



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 Ambiental, na Área de Oceanografia Física.

Orientador: Prof. Dr. Renato David Ghisolfi

Vitória
2014

Aluno, Angelo Teixeira Lemos.

Aspectos Meteo-oceanográficos associados com a Concentração de Clorofila-*a* ao longo da Cadeia Vitória-Trindade
116 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 meu 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 entrou 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 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 CM e CI. 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, heat net 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 fold than oceanic waters around. This result is explained by seamounts topographic feature, surface currents, thermohaline seasonal behavior, heat net flux and CM e CI 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 CM and CI, heat net 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, Hydrodinamic, Models, HYCOM, Satellite

Lista de Figuras

2.1	Área de estudo compreendendo a distância entre o Banco de Vitória e o Banco de Colúmbia	6
3.1	Representação esquemática do estiramento e compressão de um fluido ao passar por um monte submarino	13
3.2	Características da circulação residual e domo isopicnal sobre um monte submarino	14
3.3	Representação esquemática da circulação vertical secundária sobre o monte submarino	15
3.4	Esquema dos fatores físicos que controlam a dinâmica localizada em montes submarinos	15
3.5	Amplificação ressonante e geração de fluxo médio	17
3.6	Condições de formação do Cone de Taylor	18
3.7	Esquema mostrando fluxo vertical de nutrientes associado com processos dinâmicos	21
3.8	Esquema mostrando processos advectivos nos montes submarinos	22
4.1	Distribuição da malha amostral do Programa REVIZEE - Score Central	25
4.2	Média mensal de Janeiro de 2005 para concentração de clorofila- <i>a</i>	29
4.3	Média mensal de Abril de 2005 para concentração de clorofila- <i>a</i>	29
4.4	Média mensal de Julho de 2005 para concentração de clorofila- <i>a</i>	30

4.5	Média mensal de Outubro de 2005 para concentração de clorofila- <i>a</i>	30
5.1	Pontos de análise de clorofila- <i>a</i> ao longo da CVT	33
5.2	Trajetória de análise de clorofila- <i>a</i> ao longo da CVT	34
5.3	Transectos sobre a CVT para análise do perfil vertical de velocidade, densidade e temperatura para os meses de Janeiro e Julho	36
5.4	Transecto para análise dos dados hidrodinâmicos a partir de um gráfico tipo hovmoller	37
5.5	Transecto de ida e volta do Navio Oc. Antares - Novembro/Dezembro 2011	38
5.6	Transecto de volta do Navio Oc. Cruzeiro do Sul - Julho 2013	39
5.7	Localização do transecto para o cálculo do REV e W_E	40
5.8	Localização da Boia PIRATA e do Banco de Davis	41
5.9	Localização dos pontos de análise de Fluxo de Calor	42
5.10	Pontos do Projeto REVIZEE para o cálculo da CM e CI	44
5.11	Pontos de coleta do Projeto MOVAR e HYCOM- Fevereiro/2005	45
5.12	Pontos de coleta do Projeto MOVAR e HYCOM - Agosto/2005	46
5.13	Diagrama os dados utilizados e objetivos	46
6.1	Diagrama de Taylor para análise estatística entre a série temporal dos dados da componente zonal do vento do Banco de Davis (modelo ETA 20 km) e da Boia PIRATA	48
6.2	Diagrama de Taylor para análise estatística entre a série temporal dos dados da componente meridional do vento do Banco de Davis (modelo ETA 20 km) e da Boia PIRATA	49
6.3	Perfil vertical de Temperatura dos dados do MOVAR e HYCOM com o resultado da CI para o mês de Fevereiro/2005	50

6.4	Perfil vertical de Temperatura dos dados do MOVAR e HYCOM com o resultado da CI para o mês de Agosto/2005	51
6.5	Variabilidade espaço-temporal da concentração de clorofila- <i>a</i> na trajetória entre o Banco de Vitória e Banco de Dogaressa	53
6.6	Série temporal da distribuição de clorofila- <i>a</i> sobre o Banco de Vitória . .	55
6.7	Série temporal da distribuição de clorofila- <i>a</i> sobre o Banco de Jaseur . .	56
6.8	Série temporal da distribuição de clorofila- <i>a</i> sobre o Banco de Davis . . .	57
6.9	Série temporal da distribuição de clorofila- <i>a</i> sobre o Banco de Dogaressa	58
6.10	Gráfico <i>boxplot</i> dos dados de clorofila- <i>a</i> sobre os Bancos de Vitória, Jaseur, Davis e Dogaressa no período chuvoso	60
6.11	Gráfico <i>boxplot</i> dos dados de clorofila- <i>a</i> sobre os Bancos de Vitória, Jaseur, Davis e Dogaressa no período seco	60
6.12	Média mensal de clorofila- <i>a</i> entre 2003 e 2011 com erro padrão associado	61
6.13	Campo de Velocidade Horizontal em 20 m - Janeiro/2005	63
6.14	Campo de Velocidade Horizontal em 400 m - Janeiro/2005	64
6.15	Campo de Velocidade Horizontal em 100 m - Janeiro/2005	64
6.16	Campo de Velocidade Horizontal em 20 m - Julho/2005	66
6.17	Perfil 2 - Temperatura conservativa e massa específica - Janeiro/2005 . .	67
6.18	Perfil 2 - Componente zonal e meridional da velocidade - Janeiro/2005 .	68
6.19	Perfil 2 - Temperatura conservativa e massa específica - Julho/2005 . . .	69
6.20	Perfil 5 - Temperatura conservativa e massa específica - Janeiro/2005 . .	70
6.21	Perfil 5 - Componente zonal e meridional da velocidade - Janeiro/2005 .	71
6.22	Perfil 5 - Temperatura conservativa e massa específica - Julho/2005 . . .	72
6.23	Perfil 7 - Temperatura conservativa e massa específica - Janeiro/2005 . .	72
6.24	Perfil 7 - Temperatura conservativa e massa específica - Julho/2005 . . .	73
6.25	Perfil 7 - Componente zonal e meridional da velocidade - Janeiro/2005 .	73
6.26	Perfil 7 - Componente zonal e meridional da velocidade - Julho/2005 . .	74

6.27	Variação espaço-temporal da estimativa do R_o sobre a CVT	75
6.28	Variação espaço-temporal da estimativa do Parâmetro de Bloqueio (B_R) sobre a CVT	77
6.29	Variação espaço-temporal da estimativa da ζ sobre a CVT	78
6.30	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)	79
6.31	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)	80
6.32	Imagem de TSM do dia 30/11 e 07/12/2011 sobreposta aos vetores de velocidade superficial coletados pelo ADCP do Navio Oc. Antares	81
6.33	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)	82
6.34	Imagem de TSM do dia 30/07/2013 sobreposta aos vetores de velocidade coletados pelo ADCP do Navio Oc. Cruzeiro do Sul	82
6.35	Campo de Velocidade Horizontal em 100 m - Julho/2005	83
6.36	Rosa-dos-ventos dos dados mensais de Janeiro e Fevereiro entre os anos de 2006 e 2010 para os Bancos de Vitória e Davis	85
6.37	Rosa-dos-ventos dos dados mensais de Março e Abril entre os anos de 2006 e 2010 para os Bancos de Vitória e Davis	86
6.38	Rosa-dos-ventos dos dados mensais de Maio e Junho entre os anos de 2006 e 2010 para os Bancos de Vitória e Davis	87
6.39	Rosa-dos-ventos dos dados mensais de Julho e Agosto entre os anos de 2006 e 2010 para os Bancos de Vitória e Davis	88

6.40 Rosa-dos-ventos dos dados mensais de Setembro e Outubro entre os anos de 2006 e 2010 para os Bancos de Vitória e Davis	89
6.41 Rosa-dos-ventos dos dados mensais de Novembro e Dezembro entre os anos de 2006 e 2010 para os Bancos de Vitória e Davis	90
6.42 Variação espaço-temporal do W_E sobre a CVT	91
6.43 Média mensal de fluxo de calor para os Bancos de Vitória e Davis	92
6.44 Média mensal da CI e CM para o Banco de Vitória e no ponto -1 ^o	93
6.45 Média mensal da CI e CM para o Banco de Jaseur e no ponto -1 ^o	94
6.46 Média mensal da CI e CM para o Banco de Davis e no ponto -1 ^o	94
6.47 Média mensal da CI e CM para o Banco de Dogaressa e no ponto -1 ^o	95
6.48 Análise do início do <i>bloom</i> de fitoplâncton nos Bancos de Vitória, Jaseur e Davis	96

Lista de Tabelas

2.1	Aspectos batimétricos dos montes submarinos da CVT	7
5.1	Critérios de Temperatura para CM e CI	42
6.1	Números adimensionais calculados sobre os Bancos de Vitória, Jaseur e Davis nos meses de Janeiro e Julho/2005	67

Sumário

1	Introdução	1
2	Área de Estudo	5
3	Fundamentação Teórica	11
3.1	Montes Submarinos	11
3.2	Interações Biológicas	20
4	Evidências <i>in e ex-situ</i>	24
5	Materiais e Métodos	32
5.1	Sensoriamento Remoto	32
5.2	Hidrodinâmica do Oceano	35
5.3	Interação Oceano-Atmosfera	39
5.4	Aspectos Termohalinos do Oceano	42
6	Resultados e Discussão	47
6.1	Validação dos Resultados	47
6.2	Sensoriamento Remoto	52
6.3	Aspectos termohalinos e dinâmicos do oceano	63
6.4	Interação Oceano-Atmosfera	84

7 Conclusões	98
8 Considerações Finais	101
Referências Bibliográficas	103

Capítulo 1

Introdução

Montes submarinos são algumas das feições de maior abundância 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 ([Motoki 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. Ocorrem aproximadamente 30 montes submarinos de forma cônica, que são considerados morfologicamente como edifícios vulcânicos, dos quais 17 têm altura relativa superior a 2500 m. Dentre os montes da CVT, o monte submarino de Colúmbia, Dogaressa, Davis e Jaseur fo-

ram 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, sendo 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 gêneses 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.

Dependendo da distância entre o topo e a picnoclina sazonal, um *efeito seamount* (formação de domo isopicnal sobre o monte submarino) sobre o fluxo padrão pode se formar e ser restrito a algumas dezenas de metros sobre o topo 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 rodolitos, os quais possuem uma rica biodiversidade em águas relativamente pobres em nutrientes. Esse material presente no topo dos bancos submarinos rasos pode 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, desde o enriquecimento da produtividade primária com o aumento da concentração de clorofila-*a* até o aparecimento de organismos nectônicos.

Esses processos que resultam em aumento da clorofila-*a* são descritos 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 *bloom* 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 do estresse 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.

Apesar das características citadas anteriormente, o sistema de correntes superficiais 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, Montágue e Jaseur, apresentando 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 de alta pressão. A ACAS trifurca-se aproximadamente na latitude da CVT (Silveira et al., 2000) e parte dela flui para norte como a Sub-Corrente Norte (SBN) do Brasil e a outra vai para o sul incorporada à CB. A ACAS se constitui como a água de ressurgência no litoral sudeste brasileiro (Lorenzetti et al., 1988; Rodrigues and Lorenzetti, 2001; Castelão and Barth, 2006).

Nesse intuito, o principal objetivo do estudo é identificar e avaliar o papel dos montes submarinos da CVT e dos principais aspectos meteo-oceanográficos associados na diferenciação da variabilidade espaço-temporal na concentração de clorofila-*a*. Para

atingir esse objetivo, foram realizadas análises das variabilidades sazonais das correntes superficiais através dos resultados de modelagem numérica, taxas de fluxo de calor Oceano-Atmosfera, dinâmica da Camada de Mistura (CM) e Camada Isotérmica (CI), análise de dados de corrente medidos *in situ*, padrão de ventos e o uso de imagens de satélite de clorofila-*a*.

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 Global (*HYbrid Coordinate Ocean Model*) com o objetivo 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 divulgada e comentada na literatura.

A modelagem foi associada 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.

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 mostra 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 através das 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 ligados, 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.

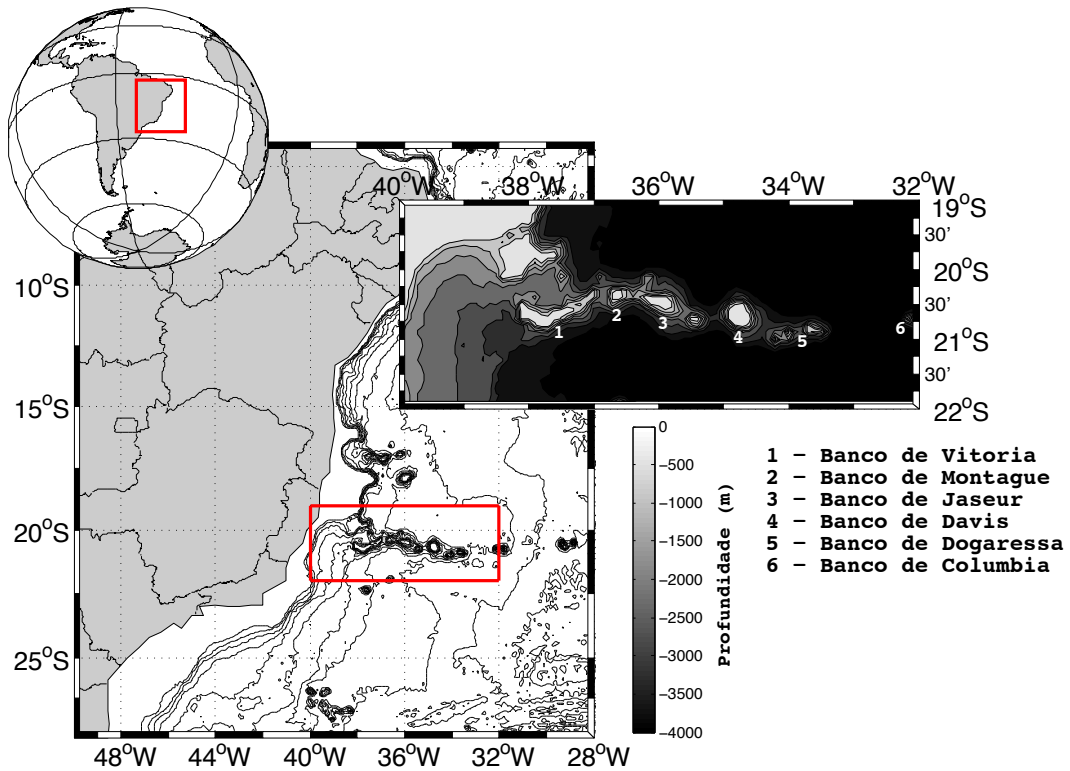


Figura 2.1: Área de estudo compreendendo a distância entre o Banco de Vitória e o Banco de Colúmbia.

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 esses também 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 caracteris-

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 com 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 micróbios 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 $1.8 \text{ kg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$. 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 já citado por Pereira-Filho et al. (2012), que os topos desses montes sejam ricos em rodolitos. Todos esses fatores sugerem a alta atividade biológica associada ao topo desses montes, cujos processos oceanográficos podem viabilizar o aumento na concentração de nutrientes e proporcionar um *bloom* de fitoplâncton na região do topo e ao 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 aproximadamente em $10^\circ S$ na região onde a Corrente Sul Equatorial (CSE) se bifurca, formando também a Corrente Norte do Brasil (Stramma and England, 1999).

Nessa região de contorno oeste do Atlântico Sul diferentes autores analisaram a Bifurcação da Corrente Sul Equatorial (BiCSE) com a formação da CB. 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 sínticos 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 de AT ([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 $0.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e $0.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 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 $0.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ([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 da CB e o fluxo de massas de água ao longo da CVT, entretanto, um dos consensos aceitos condiz com a complexidade do sistema de fluxo interagindo com o Banco de Vitória. 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 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, 1993). 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 padrão anticiclô-

nico 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 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).

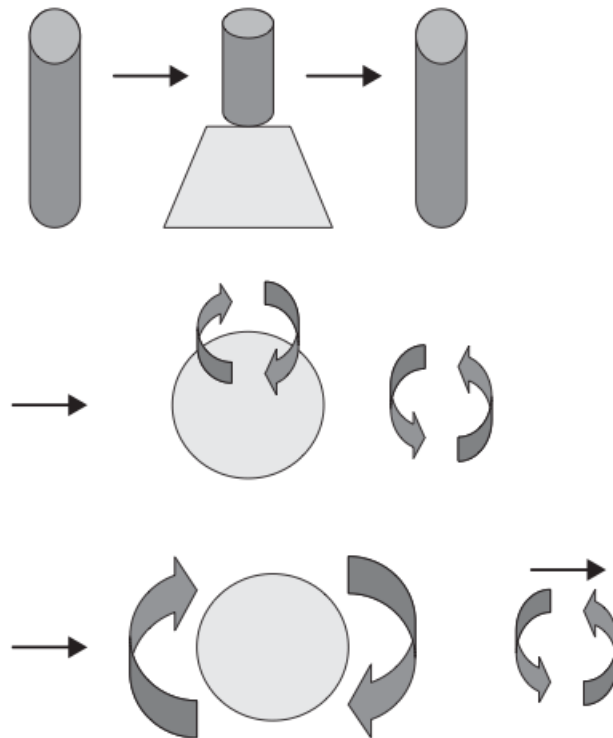


Figura 3.1: Representação esquemática do estiramento e compressão de um fluido ao passar por um monte submarino. Fonte: Pitcher et al. (2007).

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

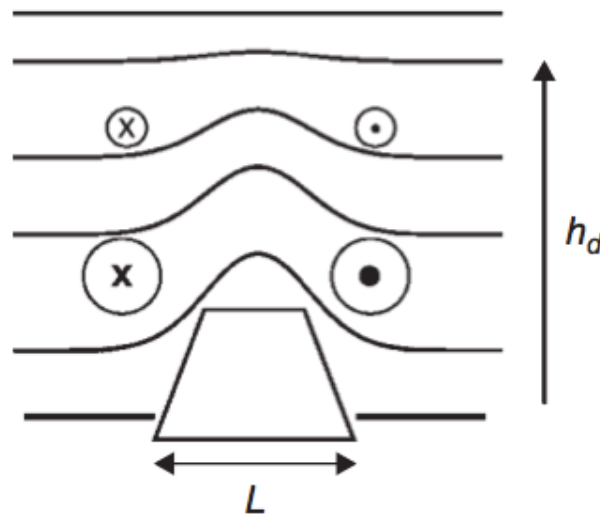


Figura 3.2: Características da circulação residual e domo isopical sobre um monte submarino. Fonte: Pitcher et al. (2007).

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*.

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 topográficas do monte, tais como sua dimensão linear (L), sua altura (h_o) e sua razão de profundidade (δ) (Figura 3.4).

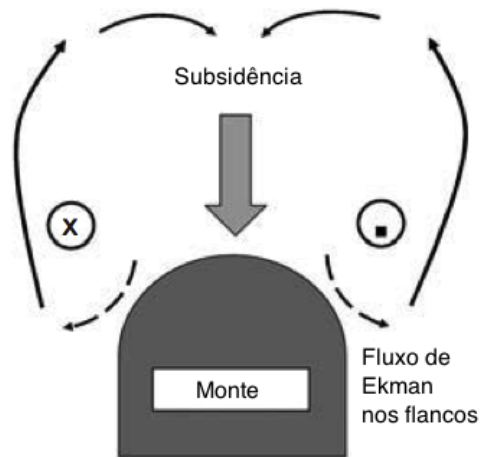


Figura 3.3: Representação esquemática da circulação vertical secundária sobre o monte submarino. Fonte: Adaptado de Pitcher et al. (2007).

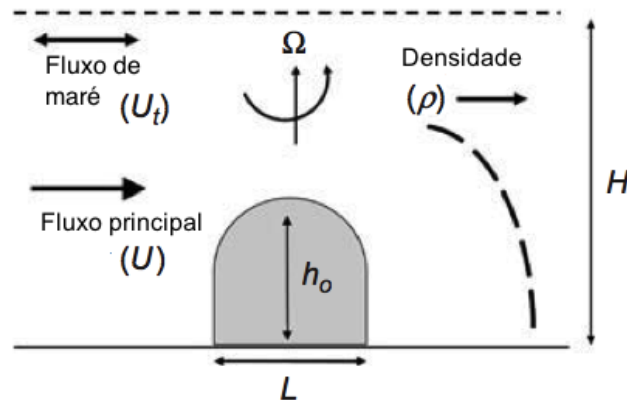


Figura 3.4: Esquema dos fatores físicos que controlam a dinâmica localizada em montes submarinos. L representa o comprimento do monte e h_o sua altura. Fonte: Adaptado de Pitcher et al. (2007)

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 pa-

râmetros básicos: Fração de altura entre o monte e a profundidade total (δ), 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 isopical. 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.

Entretanto, no oceano real não existem perfeições nem valores exatos, mas estratificação, variabilidade na velocidade e direção das correntes, turbulência e formas irregulares 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 ($\delta > 0.7$).

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

Na Equação 3.4, h_o representa a altura do monte e H a profundidade total (m). A importância da rotação da Terra na dinâmica sobre o monte submarino pode ser

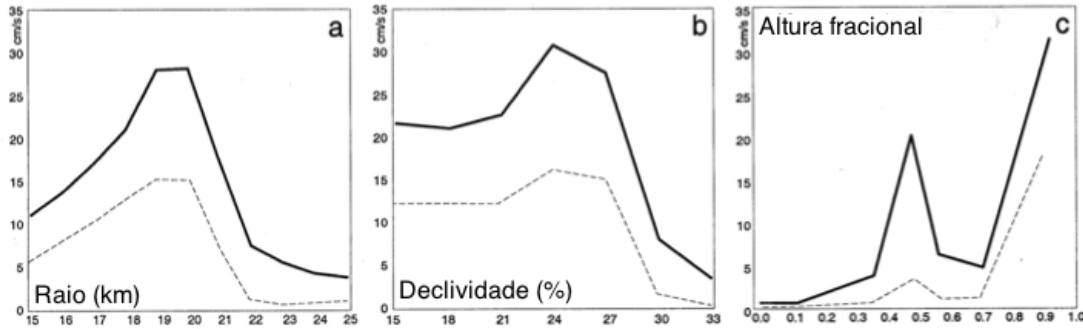


Figura 3.5: Amplificação ressonante (linha sólida) e geração de fluxo médio (linha pontilhada) para uma forçante periódica. O quadro (a) mostra que as melhores condições de formação do domo isopicnal são para montes submarinos com raio (km) entre 18 e 20 km, enquanto que o quadro (b) mostra que a declividade 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 \(1999\)](#).

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_{CH} (Equação 3.6), denominada de Parâmetro de Bloqueio ([Chapman and Haidvogel, 1992](#)). Nas condições do estudo realizado pelos autores, o Cone de Taylor se formará apenas se $B_{CH} > 2$.

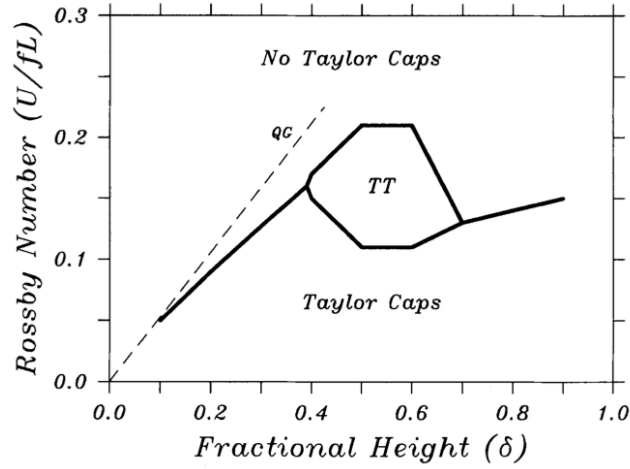


Figura 3.6: Condições de formação do Cone de Taylor. TT representa a formação temporária do Cone de Taylor. Fonte: [Chapman and Haidvogel \(1992\)](#)

$$B_{CH} = \frac{\delta}{R_o} \quad (3.6)$$

Uma outra forma de se calcular o Parâmetro de Bloqueio foi apresentada por [Roden \(1987\)](#) (B_R) (Equação 3.7), que considera mais parâmetros dimensionais do monte submarino.

$$B_R = \frac{h_o * f * L}{H * U} \quad (3.7)$$

Onde f é o parâmetro de Coriolis (s^{-1}), L é o diâmetro 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 3.8) 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).

$$B = \frac{N^2 * H^2}{f^2 * L^2} \quad (3.8)$$

Onde N representa a estratificação vertical (Equação 3.9).

$$N = [(-\frac{g}{\rho}) * (\frac{d\rho}{dz})]^{1/2} \quad (3.9)$$

Onde g representa a aceleração da gravidade (9.81 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 3.10) a partir da profundidade do topo em direção à superfície (Owens and Hogg, 1980).

$$h_c = \frac{L * f}{N} \quad (3.10)$$

O posicionamento da termoclina 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, desencadeando uma série de processos e respostas biológicas, enriquecendo o ambiente marinho 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. Os nutrientes são os principais limitantes 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 produtividade 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 clorofila-*a*, 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 (ciclo de vida de

organismos planctônicos). Dentre os processos físicos mencionados capazes de gerar esse aumento na produtividade, seis merecem destaque:

1. Domo isopícnal 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).

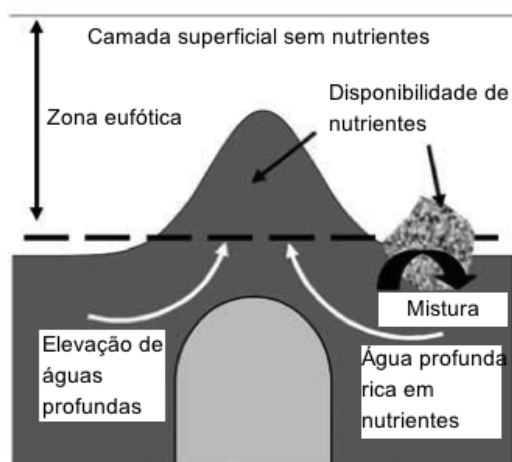


Figura 3.7: Esquema mostrando fluxo vertical de nutrientes associado com processos dinâmicos agindo nos montes submarinos. Fonte: Adaptado de Pitcher et al. (2007)

2. Domo isopícnal 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).
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 advecção para águas vizinhas, aumentando a produtividade nos montes (Goldner and

Chapman, 1997; Mohn and Beckmann, 2002) (Figura 3.8).

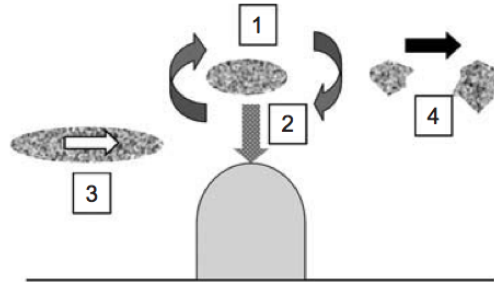


Figura 3.8: Esquema mostrando processos advectivos nos montes submarinos: 1 - matéria orgânica e larvas retidas por circulação vertical e anticiclônica; 2 - subsidência de material orgânico para a comunidade bentônica; 3 - incidência de corrente com entranchamento; 4 - dispersão advectiva e desenvolvimento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

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.

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 curtos ([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 leito 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, 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*

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.

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).

Além dos rodolitos, análises *in situ* de concentração de clorofila-*a* e 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 Recur-

dos 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).

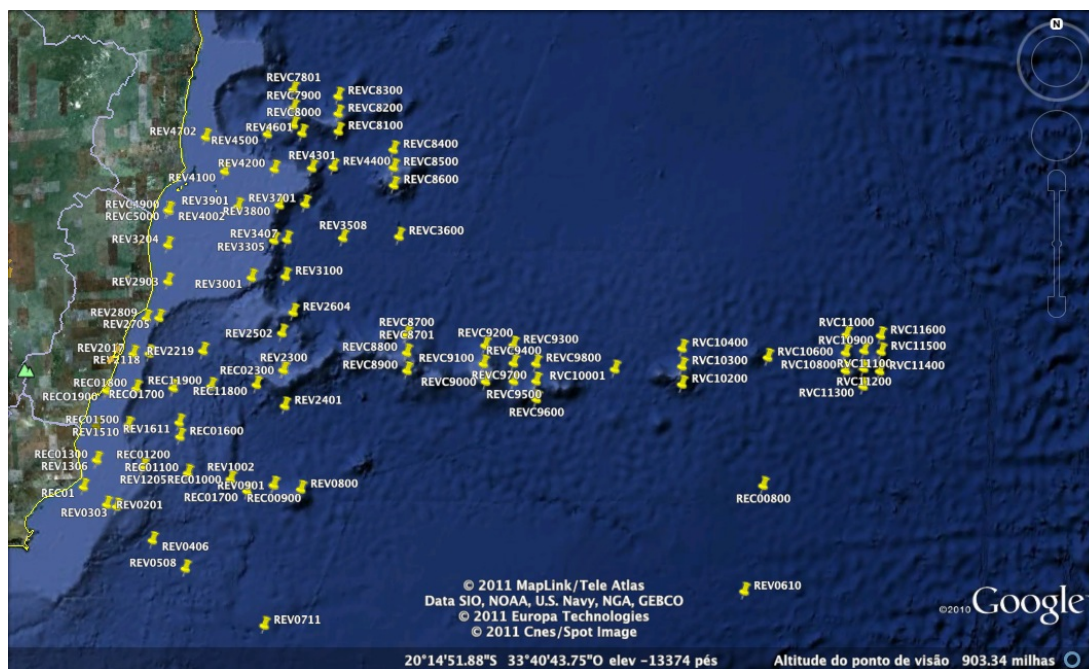


Figura 4.1: Distribuição da malha amostral do Programa REVIZEE - Score Central. Os pontos demarcam as coletas realizadas no período de Novembro e Dezembro/1998.

Os resultados obtidos, além de habilitarem o Brasil ao atendimento das disposições da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, no que se refere aos recursos vivos, também permitiram o reordenamento do setor pesqueiro nacional, com base em 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 promover a fertilização da zona fótica (Metzler et al., 1997).

As campanhas de 1998 e 2000 do Programa REVIZEE mostraram que sobre essas re-

giões as concentrações foram em torno de 2 a 3 vezes maior em relação às águas ao redor, em geral mais evidente nos meses de inverno (Silva, 2001). Sobre o Banco de Vitória os resultados mostraram 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.

Os resultados bio-ópticas do REVIZEE sobre os montes submarinos mostraram que a comunidade fitoplanctônica coletada não havia se desenvolvido para níveis tróficos de maior biomassa, existindo em grande maioria organismos de pico e nanoplâncton, e pouca biomassa zooplanctônica. Essa informação diz 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 indicaram o Banco de Davis, com valor mais alto de densidade picoplanctônica heterotrófica e nanoplâncton autotrófico, com $2 * 10^9 cel.L^{-1}$ e $> 1.5 * 10^6 cel.L^{-1}$, respectivamente. O nanoplâncton heterotrófico também teve maiores concentrações de densidade nas estações mais extremas da CVT, com valores maiores do que $10 * 10^5 cel.L^{-1}$. Os maiores valores de densidade do microfitoplâncton ($> 9 * 10^2 cel.L^{-1}$) 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.

Os resultados do REVIZEE mostraram que espacialmente o ortofosfato (forma assimilada de Fósforo para o fitoplâncton) caracterizou a oligotrofia da região central da zona econômica exclusiva, com valores mais elevados ($> 1.0 \mu M$) nas estações situadas sobre a CVT (Rezende 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).

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 ($> 0.3 \mu\text{M}$). As concentrações de nitrogênio amoniacal são em geral muito baixas em regiões oceânicas, caracterizando o 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 as características geológicas da região favorecem o afloramento da ACAS e o transporte de nutrientes oriundos da zona afótica (Rezende et al., 2007). Apesar dos autores citarem esse processo de ressurgência da ACAS sobre os montes submarinos da CVT, 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., 2007).

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 os 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., 9293).

Além das medições *in situ*, muitos trabalhos desenvolvidos ao longo do litoral brasileiro utilizaram imagens de satélite para analisar a distribuição e sazonalidade da concentração 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. Essas imagens mostraram as maiores concentrações de clorofila-*a* durante o período de inverno, como sendo possivelmente os meses de maior biomassa. Comparativamente é notória a maior produtividade dos montes nos meses de Junho/Julho, e também nos meses de Agosto e Setembro (não mostrado).

Nessas imagens é possível observar as menores concentrações de clorofila-*a* no mês de Janeiro ($\sim 0.1 \text{ mg.m}^{-3}$), aumentando no mês de Abril e atingindo altos valores no mês de Julho ($\sim 0.3\text{-}0.7 \text{ mg.m}^{-3}$), voltando a decair a partir do mês de Outubro. Essa observação fica evidente apenas nos Bancos de Vitória, Jaseur e Davis, mostrando que possivelmente esses montes submarinos apresentam processos físicos-biológicos (forma estrutural, dinâmica de correntes superficiais e mistura turbulenta) diferentes dos demais montes da CVT.

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.

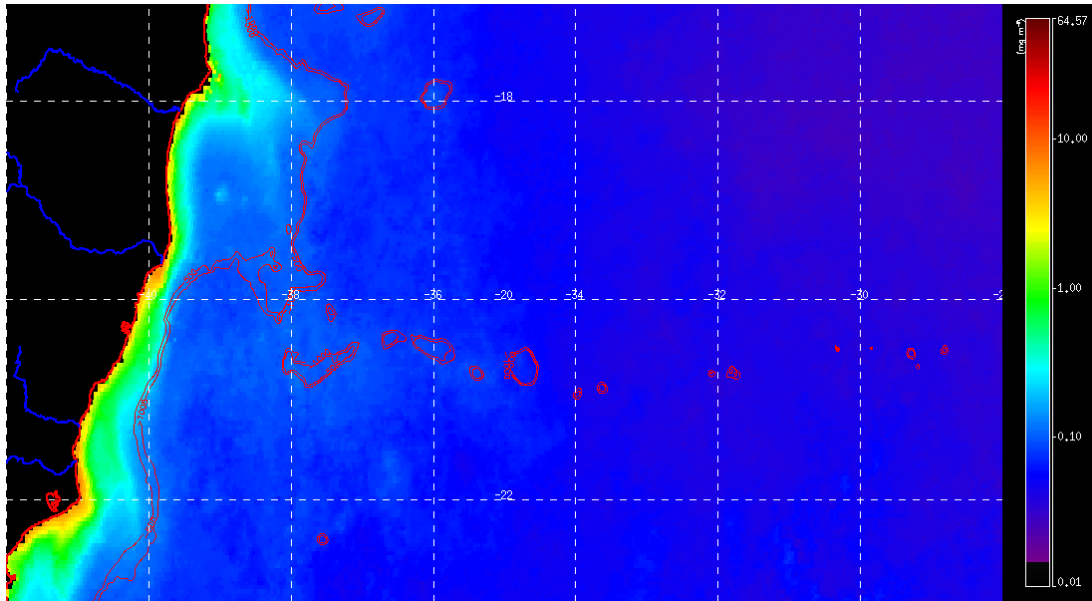


Figura 4.2: Média mensal de Janeiro de 2005 para concentração de clorofila-*a*. Os contornos em vermelho evidenciam as profundidades de 500 m e 1000 m, e destacam os bancos da CVT. Baixas concentrações de clorofila-*a* ($\sim 0.1 \text{ mg.m}^{-3}$) sobre a CVT.

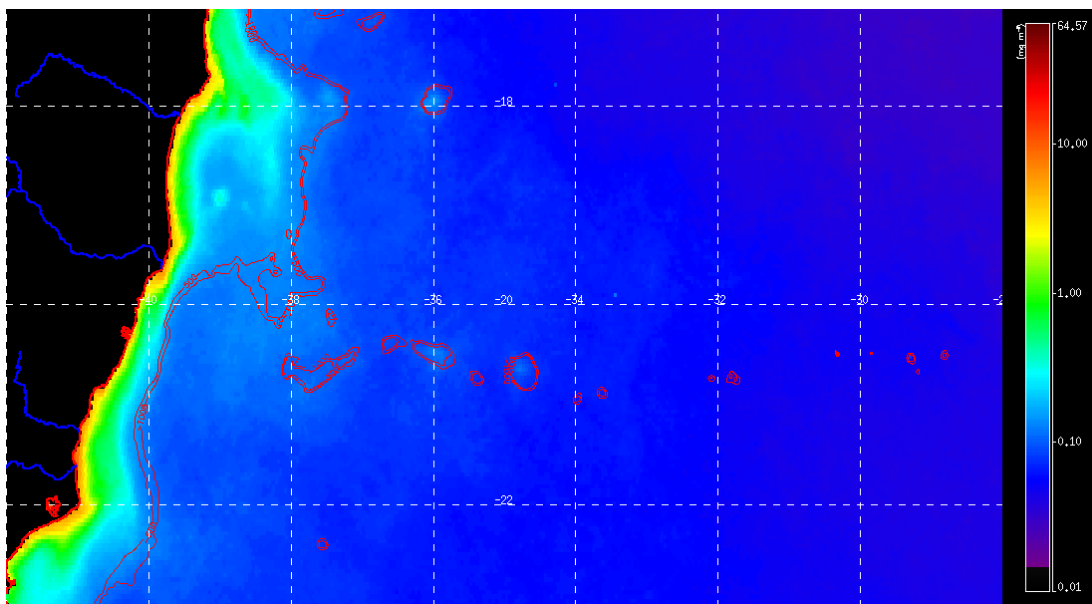


Figura 4.3: Média mensal de Abril de 2005 para concentração de clorofila-*a*. Os contornos em vermelho evidenciam as profundidades de 500 m e 1000 m, e destacam os bancos da CVT. Valores de clorofila-*a* começam a aumentar sobre a CVT.

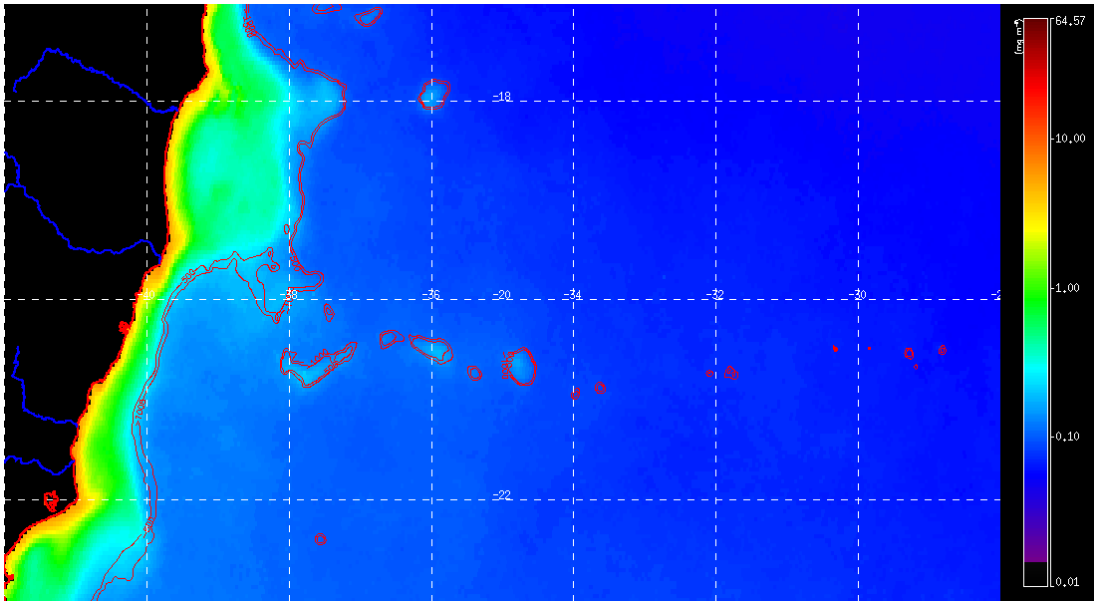


Figura 4.4: Média mensal de Julho de 2005 para concentração de clorofila-*a*. Os contornos em vermelho evidenciam as profundidades de 500 m e 1000 m, e destacam os bancos da CVT. Maiores concentrações de clorofila-*a* sobre a CVT ($\sim 0.3\text{-}0.7 \text{ mg.m}^{-3}$).

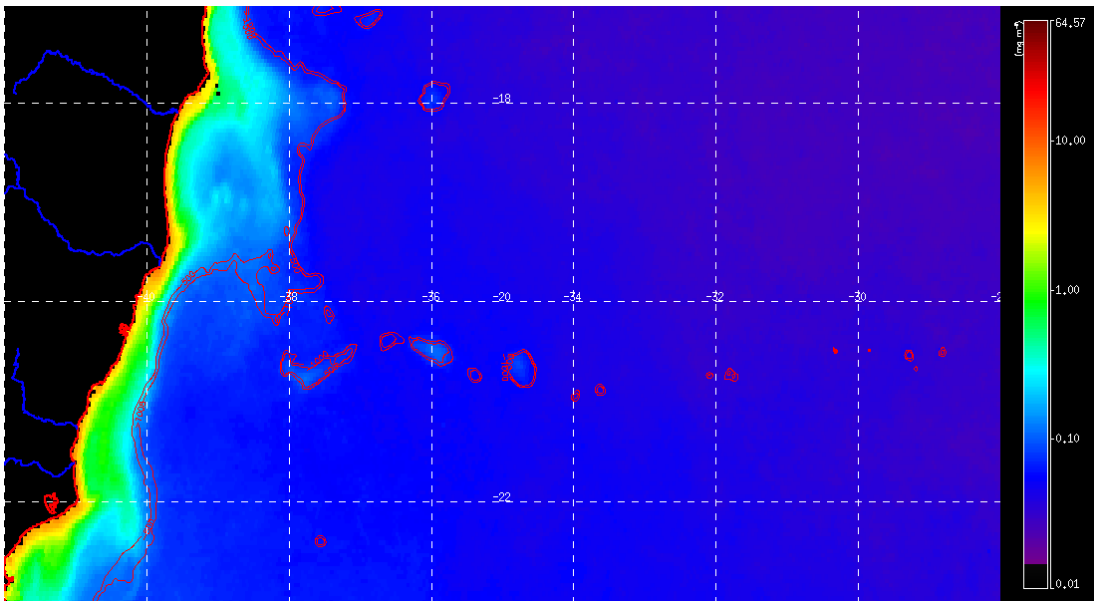


Figura 4.5: Média mensal de Outubro de 2005 para concentração de clorofila-*a*. Os contornos em vermelho evidenciam as profundidades de 500 m e 1000 m, e destacam os bancos da CVT. As concentrações de clorofila-*a* começam a diminuir.

Metzler et al. (1997) também 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 Dogaressa 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.

Também foram coletados dados *in situ* de temperatura 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.

O MOVAR vem executando a coleta de dados ao longo de uma seção que se inicia na quebra de plataforma continental ao largo de Cabo Frio-RJ e se estende até a Ilha de Trindade (Caspel et al., 2010), designada pela NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) como AX97, sendo a seção utilizada no presente estudo.

O projeto visa coletar dados *in situ* de temperatura na superfície do mar (até aproximadamente 700 m) na região próxima da CVT, podendo auxiliar na discussão da dinâmica da CM e CI, validação de modelos numéricos e a presença de feições e processos oceanográficos como vórtices. 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 medidas 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° , 0.5° e 1° ao norte e ao sul em relação ao topo dos montes submarinos. Os pontos escolhidos são mostrados na Figura 5.1.

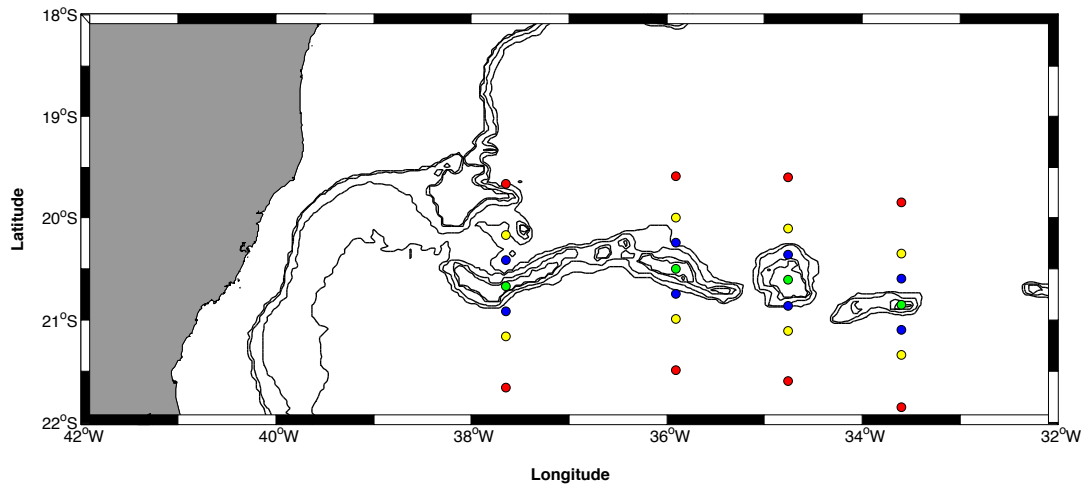


Figura 5.1: Pontos de análise de clorofila-*a* ao longo da CVT. Os pontos estão localizados: sobre os topos dos montes (verde), 0,25° de distância em relação ao topo (azul); 0,5° de distância em relação ao topo (amarelo); 1° de distância em relação ao topo (vermelho).

A partir desses pontos foram geradas séries temporais com as concentrações 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 hovmöller. O transecto utilizado neste caso iniciou no Banco de Vitória e terminou no Banco de Colúmbia (Figura 5.2).

O uso do sensoriamento remoto também pode ser utilizado para a identificação de *blooms* 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 do *bloom* de fitoplâncton.

De acordo com (Siegel et al., 2002), o *bloom* inicia-se quando a concentração encontra-

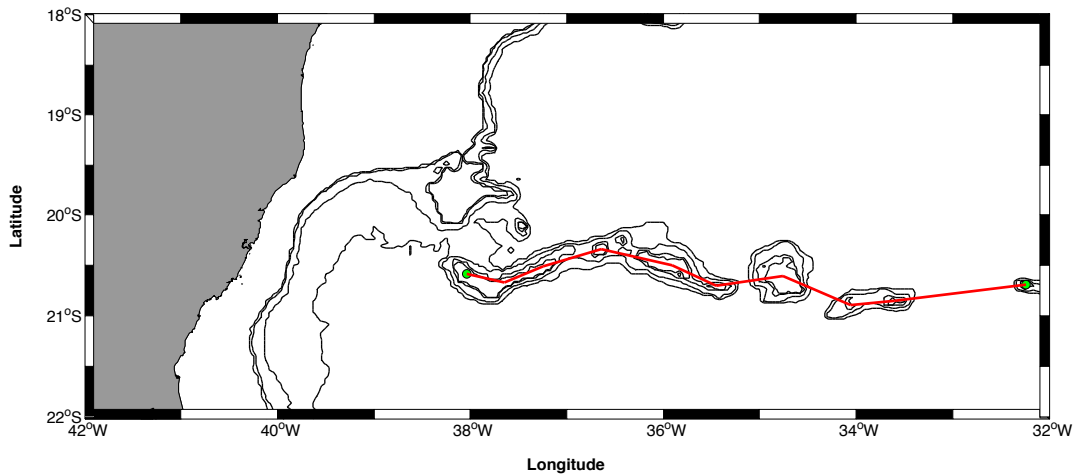


Figura 5.2: Trajetória de análise de clorofila-*a* ao longo da CVT para construção do gráfico tipo hovmoller.

se 10% acima da mediana da curva de Gauss. O mesmo método foi aplicado por [Kampel \(2013\)](#), que estimou o *bloom* de fitoplâncton na Bacia 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 (dia) 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 REVIZZE 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 (*HYbrid Coordinate Ocean Model - Bleck et al. (1992)*) realizada pela COPPE/UFRJ foram usados nesta análise. Essa simulação possui resolução 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 os campos de temperatura do ar, umidade específica a 10 m, radiação líquida de onda longa, radiação de onda curta, estresse 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, campos verticais da componente meridional e zonal da velocidade, temperatura e densidade ao longo de 10 transectos também foram selecionados, tal qual mostra a Figura 5.3.

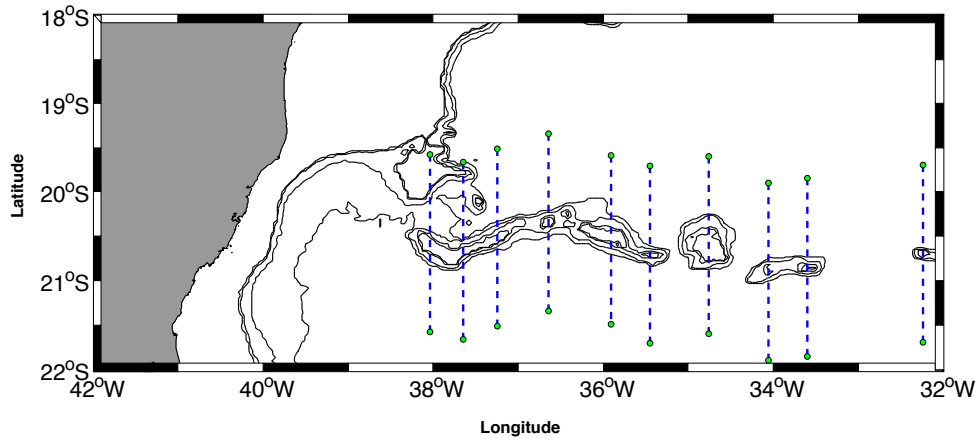


Figura 5.3: Transectos sobre a CVT para análise do perfil vertical de velocidade, densidade e temperatura para os meses de Janeiro e Julho.

Após a análise das correntes, foi selecionado um transecto sobre a CVT abrangendo os principais montes submarinos analisados (Banco de Vitória, Jaseur e Davis) (Figura 5.4).

Ao longo desse transecto, foram calculadas, com frequência diária a intensidade do fluxo, a vorticidade relativa (ζ), divergência horizontal, 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 de 86000 m dos picos dos montes submarinos, profundidade do oceano em 4000 m e o parâmetro de Coriolis como 5×10^{-5} para a latitude de $20.4^\circ S$.

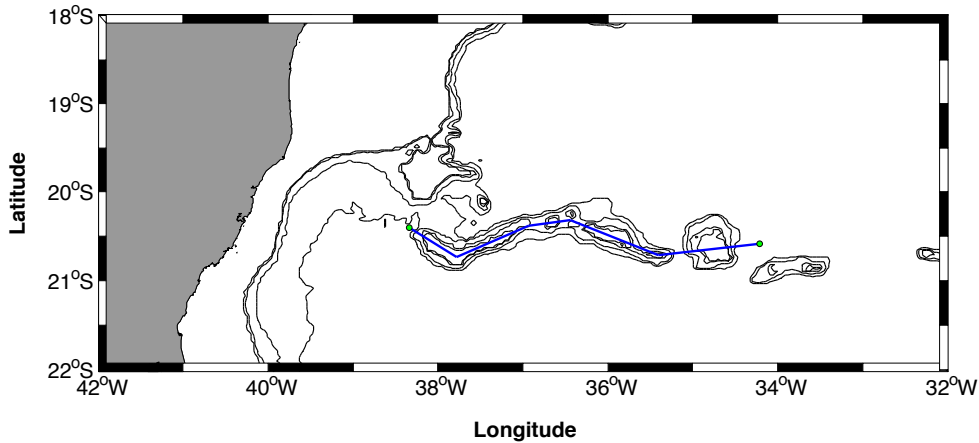


Figura 5.4: Transecto para análise dos dados hidrodinâmicos a partir de um gráfico tipo hovmoller.

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.

$$-\frac{\partial w}{\partial z} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad (5.2)$$

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 5.5, enquanto que o retorno do Navio Oc. Cruzeiro do Sul no período de inverno é mostrado na Figura 5.6.

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

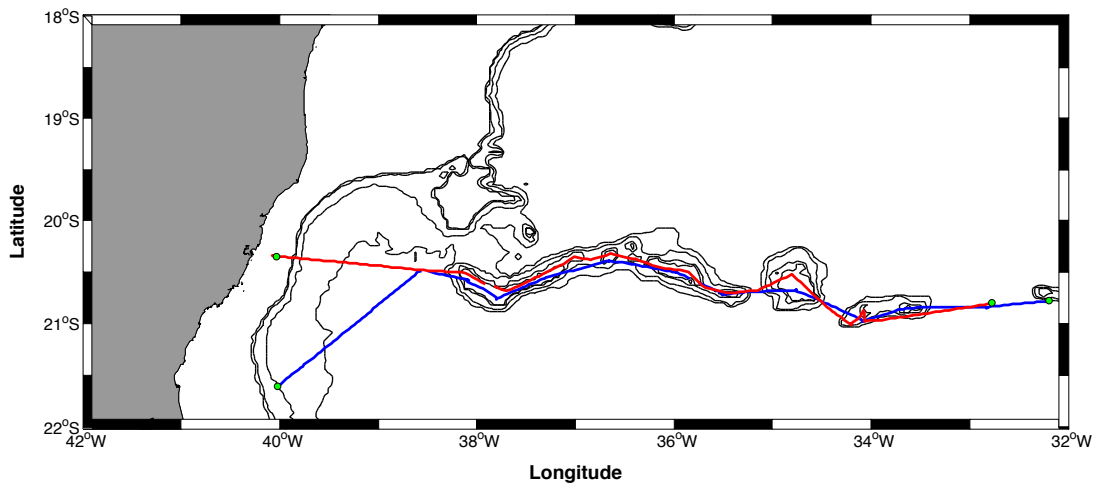


Figura 5.5: Transecto de ida (azul) e volta (vermelho) do Navio Oc. Antares - Novembro/Dezembro 2011.

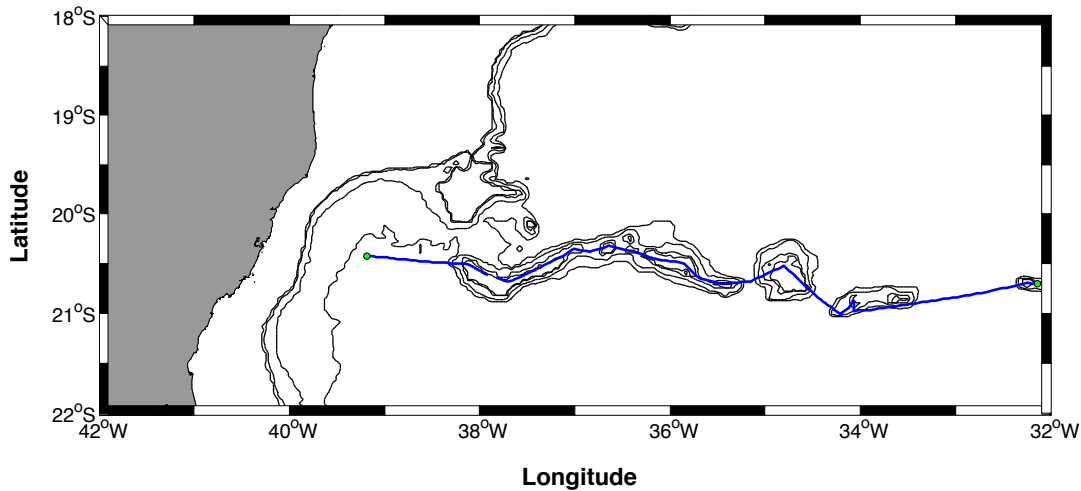


Figura 5.6: Transecto de volta do Navio Oc. Cruzeiro do Sul - Julho 2013.

5.3 Interação Oceano-Atmosfera

A análise da interação oceano-atmosfera foi realizada a partir dos resultados do padrão de ventos e do fluxo de calor na região da CVT. Os dados de 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 5.9), realizando-se cálculos de médias mensais para 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 do Rotacional do Estresse do Vento (REV) e do Ekman Pumping (W_E) em um transecto na região da CVT (Figura 5.7). O cálculo do REV e W_E são mostrados nas Equações 5.3

e 5.4, respectivamente. O valor do Estresse do Vento (τ) foi obtido através da Equação 5.5.

$$\nabla \times V = \left(\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \right) \times (u, v, w) \quad (5.3)$$

$$EK = \frac{3600 * 100 * \left(\frac{\partial \tau_y}{\partial x} - \frac{\partial \tau_x}{\partial y} \right)}{\rho * f} \quad (5.4)$$

$$\tau = \rho * Cd * V * |V| \quad (5.5)$$

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

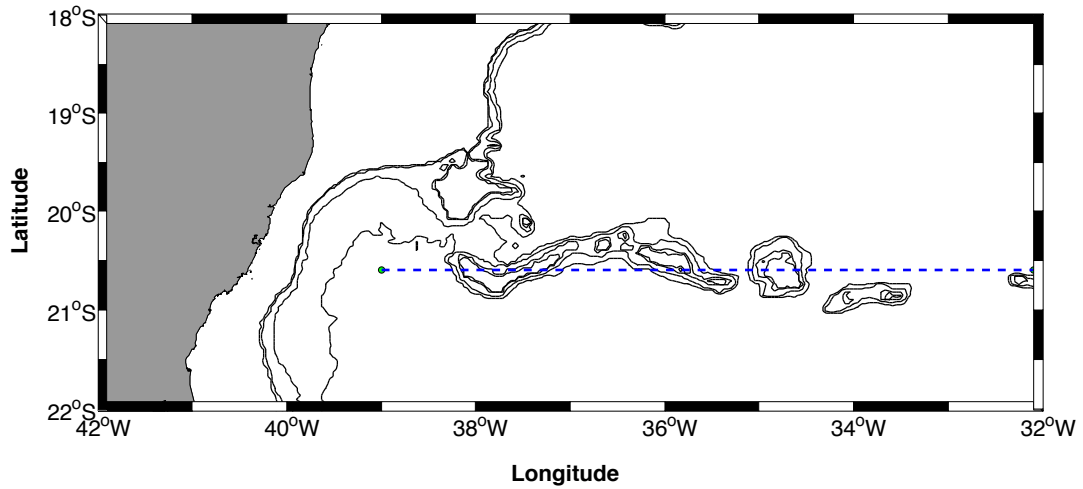


Figura 5.7: Localização do transecto para o cálculo do REV e W_E .

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 5.8), abrangendo a mesma escala espacial de dados diários de Janeiro/2006 até Julho de 2010.

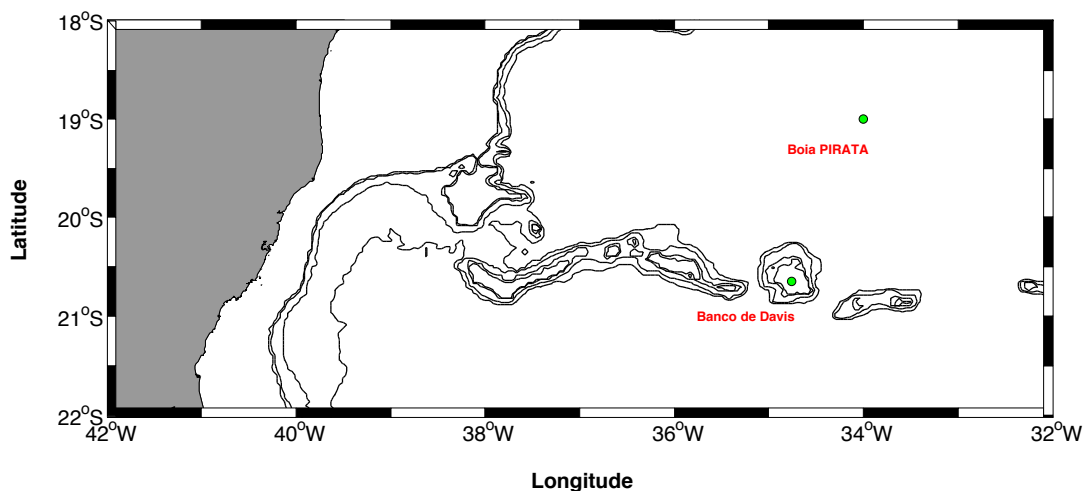


Figura 5.8: Localização da Boia PIRATA e do Banco de Davis.

O resultado dessa comparação foi analisado com o diagrama de Taylor ([Taylor, 2001](#)).

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, pois as diferenças que se esperam encontrar em uma região de estudo na mesma latitude e com baixa abrangência espacial são pequenas. 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 5.9](#). Os dados de fluxo de calor, juntamente com o padrão de ventos na região, podem ajudar no entendimento de processos oceanográficos sobre os montes submarinos, com estratificação e mistura vertical, bem como o comportamento da CM e CI.

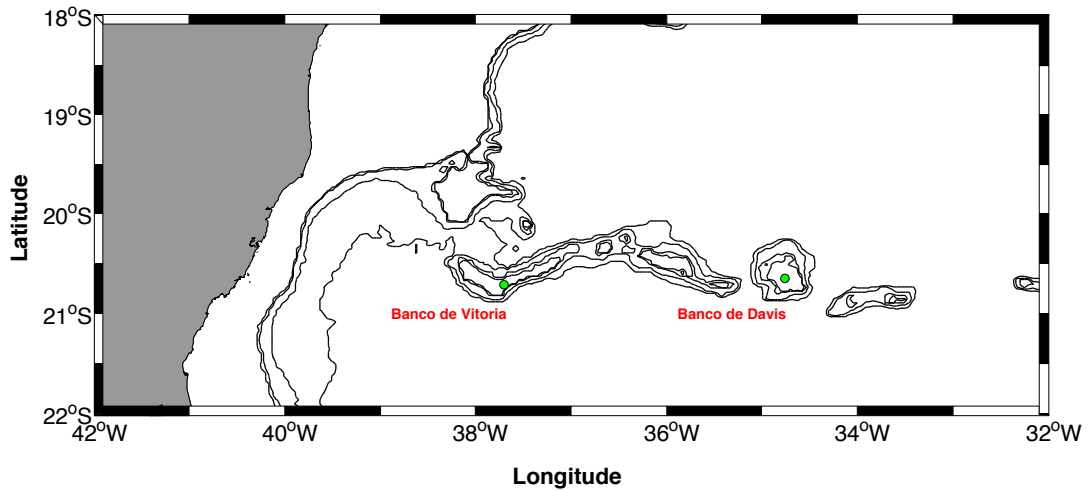


Figura 5.9: Localização dos pontos de análise de Fluxo de Calor.

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. \(2000\)](#). De acordo com os autores, existem muitos critérios e diferentes formas de se realizar o cálculo da CM e CI dependendo da referência que se 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
Thompson (1976)	SST 0.2°C
Lamb (1984)	SST 1.0°C
Price et al. (1986)	SST 0.5°C
Kelly and Qiu (1995)	SST 0.5°C
Martin (1985)	SST 0.1°C
Wagner (1996)	SST 1.0°C
Obata et al. (1996)	SST 0.5°C
Monterey and Levitus (1997)	SST 0.5°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. \(2000\)](#), [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.

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

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. Esse critério tem sido utilizado para 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. \(2000\)](#) e [Kara et al. \(000b\)](#).

Após a definição dos critérios escolhidos, foram selecionados pontos sobre os 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%.

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^o (Figura 5.10). 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).

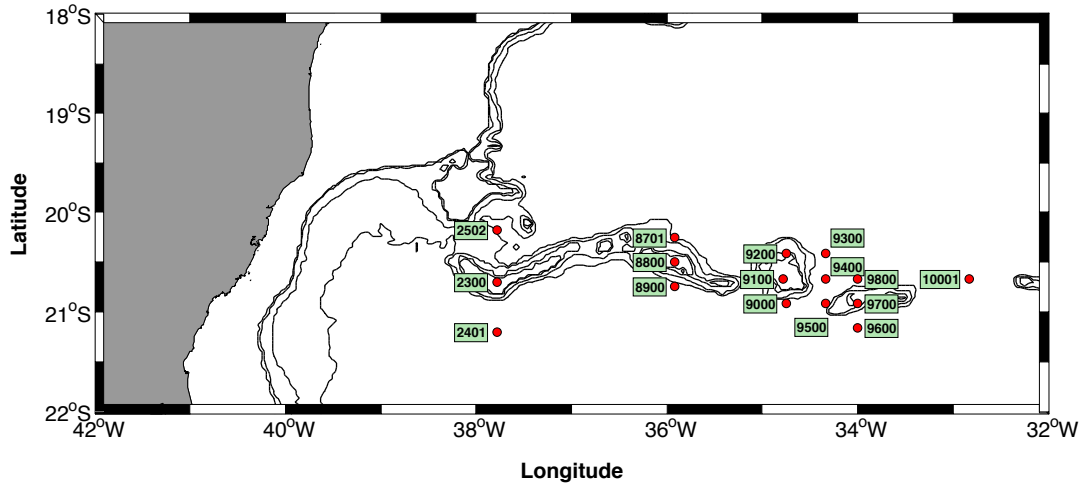


Figura 5.10: Pontos do Projeto REVIZEE para o cálculo da CM e CI.

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 a Equação 5.7 presente no trabalho de Caspel et al. (2010).

$$\begin{aligned}
 S = & (-1.607980973067401) * 10^{-6} * T^5 + (9.898453940587239 * 10^{-5}) * T^4 + \\
 & (-2.423257989541643 * 10^{-3}) * T^3 + (3.483811461746307 * 10^{-2}) * T^2 + \\
 & (-1.784589259234494 * 10^{-1}) * T + 3.469061170505277 * 10
 \end{aligned} \quad (5.7)$$

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, e serviram para comparar com as informações ob-

tidas pela modelagem nos cálculos da CM e CI. As Figura 5.11 e Figura 5.12 mostram as trajetórias dos dados coletados no ano de 2005 nos meses de Fevereiro e Agosto/2005, respectivamente.

O resumo da investigação inicial, objetivos e todos os dados utilizados no presente estudo pode ser observado no diagrama da Figura 5.13.

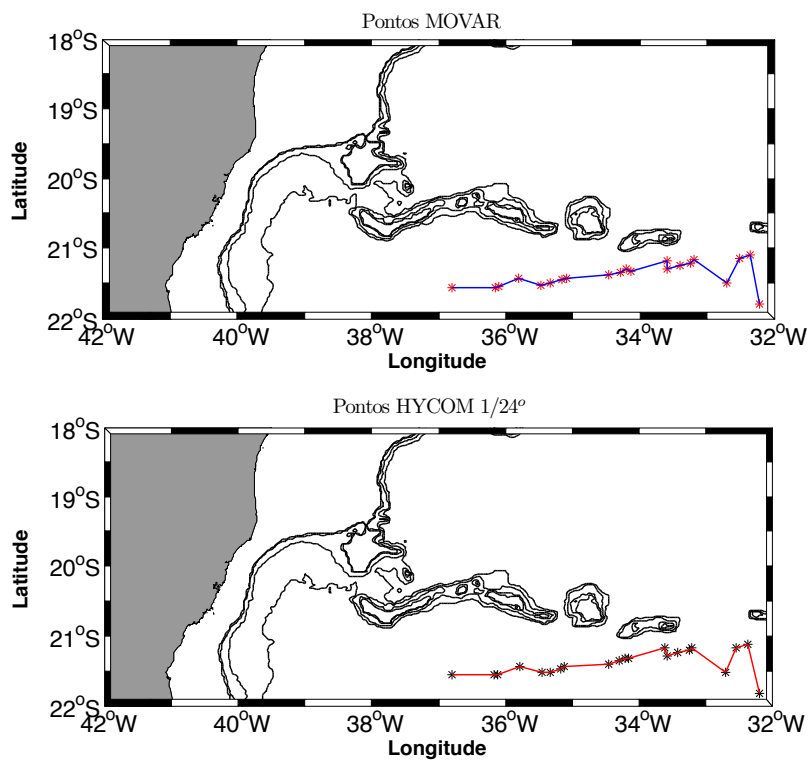


Figura 5.11: Pontos de coleta do Projeto MOVAR e HYCOM - Fevereiro/2005.

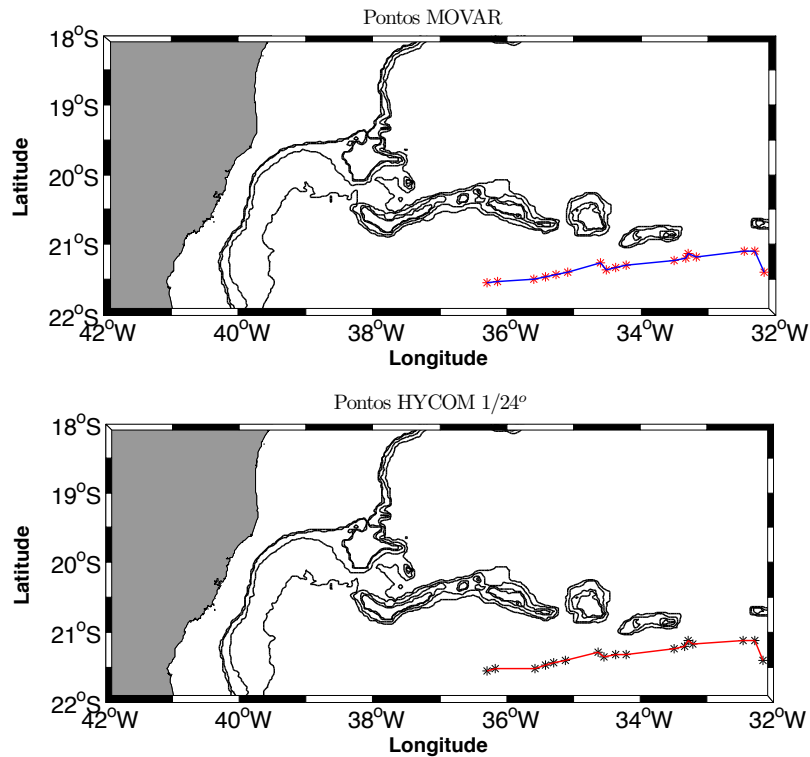


Figura 5.12: Pontos de coleta do Projeto MOVAR e HYCOM- Agosto/2005.

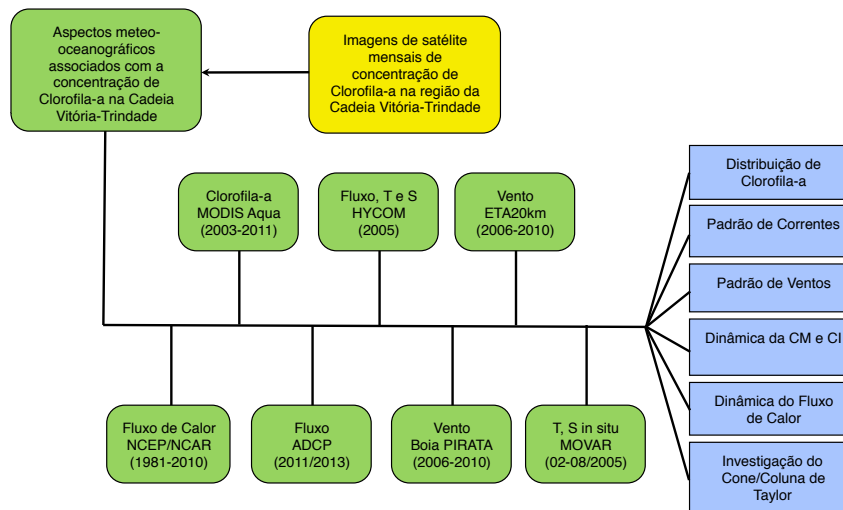


Figura 5.13: Diagrama mostrando os dados utilizados e os principais objetivos.

Capítulo 6

Resultados e Discussão

6.1 Validação dos Resultados

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 Cover*) 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 estudo 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 Figura 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.

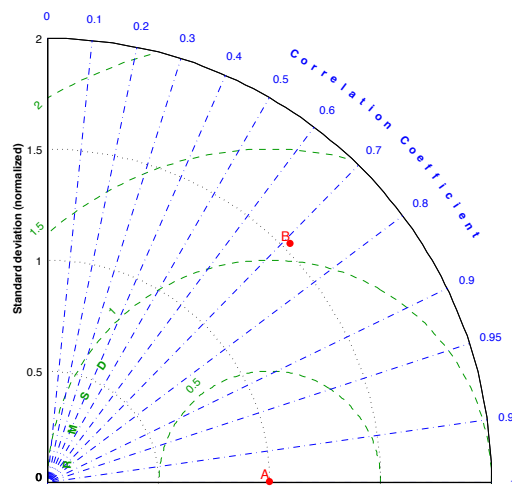


Figura 6.1: Diagrama de Taylor para análise estatística entre a série temporal dos dados da componente zonal do vento do Banco de Davis (modelo ETA 20 km) e da Boia PIRATA. O Ponto A representa a medida observada, enquanto o Ponto B é a modelagem.

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

Ambos os conjuntos de dados mostraram a tendência de redução da CI no verão (Fe-

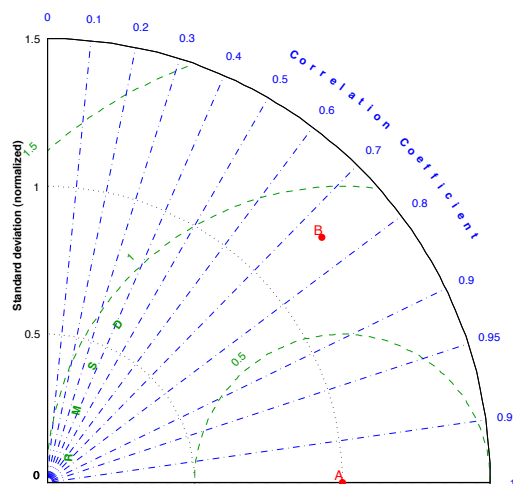


Figura 6.2: Diagrama de Taylor para análise estatística entre a série temporal dos dados da componente meridional do vento do Banco de Davis (modelo ETA 20 km) e da Boia PIRATA. O Ponto A representa a medida observada, enquanto o Ponto B é a modelagem.

vereiro) e o seu aprofundamento no inverno (Agosto). No entanto, os resultados da CI indicaram um maior aprofundamento nas observações *in situ* do que aquelas simuladas pelo HYCOM 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](#)).

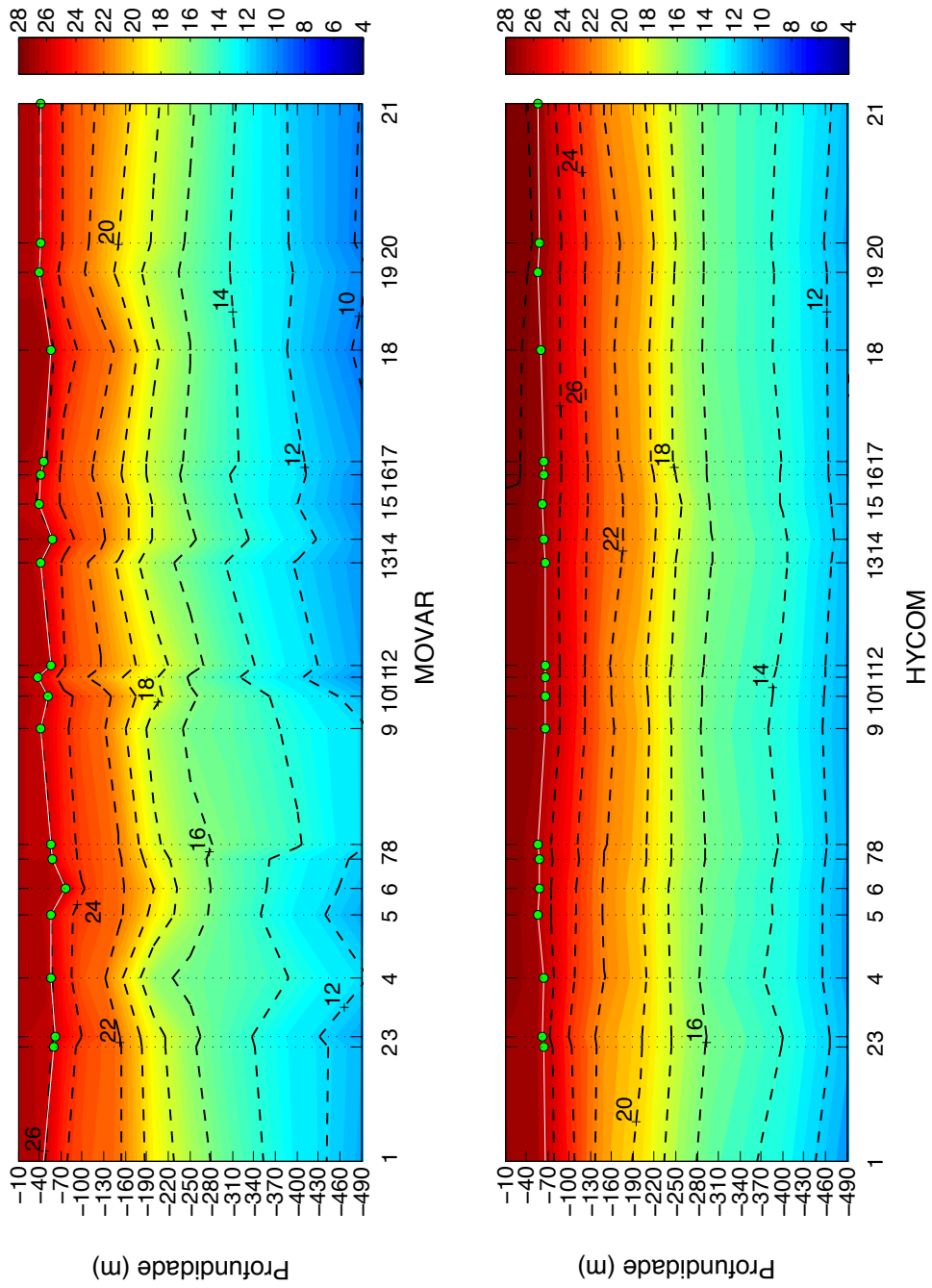


Figura 6.3: Perfil vertical de Temperatura ($^{\circ}C$) dos dados do MOVAR (superior) e HYCOM (inferior) com o resultado da CI (linha branca) para o mês de Fevereiro/2005.

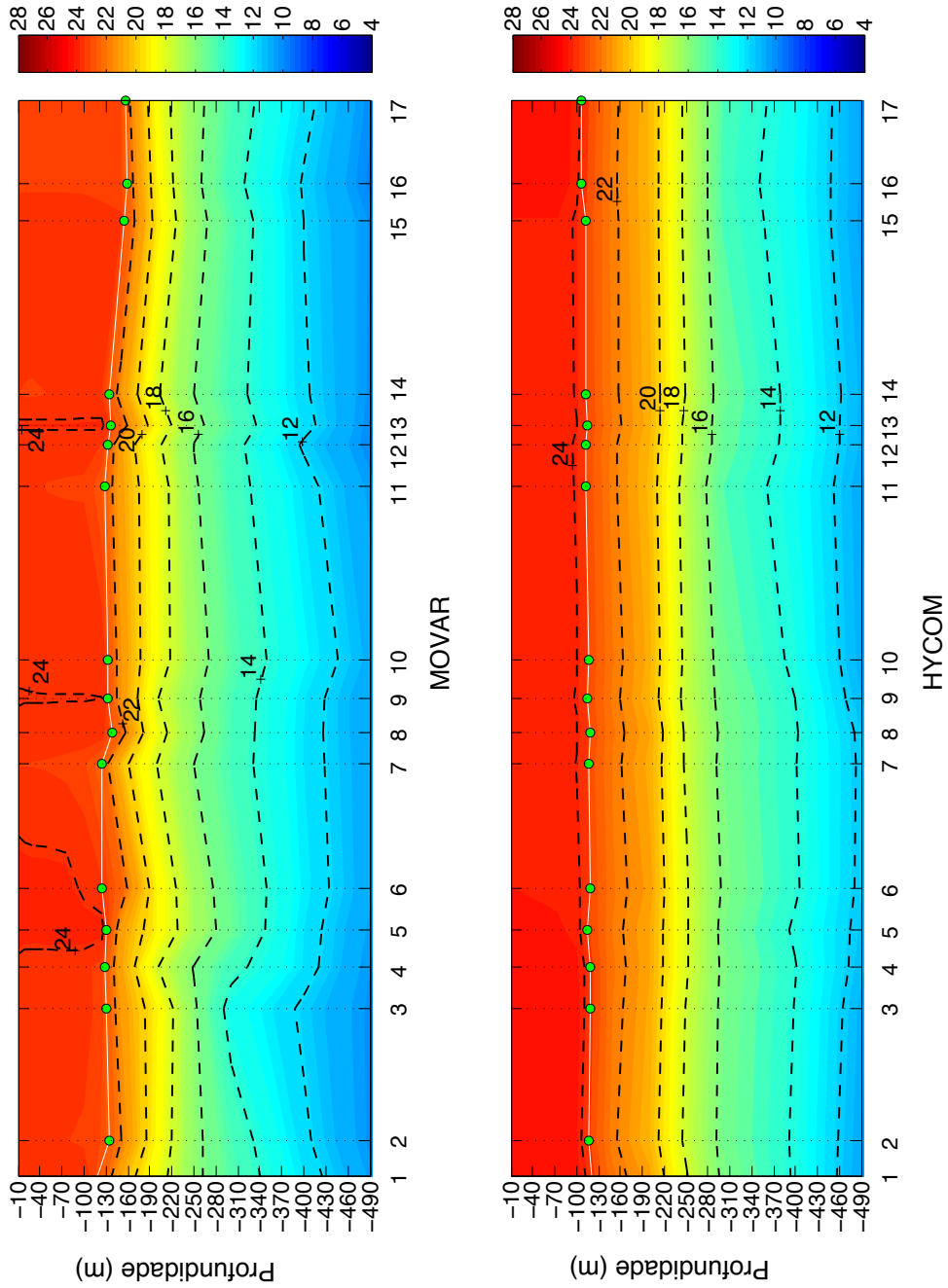


Figura 6.4: Perfil vertical de Temperatura ($^{\circ}C$) dos dados do MOVAR (superior) e HYCOM (inferior) com o resultado da CI (linha branca) para o mês de Agosto/2005.

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 mostra 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, assim distribuídas: 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, principalmente na porção oeste; a segunda a 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 Dogressa 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, os resultados sugerem que a presença dos montes pode sim funcionar como locais de agregação e desenvolvimento fitoplanctônico.

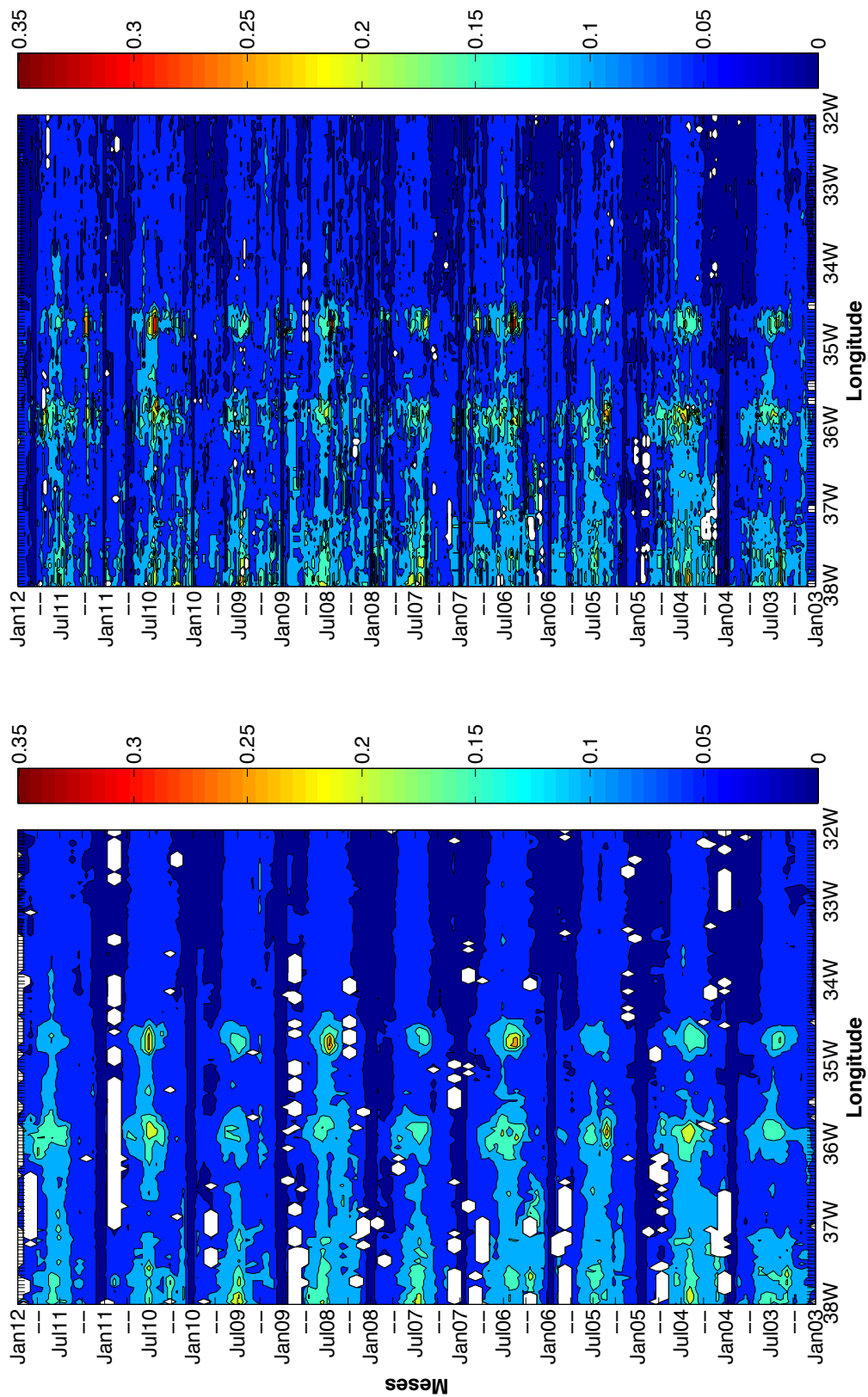


Figura 6.5: Variabilidade espaço-temporal da concentração de clorofila-*a* ($mg.m^{-3}$) na trajetória entre o Banco de Vitória e Banco de Dogressa. À esquerda observam-se os resultados das médias mensais, e à direita os dados mensais sobrepostos com dados semanais.

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 Baía de Campos utilizando imagens do MODIS sobre a plataforma continental e talude entre os anos de 2002 e 2011.

A variabilidade espacial 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 o ciclo mais marcante de variabilidade temporal (Figuras não mostradas); 2- os montes se diferenciam tanto quanto ao padrão espacial como também entre as estações do ano. 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., 2000), bem como a advecção associada ao bloqueio do fluxo da CB pela CVT e/ou o padrão de escoamento da CB na área.

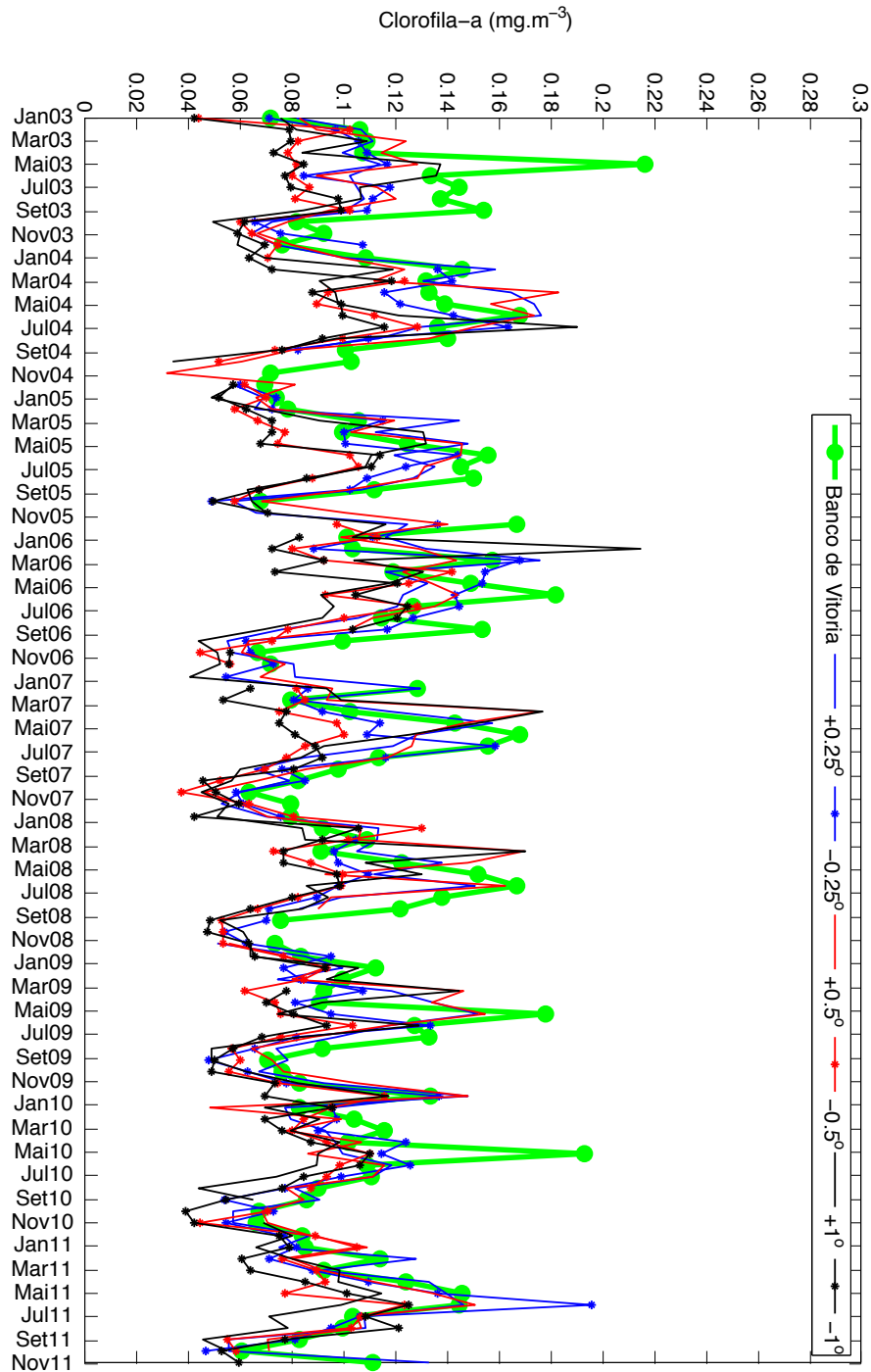


Figura 6.6: Série temporal da distribuição de clorofila-a ($mg.m^{-3}$) sobre o Banco de Vitória. Valores negativos/positivos indicam latitudes ao sul/norte do topo do monte. Observe que a concentração de clorofila-a ao sul do monte (-1°) é menor que as demais.

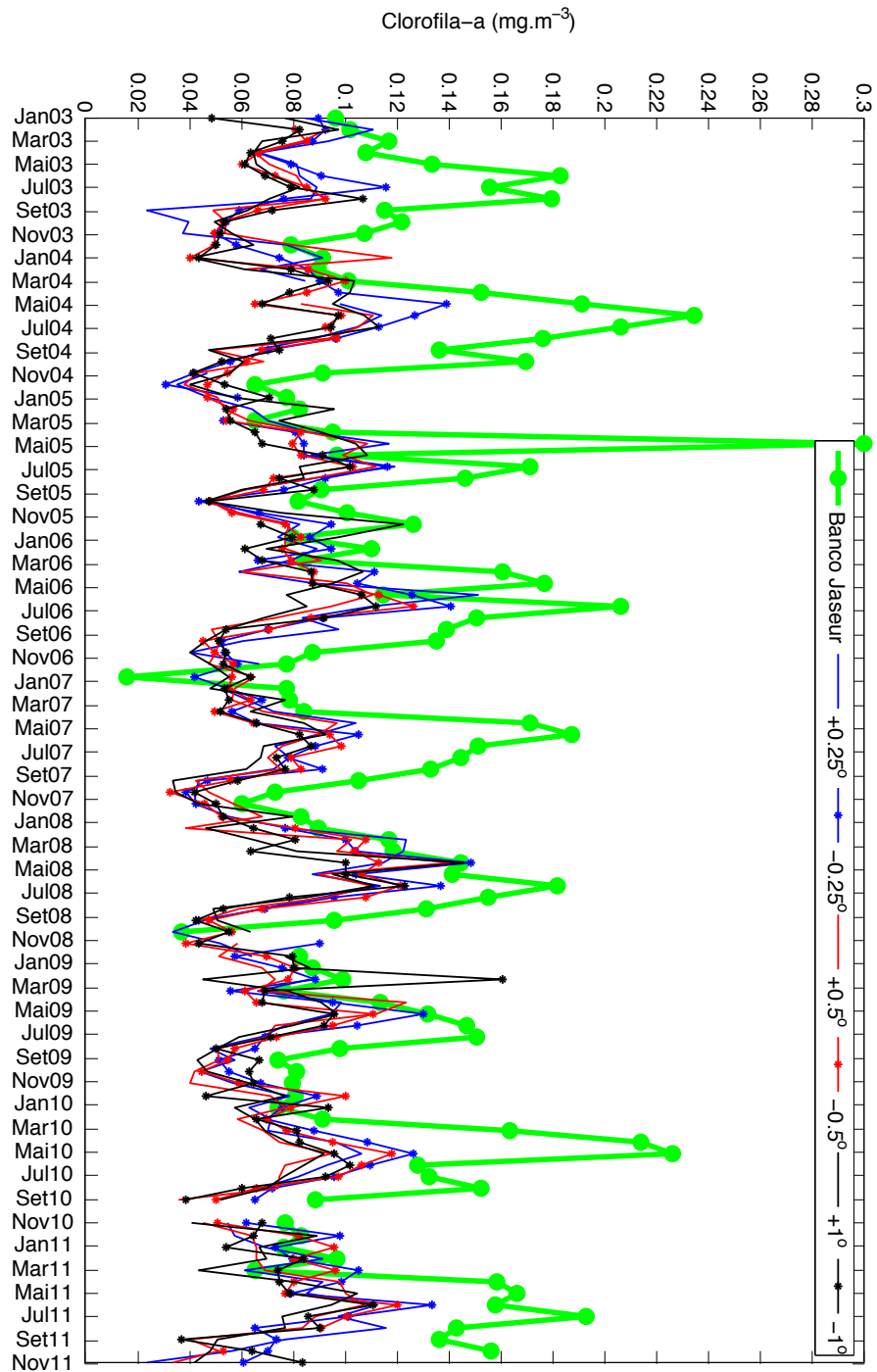


Figura 6.7: Série temporal da distribuição de clorofila-a ($mg.m^{-3}$) sobre o Banco de Jaseur. Valores negativos/positivos indicam latitudes ao sul/norte do topo do monte. O topo começa a apresentar maiores concentrações em relação ao oceano ao redor.

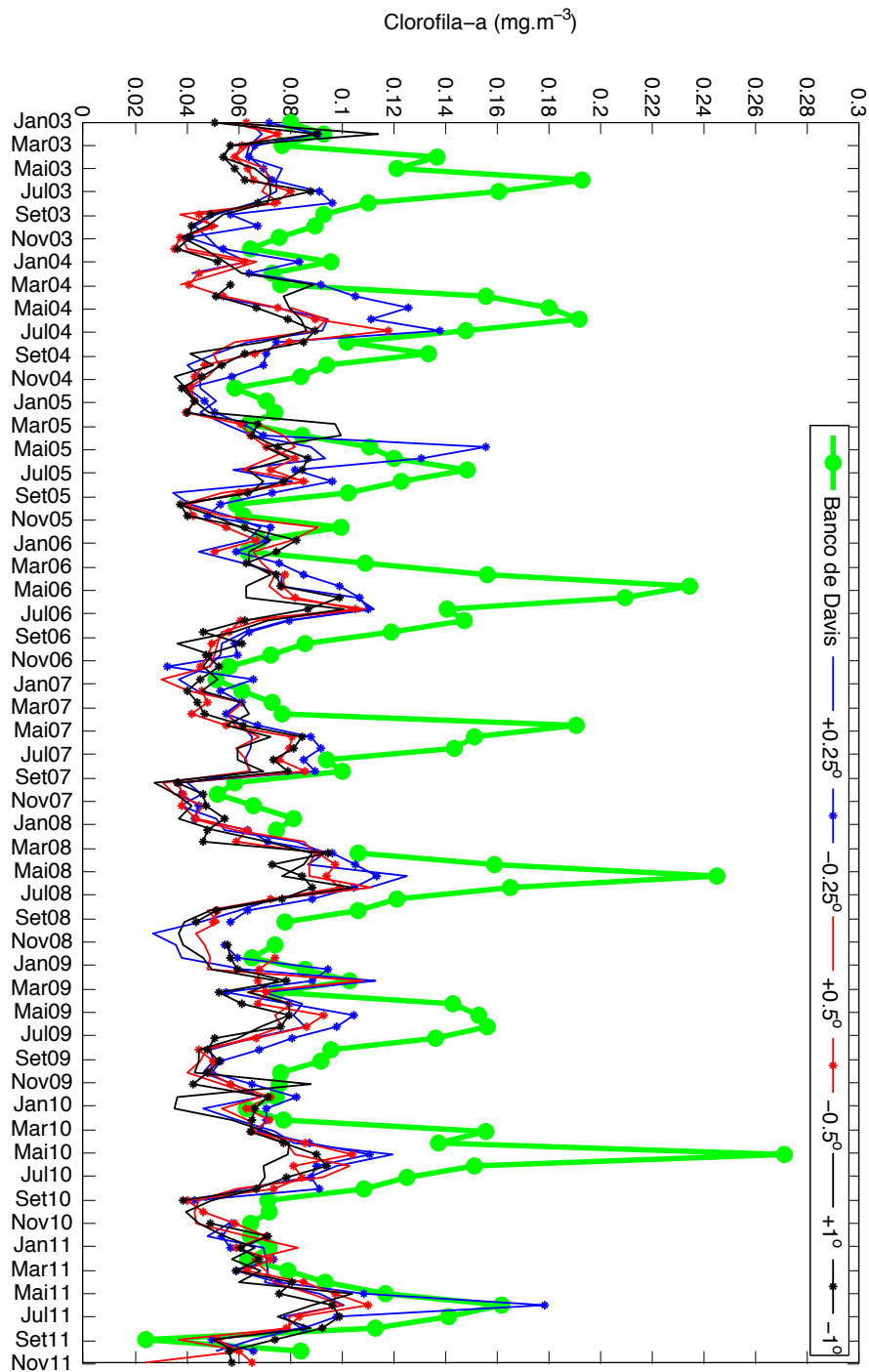


Figura 6.8: Série temporal da distribuição de clorofila- a ($mg.m^{-3}$) sobre o Banco de Davis. Valores negativos/positivos indicam latitudes ao sul/norte do topo do monte. O topo do monte apresenta concentração de 2 a 3 vezes maiores do que o oceano ao redor.

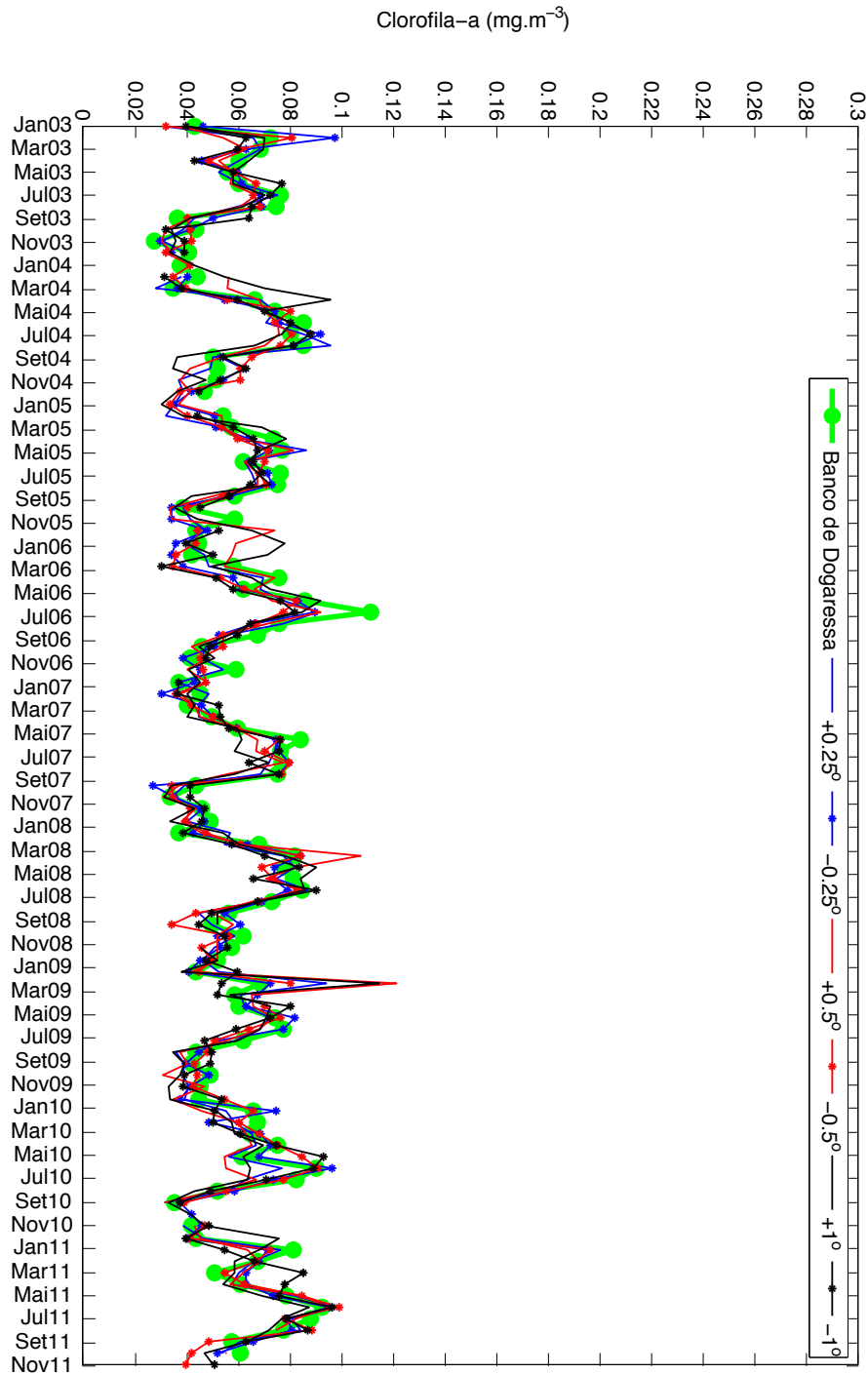


Figura 6.9: Série temporal da distribuição de clorofila- a ($mg.m^{-3}$) sobre o Banco de Dogaressa. Valores negativos/positivos indicam latitudes ao sul/norte do topo do monte. O topo apresenta comportamento e níveis de concentração iguais ao do oceano ao redor.

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° e 0.5° ($\sim 0.14 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) aproximaram-se das encontradas sobre o topo ($\sim 0.18 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). 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 vezes maiores em relação aos pontos 0.25° , 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) (Figuras 6.10) as concentrações sobre os montes foram estatisticamente similares aquelas no oceano profundo em todos os montes analisados (Banco de Vitória, Jaseur, Davis e Dogaressa). 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. Analisando-se a distribuição da média mensal de clorofila-*a* entre os anos de 2003 a 2011 (Figura 6.12) verificou-se que no Banco de Vitória apenas no mês de Junho o topo do monte submarino apresentou concentrações maiores do que nos pontos 1° ao norte e ao sul.

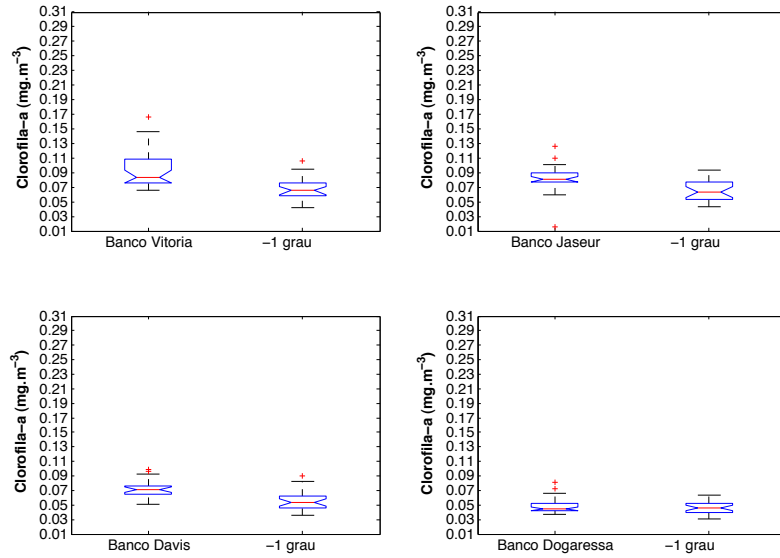


Figura 6.10: Gráfico *boxplot* dos dados de clorofila-*a* ($mg.m^{-3}$) sobre os Bancos de Vitória, Jaseur, Davis e Dogaressa no período chuvoso. A linha inferior e superior da caixa azul representam 25% e 75% dos dados, respectivamente, a linha vermelha a mediana, a linha preta tracejada o desvio padrão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

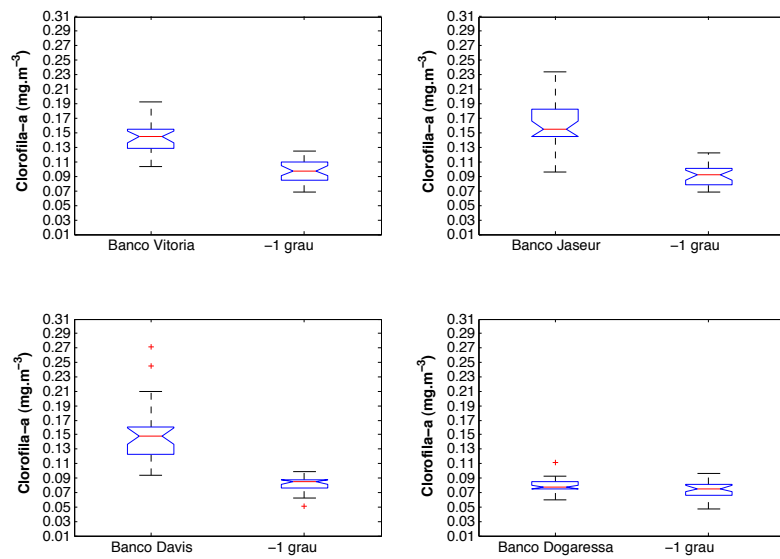


Figura 6.11: Gráfico *boxplot* dos dados de clorofila-*a* ($mg.m^{-3}$) sobre os Bancos de Vitória, Jaseur, Davis e Dogaressa no período seco. A linha inferior e superior da caixa azul representam 25% e 75% dos dados, respectivamente, a linha vermelha a mediana, a linha preta tracejada o desvio padrão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

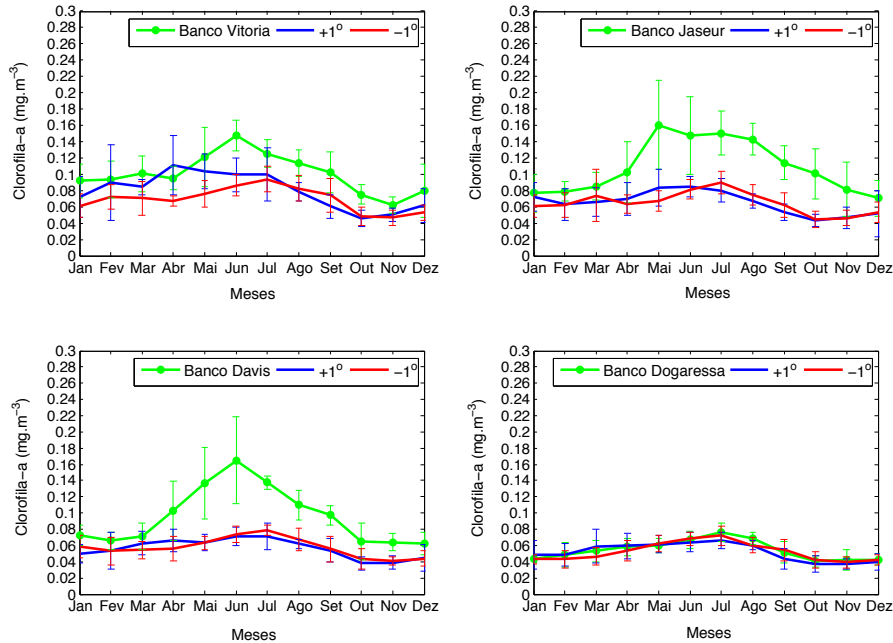


Figura 6.12: Média mensal de clorofila-*a* ($mg.m^{-3}$) entre 2003 e 2011 com erro padrão associado para os Bancos de Vitória, Jaseur, Davis e Dogaressa.

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-se afirmar 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).

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, 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, as concentrações 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, o que 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 respectivos campos horizontais. 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.

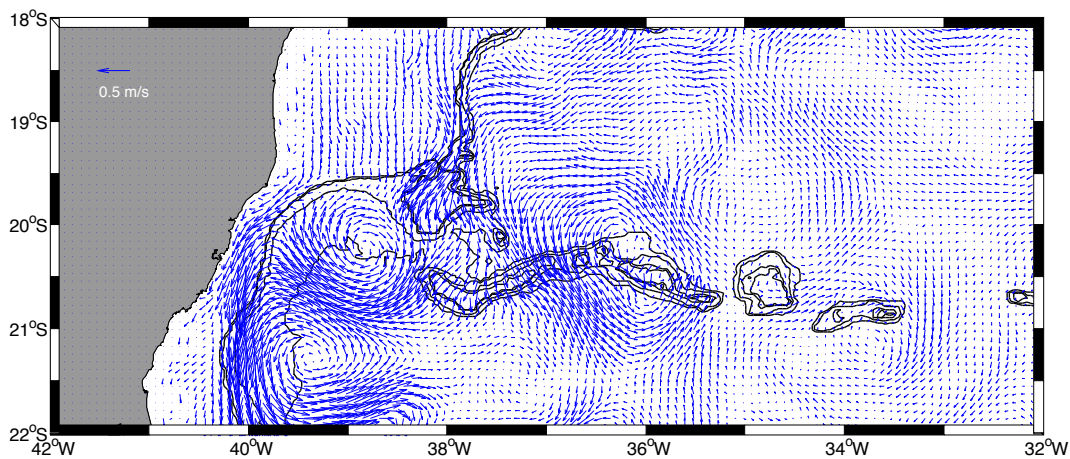


Figura 6.13: Campo de Velocidade Horizontal ($m.s^{-1}$) em 20 m - Janeiro/2005.

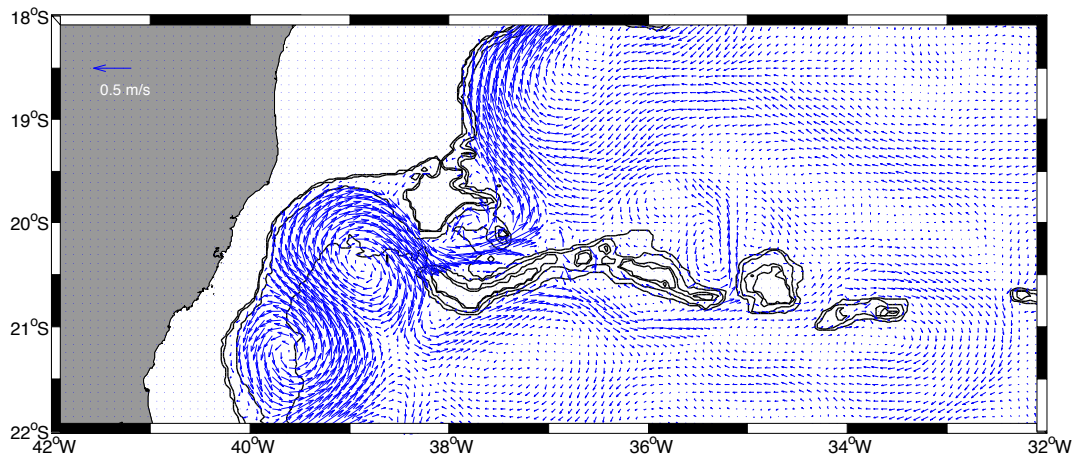


Figura 6.14: Campo de Velocidade Horizontal ($m.s^{-1}$) em 400 m - Janeiro/2005.

O vórtice mais ao norte esteve localizado na mesma região onde já foi documentada 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). A trifurcação da CB ao passar pela CVT (Silveira, 2006; Saulo, 2007; Passos, 2011), ficou bem evidenciada ao nível de 100 m de profundidade (Figura 6.15).

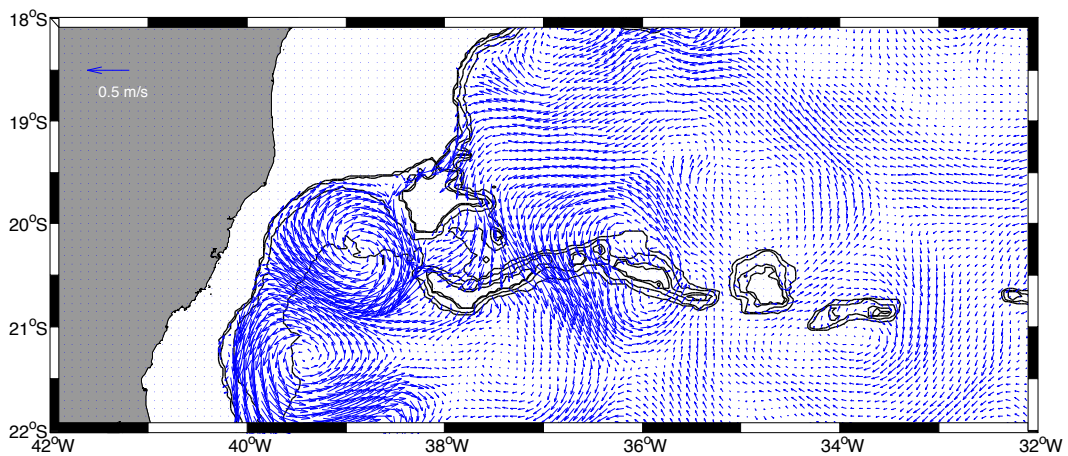


Figura 6.15: Campo de Velocidade Horizontal ($m.s^{-1}$) em 100 m - Janeiro/2005.

Nessa divisão observou-se uma ramificação da CB próximo ao Banco de Abrolhos,

em torno de $19.6^{\circ}S$ com velocidade zonal de $-0.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 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 $-0.35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. 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 $-0.15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, também centrado em 80 m de profundidade. Após a trifurcação, a CB voltou a se organizar para o sul a partir de $21^{\circ}S$. Nesse contexto, os montes exercem um importante papel na reorganização da CB, a qual retorna em direção à costa ao longo de $20.75^{\circ}S$, alimentando o vórtice anticiclônico e voltando a fluir para o sul.

Comparativamente ao campo médio superficial de Julho/2005 (Figuras 6.16), durante o mês de Janeiro foram observados poucos meandramentos ao longo da CVT, sem destaque para nenhum tipo de vórtice que pudesse favorecer processos de ressurgência ou subsidência. Diferente do verão, o campo superficial do inverno (Figuras 6.16) mostrou que entre $19^{\circ}S$ e $21^{\circ}S$ houve um maior desenvolvimento de instabilidades da CB ao longo e associados a 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 (Silveira, 2006; Saulo, 2007).

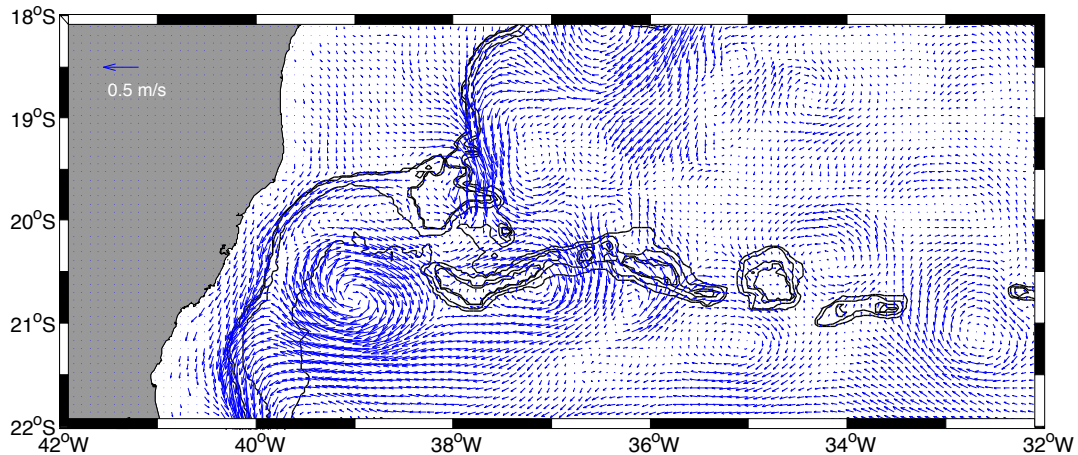


Figura 6.16: Campo de Velocidade Horizontal ($m.s^{-1}$) em 20 m - Julho/2005.

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 $21^{\circ}S$, onde foi incorporada ao fluxo costeiro da CB, aumentando o transporte de volume (Silveira, 2006; Saulo, 2007; Santos, 2011; Pimentel, 2012).

Segundo a teoria apresentada no item Fundamentação teórica a interação entre o campo dinâmico resulta no desenvolvimento de feições como a Coluna e o Cone de Taylor, os quais devem modificar o campo termohalino associado. Para avaliar a possibilidade de formação dessas estruturas foram estimados os números adimensionais para os Bancos de Vitória, Jaseur e Davis (Tabela 6.1).

De acordo com os resultados obtidos, em ambos os períodos houve a possibilidade de se desenvolver o Cone ou Coluna de Taylor. Os resultados de Janeiro para o Perfil 2 (Figura 6.17) mostraram o desenvolvimento de uma perturbação no campo termohalino associada ao Banco de Vitória, elevando as isotermas e as isopicnais. A elevação das isotermas 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 quebrar a termoclina.

Tabela 6.1: Números adimensionais calculados sobre os Bancos de Vitória, Jaseur e Davis nos meses de Janeiro e Julho/2005. O valor δ representa a divisão 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	Janeiro			Julho		
	Vitória	Jaseur	Davis	Vitória	Jaseur	Davis
δ	0.95	0.96	0.98	0.95	0.96	0.98
R_o	0.105	0.095	0.035	0.073	0.07	0.038
B_R	1.918	1.748	0.655	1.338	1.285	0.695
N	0.018	0.015	0.02	0.0094	0.0049	0.004
B	92.16	900	1024	25.13	96.06	40.96
h_c	41.6	50	37.5	79.78	153.06	187.5

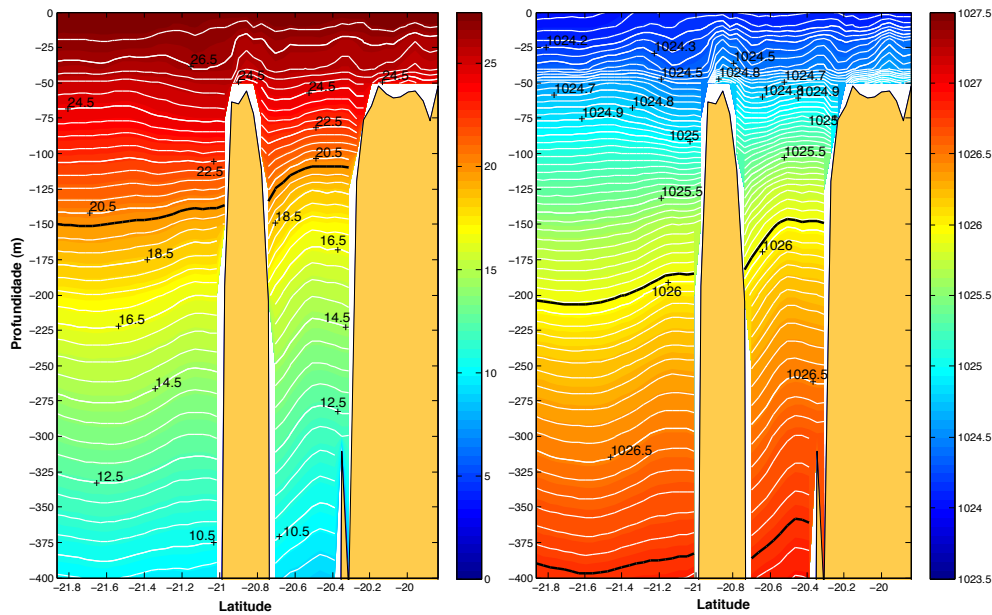


Figura 6.17: Perfil 2 - Temperatura conservativa ($^{\circ}C$) (esquerda) e massa específica ($kg.m^3$) (direita) - Janeiro/2005. As isotermas e isopicnais destacadas em preto representam os limites da ACAS. A plataforma continental abrange as latitudes de $19.8^{\circ}S$ e $20.3^{\circ}S$, enquanto entre $20.7^{\circ}S$ e $21^{\circ}S$ encontra-se o Banco de Vitória.

Essa característica não permite que haja transferência de nutrientes entre o topo do monte e as águas superficiais. Esse processo denominado também como domo isopical representa a teoria demonstrada por Proudman (1916) e Taylor (1917) quando um fluxo interage com um monte, mostrando também por Pitcher et al. (2007).

O campo vertical de velocidade para o mês de Janeiro associado ao Perfil 2 (Figura 6.18) mostrou um fluxo incidente vindo de norte e a elevação das isotermas nessa região do monte, desenvolvendo o domo isopical a partir do topo até próximo da superfície ($h_c \sim 41.5$ m), decaindo na extremidade sul.

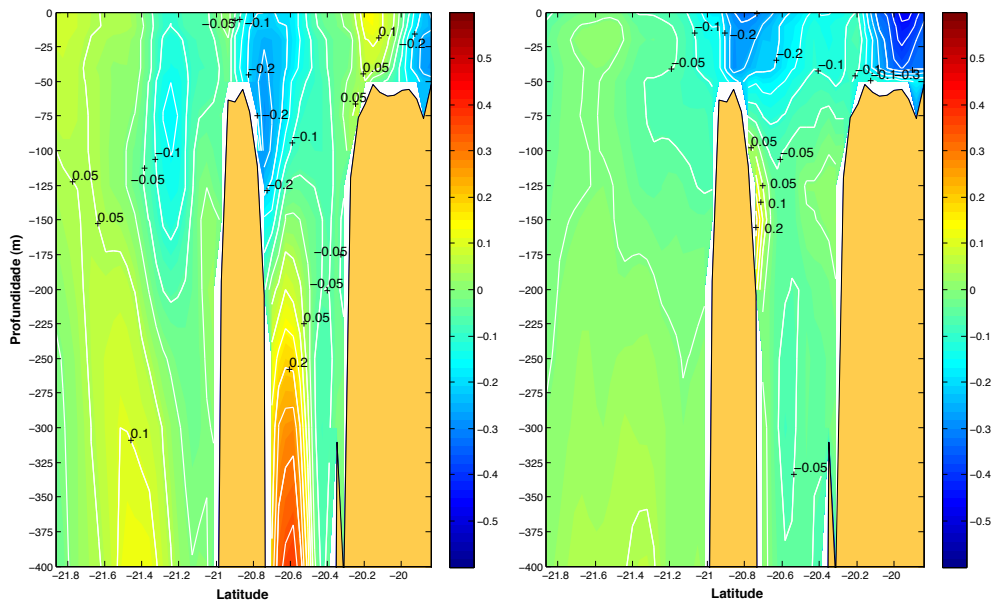


Figura 6.18: Perfil 2 - Componente zonal (esquerda) e meridional (direita) da velocidade ($m.s^{-1}$) - Janeiro/2005. A plataforma continental abrange as latitudes de $19.8^{\circ}S$ e $20.3^{\circ}S$, enquanto entre $20.7^{\circ}S$ e $21^{\circ}S$ encontra-se o Banco de Vitória.

O processo de formação do domo isopical está relacionado com o desenvolvimento de vorticidade $+\zeta$ no hemisfério sul. A ascensão de água ocorre em função do giro anticiclônico que se origina e pela dinâmica de Ekman de fundo 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).

No mês de Julho pôde-se observar que as isotermas do Perfil 2 atingiram a superfície (Figura 6.19) ($h_c \sim 79.78$ m), formando a Coluna de Taylor, resultando na mistura vertical sobre o monte e a quebra da estratificação ($N \sim 0.0094 \text{ s}^{-1}$ e $B \sim 25.13$), processo que permite a ressurgência de água possivelmente rica em nutrientes do topo do monte (O'hara et al., 2010) para a superfície.

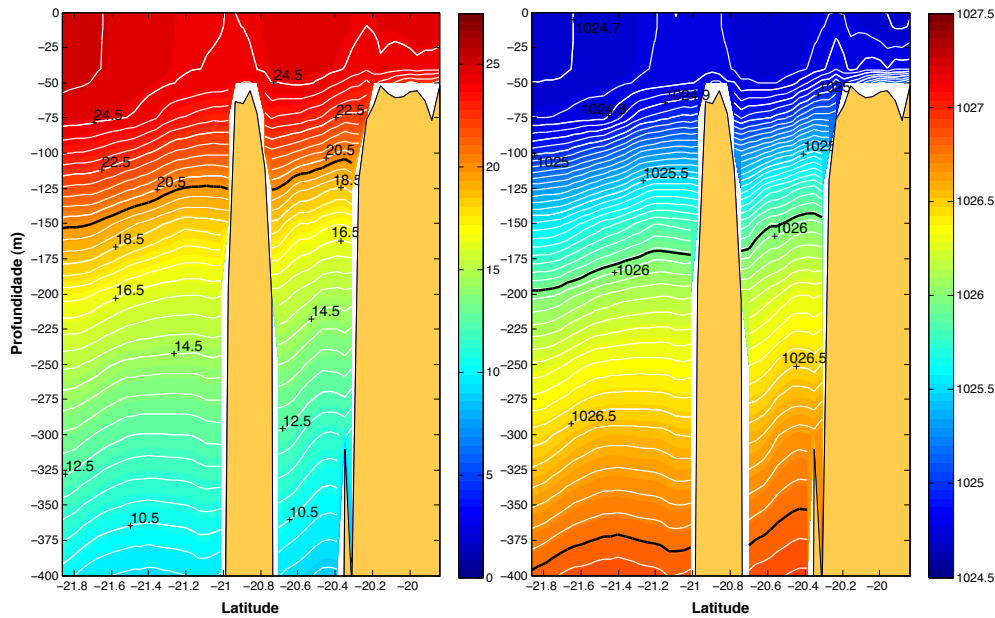


Figura 6.19: Perfil 2 - Temperatura conservativa ($^{\circ}C$) (esquerda) e massa específica ($kg.m^3$) (direita) - Julho/2005. As isotermas e isopicnais destacadas em preto representam os limites da ACAS. A plataforma continental abrange as latitudes de $19.8^{\circ}S$ e $20.3^{\circ}S$, enquanto entre $20.7^{\circ}S$ e $21^{\circ}S$ encontra-se o Banco de Vitória.

Essa ressurgência local sobre o topo é possivelmente confirmada pelo aumento da concentração de clorofila-*a* nesse período (Figura 6.5 e Figura 6.6). A intensidade do fluxo total incidente observada no Perfil 2 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 perfil térmico sobre o Banco de Jaseur (Perfil 5 – Figura 6.20) mostrou a formação de um domo sobre o topo do monte, estendendo-se verticalmente com $h_c \sim 50 \text{ m}$ acima do topo em direção à superfície, principalmente devido à incidência do fluxo superficial ao norte do monte (Figura 6.21).

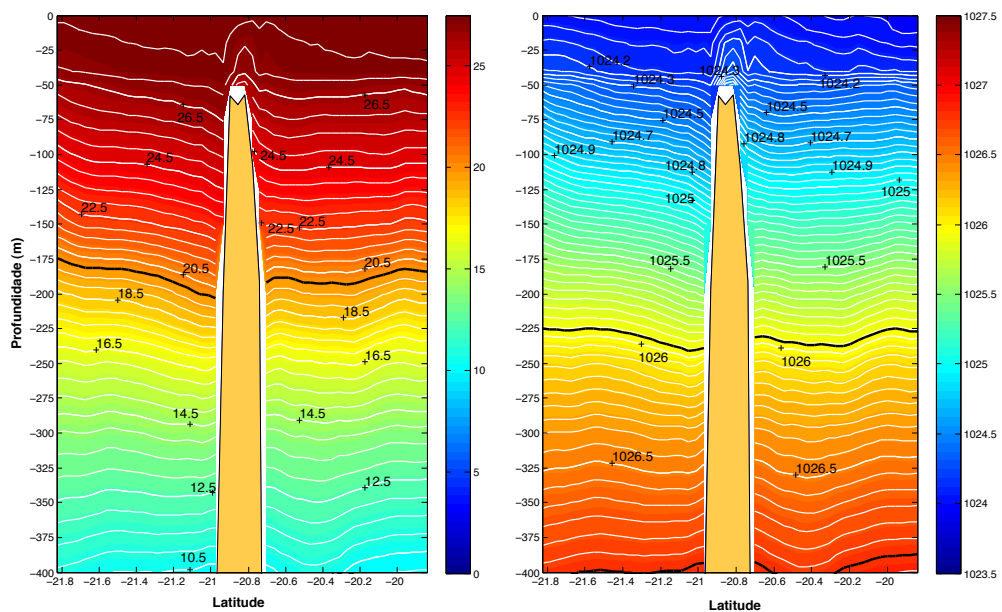


Figura 6.20: Perfil 5 - Temperatura conservativa ($^{\circ}\text{C}$) (esquerda) e massa específica (kg.m^3) (direita) - Janeiro/2005. As isotermas e isopicnais destacadas em preto representam os limites da ACAS. O Banco de Jaseur é representado entre as latitudes de 20.7°S e 21°S .

Como descrito para o Banco de Vitória, esse domo representa a formação do Cone de Taylor sobre o monte, restrito a essa profundidade devido à estratificação observada nesse período ($N \sim 0.015 \text{ s}^{-1}$ e $B \sim 900$), 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).

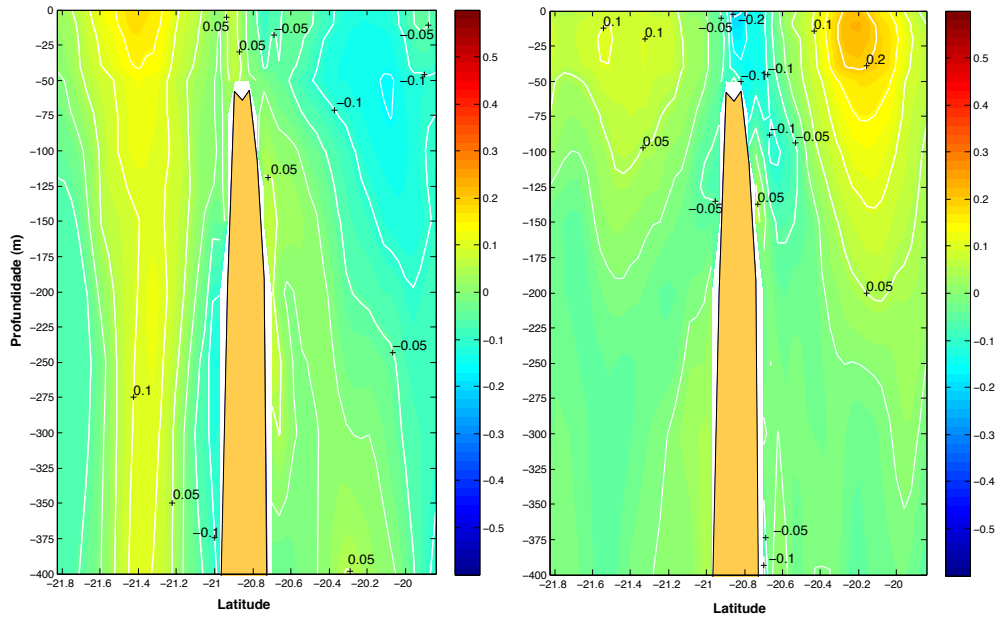


Figura 6.21: Perfil 5 - Componente zonal (esquerda) e meridional (direita) da velocidade ($m.s^{-1}$) - Janeiro/2005. O Banco de Jaseur é representado entre as latitudes de $20.7^{\circ}S$ e $21^{\circ}S$.

No mês de Julho, o perfil vertical de temperatura sobre o Banco de Jaseur (Figura 6.22) indicou desestratificação ao longo da coluna de água acima do monte ($N \sim 0.0049 s^{-1}$ e $B \sim 96.04$) 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 foram observados no Perfil 7 sobre o Banco de Davis (Figura 6.23 e Figura 6.24). Sem a incidência de correntes superficiais mais intensas (Figura 6.25 e Figura 6.26) 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.

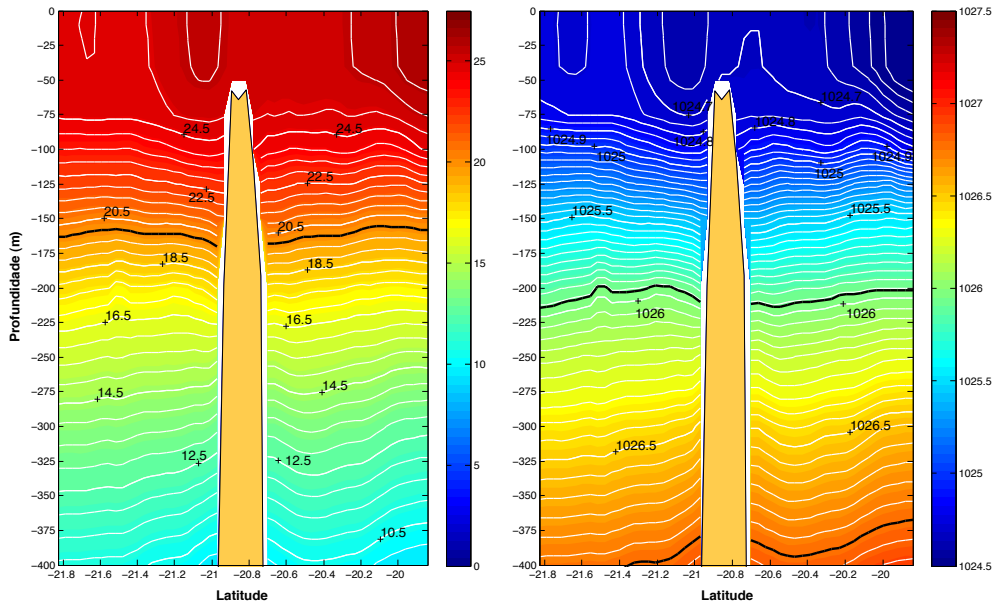


Figura 6.22: Perfil 5 - Temperatura conservativa ($^{\circ}C$) (esquerda) e massa específica ($kg.m^3$) (direita) - Julho/2005. As isotermas destacadas em preto representam os limites da ACAS. O Banco de Jaseur é representado entre as latitudes de $20.7^{\circ}S$ e $21^{\circ}S$.

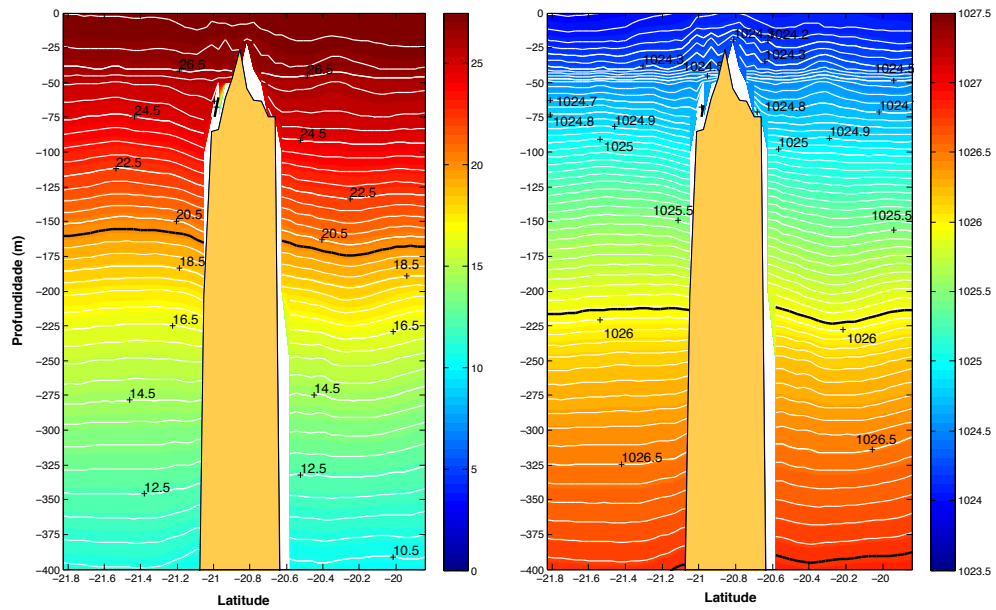


Figura 6.23: Perfil 7 - Temperatura conservativa ($^{\circ}C$) (esquerda) e massa específica ($kg.m^3$) (direita) - Janeiro/2005. As isotermas destacadas em preto representam os limites da ACAS. O Banco de Davis é representado entre as latitudes de $20.6^{\circ}S$ e $21.1^{\circ}S$.

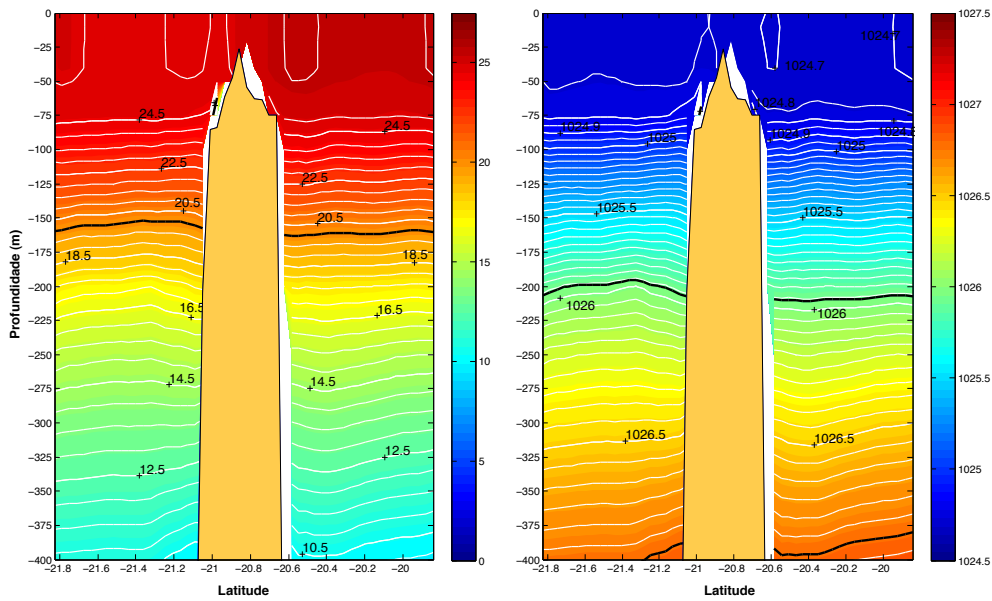


Figura 6.24: Perfil 7 - Temperatura conservativa ($^{\circ}C$) (esquerda) e massa específica ($kg.m^3$) (direita) - Julho/2005. As isotermas destacadas em preto representam os limites da ACAS. O Banco de Davis é representado entre as latitudes de $20.6^{\circ}S$ e $21.1^{\circ}S$.

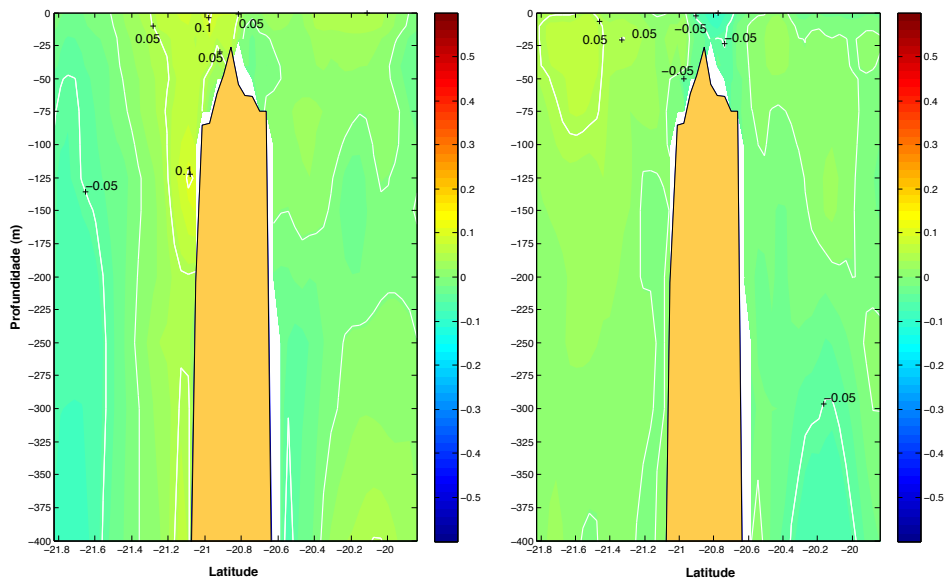


Figura 6.25: Perfil 7 - Componente zonal (esquerda) e meridional (direita) da velocidade ($m.s^{-1}$) - Janeiro/2005. O Banco de Davis é representado entre as latitudes de $20.6^{\circ}S$ e $21.1^{\circ}S$.

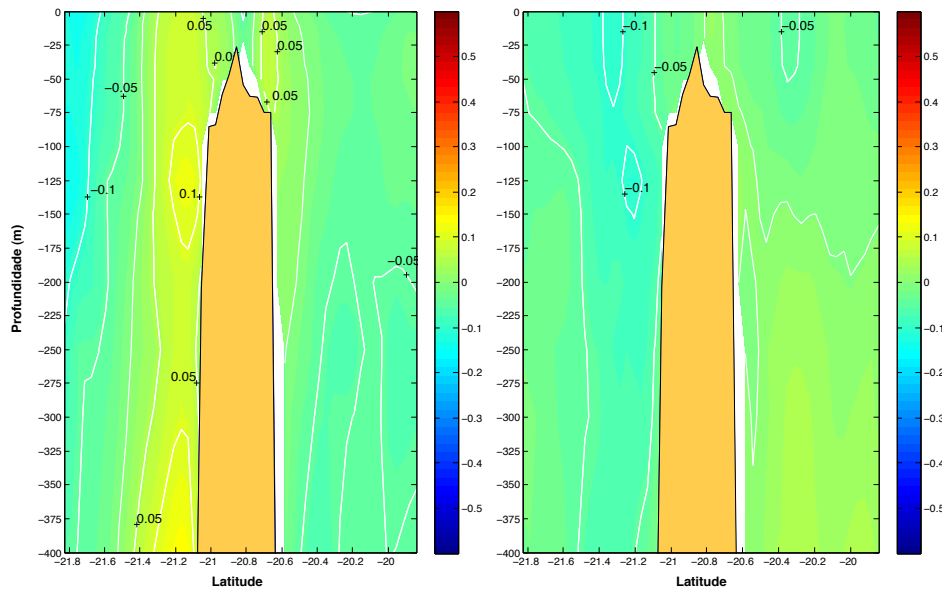


Figura 6.26: Perfil 7 - Componente zonal (esquerda) e meridional (direita) da velocidade ($m.s^{-1}$) - Julho/2005. O Banco de Davis é representado entre as latitudes de $20.6^{\circ}S$ e $21.1^{\circ}S$.

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 termoclina, 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).

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 com $\delta > 0.7$) foram estimados os valores de ζ , R_o , e B_R ao longo do transecto mostrado na Figura 5.4 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 6.27).

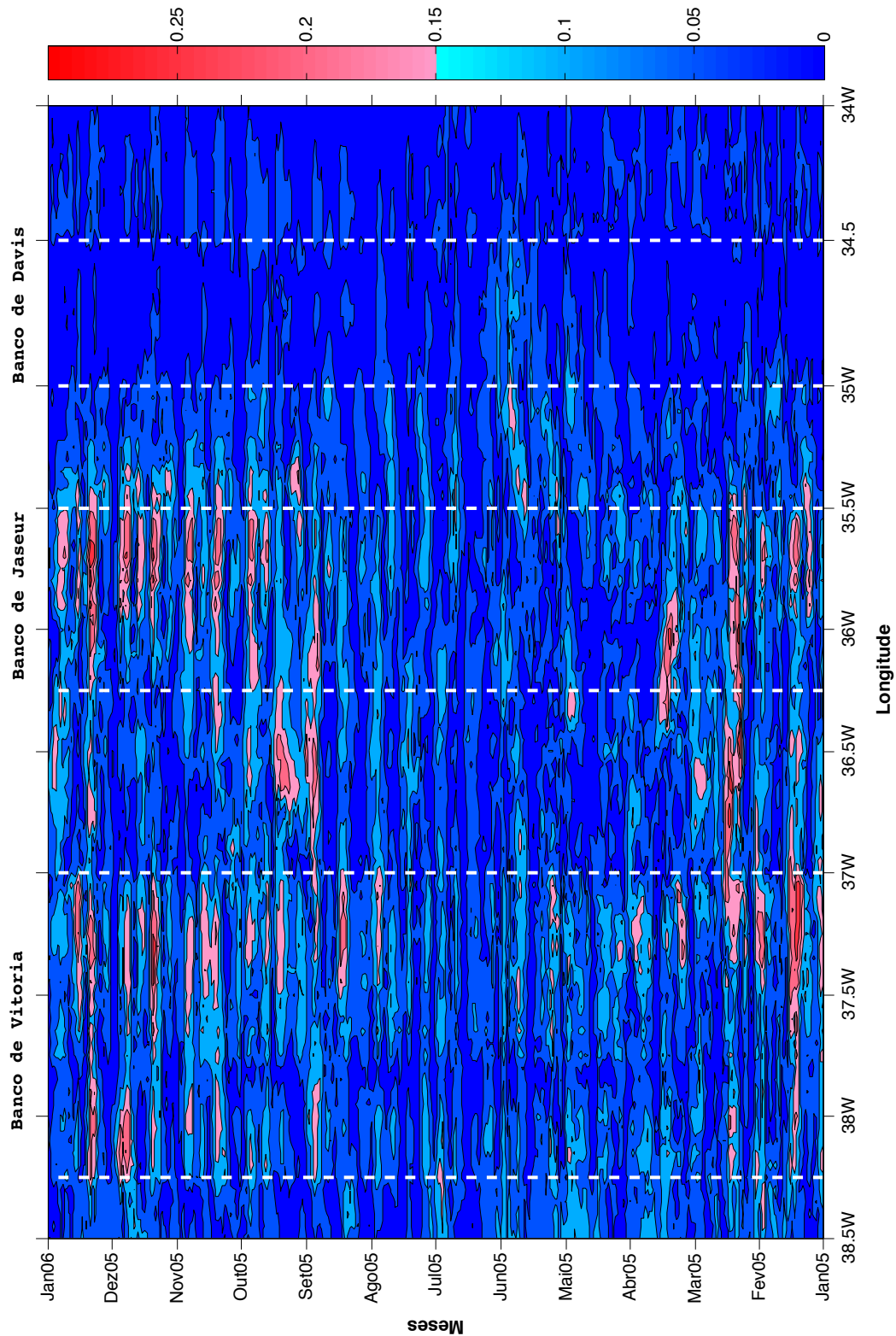


Figura 6.27: Variação espaço-temporal da estimativa do R_o sobre a CVT. Os pares de linhas em branco tracejadas representam os Bancos de Vitória, Jaseur e Davis. $R_o > 0.15$ representa não formação do Cone de Taylor para montes submarinos altos ($\delta > 0.7$) (Chapman and Haidvogel, 1992).

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 6.28) indicam que o vórtice anticiclônico formado permaneceria sobre o topo do monte. Os resultados das estimativas de ζ (Figura 6.29) 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 verifica-se que sobre o Banco de Davis, por exemplo, $R_o < 0.15$ nem sempre coincidem 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.

Os dados de correntometria coletados pelo ADCP de casco do Navio Oc. Antares no trajeto de ida até a Ilha de Trindade do cruzeiro do mês de Dezembro/2011 (Figura 6.30) indica 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.

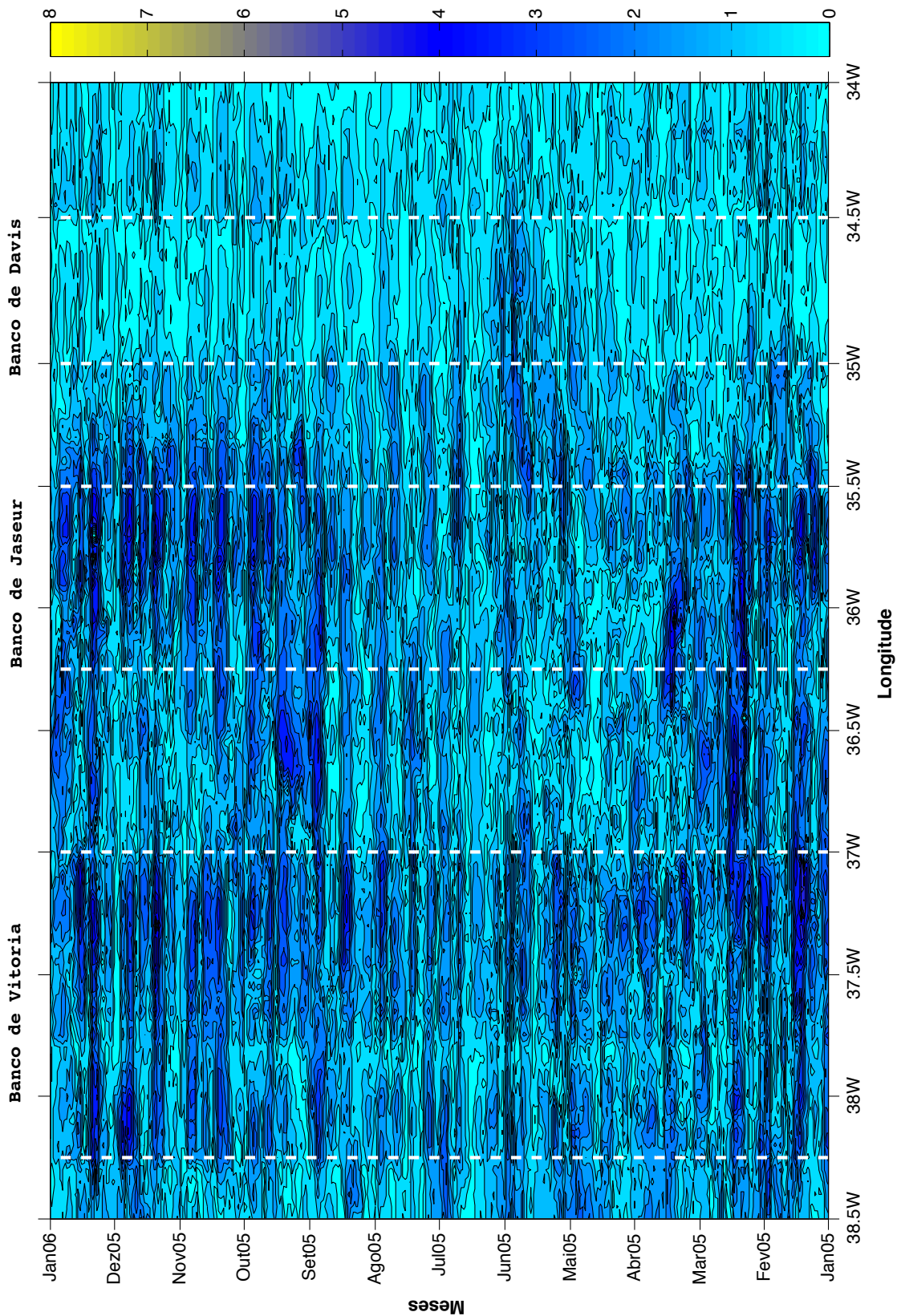


Figura 6.28: Variação espaço-temporal da estimativa do Parâmetro de Bloqueio (B_R) sobre a CVT. Os pares de linhas em branco tracejadas representam os Bancos de Vitória, Jaseur e Davis. Valores de $B_R \sim 4$ indicam vórtice anticiclônico sobre o topo do monte (Roden, 1987).

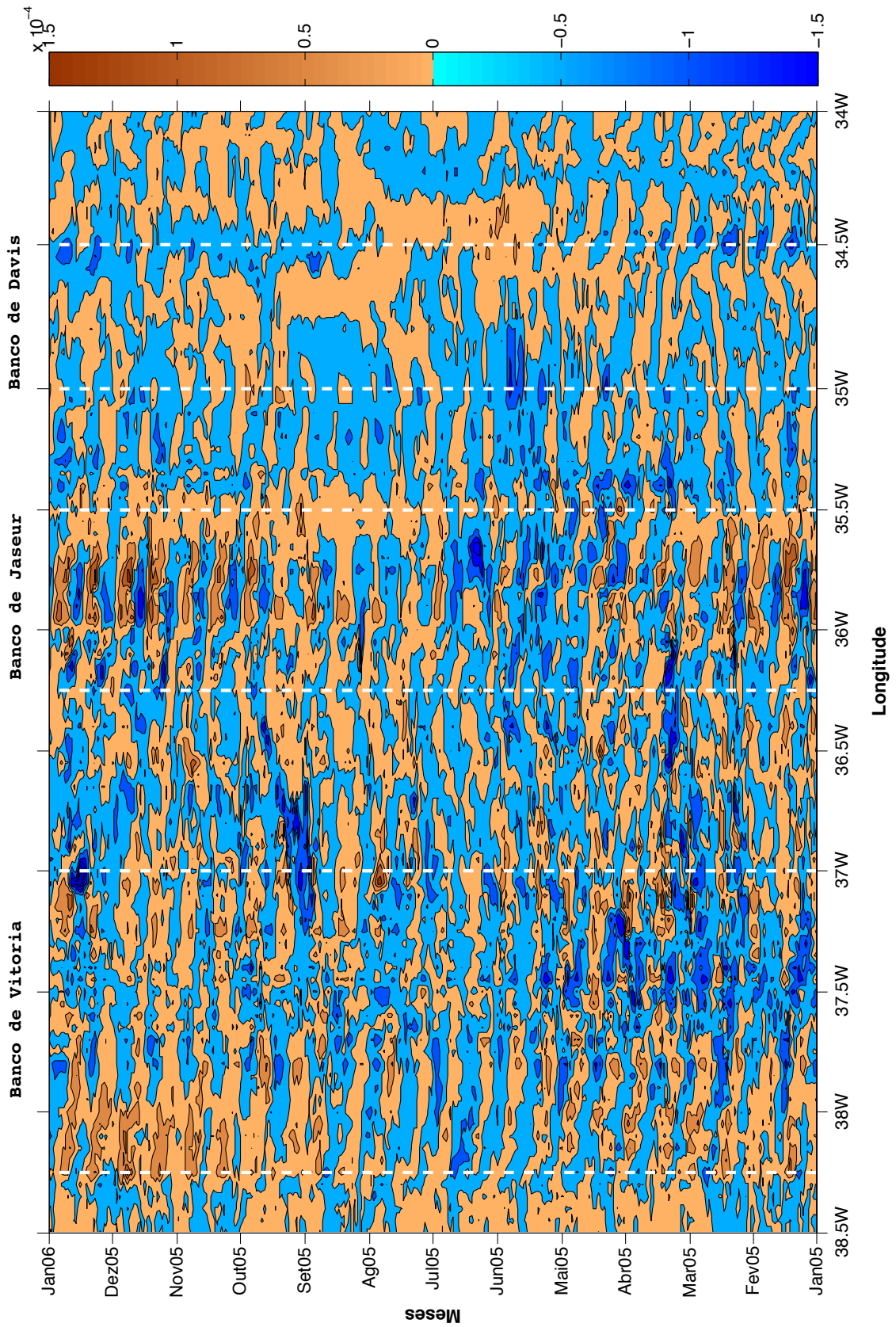


Figura 6.29: Variação espaço-temporal da estimativa da ζ sobre a CVT. Os pares de linhas em branco tracejadas representam os Bancos de Vitória, Jaseur e Davis.

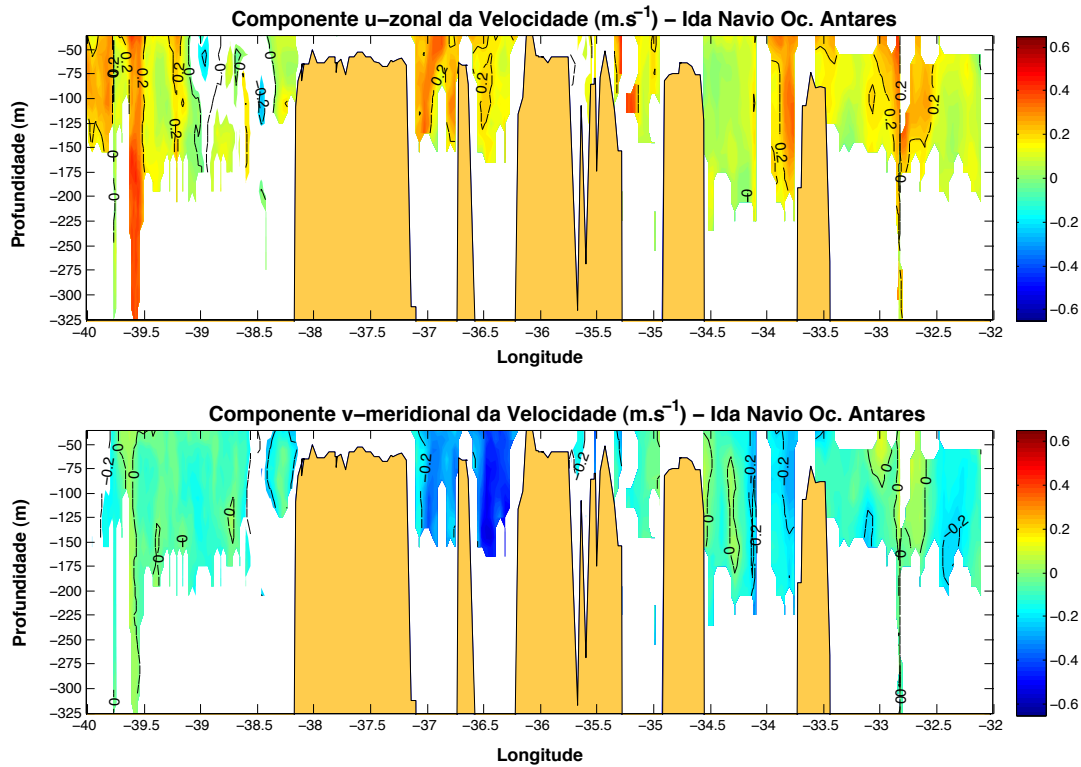


Figura 6.30: Componente meridional e zonal da velocidade ($m.s^{-1}$) obtidas do ADCP de casco do Navio Oc. Antares sobre a CVT na ida à Ilha de Trindade (30/11 a 07/12/2011). Ao longo da trajetória merecem destaque os limites dos Bancos de Vitória ($38.2^{\circ}S$ e $37.2^{\circ}S$), Banco de Jaseur ($36.25^{\circ}S$ e $35.3^{\circ}S$) e Banco de Davis ($35^{\circ}S$ e $34.5^{\circ}S$)

Já no transecto de retorno do navio (Figura 6.31) observou-se um giro ciclônico centrado no Embaiamento de Tubarão até a profundidade de 175 m, sendo possivelmente o VV. O sinal térmico superficial desta feição (Figura 6.32) 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.

Uma feição similar a um vórtice anticiclônico pôde ser observada nos primeiros 175 m de profundidade, tanto na trajetória de ida quanto de retorno da Ilha de Trindade. Durante a ida foi possível observar um forte fluxo da componente meridional da velocidade ($\sim 0.5 m.s^{-1}$) fluindo para o sul na passagem entre o Banco de Vitória e o Banco

de Jaseur, estando mais intenso à leste, enquanto no lado oposto ao Banco de Jaseur, observou-se um fluxo mais fraco ($\sim 0.1 \text{ m.s}^{-1}$) fluindo para norte, o qual foi mais evidenciado na trajetória de retorno do navio ao passar pelo referido monte submarino.

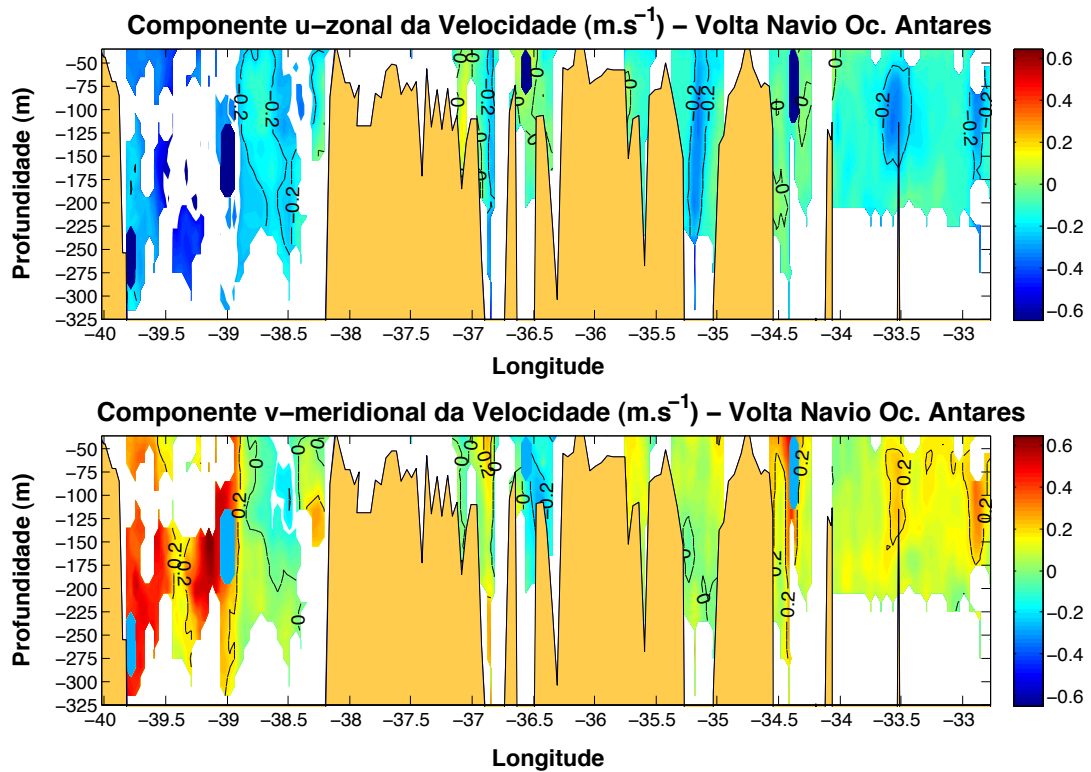


Figura 6.31: Componente meridional e zonal da velocidade (m.s^{-1}) obtidas do ADCP de casco do Navio Oc. Antares sobre a CVT na volta da Ilha de Trindade (30/11 a 07/12/2011). Ao longo da trajetória merecem destaque os limites dos Bancos de Vitória ($38.3^{\circ}S$ e $36.9^{\circ}S$), Banco de Jaseur ($36.5^{\circ}S$ e $35.25^{\circ}S$) e Banco de Davis ($35^{\circ}S$ e $34.5^{\circ}S$).

Esse padrão estaria de acordo com o padrão térmico apresentado na Figura 6.20, com o desenvolvimento do Cone de Taylor.

Já na trajetória de retorno do cruzeiro do Navio Oc. Cruzeiro do Sul realizado no final de Julho/2013 (Figura 6.33), também foi possível observar 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

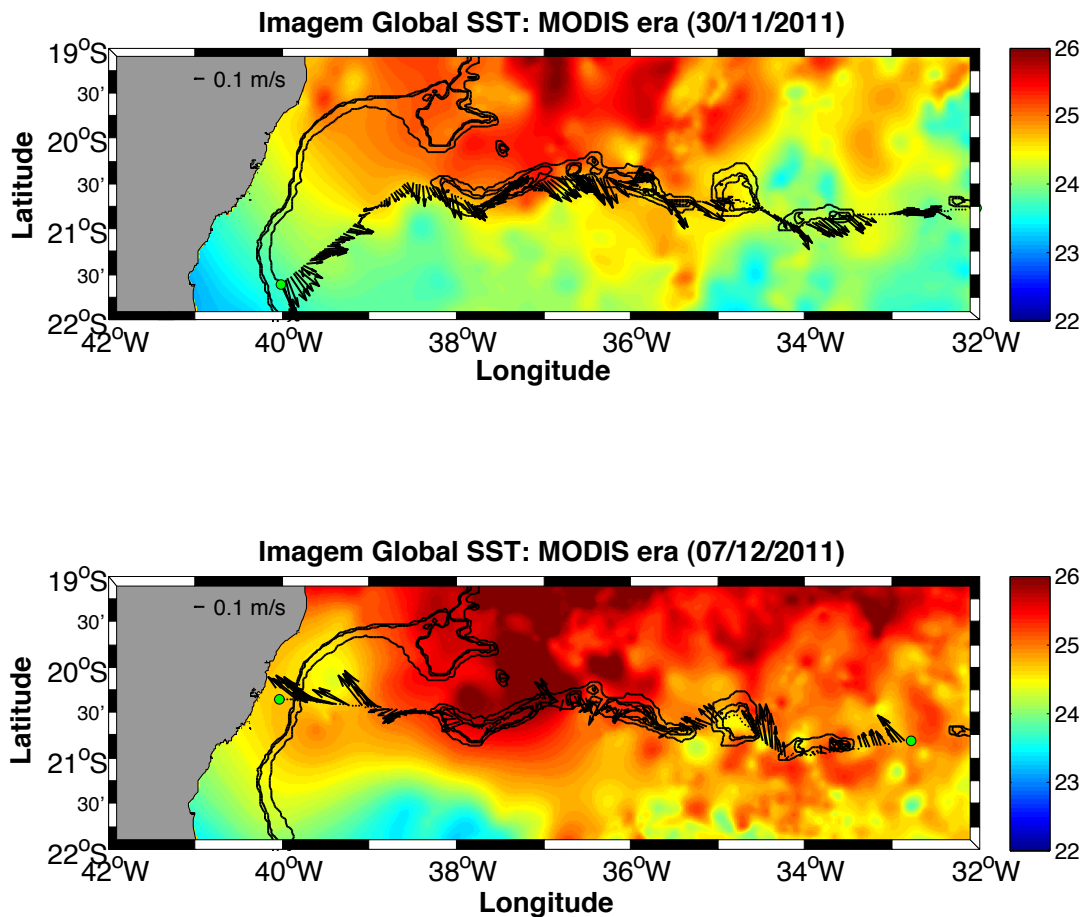


Figura 6.32: Imagem de TSM ($^{\circ}\text{C}$) do dia 30/11 (superior) e 07/12/2011 (inferior) sobreposta aos vetores de velocidade ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) superficial (20 m) coletados pelo ADCP do Navio Oc. Antares.

(Figura 6.34). 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 ($0.2\text{-}0.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) o qual dividiu o monte submarino em duas regiões, similar ao simulado numericamente (Figura 6.35). De acordo com os resultados da simulação, entre esses dois fluxos formou-se um vórtice anticiclônico ao sul do monte.

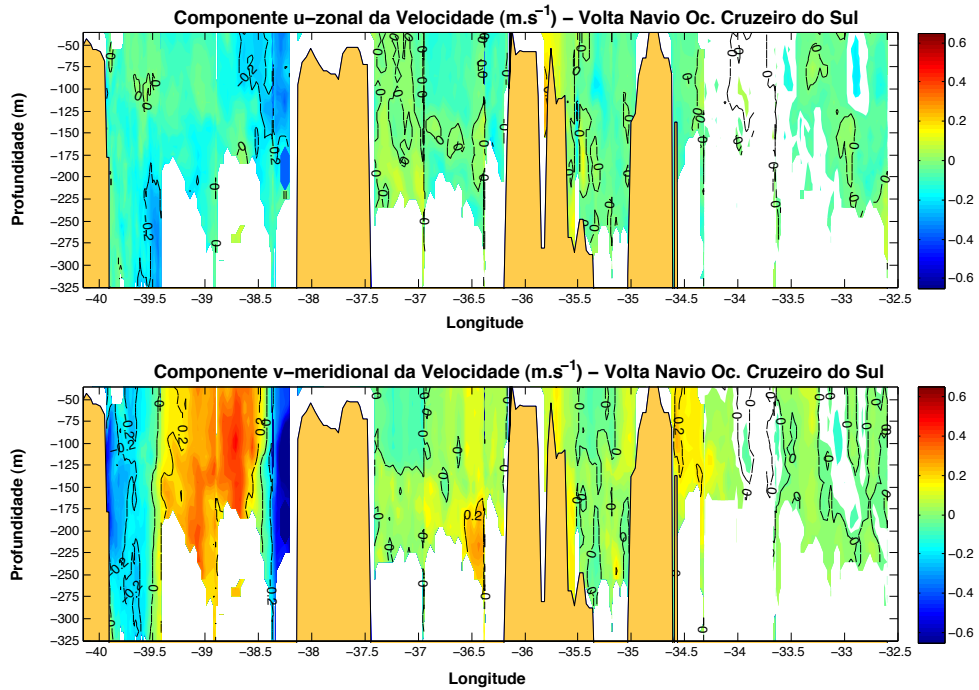


Figura 6.33: Componente meridional e zonal da velocidade ($m.s^{-1}$) obtidas do ADCP de casco do Navio Oc. Cruzeiro do Sul sobre a CVT na volta da Ilha de Trindade (27/07 a 30/07/2013). Ao longo da trajetória merecem destaque os limites dos Bancos de Vitória ($38.2^{\circ}S$ e $37.5^{\circ}S$), Banco de Jaseur ($36.25^{\circ}S$ e $35.3^{\circ}S$) e Banco de Davis ($35^{\circ}S$ e $34.5^{\circ}S$)

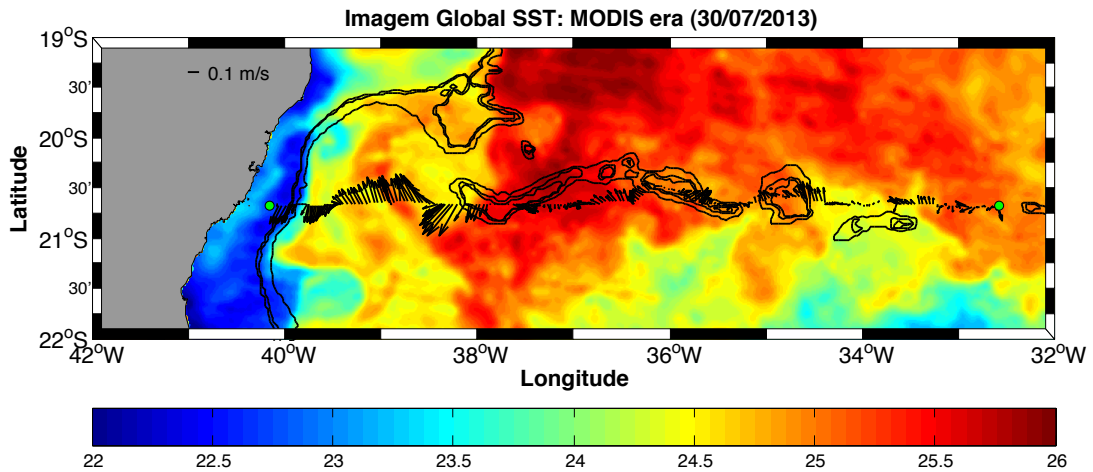


Figura 6.34: Imagem de TSM ($^{\circ}C$) do dia 30/07/2013 sobreposta aos vetores de velocidade ($m.s^{-1}$) superficial (20 m) coletados pelo ADCP do Navio Oc. Cruzeiro do Sul.

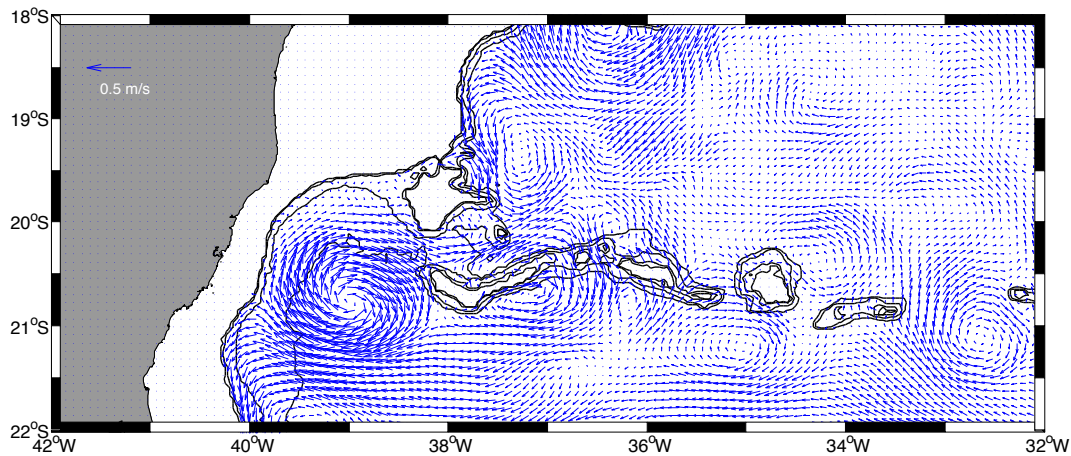


Figura 6.35: Campo de Velocidade Horizontal ($m.s^{-1}$) em 100 m - Julho/2005.

Nos dados de ADCP do Cruzeiro do Sul (Figura 6.33) foi possível observar as baixas velocidades associadas a esse período sazonal ao redor do monte submarino (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) indicam baixas velocidades na região (em torno de $0.2 m.s^{-1}$). Ainda durante o inverno, foi possível evidenciar um vórtice anticiclônico ao redor da estrutura, com a maior intensidade da componente meridional da velocidade ($0.2 m.s^{-1}$) no lado leste ($34.5^{\circ}W$) do que no lado oeste ($35.2^{\circ}W$), com velocidade em torno de $0.1 m.s^{-1}$ (Figura 6.33). Essa circulação anticiclônica observada no inverno ao redor do Banco de Davis concordaria com o desenvolvimento da Coluna de Taylor, de acordo com a Figura 6.26.

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, entre os meses de Janeiro e Março (Figuras 6.36 e Figura 6.37) 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 6.37), no período de transição para o outono (Figura 6.38), 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 inverno (Julho a Setembro – Figura 6.39 e Figura 6.40), ventos de E são frequentes e relativamente intensos com alguns componentes de S normalmente associados a passagem dos sistemas frontais pela região. Neste período (principalmente no mês de Agosto – Figura 6.39) houve uma diferenciação na direção dos ventos entre os dois montes. 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 a Dezembro – Figura 6.40 e Figura 6.41) os ventos retornam ao padrão de típico de verão, isto é de NE com aumento nas suas intensidades.

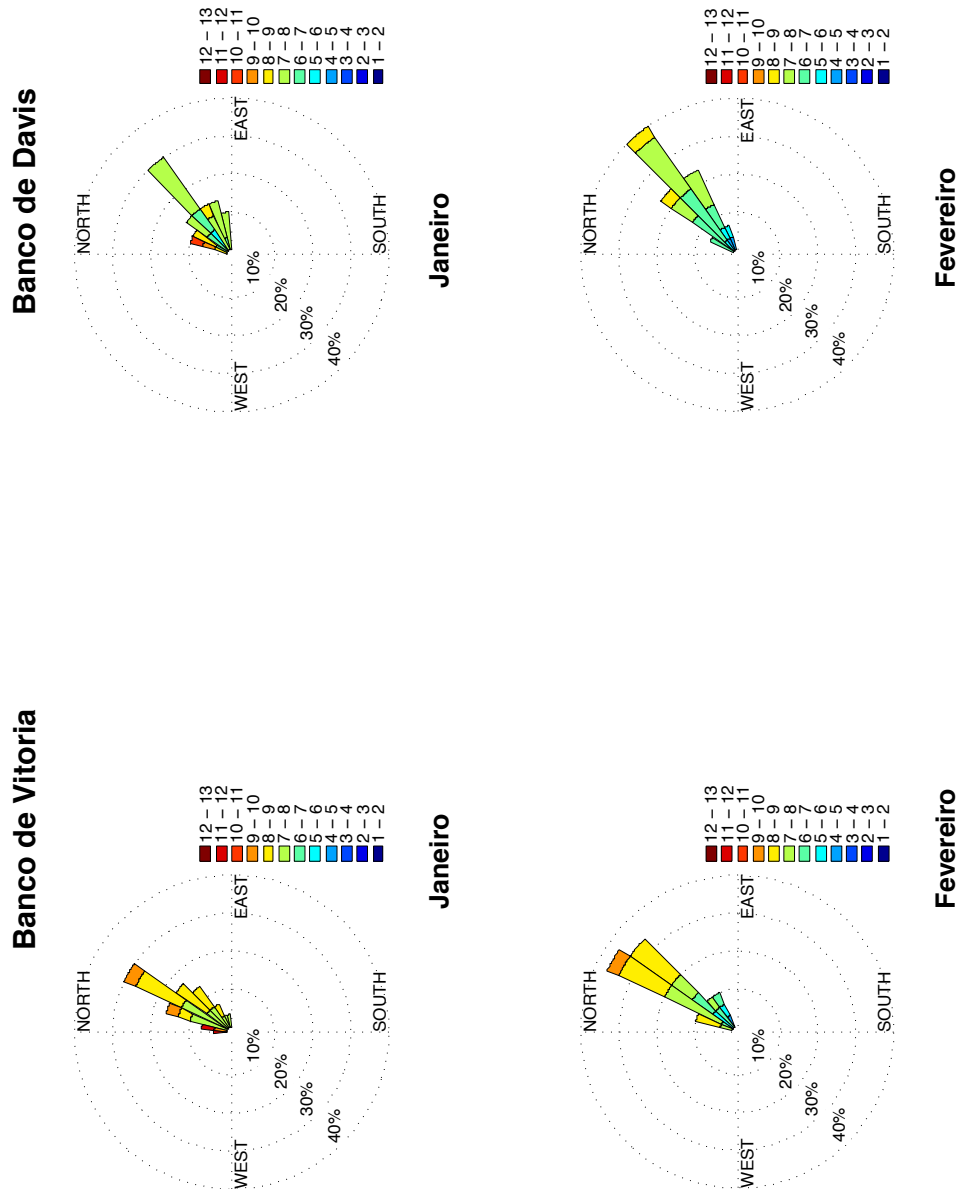


Figura 6.36: Rosa-dos-ventos dos dados mensais de velocidade ($m.s^{-1}$) e direção ($^{\circ}$) do vento de Janeiro e Fevereiro entre os anos de 2006 e 2010 para os Bancos de Vitória e Davis.

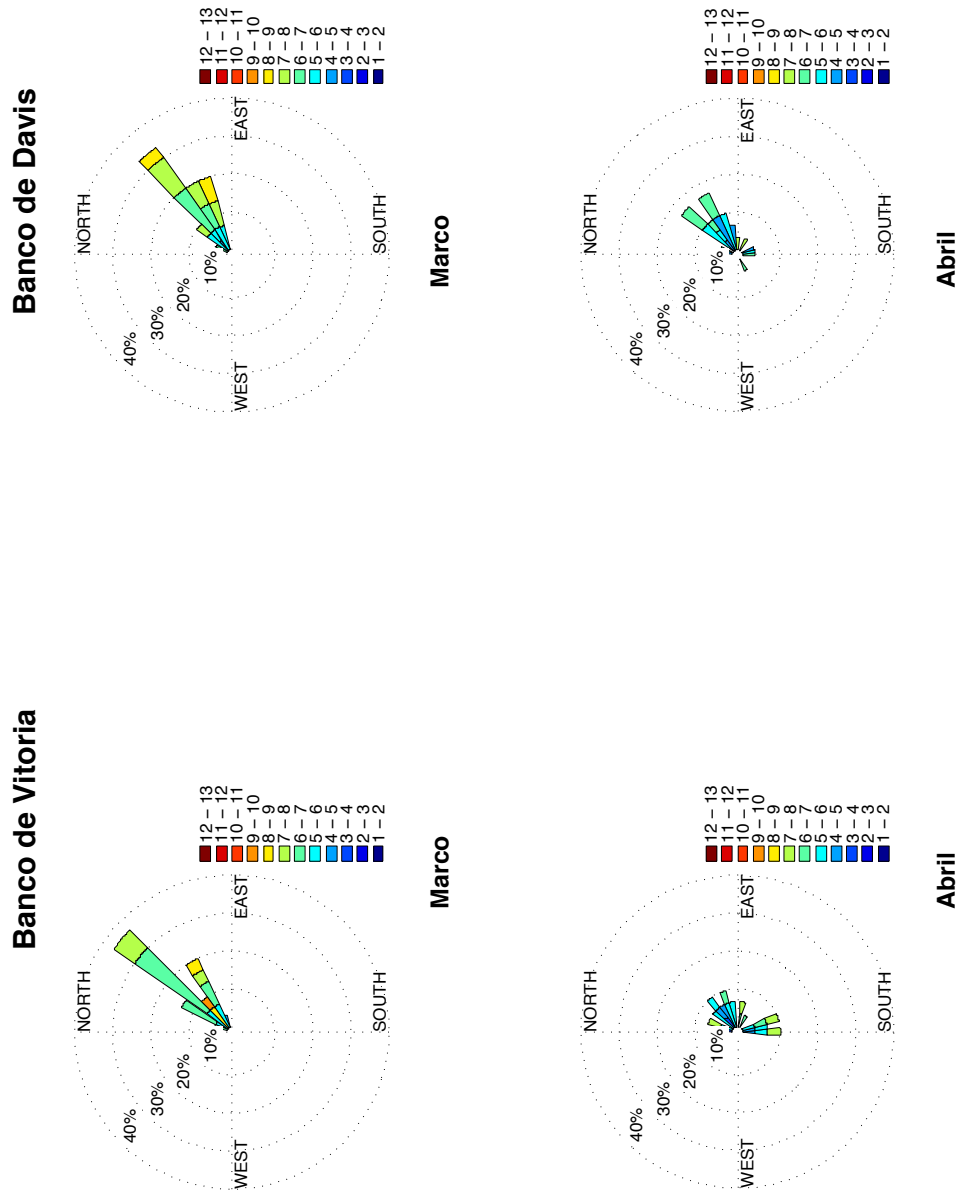


Figura 6.37: Rosa-dos-ventos dos dados mensais de velocidade ($m.s^{-1}$) e direção ($^{\circ}$) do vento de Março e Abril entre os anos de 2006 e 2010 para os Bancos de Vitória e Davis.

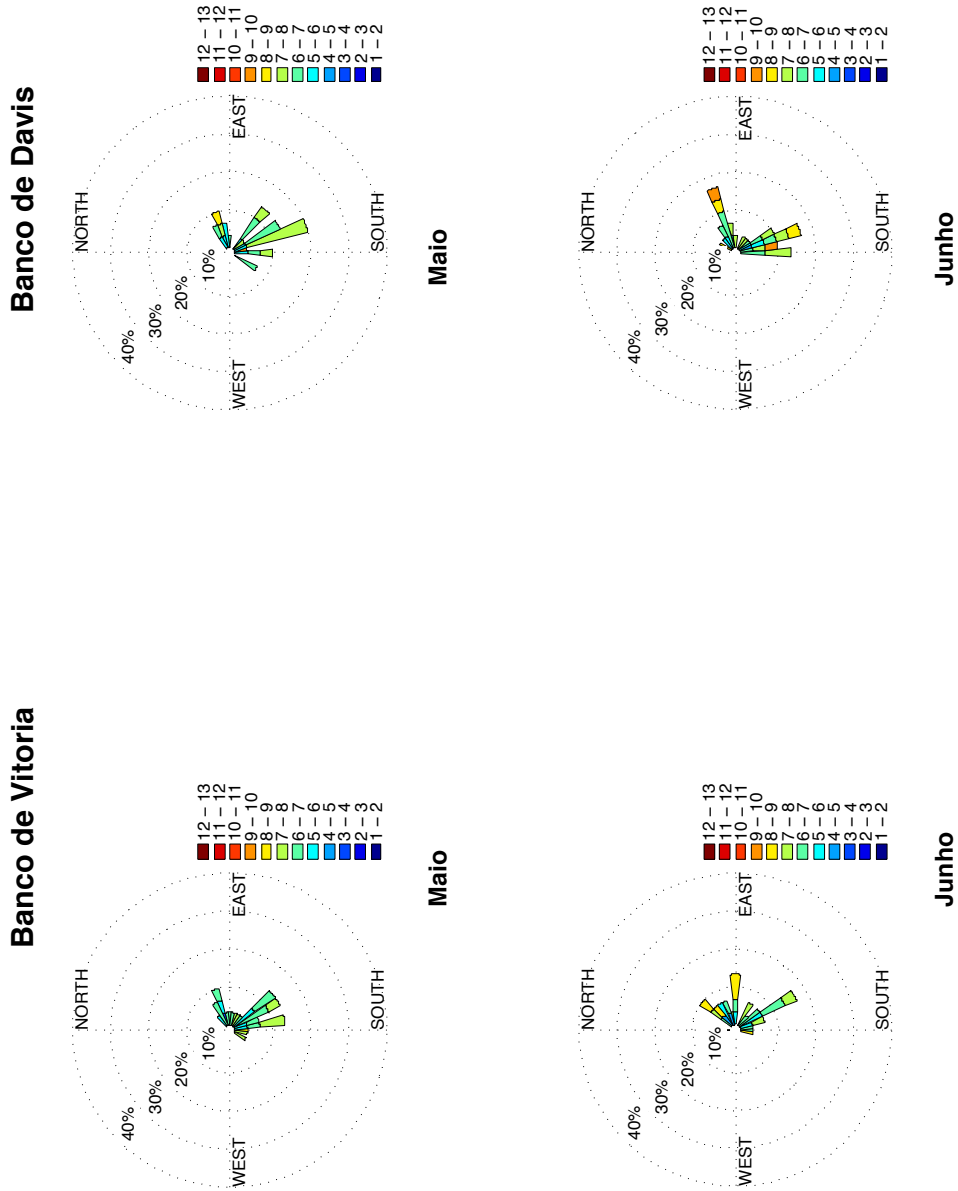


Figura 6.38: Rosa-dos-ventos dos dados mensais de velocidade ($m.s^{-1}$) e direção ($^{\circ}$) do vento de Maio e Junho entre os anos de 2006 e 2010 para os Bancos de Vitória e Davis.

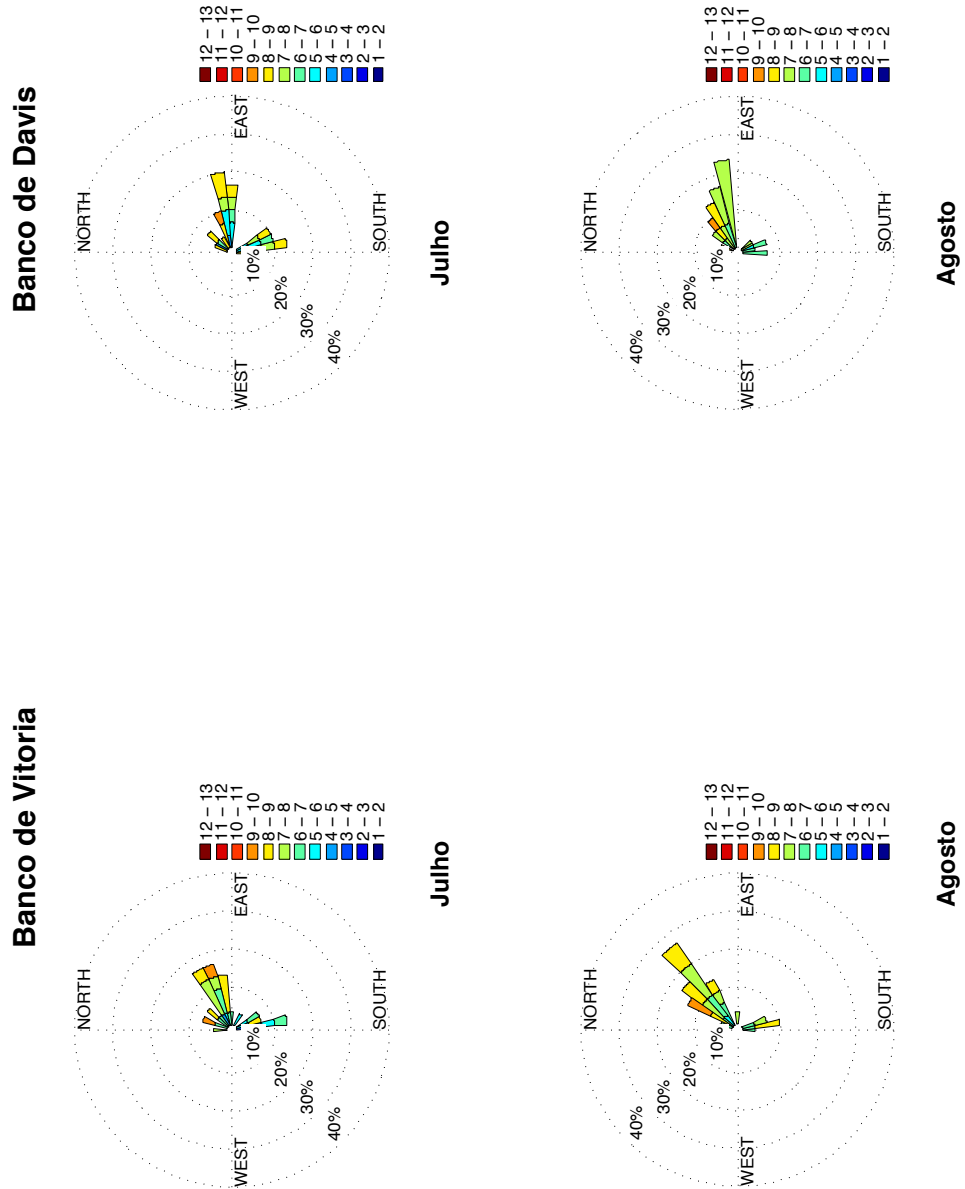


Figura 6.39: Rosa-dos-ventos dos dados mensais de velocidade ($m.s^{-1}$) e direção ($^{\circ}$) do vento de Julho e Agosto entre os anos de 2006 e 2010 para os Bancos de Vitória e Davis.

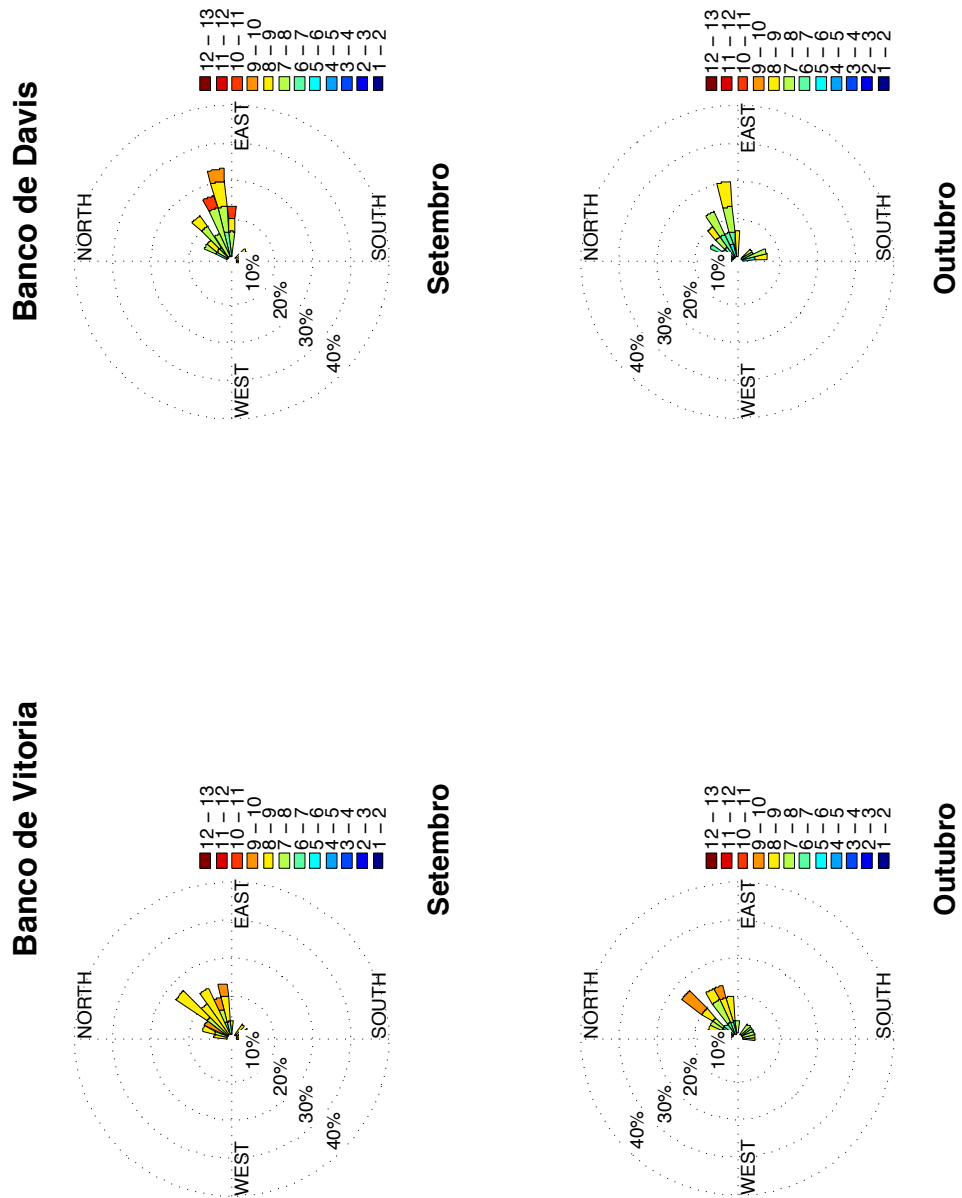


Figura 6.40: Rosa-dos-ventos dos dados mensais de velocidade ($m.s^{-1}$) e direção ($^{\circ}$) do vento de Setembro e Outubro entre os anos de 2006 e 2010 para os Bancos de Vitória e Davis.

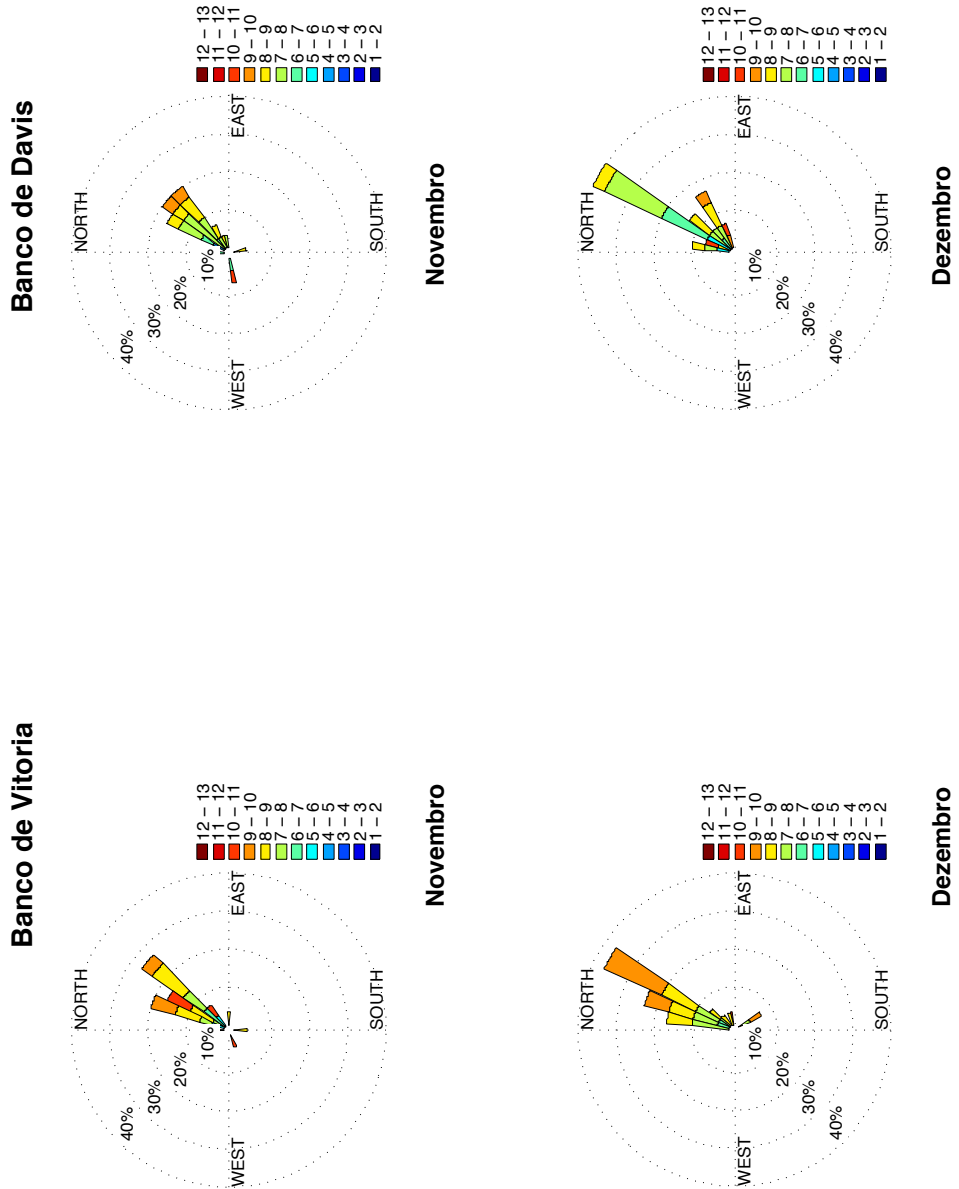


Figura 6.41: Rosa-dos-ventos dos dados mensais de velocidade ($m.s^{-1}$) e direção ($^{\circ}$) do vento de Novembro e Dezembro entre os anos de 2006 e 2010 para os Bancos de Vitória e Davis.

A partir dos resultados de vento do modelo foi estimada a variação espaço-temporal da velocidade de Ekman ao longo da latitude $20.4^{\circ}S$ (Figura 5.7). Os resultados mostrados na Figura 6.42 indicam 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.

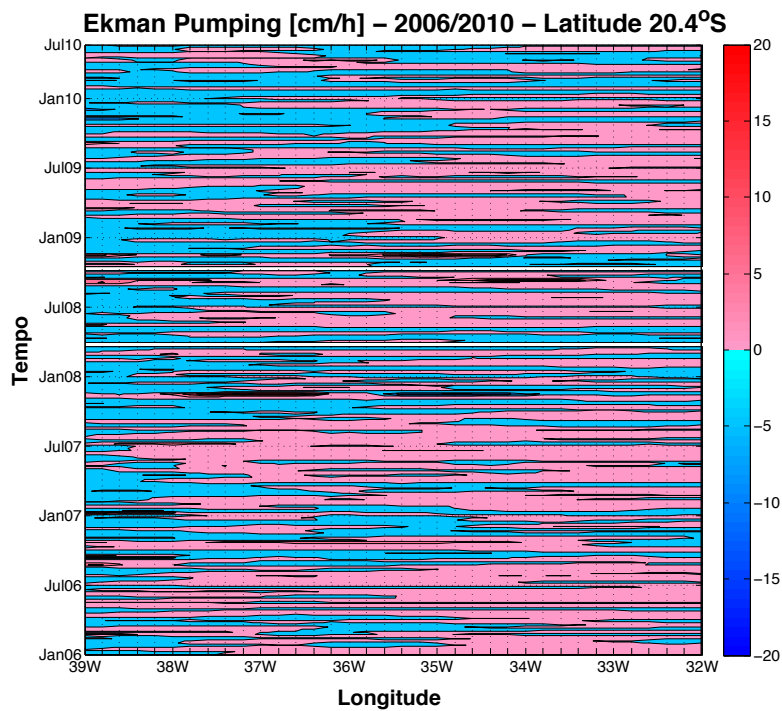


Figura 6.42: Variação espaço-temporal do W_E sobre a CVT. Valores positivos/negativos indicam subida/descida de água. Entre $39^{\circ}W$ e $36^{\circ}W$ (Banco de Vitória) há subsidência de água principalmente no verão, enquanto que a partir de $36^{\circ}W$ (Banco de Davis) predominam processos de ressurgência causados pelo vento.

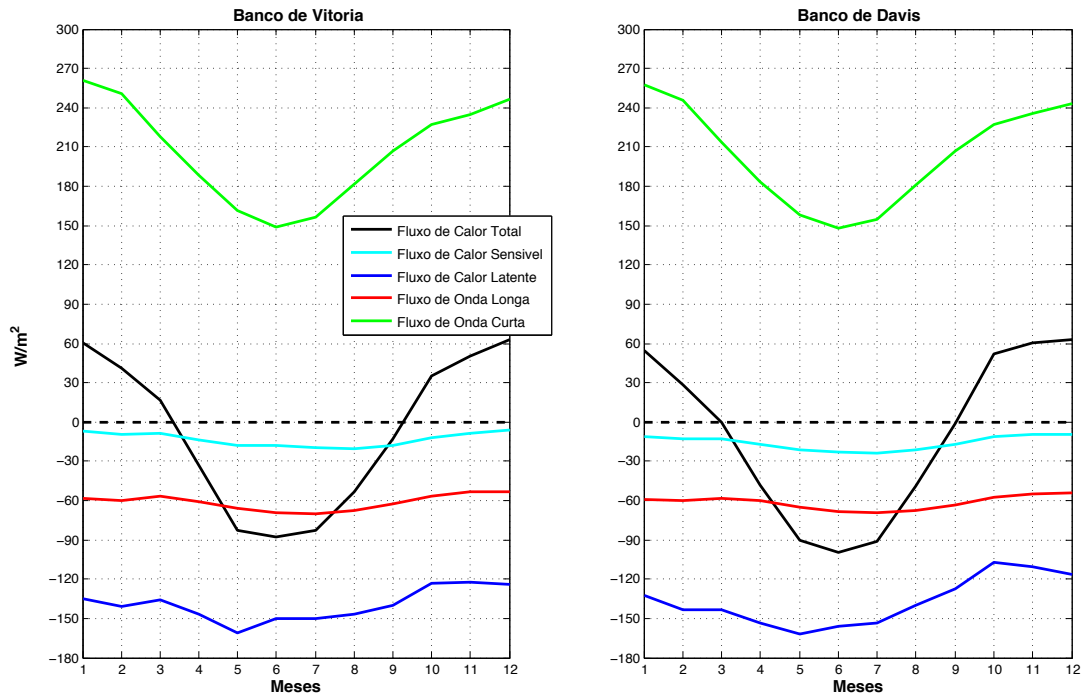


Figura 6.43: Média mensal de fluxo de calor ($W.m^2$) para os Bancos de Vitória (esquerda) e Davis (direita). Valores negativos do fluxo de calor total (linha preta) indicam perda de calor do oceano para a atmosfera.

Ao longo da CVT o fluxo de calor (Figura 6.43) 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.

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 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° ao sul e para o topo dos Banco de Vitória (Figura 6.44), Jaseur (Figura 6.45), Davis (Figura 6.46) e Dogaressa (Figura 6.47).

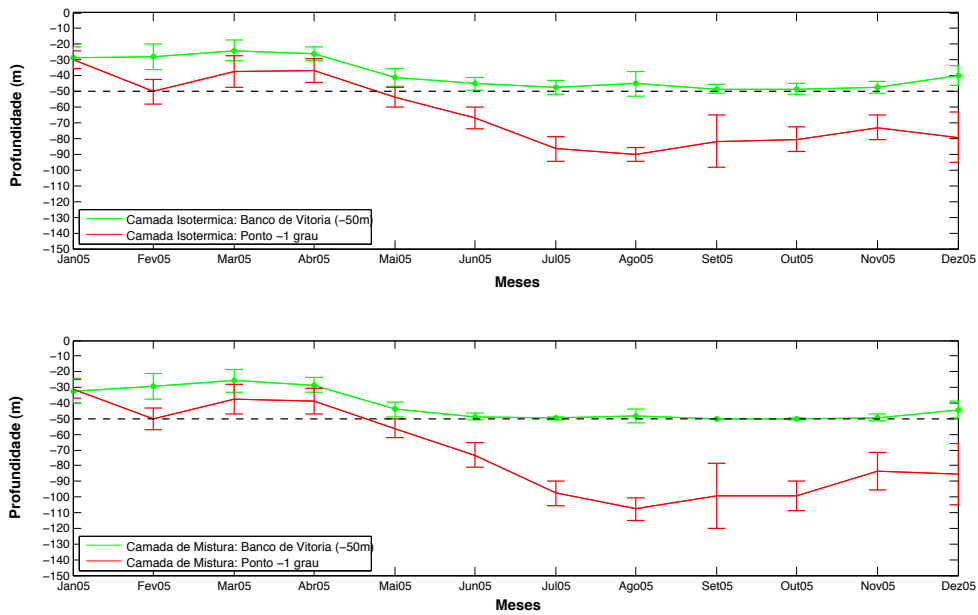


Figura 6.44: Média mensal da CI (superior) e CM (inferior) para o Banco de Vitória (verde) e no ponto -1° (vermelho). A linha preta tracejada representa a profundidade de 50 m do monte submarino.

A CM e CI sobre o Banco de Vitória (Figura 6.44) 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, 1974; Godfrey and Lindstorm, 1989; Kunze and Sanford, 1997; Eriksen, 1993; Mignot et al., 2007; Lima and Lentini, 2009). O padrão

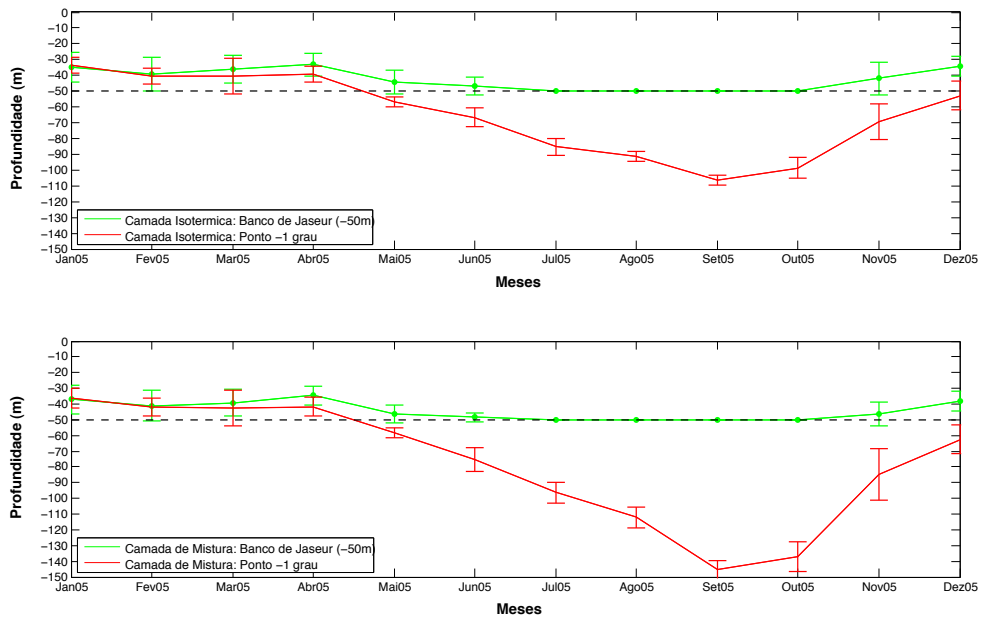


Figura 6.45: Média mensal da CI (superior) e CM (inferior) para o Banco de Jaseur (verde) e no ponto -1° (vermelho). A linha preta tracejada representa a profundidade de 50 m do monte submarino.

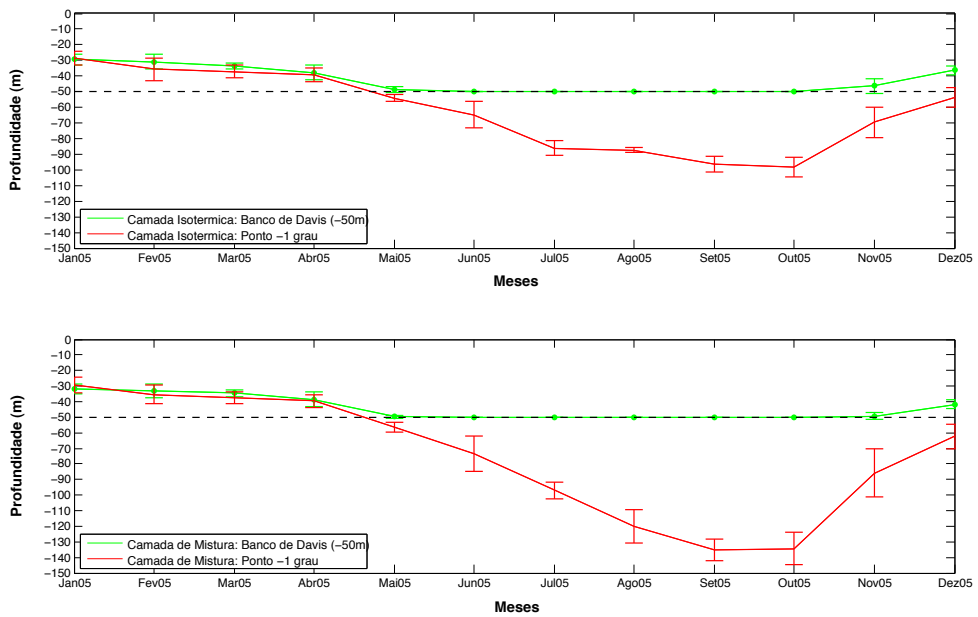


Figura 6.46: Média mensal da CI (superior) e CM (inferior) para o Banco de Davis (verde) e no ponto -1° (vermelho). A linha preta tracejada representa a profundidade de 50 m do monte submarino.

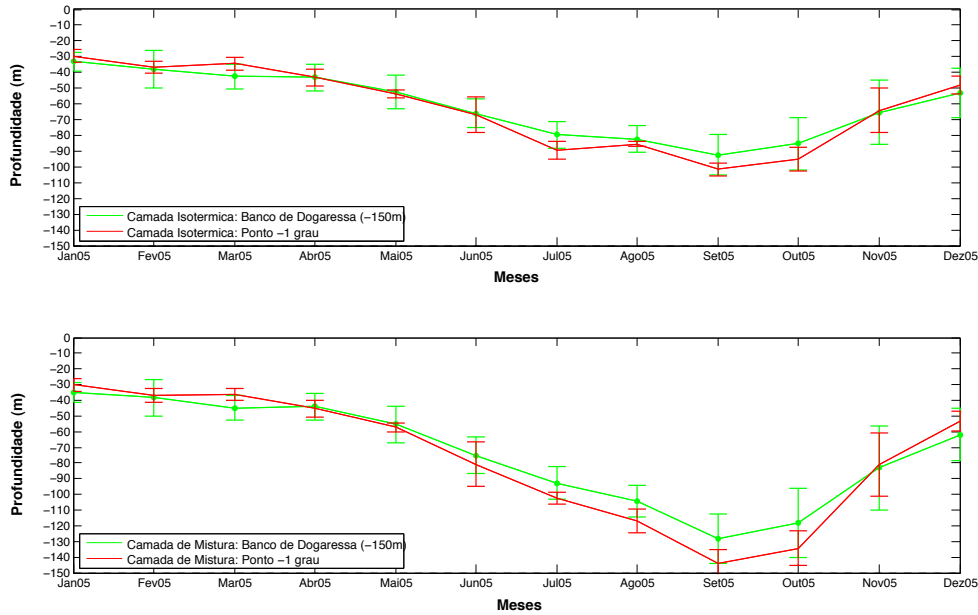


Figura 6.47: Média mensal da CI (superior) e CM (inferior) para o Banco de Dogaressa (verde) e no ponto -1° (vermelho). A linha inferior do gráfico representa a profundidade de 150 m do monte submarino.

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, como pode ser observado na Figura 6.19. Esses nutrientes do topo dos montes submarinos da CVT podem estar associados ao domínio de rodólitos 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 6.47) 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 nutri-

entes 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 do *bloom* fitoplanctônico 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 6.48).

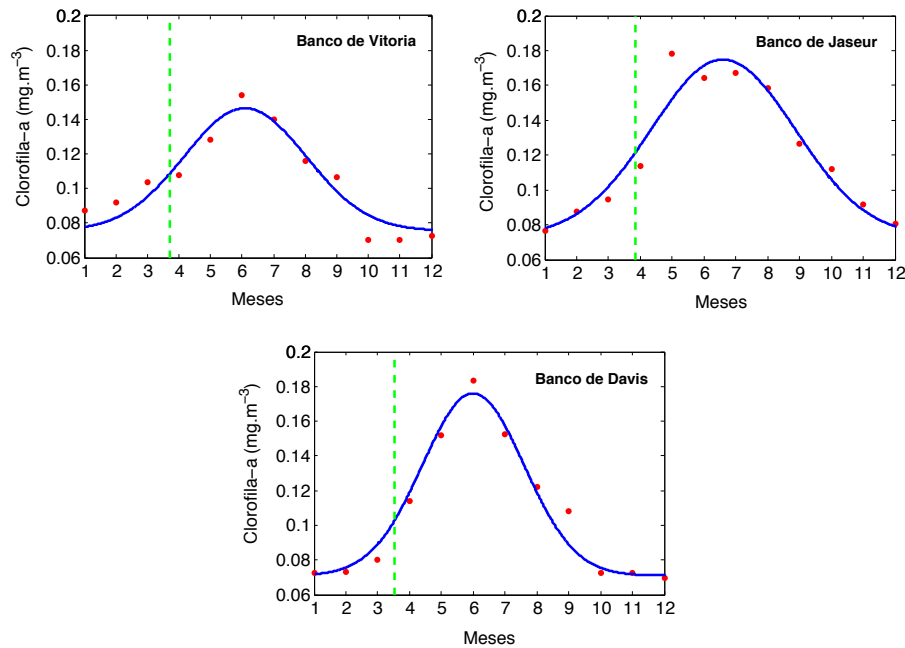


Figura 6.48: Análise do início do *bloom* de fitoplâncton nos Bancos de Vitória, Jaseur e Davis. A linha verde tracejada representa o início do *bloom*, a linha azul a curva Gaussiana, e os pontos em vermelho as médias mensais.

Nos três montes em questão o início do *bloom* fitoplanctônico 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 do *bloom* 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 porções 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 do *bloom* de fitoplâncton observado nas imagens de satélite.

No período de Janeiro (verão) os resultados obtidos de N e B e dos perfis de temperatura conservativa e massa específica mostraram que existe estratificação sobre o topo dos montes submarinos analisados, com baixa profundidade da CM e 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, 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 (inverno) 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 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 ($h_c \sim 80-140$ m), como observado nos perfis de temperatura conservativa e 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 ($\sim 0.14\text{-}0.18 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Os resultados mostraram que as características batimétricas dos montes submarinos ($\delta > 0.07$) 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 isopicnal 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 termoclina 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 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.

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. (1974). 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.*

- 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 Tenembaum, D. (1992/93). 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):10817–32.
- Campos, E., Gonçalves, 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. *Geophys. 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. *Geophys. 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):22993–3007.
- 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 Universitat Politècnica de Catalunya*, 42:207.
- 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.*, 42:1139–45.1997.
- 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.*, 96:15227–36.
- Eriksen, C. (1993). Internal wave reflection and mixing at Fieberling Guyot. *J. Geophys. Res.*, 103:2977–94.
- 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.*, 50:219–33.
- Fodor, R. and Hanan, B. (2000). Geochemical evidence for the Trindade hotspot trace: Columbia seamount ankaramite. *Lithos*, pages 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.*, 43:907–24.
- 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.*, 41:941–51.
- 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.*, 35:151–75.
- Godfrey, J. and Lindstrom, E. (1989). The heat budget of the equatorial western Pacific surface mixed layer. *J. Geophys. Res.*, pages 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.*, 23:2373–91.
- 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.*, 32:655–79.
- 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*, 150:1810–13.
- 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. (2000). 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.*, 27:2663–93.
- Lamb, P. (1984). On the mixed layer climatology of the north and tropical Atlantica. *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 - SBR*, 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.
- 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. (2007). *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.*, 30:305–50.

- 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 Edic ão: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

- retroreflection 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*.
- Soutelino, R., Silveira, I., Gangopadhyay, A., and Miranda, J. (2000). 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.
- 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.*, in press: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):1432–793.
- Wust, G. (1935). Schichtung und zirkulation des Atlantischen Ozeans. *Atlant. Exp. "Meteo"*, 6:109–228.