper, K. (1992). A strong biological response to oceanic flow past Cobb seamount. *Deep-Sea Res.*, 42:1139–1145.
- Emilson, I. (1961). The shelf and coastal Waters off Southern Brazil. *Bolm. Inst. Oceanog.*, 7(2):101–112.
- Eriksen, C. (1991). Observation of amplified flows atop a large seamount. *J. Geophys. Res.*, 96:15227–15236.
- Eriksen, C. (1998). Internal wave reflection and mixing at Fieberling Guyot. *J. Geophys. Res.*, 103:2977–2994.
- Evans, D. and Signorini, S. (1985). Vertical structure of the Brazil Current. *Nature*.
- Evans, D., Signorini, S., and Miranda, L. (1983). A note on the transport of the Brazil Current. *Phys. Oceanogr.*, 13(9):1732–1738.
- Fock, H., Mathiessen, B., Zidowitz, H., and Westernhagen, H. (2002). Diel and habitat-dependent resource utilisation by deep sea fisheries at the Great Meteor Seamount: niche overlap and support for the sound scattering layer interception hypothesis. *Mar. Ecol-Prog. Ser.*, 50:219–233.
- Fodor, R. and Hanan, B. (2000). Geochemical evidence for the Trindade hotspot trace: Columbia seamount ankaramite. *Lithos*, 51:293–304.
- Foster, M. (2001). Mini-review: rhodoliths, between rocks and soft places. *J. Phycol.*, 37:659–657.
- Foster, M., McConnico, L., Lundsten, L., Wadsworth, T., Kimball, T., Brooks, L., Medina-Lopez, M., Riosmena-Rodriguez, R., Vasquez-Elizondo, R., Johnson, D., Hernandez-Carmona, G., and Steller, D. (2007). Diversity and natural history of a Lithothamnion muelleri-Sargassum horridum community in the Gulf of California. *Cienc. Mar.*, 33:367–384.

- Freeland, H. (1994). Ocean circulation at Cobb seamount. *Deep-Sea Res.*, 41:1715–32.
- Gabioux, M., Costa, V., De Souza, J., Oliveira, B., and Paiva (2013). Modeling the South Atlantic Ocean from Medium to High Resolution. *Rev. Bras. Geof.*, 31(2):229–242.
- Gaeta, S., Lorenzetti, J., Miranda, L., Susini-Ribeiro, S., Pompeu, M., and De Araujo, C. (1999). The Vitória Eddy and its relation to the phytoplankton biomass and primary productivity during the austral fall of 1995. *Arch. Fish. Mar. Res.*, 47:253–270.
- Garzoli, S. and Garrafo, Z. (1989). Transports, frontal motions and eddies at the Brazil – Malvinas currents confluence. *Deep-Sea Res.*, 36(5):681–703.
- Genin, A. (2004). Bio-physical coupling in the formation of zooplankton and fish aggregation over abrupt topographies. *J. Mar. Sys.*, 50:3–20.
- Genin, A. and Boehlert, G. (1985). Dynamics of temperature and chlorophyll structures above a seamount. An oceanic experiment. *J. Mar. Res.*, 43:907–924.
- Genin, A. and Dower, J. (2007). Seamount plankton dynamics. *In: Seamounts: Ecology, Fisheries and Conservation.*
- Genin, A., Greene, C., Haury, L., Wiebe, P., Gal, G., Kaartvedt, S., Meir, E., Feys, C., and Dawson, J. (1994). Zooplankton patch dynamics: daily gap formation over abrupt topography. *Deep-Sea Res.*, 41:941–951.
- Genin, A., Haury, L., and Greenblatt, P. (1988). Interactions of migrating zooplankton with shallow topography: predation by rockfishes and intensification of patchiness. *Deep-Sea Res.*, 35:151–175.
- Godfrey, J. and Lindstorm, E. (1989). The heat budget of the equatorial western Pacific surface mixed layer. *J. Geophys. Res.*, 94:8007–8017.

- Goldner, D. and Chapman, D. (1997). Flow and particle motion induced above a tall seamount by steady and tidal background currents. *Deep-Sea Res.*, 44:719–744.
- Haidvogel, D., Beckmann, A., Chapman, D., and Lin, R. (1993). Numerical simulations of flow around a tall isolated seamount. Part II: Resonant generation of trapped waves. *J. Phys. Oceanogr.*, 23:2373–2391.
- Haury, L., Fey, C., Newland, C., and Genin, A. (2000). Zooplankton distribution around four eastern North Pacific seamounts. *Prog. Oceanogr.*, 45:69–105.
- Herz, N. (1977). Timing of spreading in the South Atlantic: Information from Brazilian alkalic rocks. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 88:101–112.
- Hogg, N. (1973). On the stratified Taylor column. *J. Fluid Mech.*, 58:517–537.
- Huppert, H. (1975). Some remarks on the initiation of inertial Taylor Columns. *J. Fluid Mech.*, 67:397–412.
- Huppert, H. and Bryan, K. (1976). Topographically generated eddies. *Deep-Sea Res.*, 32:655–679.
- Huthnance, J. (1978). On coastal trapped waves: analysis and numerical calculation by inverse iteration. *J. Phys. Oceanogr.*, 8:74–92.
- Isaacs, J. and Schwartzlose, R. (1965). Migrant sound scatterers: interactions with the sea floor. *Science*, 150:1810–1813.
- Kampel, M. (2013). Caracterização do *bloom* anual de clorofila na Baía de Campos (RJ) a partir de dados de satélite. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, page 10.
- Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S., Hnilo, J., Fiorino, M., and Potter, G. (2002). NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bull. Atmos. Met. Soc.*, 83(11):1631–1643.

- Kara, A., Rochford, P., and Hurlburt, H. (2000a). An optimal definition for ocean mixed layer depth. *J. Geophys. Res.*, 105:16803–16821.
- Kara, A., Rochford, P., and Hurlburt, H. (2000b). Mixed layer depth variability and barrier layer formation over the North Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.*, 105:16783–16801.
- Kara, A., Rochford, P., and Hurlburt, H. (2003). Mixed layer depth variability over the global ocean. *J. Geophys. Res.*, 118:10.1029/2000C000736.
- Kelly, K. and Qiu, B. (1995). Heat flux estimates for the western North Atlantic, I, Assimilation of satellite data into a mixed layer model. *J. Geophys. Oceanogr.*, 25:2344–2360.
- Kunze, E. and Sanford, T. (1997). Tidally driven vorticity, diurnal shear and turbulence atop Fieberling Seamount. *J. Phys. Oceanogr.*, 27:2663–2693.
- Lamb, P. (1984). On the mixed layer climatology of the north and tropical Atlantic. *Tellus*, 36:292–305.
- Lentini, C. and Carvalho, R. (2011). Sea Surface Temperature and Chlorophyll-a spatial-temporal variation using MODIS-Aqua in the Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, page 7176.
- Levitus, S. and Boyer, T. (1994). World Ocean Atlas 1994. *NOAA Atlas NESDIS 4*, 4:177.
- Levitus, S., Burgett, R., and Boyer, T. (1994). World Ocean Atlas 1994. *NOAA Atlas NESDIS 3*, 3:99.
- Lima, L. and Lentini, C. (2009). Variabilidade sazonal da profundidade da camada de mistura na região do Complexo Recifal dos Abrolhos e da Cadeia Vitória-Trindade

- baseada em dados de ventos derivados do satélite QuikSCAT. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 1:6533–6540.
- Lopukhin, A. (1986). Distribution of ATP over the sea mounts in the Atlantic ocean. *Oceanology (Moscow)*, 26:487–493.
- Lorenzetti, J., Wang, J., and Lee, T. (1988). Two-layer model of summer circulation on the southeast US. *Cont. Shelf Res.*, 18:591–608.
- Machado, I., Barreiro, M., and Calliari, D. (2013). Variability of chlorophyll-a in the Southwestern Atlantic from satellite images: Seasonal cycle and ENSO influences. *Cont. Shelf Res.*, 53:102–109.
- Mann, K. and Lazier, J. (1996). *Dynamics of Marine Ecosystems: Biological- Physical Interactions in the Oceans*. Second Edition.
- Martin, P. (1985). Simulation of the mixed layer at OWS November and Papa with several models. *J. Geophys. Res.*, 90:903–916.
- Martins, S. (2002). Estimativa de produção primária através de dados de sensoriamento remoto de cor do oceano na Costa Nordeste do Brasil, localizada entre 12S-22S / 30W-42W. *Dissertação (Conclusão do Curso de Ciência Biológicas)*. Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos.
- Mascarenhas, A., Miranda, B., and Rock, Y. (1971). A study of the oceanographic conditions in the region of Cabo Frio. *Fertil. Sea*, 1:285–308.
- Mata, M., Cirano, M., Caspel, M., Fonteles, C., Goni, G., and Baringuer, M. (2012). Observations of Brazil Current baroclinic transport near 22S: variability from the AX97 XBT transect. *Clivar Exch.*, 17:5–10.
- Metzler, P., Gilbert, P., Gaeta, S., and Ludlam, J. (1997). New regenerated production in the South Atlantic off Brazil. *Deep-Sea Res.*, 44:363–384.

- Mignot, J., Montegut, C., Lazar, A., and Cravatte, S. (2007). Control of salinity on the mixed layer depth in the world ocean: 2. Tropical areas. *J. Phys. Res.*, 112:C10010.
- Miranda, L. and Castro, B. (1981). Geostrophic flow conditions of the Brazil Current at 19°S. *Ciencia Interamericana*, 22(1-2):44–48.
- Mohn, C. and Beckmann, A. (2002). Numerical studies on flow amplification at an isolated shelfbreak bank, with application to Porcupine Bank. *Cont. Shelf Res.*, 22:1325–1338.
- Monterey, G. and Levitus, S. (1997). Seasonal variability of Mixed Layer Depth for the World Ocean. *NOAA Atlas NESDIS*, 14:100.
- Motoki, A., Motoki, K., and Melo, D. (2012). Caracterização da Morfologia Submarina da Cadeia Vitória-Trindade e Áreas Adjacentes-ES, com base na batimetria predita do Topo versão 14.1. *Rev. Bras. Geomorf.*, 13:151–170.
- Mouriño, B., Fernandez, E., Serret, P., Harbour, D., Sinha, B., and Pingree, R. (2001). Variability and seasonality of physical and biological fields at the Great Meteor Tablemount (sub tropical NE Atlantic). *Oceanologica Acta*, 42:1–20.
- Nellen, W. (1973). Investigation on the distribution of fish larvae and plankton near and above the Great Meteor Seamount. *Meteo: Forsch Ergeb*, 13:47–69.
- Niencheski, L., Baumgarten, M., Roso, R., and Bastos, L. (1999). *Oceanografia Química - levantamento bibliográfico e identificação do estado atual do conhecimento*. In: Série Documentos REVIZEE/SCORE-Central: Características hidrobiológicas da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ). Ed.: Jean Louis Valentim, Brasília.
- Obata, A., Ishizaka, J., and Endoh, M. (1996). Global verification of critical depth

- theory for phytoplankton bloom with climatological in situ temperature and satellite ocean color data. *J. Geophys. Res.*, 101:20657–20667.
- O'hara, T., Consalvey, M., Lavrado, H., and Stock, K. (2010). Environmental predictors and turnover of biota along a seamount chain. *Mar. Ecol.*, 31.
- Owens, W. and Hogg, N. (1980). Oceanic observations of stratified Taylor columns near a bump. *Deep-Sea Res.*, 27:1029–1045.
- Passos, L. (2011). Padrões de escoamento baroclínico de mesoescala ao largo do Embaiamento de Tubarão e do Banco de Abrolhos. *Dissertação de Mestrado - Instituto Oceanográfico da USP*, page 105.
- Pena, V. and Barbara, I. (2008). Maerl community in the northwestern Iberian Peninsula: a review of floristic studies and long-term changes. *Aquat. Conserv.*, 18:339–366.
- Pereira-Filho, G., Amado-Filho, G., Moura, R., Bastos, A., Guimarães, S., Salgado, L., Francini-Filho, R., Bahia, R., Abrantes, D., Guth, A., and Brasileiro, P. (2012). Extensive Rhodolith Beds Cover the Summits of Southwestern Atlantic Ocean Seamounts. *J. Coast. Res.*, 28:261–269.
- Peterson, R. and Stramma, L. (1991). Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Prog. Oceanogr.*, 26:1–73.
- Pimentel, F. (2012). A Corrente do Brasil e a Corrente de Contorno Intermediária na região da Cadeia Vitória-Trindade. *Tese de Mestrado - COPEE/UFRJ*, page 241.
- Pitcher, T., Morato, T., Hart, P., Clark, M., Haggan, N., and Santos, R. (2007). *Seamounts: Ecology, Fisheries and Conservation*. Blackwell Publishing.
- Platt, T. and Sathyendranath, S. (1988). Oceanic primary production: estimation by remote sensing at local and regional scale. *Science*, 241:1613–1620.

- Price, J., Weller, R., and Pinkel, R. (1986). Diurnal cycling: Observations and models of the upper ocean response diurnal heating, cooling, and wind mixing. *J. Geophys. Res.*, 91:8411–8427.
- Proudman, J. (1916). On the motion of solids in a liquid possessing vorticity. *P. Roy. Soc. Lon. A. Mat.*, 92:408–424.
- Rezende, C., Andrade, L. Suzuki, M., Faro, B., Gonzalez, A., and Paranhos, R. (2007). *Hidroquímica*. In: Série Documentos REVIZEE/SCORE-Central: Características hidrobiológicas da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ). Ed.: Jean Louis Valentim, Brasília.
- Riul, P., Lacouth, P., Pagliosa, P., Christoffersen, M., and Horta, P. (2009). Rhodolith beds at the easternmost extreme of South America: community structure of an endangered environment. *Aquat. Bot.*, 90:315–320.
- Roberts, D., Hogg, N., Bishop, D., and Flewelling, C. (1974). Sediment distribution around moated seamounts in the Rockall Trough. *Deep-Sea Res.*, 21:175–184.
- Roden, G. (1987). Effects of seamounts and seamounts chains on ocean circulation and thermohaline structure. In: *B. Keating, P. Fryer, Batiza R. e G. Boehlert, (Eds.), Seamounts, Islands and Atolls. Geophysical Monograph*, 43:335–354.
- Roden, G. (1994). Effects of the Fieberling seamount group upon flow and thermohaline structure in the spring of 1991. *J. Geophys. Res.*, 99(C5):9941–9961.
- Rodrigues, R. and Lorenzetti, J. (2001). A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the southeast Brazilian coastal upwelling. *Cont. Shelf Res.*, 21:371–394.
- Rodrigues, R., Rothstein, L., and Wimbush, M. (2006). Seasonal variability of the

- South Equatorial Current Bifurcation in the Atlantic Ocean: A Numerical Study. *J. Phys. Oceanogr.*, 37:16–30.
- Rogers, A. (1994). The biology of seamounts. *Adv. Mar. Biol.*, 30:305–350.
- Royer, T. (1978). Ocean eddies generated by seamounts in the North Pacific. *Science*, 199:1063–1064.
- Santos, F. (2011). Variação Espaço-Temporal da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) entre os paralelos de $10^{\circ}S$ e $25^{\circ}S$. *Monografia de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Oceanografia e Ecologia da Universidade Federal do Espírito Santo*, page 68.
- Sato, O. (2009). Fluxo de calor oceânico medido por satélites: in Oceanografia por Satélites. *Oficina do Texto*, 2 Edição:165–184.
- Saulo, M. (2007). Ondas instáveis no sistema de correntes de contorno oeste ao largo de Abrolhos. *Dissertação apresentado ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo*, page 98.
- Schmid, C., Schafer, H., Podesta, G., and Zenk, W. (1995). The Vitoria Eddy and Its Relation to the Brazil Current. *J. Phys. Oceanogr.*, 25:2532–2546.
- Siegel, D. A., Doney, S. C., and Yoder, J. A. (2002). The North Atlantic spring phytoplankton bloom and Sverdrup's Critical Depth Hypothesis. *Science*, 296:730–733.
- Signorini, S., Miranda, L., Evans, D., Stevenson, M., and Inostroza, H. (1989). Corrente do Brasil: estrutura térmica entre $19^{\circ}S$ e $25^{\circ}S$ e a circulação geostrófica. *Boletim Instituto Oceanográfico - IO/USP*, 37:33–49.
- Silva, M. (2001). Sensoriamento Remoto do Campo de Concentração de Clorofila-a na Região da Costa Central do Brasil. *Programa Revizee - Score Central*, page 31.

- Silveira, I. (2006). O sistema Corrente do Brasil na Bacia de Campos, RJ. *Tese de Livre Docência*, page 160.
- Silveira, I., Brown, W., and Flier, G. (2000). Dynamics of the North Brazil Current retroflection region from the western tropical atlantic experiment observations. *J. Geophys. Res.*, 105(12):28559–28583.
- Skolotnev, S., Peyve, A., and Truko, N. (2010). New data on the structure of the Vitória-Trindade seamount chain (western Brazil basin, South Atlantic). *Doklady Earth Sciences*, 431:435–440.
- Sorokin, Y. (1987). Primary production in the Indian ocean and influence of underwater mounts. *Oceanology*, 27:293–300.
- Soutelino, R. (2008). A Origem da Corrente do Brasil. *Dissertação de Mestrado - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo - IO/USP*, page 120.
- Soutelino, R., Silveira, I., Gangopadhyay, A., and Miranda, J. (2011). Is the Brazil Current eddydominated to the north of 20oS? *Geophys. Res. Lett.*, 38.
- Stramma, L. and England, M. (1999). On the water masses and mean circulation of the South Atlantic ocean. *J. Geophys. Res.*, 104:20863–20883.
- Susini-Ribeiro, S. (1999). Biomass distribution of pico-, nano- and microplankton on the continental shelf of Abrolhos, East Brazil. *Arch. Fish. Mar. Res.*, 47(2-3):271–284.
- Sverdrup, H., Johnson, M., and Fleming, R. (1942). The oceans: their physics, chemistry and general biology. *Prentice Hall*.
- Taylor, G. (1917). Motions of solids in fluids when the flow is not irrotational. *P. Roy. Soc. Lon. A. Mat.*, 93:99–113.
- Taylor, K. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J. Geophys. Res.*, 106:7183–7192.

- Teixeira, C., Lessa, G., Cirano, M., and Lentini, C. (2013). The inner shelf circulation on the Abrolhos Bank, 18S, Brazil. *Cont. Shelf Res.*, 70:13–26.
- Tenenbaum, D., Gomes, E., and Guimarães, G. (2007). *Microorganismos Planctônicos*. In: Série Documentos REVIZEE/SCORE-Central: Características hidrobiológicas da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ). Ed.: Jean Louis Valentim, Brasília.
- Thomaz-Filho, A. and Rodrigues, A. (1999). O alinhamento de rochas alcalinas Poços de Caldas-Cabo Frio (RJ) e sua continuidade na Cadeia Vitória-Trindade. *Rev. Bras. de Geoc.*, 29:189–194.
- Thompson, R. (1976). Climatological models of the surface mixed layer of the ocean. *J. Geophys. Oceanogr.*, 6:16683–16694.
- Tsuchiya, M. (1985). Evidence of a double-cell subtropical gyre in the South Atlantic Ocean. *J. Mar. Res.*, 43:57–65.
- Turnewitsch, R., Reyss, J., Chapman, D., Thomson, J., and Lampitt, R. (2004). Evidence for a sedimentary fingerprint of an asymmetric flow field surrounding a short seamount. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 222:1–26.
- Wagner, R. (1996). Decadal scale trends in mechanisms controlling meridional sea surface temperature gradients in the tropical Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 101:16683–16694.
- Williams, A. and Koslow, J. (1997). Species composition, biomass and vertical distribution of micronekton over the mid-slope region off southern Tasmania, Australia. *Mar. Biol.*, 130(2):1432–1443.
- Wüst, G. (1935). Schichtung und zirkulation des Atlantischen Ozeans. *Atlant. Exp. "Meteo"*, 6:109–228.