



P E R E N C O



Relatório Técnico [rev.01]

Projeto de Caracterização da Circulação de Mesoescala

BM-ES-37, 38, 39, 40 e 41

/PRO_PER_1101

Preparado para: Perenco Petróleo e Gás do Brasil LTDA.

Preparado por: PROOCEANO

13 de abril de 2012

Prooceano

Av. Rio Branco, 311/1205 – Centro

CEP 20.0040-009 – Rio de Janeiro – RJ

Tel./Fax + 55 21 2532.5666

www.prooceano.com.br

Controle de revisão

Revisão nº 01

Data: 13/04/2012

Descrição: Revisão do Relatório Original

Responsável: Bruna Cerrone

Empresa: Prooceano

Revisão nº 02

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão nº 03

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão nº 04

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:



Sumário

1. Introdução	15
2. Revisão Bibliográfica	16
3. Climatologia da Circulação de Mesoescala da Bacia do Espírito Santo.....	31
3.1. Derivadores oceânicos	31
3.1.1. <i>Velocidade Média</i>	42
3.2. Altimetria.....	45
3.2.1. <i>Topografia Dinâmica</i>	46
3.2.2. <i>Vorticidade Relativa</i>	52
3.3. Temperatura da Superfície do Mar.....	62
3.4. Modelagem Numérica	69
3.4.1. HYCOM.....	69
3.4.2. ROMS	84
4. Identificação e Monitoramento das Feições de Mesoescala.....	103
4.1. Projeto mondoPERENCO	103
4.1.1. <i>Metodologia</i>	103
4.1.2. <i>Resultados</i>	104
5. Conclusão	114
6. Bibliografia.....	118



Índice das imagens

Figura 1: Batimetria da região da Cadeia Vitória-Trindade. Estão representadas as isóbatas de 100, 200, 1000, 2000, 3000 e 4000 m.....	17
Figura 2: Localização do Vórtice de Vitória, conforme obtido por Schmid <i>et al.</i> , 1995.....	18
Figura 3: Estrutura Vertical do Vórtice de Vitória, conforme obtido por Schmid <i>et al.</i> (1995).....	19
Figura 4: Seção vertical da velocidade meridional (m/s) mostrando a estrutura vertical do Vórtice de Vitória em dois momentos. Retirado de Campos (2006).....	21
Figura 5: Campo de corrente (m/s) em três níveis (100, 200 e 500m de profundidade) mostrando o posicionamento do Vórtice de Vitória. Retirado de Campos (2006).	22
Figura 6: Campos de corrente (m/s) em superfície, em instantes diferentes, mostrando a translação para norte do Vórtice de Vitória. Retirado de Campos (2006).	23
Figura 7: Campos de função de corrente (m/s) climatológico para o mês de março. Retirado de Costa (2007).	24
Figura 8: Campos de função de corrente (m/s) climatológico para o mês de abril. Retirado de Costa (2007).	25
Figura 9: Campos de função de corrente (m/s) climatológico para o mês de setembro. Retirado de Costa (2007).	25
Figura 10: Região na qual foram realizadas medições de corrente com ADCP de casco, no período entre 09/12/2008 a 27/03/2009.....	26
Figura 11: Detalhe da região na qual foram realizadas medições de corrente com ADCP de casco, no período entre 09/12/2008 a 27/03/2009, mostrando os vetores de corrente em superfície.	27
Figura 12: Distribuição da velocidade de corrente obtida pelas medições feitas com ADCP de casco, no período entre 09/12/2008 a 27/03/2009.	28
Figura 13: Distribuição da direção de corrente obtida pelas medições feitas com ADCP de casco, no período entre 09/12/2008 a 27/03/2009.	29
Figura 14: Representação esquemática do derivador a ser usado.	32
Figura 15: Derivador WOCE-SVP pronto para o lançamento.....	33



- Figura 16: Trajetórias percorridas por todos os derivadores. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 2.000m. A área destacada representa a Baía do Espírito Santo..... 34
- Figura 17: Trajetórias percorridas por todos os derivadores no período de verão. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 2.000m. A área destacada representa a Baía do Espírito Santo. 35
- Figura 18: Trajetórias percorridas por todos os derivadores no período de outono. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 2.000m. A área destacada representa a Baía do Espírito Santo. 36
- Figura 19: Trajetórias percorridas por todos os derivadores no período de inverno. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 2.000m. A área destacada representa a Baía do Espírito Santo. 37
- Figura 20: Trajetórias percorridas por todos os derivadores no período de primavera. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 2.000m. A área destacada representa a Baía do Espírito Santo. 38
- Figura 21: Trajetórias dos derivadores que identificaram o sinal do Vórtice de Vitória no período de: a) março de 1999; b) julho de 2004; e c) de outubro à novembro de 2005. 39
- Figura 22: Trajetória do derivador capturado pelo vórtice sobreposta ao campo de Clorofila Superficial do Mar para o dia 17 de outubro de 2005. A marcação em rosa na trajetória do derivador corresponde ao dia analisado. As regiões sem dados no mapa representam a contaminação por nuvens. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m, 1.000 m e 2.000 m. A área destacada representa a Baía do Espírito Santo..... 41
- Figura 23: Trajetória do derivador capturado pelo vórtice sobreposta ao de Clorofila Superficial do Mar para o dia 26 de outubro de 2005. A marcação em rosa na trajetória do derivador corresponde ao dia analisado. As regiões sem dados no mapa representam a contaminação por nuvens. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m, 1.000 m e 2.000 m. A área destacada representa a Baía do Espírito Santo. 42
- Figura 24: Mapa de distribuição das caixas analisadas selecionadas, com a respectiva quantidade de dados gerados pelos derivadores. As células em branco não possuem dados ou não se enquadram nos critérios estabelecidos..... 43



Figura 25: Mapa de velocidade média obtida através da análise das caixas válidas. As células em branco não possuem dados ou não se enquadram nos critérios estabelecidos. Os marcadores em preto representam os locais de lançamento.	44
Figura 26: Mapa de velocidade média obtida através da análise das caixas válidas. Detalhe da região de formação do Vórtice de Vitória.	45
Figura 27: Topografia dinâmica climatológica de verão e corrente geostrófica. As linhas cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada a partir de dados da AVISO.	47
Figura 28: Topografia dinâmica climatológica de outono e corrente geostrófica. As linhas cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada a partir de dados da AVISO.	48
Figura 29: Topografia dinâmica climatológica de inverno e corrente geostrófica. As linhas cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada a partir de dados da AVISO.	49
Figura 30: Topografia dinâmica climatológica de primavera e corrente geostrófica. As linhas cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada a partir de dados da AVISO.	50
Figura 31: Topografia dinâmica climatológica anual e corrente geostrófica. As linhas cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada a partir de dados da AVISO.	51
Figura 32: Figura esquemática representando a sucessão dos centros de alta e baixa pressão e a trajetória da Corrente do Brasil. Retirado de Calado (2006).....	52
Figura 33: Vorticidade relativa climatológica de verão e corrente geostrófica. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada a partir de dados da AVISO.	54
Figura 34: Vorticidade relativa climatológica de outono e corrente geostrófica. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada a partir de dados da AVISO.	55
Figura 35: Vorticidade relativa climatológica de inverno e corrente geostrófica. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada a partir de dados da AVISO.	56



- Figura 36: Vorticidade relativa climatológica de primavera e corrente geostrófica. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada a partir de dados da AVISO. 57
- Figura 37: Figura esquemática dos núcleos de vorticidade negativa, ciclônico (em azul) e positiva, anticiclônico (vermelho). As linhas cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. 58
- Figura 38: Trajetória de um derivador capturado pelo Vórtice de Vitória sobreposto ao campo climatológico anual de vorticidade relativa. As linhas cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Fonte do dado de derivador: GDP. Fonte do dado de vorticidade: AVISO..... 59
- Figura 39: Posição da área de integração espacial da vorticidade relativa (quadrado vermelho) e dos blocos BM-ES-37 a 41. A área destacada representa a Bacia do Espírito Santo. ... 60
- Figura 40: Série temporal de vorticidade relativa integrada no espaço. Dados de 01/01/2009 a 31/12/2010. 61
- Figura 41: Médias mensais da vorticidade relativa integrada espacialmente (linha azul) e linha média de tendência (Linha laranja)..... 62
- Figura 42: Climatologia da Temperatura da Superfície do Mar para todo o período analisado. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada com dados obtidos no banco de dados OSTIA. 63
- Figura 43: Climatologia da Temperatura da Superfície do Mar para o verão. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada com dados obtidos no banco de dados OSTIA..... 64
- Figura 44: Climatologia da Temperatura da Superfície do Mar para o outono. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada com dados obtidos no banco de dados OSTIA..... 65
- Figura 45: Climatologia da Temperatura da Superfície do Mar para o inverno. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada com dados obtidos no banco de dados OSTIA..... 66
- Figura 46: Climatologia da Temperatura da Superfície do Mar para a primavera. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada com dados obtidos no banco de dados OSTIA..... 67



- Figura 47: Mapa de anomalia de TSM para o período de 29/09/2005 a 15/11/2005. Trajetória de um derivador capturado pelo VV na mesma época sobreposto (linha marrom)..... 68
- Figura 48: Campo médio de corrente para o período de verão. Os vetores representam a direção das correntes e as cores, a intensidade das mesmas, em m/s. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM..... 70
- Figura 49: Campo médio de corrente para o período de outono. Os vetores representam a direção das correntes e as cores, a intensidade das mesmas, em m/s. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM..... 71
- Figura 50: Campo médio de corrente para o período de inverno. Os vetores representam a direção das correntes e as cores, a intensidade das mesmas, em m/s. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM. 72
- Figura 51: Campo médio de corrente para o período de primavera. Os vetores representam a direção das correntes e as cores, a intensidade das mesmas, em m/s. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM. 73
- Figura 52: Campo de vorticidade relativa referente aos meses de verão. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM..... 74
- Figura 53: Campo de vorticidade relativa referente aos meses de outono. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM..... 75
- Figura 54: Campo de vorticidade relativa referente aos meses de inverno. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM..... 76
- Figura 55: Campo de vorticidade relativa referente aos meses de primavera. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM. 77
- Figura 56: Série temporal de vorticidade relativa integrada na região do Vórtice de Vitória. Figura gerada a partir de dados do HYCOM. 78
- Figura 57: Médias mensais e linha média de vorticidade relativa integrada na região do Vórtice de Vitória. Figura gerada a partir de dados do HYCOM. 79
- Figura 58: Campo médio de corrente (vetores) e TSM (cores) para o período entre 26/09/2005 a 15/11/2005. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM. 80



Figura 59: Seção de velocidade meridional média para o período entre 26/09/2005 a 15/11/2005. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM.	81
Figura 60: Seção de temperatura média para o período entre 26/09/2005 a 15/11/2005. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM.	82
Figura 61: Seção de velocidade meridional para o dia 26/10/2005. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM.....	83
Figura 62: Seção de anomalia de temperatura para o dia 26/10/2005. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM.....	84
Figura 63: Grade numérica curvilínea utilizada nas simulações.....	86
Figura 64: Campo médio de velocidade em superfície para o período de verão.	87
Figura 65: Campo médio de velocidade em superfície para o período de outono.	88
Figura 66: Campo médio de velocidade em superfície para o período de inverno.	89
Figura 67: Campo médio de velocidade em superfície para o período de primavera.	90
Figura 68: Campo médio de vorticidade relativa para o período de verão.	91
Figura 69: Campo médio de vorticidade relativa para o período de outono.	92
Figura 70: Campo médio de vorticidade relativa para o período de inverno.	93
Figura 71: Campo médio de vorticidade relativa para o período de primavera.	94
Figura 72: Posição da área de integração espacial da vorticidade relativa (quadrado vermelho) e dos blocos BM-ES-37 a 41. A área destacada representa a Bacia do Espírito Santo. ...	95
Figura 73: Série temporal de vorticidade relativa integrada na região do Vórtice de Vitória.	96
Figura 74: Campo de velocidade superficial sobreposto à batimetria local. O eixo vertical indica a profundidade, em metros.	98
Figura 75: Detalhe do Vórtice sobreposto à topografia oceânica. O eixo vertical indica a profundidade, em metros.....	99
Figura 76: Estrutura vertical do Vórtice de Vitória. O eixo vertical indica profundidade, em metros.....	100



- Figura 77: Visões em perspectiva da estrutura vertical do Vórtice de Vitória. Na figura a direita, a linha cinza evidencia a inclinação do eixo vertical do vórtice. 101
- Figura 78: De cima para baixo, da esquerda para a direita, campos de elevação da superfície livre de 01, 06, 13 e 27 de Junho de 2008..... 102
- Figura 79: Pontos de lançamento dos derivadores do Projeto mondoPERENCO, bem como a região delimitada pelos blocos BM-ES-37 a 41..... 104
- Figura 80: Datas de lançamento dos derivadores. O mês de dezembro foi retirado do calendário por não ter ocorrido nenhum lançamento nesse período. 105
- Figura 81: Distribuição espacial dos dados válidos gerados pelos derivadores. As células em branco não possuem dados. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m 1.000 m e 2.000 m. As áreas destacadas representam as Bacias do Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas..... 106
- Figura 82: Distribuição espacial dos dados válidos gerados pelos derivadores com o *drogue* acoplado ao equipamento. As células em branco não possuem dados. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m, 1.000 m e 2.000 m. As áreas destacadas representam as Bacias do Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas. 107
- Figura 83: Trajetórias percorridas pelos derivadores. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m, 1.000 m e 2.000 m. As áreas destacadas representam as Bacias do Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas..... 108
- Figura 84: Variação da temperatura obtida pelos derivadores com a latitude no tempo..... 109
- Figura 85: Trajetórias percorridas pelos derivadores. Em destaque, a trajetória do derivador que apresentou um meandramento. Zoom da região próxima aos Blocos BM-ES-37 a 41. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m, 1.000 m e 2.000 m. A área destacada representa a Bacia do Espírito Santo. 110
- Figura 86: Trajetória do derivador sobreposta ao campo médio de TSM do produto OSTIA para o período de 22 a 27 de novembro de 2011. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m, 1.000 m e 2.000 m. A área destacada representa a Bacia do Espírito Santo. 111
- Figura 87: Trajetória do derivador sobreposta ao campo de TSM do produto OSTIA para o dia de 21 de novembro de 2011. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m, 1.000 m e 2.000 m. A área destacada representa a Bacia do Espírito Santo..... 112



Figura 88: Trajetória do derivador sobreposta ao campo de vorticidade relativa médio para o período de 22 a 26 de novembro de 2011. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m, 1.000 m e 3.000 m. A área destacada representa a Bacia do Espírito Santo. 113



Índice das tabelas

Tabela 1: Características (Velocidade de Translação, Direção de Translação e Transporte de Volume) do Vórtice de Vitória. Reproduzido de Schmid *et al.* (1995)..... 19

Tabela 2: Descrição das fontes de dados utilizadas, coordenadas, parâmetros e período. 31



Equipe técnica

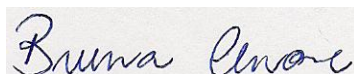
Nome: Bruna Nogueira Cerrone

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 768292

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



Nome: Francisco Alves dos Santos

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 459094

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



Nome: Gabriel Vieira de Carvalho

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 5416625

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



Nome: Maurício da Rocha Fragoso

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 265033

Responsável pela(s) Seção(ões): 2. Revisão Bibliográfica

Assinatura:





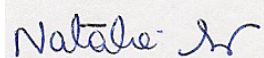
Nome: Natalia Gomes dos Santos

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 4896913

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



1. Introdução

O Projeto de Caracterização da Circulação de Mesoescala foi desenvolvido para atender o escopo proposto pela Perenco ao CGPEG/IBAMA, no Capítulo II.10.7 do Estudo de Impacto Ambiental da Atividade de Perfuração Marítima na Área Geográfica dos Blocos BM-ES-37, 38, 39, 40 e 41.

A metodologia para avaliação do padrão de circulação de mesoescala na região considera três etapas:

A primeira etapa se refere à elaboração de um “Desktop Study” aliado à geração de um modelo para estudo e avaliação do Vórtice de Vitória. Em novembro de 2009, a PROOCEANO, visando atender a essa etapa, entregou à Perenco um estudo preliminar a respeito da circulação de mesoescala na região da Bacia do Espírito Santo, baseado em dados previamente coletados, uma revisão bibliográfica e o desenvolvimento de um novo estudo de modelagem numérica.

A segunda etapa consiste na análise de dois anos de dados pretéritos de sensoriamento remoto relativos à temperatura da superfície do mar (TSM) e à elevação da superfície do mar, além de dados de derivadores oceânicos e modelagem numérica, com o intuito de gerar uma climatologia da circulação de mesoescala da Bacia do Espírito Santo, com especial ênfase no Vórtice de Vitória.

Finalmente, a terceira etapa compreende a identificação e monitoramento das feições de mesoescala através do sensoriamento remoto em conjunto com dados existentes de derivadores oceânicos.

Como a primeira etapa já foi realizada, o presente relatório procura atender ao que está proposto nas segunda e terceira etapas.



2. Revisão Bibliográfica

Uma das causas da complexa circulação oceânica da Bacia do Espírito Santo é a interação do fluxo com a complexa topografia de fundo da região. Mecanismos de meandramentos, vórtices e ressurgência costeira estão diretamente ligados à cordilheira submarina, aos bancos, aos alargamentos e estreitamentos da Plataforma Continental e às mudanças de orientação da linha de costa presentes na região (SCHMID *et al.*, 1995; GAETA *et al.*, 1999; SILVEIRA, *et al.* 2000; FRAGOSO, 2004; COSTA, 2007) (Figura 1).

Ao norte da Bacia do Espírito Santo, a Plataforma Continental entre as latitudes de 10° a 15° S é estreita, apresentando largura típica em torno de 15 km, chegando a alcançar 10 km na latitude de 13°S (a menor do Brasil), possuindo profundidades da quebra da plataforma entre 50 a 60 m. A partir desse ponto, a Plataforma exibe grande variação em sua largura. Na latitude de 15°S, ela possui 35 km aproximadamente. Um pouco mais a sul encontra-se o banco Royal Charlotte e a plataforma se estende até 110 km. Em 17°S, novamente apresenta largura menor, em torno de 45 km, até chegar na região do Banco de Abrolhos, onde chega a 190 km de extensão. Logo abaixo, em 19,5°S a plataforma sofre outro estreitamento, passando para aproximadamente 40 km de largura.

Uma feição importante da topografia submarina da região é a cadeia de montes vulcânicos, denominada de Vitória-Trindade. Essa feição perpendicular à costa estende-se por mais de mil quilômetros ao longo dos paralelos de 20° e 21° em direção ao sudoeste da África. Os pontos culminantes da cordilheira estão submersos a poucas dezenas de metros da superfície. Entretanto, as bases dessas montanhas estão entre 3 e 4 mil metros de profundidade. Na extremidade oriental da cadeia, distante 1.200 quilômetros do litoral de Vitória, surgem os únicos vestígios visíveis à superfície: os rochedos que formam o minúsculo Arquipélago de Martim Vaz e a Ilha de Trindade (OLIVEIRA *et al.*, 2004). Tal formação acarreta em gradientes de profundidade bastante significativos, e ao interagir com o fluxo da CB que por ali passa, gera feições como vórtices e meandros.



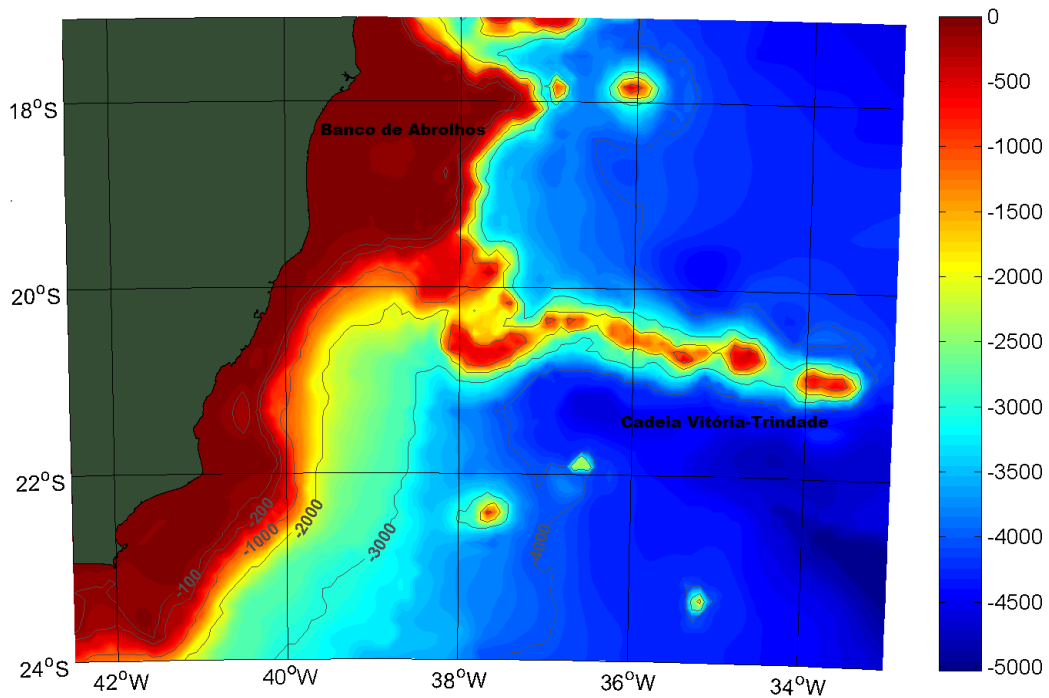


Figura 1: Batimetria da região da Cadeia Vitória-Trindade. Estão representadas as isóbatas de 100, 200, 1000, 2000, 3000 e 4000 m.

No entorno da latitude de 19°S, a Corrente do Brasil se encontra mais afastada da costa, em virtude do alargamento da plataforma continental. A partir desta latitude, recebe efetiva contribuição da ACAS, torna-se mais profunda e aumenta seu transporte, mas é ainda estreita, com cerca de 75 km de largura, apresentando velocidade máxima em torno de 0,7 m/s (SILVEIRA *et al.*, 2000). Valores de transporte entre 5 Sv e 6.5 Sv foram observados nos primeiros 500 m de coluna d'água (PETERSON; STRAMMA, 1991; STRAMMA *et al.*, 1990).

Próximo à latitude de 20,5° S, a corrente se depara com a cadeia Vitória-Trindade e flui preferencialmente através da passagem mais próxima à costa, embora esse fluxo seja pouco documentado (CASTRO; MIRANDA, 1998). Stramma *et al.* (1990) mostram que entre 16 e 19° S a parte mais a oeste da Corrente do Brasil flui para sul longe da costa, ao largo da isóbata de 3000 m. Próximo à cadeia, a velocidade da corrente é de 0,5 a 0,6 m/s com transportes entre 3,8 a 6,8 Sv (EVANS *et al.*, 1983). Valores maiores, 9,4 Sv, foram encontrados por Schmid *et al.* (1995).

Nessa mesma latitude, é marcante a presença de um vórtice de mesoescala, que passou a ser conhecido como Vórtice de Vitória. Schmid *et al.* (1995) realizaram a primeira descrição hidrográfica e dinâmica desse vórtice ciclônico a cerca de 100 km do litoral de Vitória, a partir



da utilização de derivadores com drogues a 100 metros de profundidade que o monitoraram por 55 dias. Esses autores realizaram uma campanha de medição oceanográfica, no verão de 1991, ao longo dessa estrutura, com centro situado aproximadamente na latitude de 20,5°S e longitude de 39°W (Figura 2) e com núcleo frio e menos salino em comparação às águas adjacentes, de origem provavelmente relacionada aos movimentos ascendentes, associados a eventos de ressurgência. Possui águas ricas em oxigênio, o que pode causar influência na biologia local. Durante toda a duração da campanha, o Vórtice de Vitória permaneceu adjacente à CB, mas apresentou interessante translação. Primeiramente, deslocou-se para nordeste, o que vai de encontro com a teoria da translação de vórtices no oceano aberto (MCWILLIAMS; FLIERL, 1979 *apud* SCHMID *et al.*, 1995), que diz que vórtices ciclônicos no hemisfério sul devem mover-se para sudoeste na ausência de correntes. Apenas a presença de uma corrente intensa para norte poderia causar tal movimento, o que não é o caso do Vórtice de Vitória. Após esse período, o vórtice passa a se deslocar para sudoeste, sugerindo uma interação com o fluxo da CB, que estaria deslocada para muito mais para leste do que reportado por Evans & Signorini, (1985), mais uma evidência da variabilidade da posição da CB.

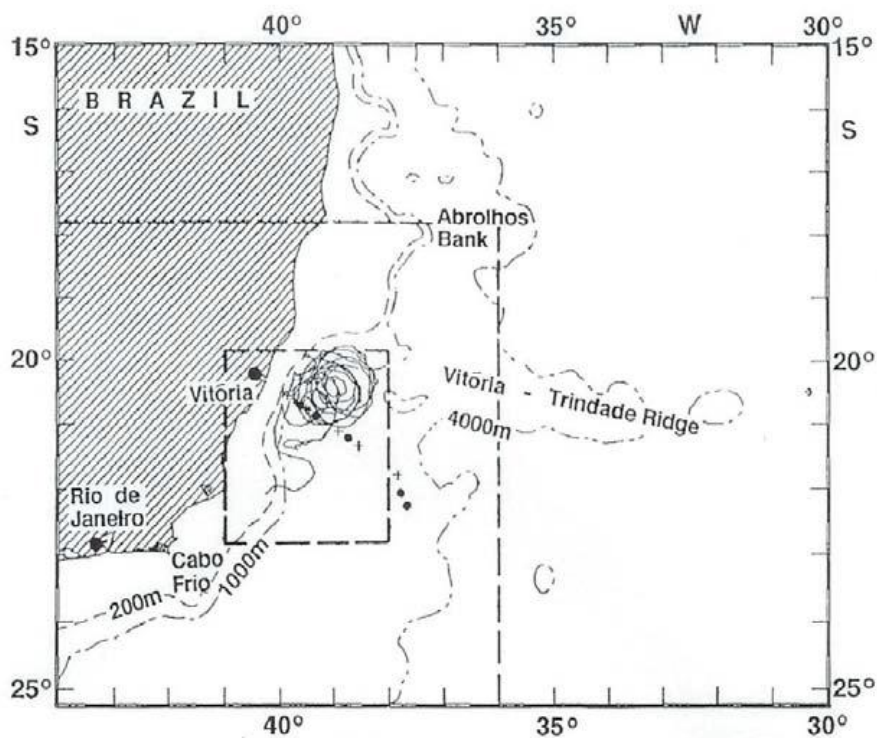


Figura 2: Localização do Vórtice de Vitória, conforme obtido por Schmid *et al.*, 1995.

Os autores observaram, através de cálculos geostróficos obtidos por medições com XBTs e CTDs, que o Vórtice de Vitória deve estar presente até aproximadamente o nível de 400m



(Figura 3). Indicaram também algumas características como transporte de volume, velocidade e direção de translação do Vórtice (Tabela 1).

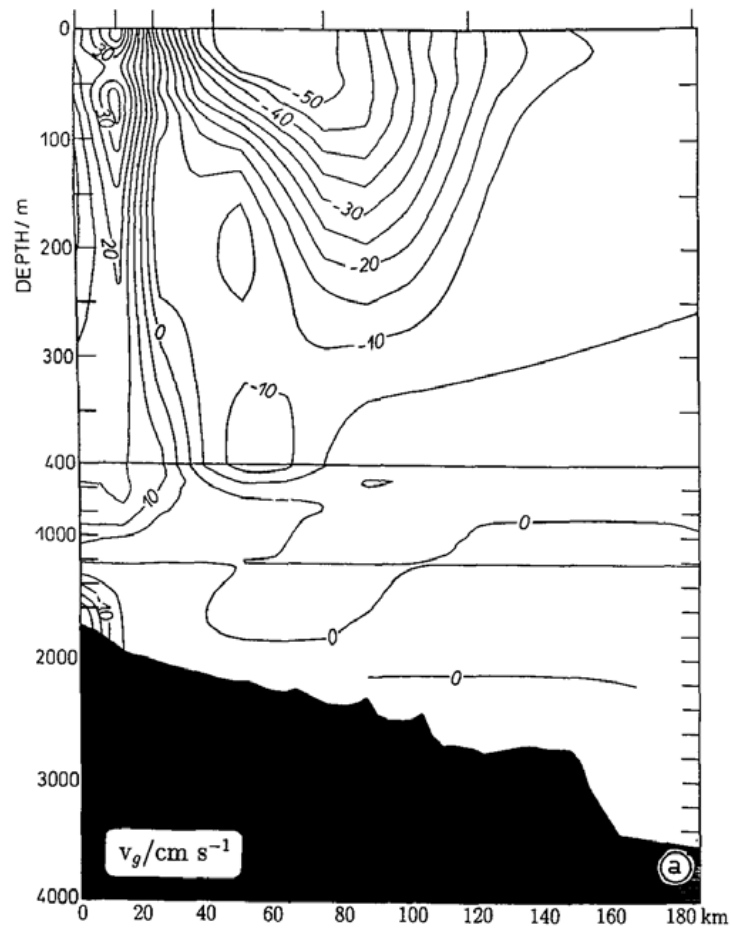


Figura 3: Estrutura Vertical do Vórtice de Vitória, conforme obtido por Schmid *et al.* (1995).

Tabela 1: Características (Velocidade de Translação, Direção de Translação e Transporte de Volume) do Vórtice de Vitória. Reproduzido de Schmid *et al.* (1995).

Interval	Yeardays (1991)	Translation velocity (cm s ⁻¹)	Translation direction (deg)	Transport in eddy (10 ⁶ m ³ s ⁻¹)
a	40–50	5.2	38	1.8
b	50–57	4.5	70	1.6
c	57–82	1.6	236	0.6

O Vórtice de Vitória foi também detectado por Gaeta *et al.* (1999) em campanha realizada no outono de 1995. Os autores encontraram um vórtice ciclônico de 50 km de diâmetro, com núcleo frio, centrado na latitude de 20,3°S e longitude de 38,9°W. A análise de nutrientes e de fitoplâncton mostrou que o Vórtice de Vitória contribui significativamente para o aumento da produção primária nessa região.

Fragoso (2004) utilizando um modelo hidrodinâmico (POM - *Princeton Ocean Model*) reproduziu um vórtice com características idênticas e seu comportamento sazonal foi analisado. O autor observou que esse vórtice tem atividade mais intensa no verão/outono, enfraquece-se bastante no inverno, chegando até a desaparecer e na primavera volta a se apresentar. Fragoso (2004) sugere então que o Vórtice de Vitória apresentaria variações de intensidade ao longo do ano, sendo que sua atividade durante a maior parte do inverno não foi detectada, podendo ser então caracterizado como semipermanente, embora sugira também que mais estudos devam ser realizados para confirmar tal hipótese.

Rocha (2005) modelou, aplicando o POM, alguns efeitos da batimetria, que é bastante complexa em função da presença da cadeia Vitória-Trindade e bancos como o de Abrolhos, no vórtice de Vitória, bem como seu comportamento frente a passagem de sistema frontais na região que está sob a influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul dando origem a um regime permanente de ventos oriundos predominantemente de nordeste, que podem ser enfraquecidos, intensificados ou mudados de direção devido à influência de algum sistemas frontais (Maia, 1986). Seus resultados indicaram que pequenas alterações na batimetria junto ao vórtice, bem como a passagem dos sistemas frontais podem alterar e mesmo dissipar o Vórtice de Vitória.

Outra investigação numérica sobre o Vórtice de Vitória foi realizado por Campos (2006), que utilizou resultados do modelo *Hybrid Coordinate Ocean Model* (HYCOM). O autor conclui que o Vórtice de Vitória mantém sua estrutura vertical até a profundidade de 500m (Figura 4), sendo que nos primeiros 300m situa-se na porção mais rasa da Corrente do Brasil (CB) e em maiores profundidades passa a estar na região offshore da Contra Corrente Intermediária (CCI) (Figura 5). O efeito advectivo da CCI poderia então ser responsável pela deriva para norte do Vórtice, encontrada em seus resultados. O autor mostra um deslocamento para norte do Vórtice (Figura 6), que chega a ultrapassar a Cadeia Vitória-Trindade e observa que se esse movimento realmente acontecer, então o Vórtice de Vitória teria outro papel de importância que é exportar nutrientes e características termohalinas para regiões remotas. Campos (2006) conclui ainda que maiores investigações numéricas e medições devem ser realizadas para se entender a dinâmica do Vórtice de Vitória e verificar os resultados obtidos.



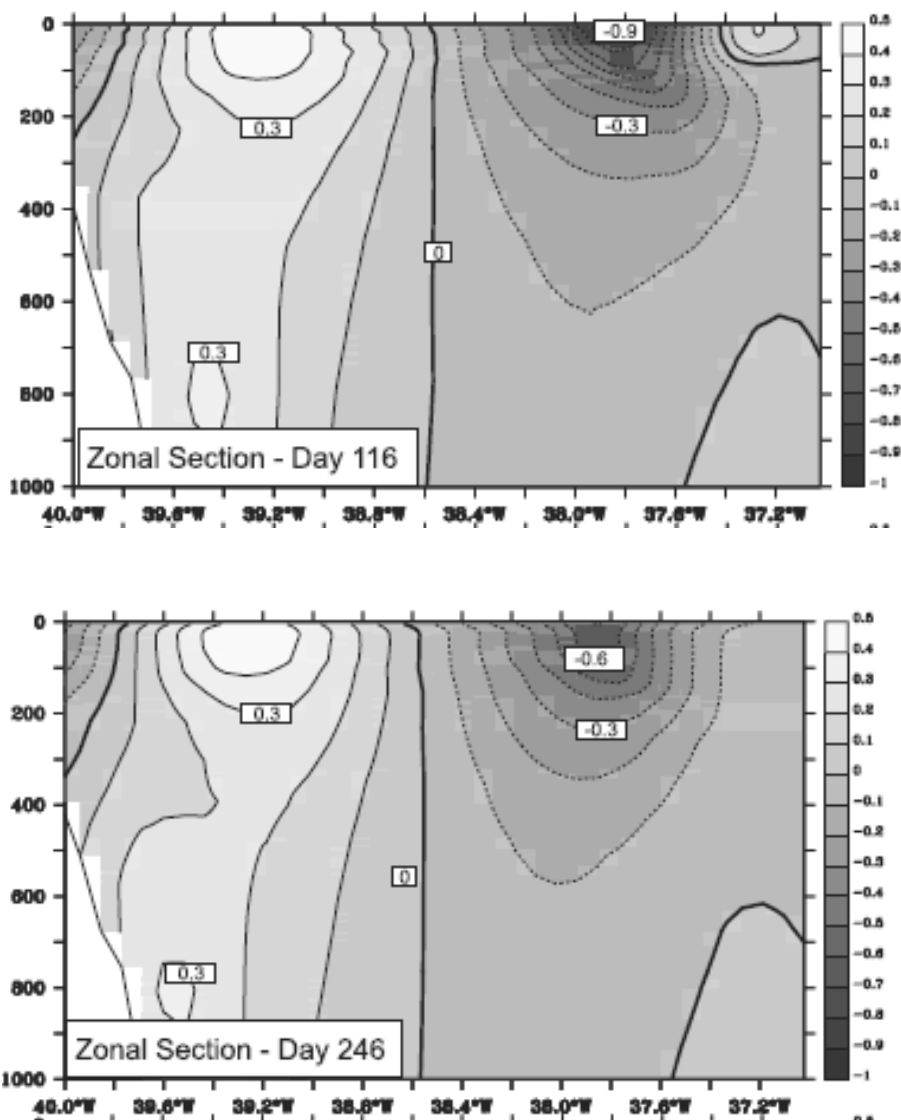


Figura 4: Seção vertical da velocidade meridional (m/s) mostrando a estrutura vertical do Vórtice de Vitória em dois momentos. Retirado de Campos (2006)

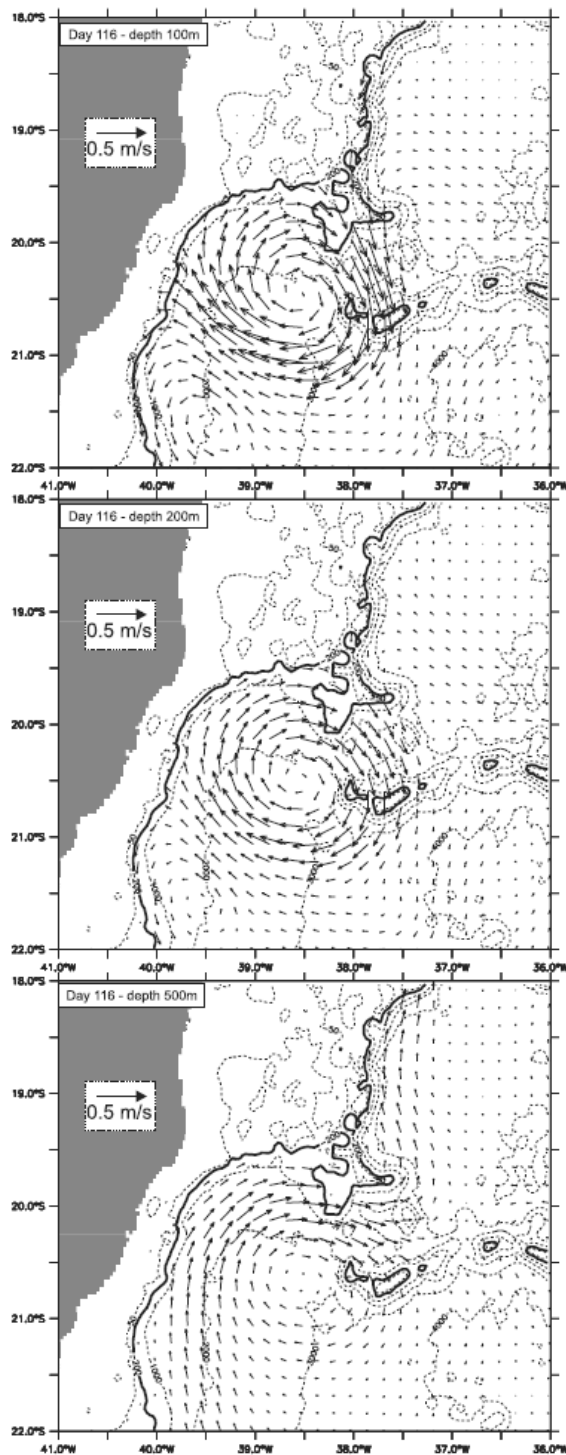


Figura 5: Campo de corrente (m/s) em três níveis (100, 200 e 500m de profundidade) mostrando o posicionamento do Vórtice de Vitória. Retirado de Campos (2006).



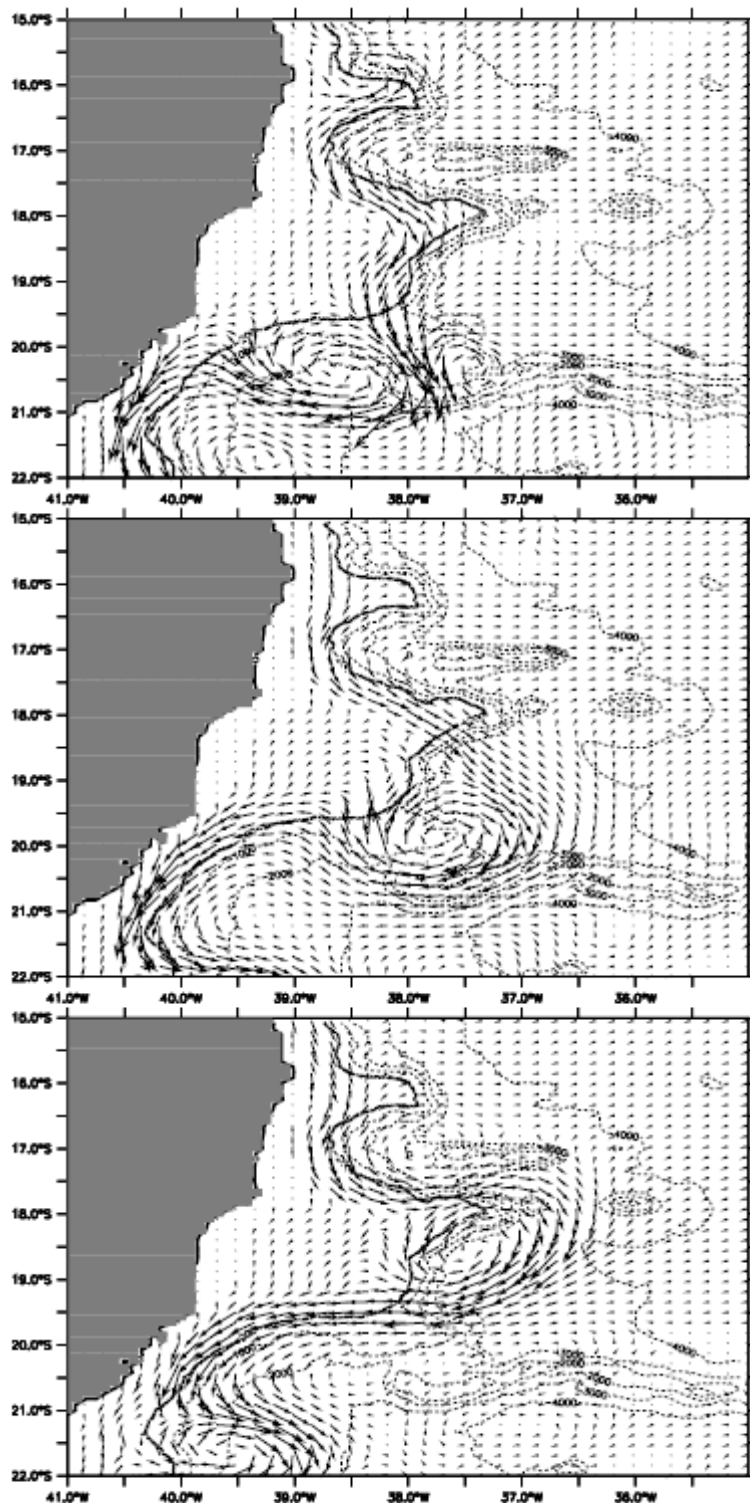


Figura 6: Campos de corrente (m/s) em superfície, em instantes diferentes, mostrando a translação para norte do Vórtice de Vitória. Retirado de Campos (2006).



Em seu trabalho intitulado “Existe um Vórtice de Vitória Climatológico?”, Costa (2007) buscou aprofundar conhecimentos sobre a formação do Vórtice de Vitória, principalmente quanto à sua permanência ao longo do ano, tentando responder se o Vórtice seria de fato permanente, recorrente ou esporádico. Para tal, analisou dados da base de dados de climatologia proposta por Boyer *et al.* (2005). Através de cálculos geostróficos climatológicos, o autor observa que no campo anual não há nenhuma manifestação do Vórtice de Vitória, o que implica que esta estrutura não seria uma feição permanente nos dados climatológicos. Sazonalmente, evidências da recorrência do vórtice ciclônico se fizeram presente somente durante o outono. Nos períodos de inverno, verão e primavera não foram observadas estruturas acerca do Vórtice de Vitória (Figura 7 a Figura 9). A recorrência do Vórtice de Vitória, que demarca os campos climatológicos, sugere uma modulação na formação do vórtice entre o final do verão e primeira metade do outono. Desse modo, seus resultados indicam modulação na formação do Vórtice de Vitória em março e abril. O autor conclui então que o Vórtice de Vitória não é uma estrutura permanente no Embaiamento de Tubarão e que este ocorre em apenas alguns meses do ano, mais especificamente em março e abril com maior recorrência. Costa (2007) observa ainda que algumas questões, como quais seriam os mecanismos de formação do Vórtice de Vitória, a relação entre o fluxo da Corrente do Brasil e a ocorrência do vórtice ainda merecem esclarecimentos.

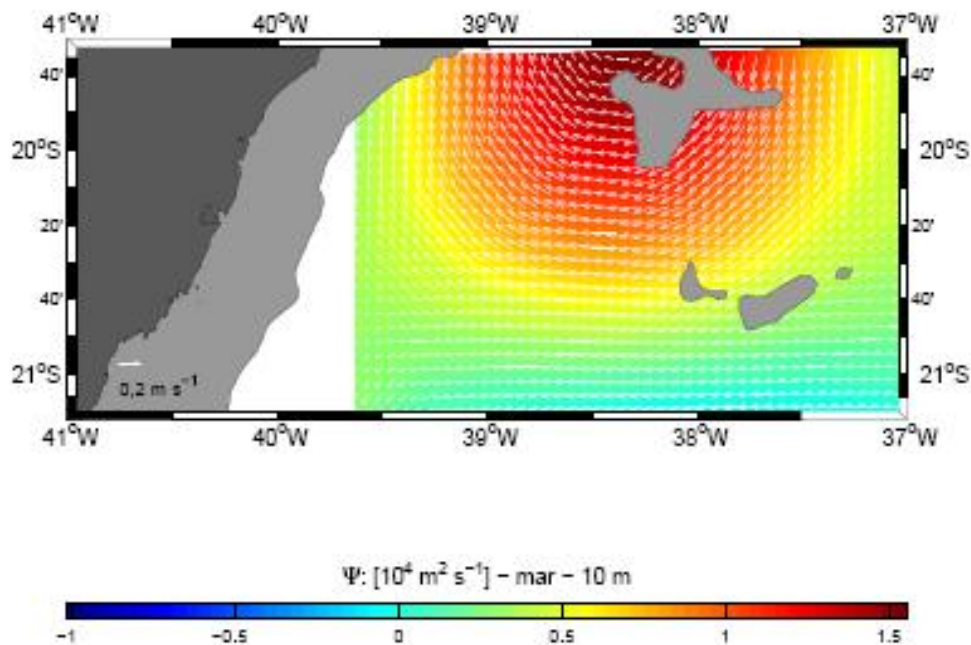


Figura 7: Campos de função de corrente (m/s) climatológico para o mês de março. Retirado de Costa (2007).



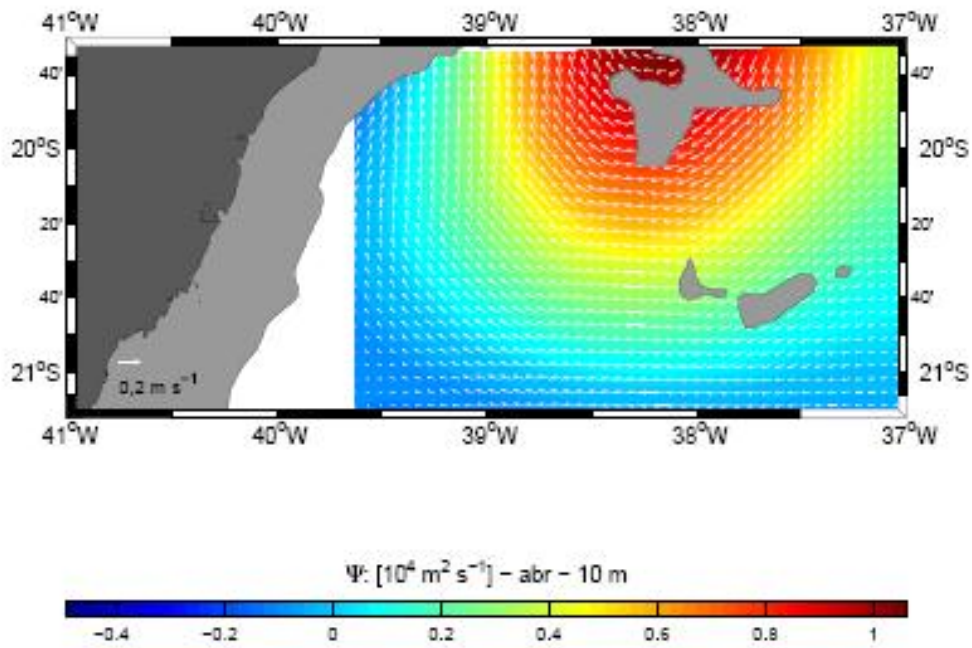


Figura 8: Campos de função de corrente (m/s) climatológico para o mês de abril. Retirado de Costa (2007).

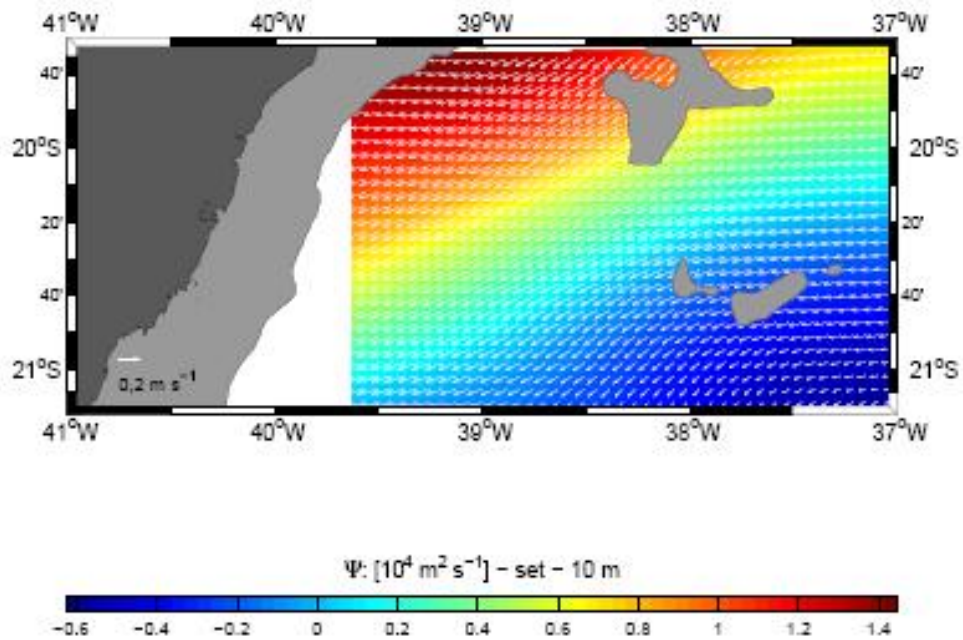


Figura 9: Campos de função de corrente (m/s) climatológico para o mês de setembro. Retirado de Costa (2007).

Outra fonte de dados relevante para a análise das correntes na região foi obtida durante a realização de estudos sísmicos na região do empreendimento da Perenco entre os dias 09/12/2008 a 27/03/2009. Nessa ocasião foram medidos dados de corrente utilizando um ADCP de casco, obtendo-se informações a cada 30 segundos nos primeiros 20 metros de profundidade. Como tratam-se de dados medidos, carentes nessa região, estes foram analisados para tentar caracterizar a circulação superficial, ainda que de forma preliminar devido ao curto período de medições e também verificar a presença do Vórtice de Vitória. A Figura 10 mostra a região onde foi feito o levantamento de dados de corrente.

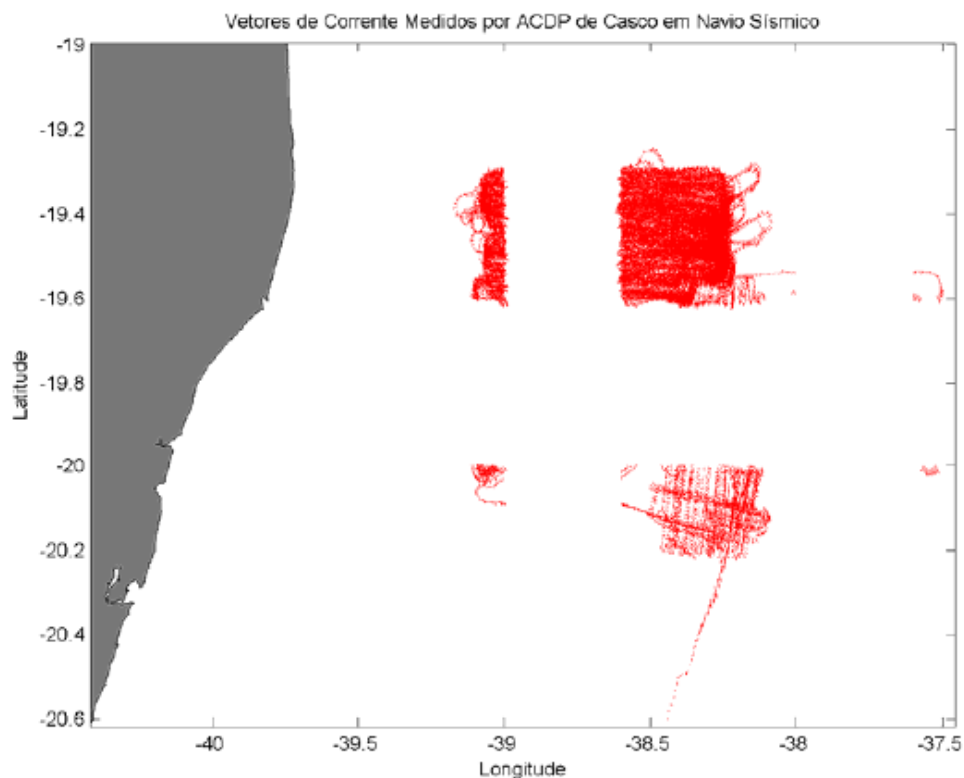


Figura 10: Região na qual foram realizadas medições de corrente com ADCP de casco, no período entre 09/12/2008 a 27/03/2009.

As medições realizadas possuem características lagrangeanas, porém com trajetórias determinadas pelo navio, o que dificulta análises sinóticas, praticamente impossibilitando a verificação de presença de estruturas como vórtices. Isso ocorre porque o navio percorre pequenos espaços (em comparação com a escala sinótica) em um mesmo dia e a medição seguinte pode ser realizada em locais distantes dos realizados anteriormente. Outra característica que impossibilitou a detecção do Vórtice de Vitória por esse conjunto de dados foi a localização das medições, um pouco mais a norte do que a região ocupada na maioria das



vezes pelo Vórtice, cujo centro em média está a 20,5°S, ou seja, a cerca de 100 km das medições, o que estaria fora do raio de influência do Vórtice de Vitória. No entanto, análises dos primeiros momentos estatísticos puderam ser realizadas, trazendo informações importantes sobre as correntes da região, no período entre dezembro e março (verão). Os dados mostram que a corrente superficial da região amostrada possui, na maioria das vezes direção S/SW e velocidades entre 0,4 e 0,5 m/s. No entanto, o padrão de circulação é complexo, como pode ser visto na Figura 11, que mostra todos os vetores de corrente obtidos. É importante ressaltar, no entanto, que ao contrário do que a figura possa sugerir essas correntes não necessariamente existiram ao mesmo tempo. Na Figura 12, Figura 13 são apresentados os resultados dos primeiros momentos estatísticos das correntes medidas.

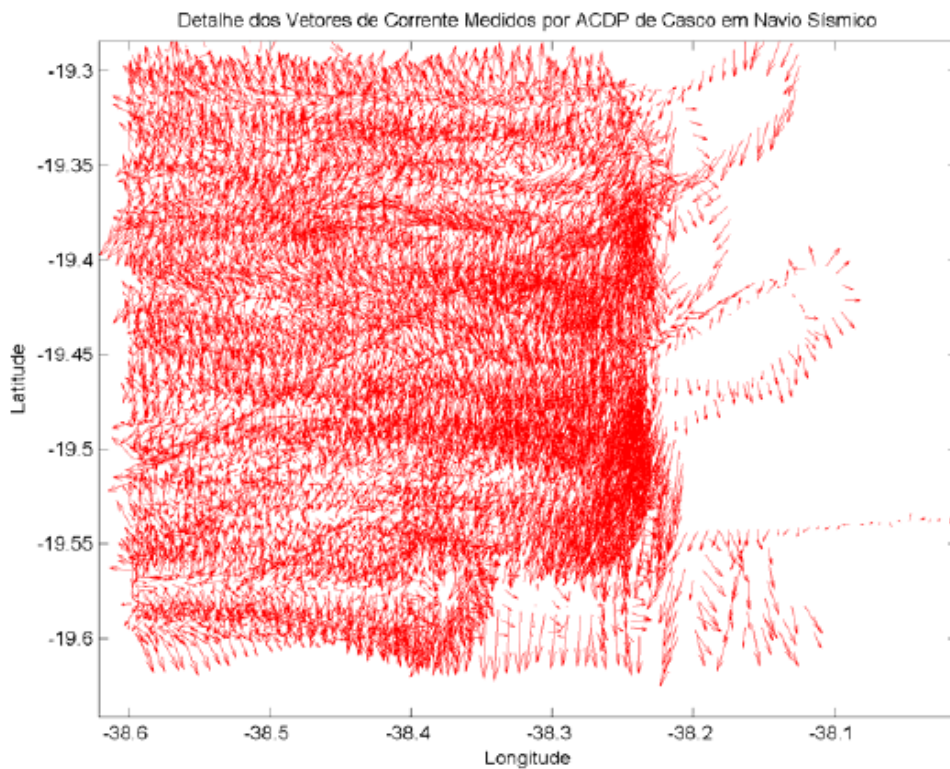


Figura 11: Detalhe da região na qual foram realizadas medições de corrente com ADCP de casco, no período entre 09/12/2008 a 27/03/2009, mostrando os vetores de corrente em superfície.



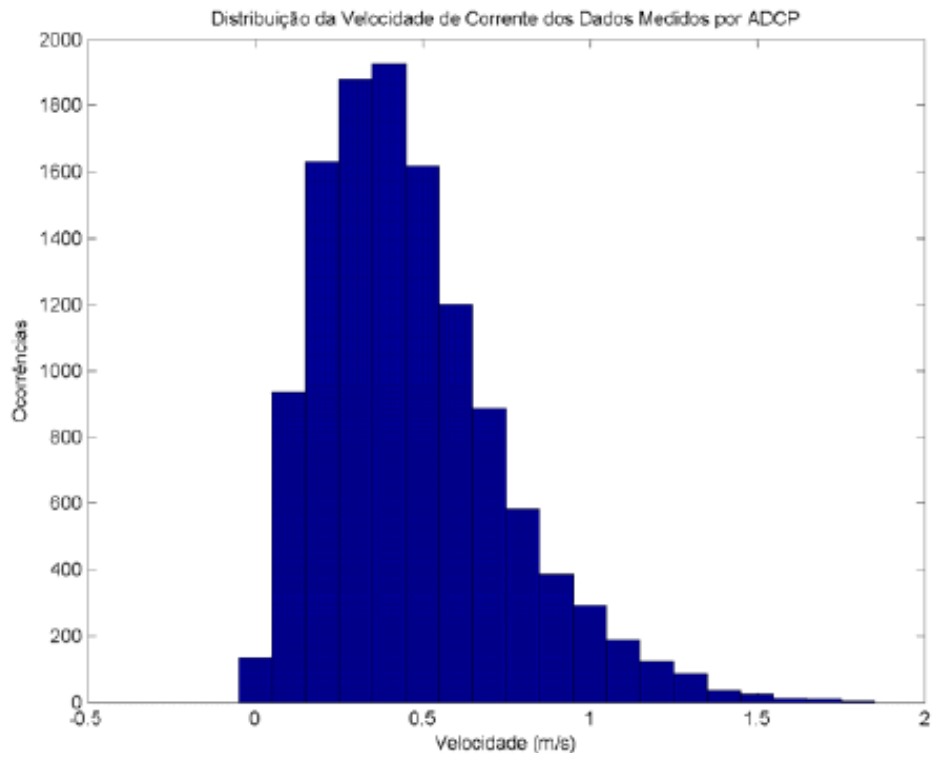


Figura 12: Distribuição da velocidade de corrente obtida pelas medições feitas com ADCP de casco, no período entre 09/12/2008 a 27/03/2009.

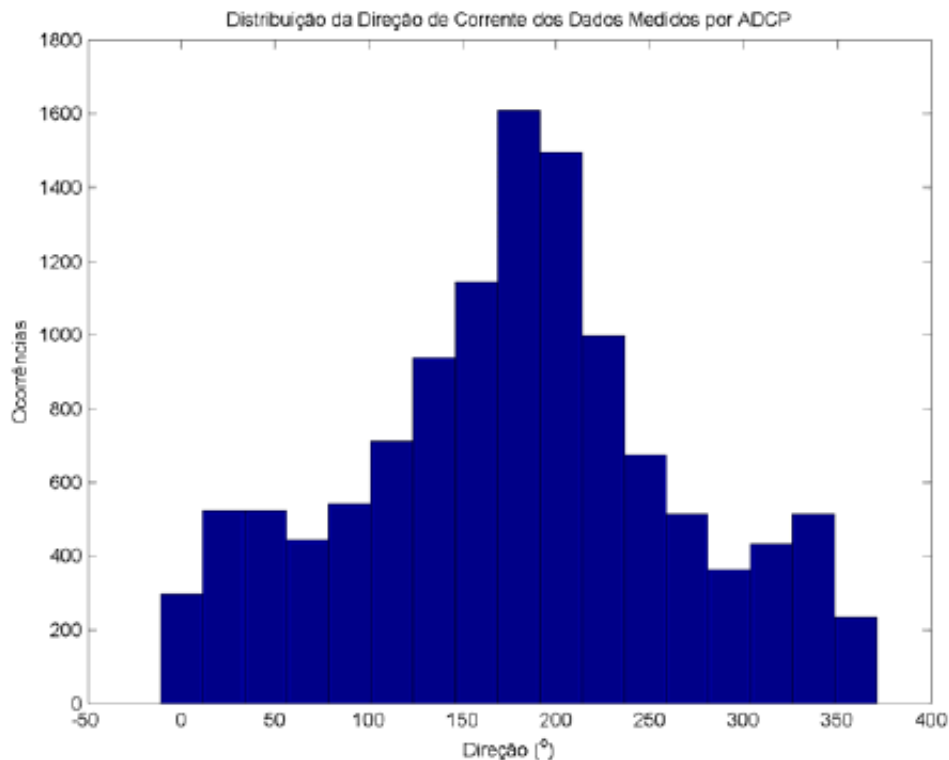


Figura 13: Distribuição da direção de corrente obtida pelas medições feitas com ADCP de casco, no período entre 09/12/2008 a 27/03/2009.

Baseado nas conclusões dos trabalhos realizados sobre a circulação de mesoescala, podemos levantar as principais conclusões consensuais:

- » O Vórtice de Vitória não parece ser permanente de fato;
- » Sua ocorrência é maior no período verão/outono e menor no inverno;
- » Sua estrutura vertical se mantém até profundidades entre 400 e 500m, aproximadamente.
- » Possui importância local e regional, pois proporciona um aumento na concentração de nutrientes na região, podendo inclusive ser exportador dessas propriedades, caso seu movimento para norte, além da Cadeia Vitória-Trindade seja real.

O que ainda deve ser esclarecido:

- » Existe sazonalidade na ocorrência do Vórtice de Vitória?
- » Qual(is) o(s) mecanismo(s) de formação do Vórtice de Vitória?



-
- » Qual a relação entre o Vórtice de Vitória e o transporte da Corrente do Brasil?
 - » Existe realmente um movimento em direção ao norte do Vórtice de Vitória, que possa ultrapassar a Cadeia Vitória-Trindade?



3. Climatologia da Circulação de Mesoescala da Bacia do Espírito Santo

Este capítulo visa atender aos objetivos da segunda etapa do projeto, ao utilizar dados de sensoriamento remoto, modelagem numérica e derivadores para gerar uma climatologia da circulação de mesoescala da Bacia do Espírito Santo.

Abaixo, na Tabela 2, são descritas as fontes de dados utilizadas.

Tabela 2: Descrição das fontes de dados utilizadas, coordenadas, parâmetros e período.

Fontes	Coordenadas		Parâmetros	Tipo	Período
	latitude	longitude			
AVISO	17°S – 24°S	35°W – 42,3°W	TD, CG, VR	SR	2009 - 2010
OSTIA (área)	17°S – 24°S	35°W – 42,3°W	TSM	SR	2009 - 2010
GDP (área)	18°S – 22°S	35,7°W – 41°W	TSM, U, V	DR	1997 - 2011
HYCOM (área)	17°S – 24°S	35°W – 42,3°W	U, V, VR	MN	2009 - 2010
HYCOM (seção)	20,28°S	35°W – 42,3°W	V, T		26/09/2005 a 15/11/2005
ROMS (área)	15°S – 23°S	32°W – 42°W	U, V	MN	2007 - 2008

Legenda: PARÂMETROS TD = Topografia Dinâmica, CG = Corrente Geostrófica, VR = Vorticidade Relativa, TSM = Temperatura da Superfície do Mar, U = Componente zonal de velocidade da corrente, V = Componente meridional de velocidade da corrente. **TIPO:** SR = Sensoriamento Remoto, DO = Derivadores Oceânicos, MN = Modelagem Numérica.

3.1. Derivadores oceânicos

Dados de derivadores oceânicos rastreados por satélite foram utilizados em complemento às análises realizadas com dados de sensoriamento remoto e modelagem numérica. Para tanto, foram analisados todos os dados disponíveis para a região da Bacia do Espírito Santo contidos no *Global Drifter Program* (GDP - <http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac>).

Diferente dos demais conjuntos de dados, onde foram obtidas apenas informações dos últimos 2 anos, para as análises realizadas com os derivadores foi utilizada toda a base de dados disponível para a região. Essa escolha se deve em função da pequena quantidade de dados gerada em 2 anos, que impossibilita uma análise mais aprofundada da região.



Derivadores do GDP são lançados ao mar desde 1988, com os primeiros dados gerados na região da Baía do Espírito Santo em julho de 1997. Desde então, 133 derivadores passaram pela região gerando 20.305 dados pontuais válidos.

Todos os dados disponíveis são oriundos de derivadores do tipo SVP-WOCE (SYBRANDY & NIILER, 1991). O derivador WOCE-SVP, cujo nome deriva do programa no qual foi usado, WOCE – *World Ocean Circulation Experiment*, é composto por duas partes principais: a bóia de superfície, onde se encontra toda a parte eletrônica do equipamento, e um *drogue* (vela), responsável por “sentir” as correntes e forçar a deriva do equipamento (Figura 14).

A proporção entre o drogue e a boia de superfície é de aproximadamente 40:1, minimizando o efeito do vento (NIILER *et al.*, 1987). O equipamento escolhido possui uma vela de 6,44 m de comprimento, posicionada de forma que seu centro esteja a uma profundidade de, aproximadamente, 15 m.

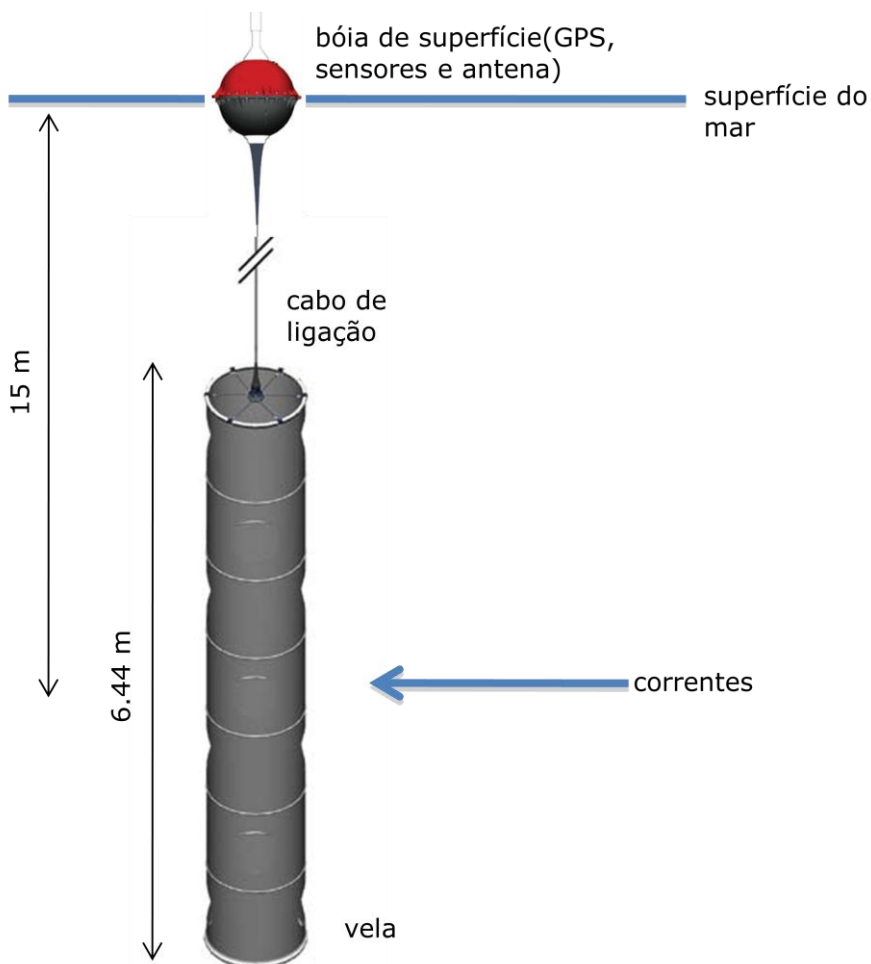


Figura 14: Representação esquemática do derivador a ser usado.



Este derivador é dotado de um sistema de telemetria por satélite, um dispositivo GPS (Global Positioning System), um sensor de temperatura e uma bateria que pode ser substituída pelo próprio usuário, permitindo o monitoramento em tempo real dos parâmetros medidos.

O equipamento mede a corrente através da diferença entre duas posições sucessivas (indicadas pelo GPS) em um intervalo de tempo conhecido. Pelo seu desenho (bóia de superfície + drogue), a velocidade estimada representa a média dos primeiros 20 m da coluna d'água. Desta forma, além de sua trajetória, podem também ser obtidas a direção e a intensidade das correntes, a temperatura superficial e a pressão atmosférica.

A Figura 15 mostra o derivador antes do lançamento.



Figura 15: Derivador WOCE-SVP pronto para o lançamento

Na Figura 16 é apresentado um gráfico *spaghetti* das trajetórias descritas por todos os derivadores utilizados.

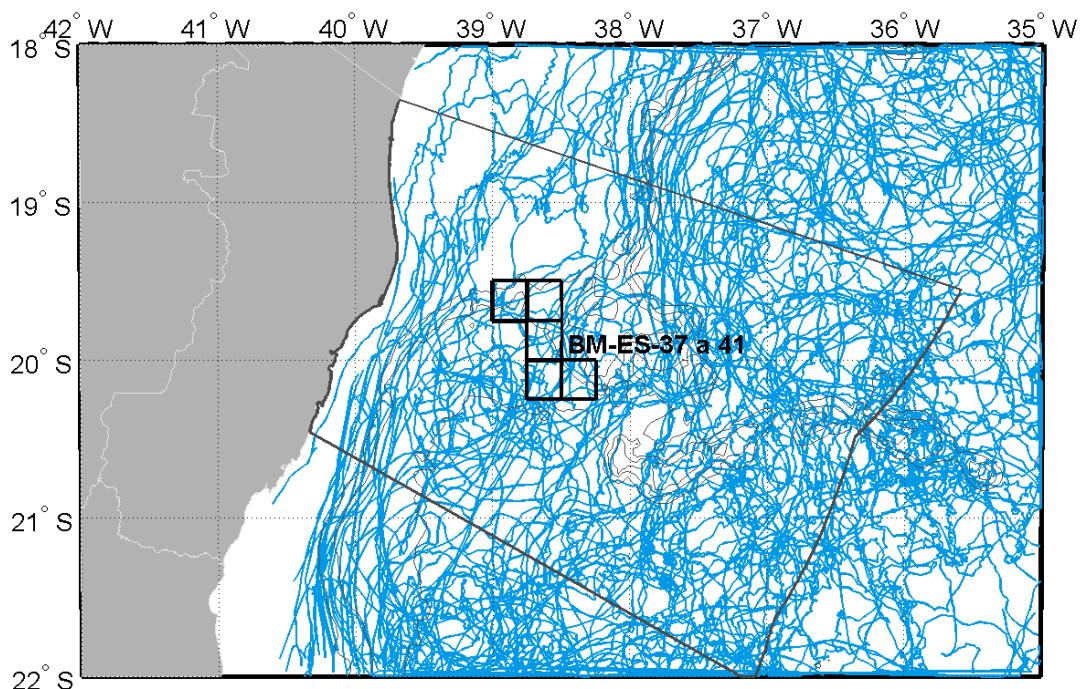


Figura 16: Trajetórias percorridas por todos os derivadores. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 2.000m. A área destacada representa a Bacia do Espírito Santo.

Os dados gerados abrangem quase toda a área da Bacia do Espírito Santo, entretanto, não é possível identificar nenhum sentido predominante no deslocamento das correntes ou mesmo feições oceanográficas distintas.

Os dados foram separados por estação do ano, na tentativa de identificar padrões da circulação de mesoescala da região, e apresentados da Figura 17 a Figura 20.

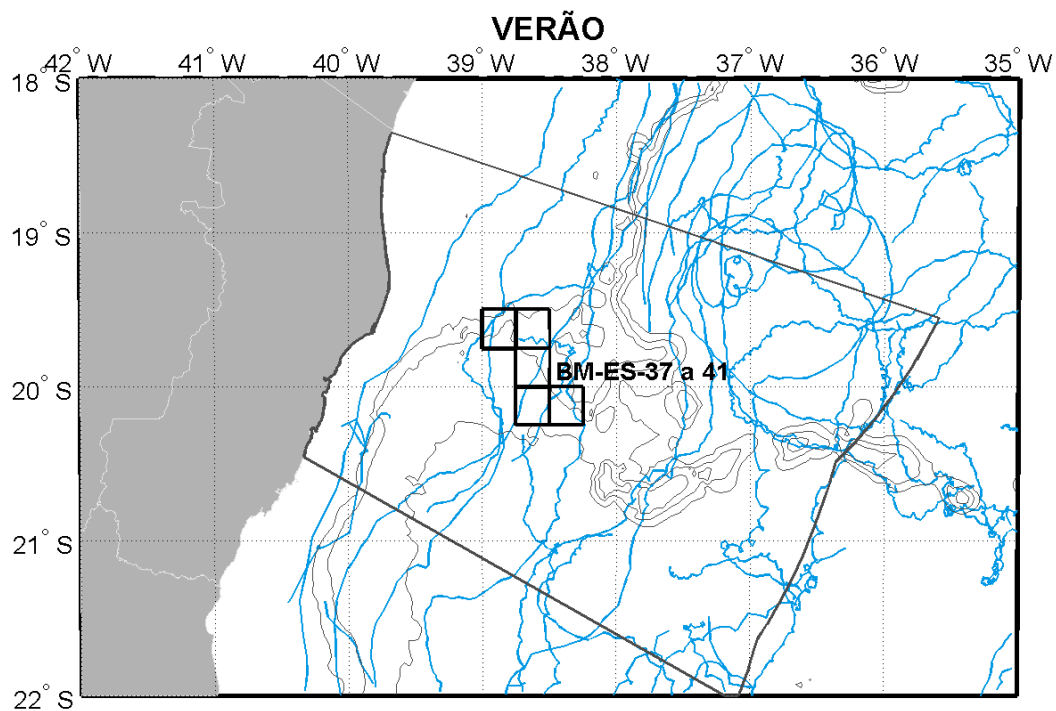


Figura 17: Trajetórias percorridas por todos os derivadores no período de verão. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 2.000m. A área destacada representa a Bacia do Espírito Santo.



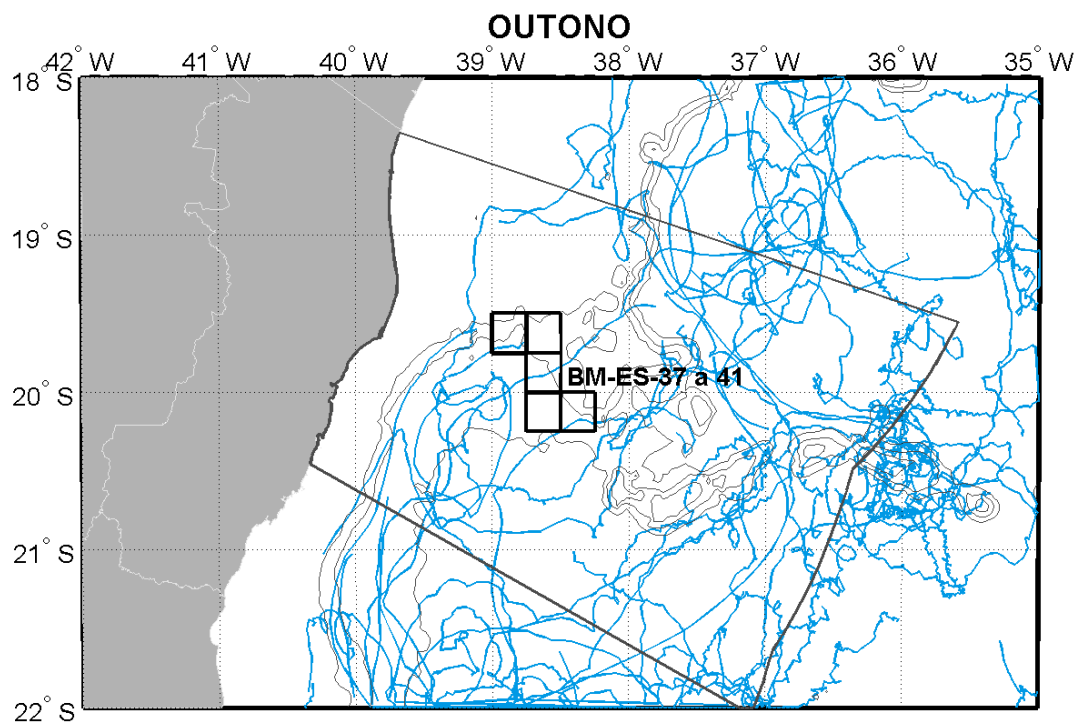


Figura 18: Trajetórias percorridas por todos os derivadores no período de outono. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 2.000m. A área destacada representa a Bacia do Espírito Santo.



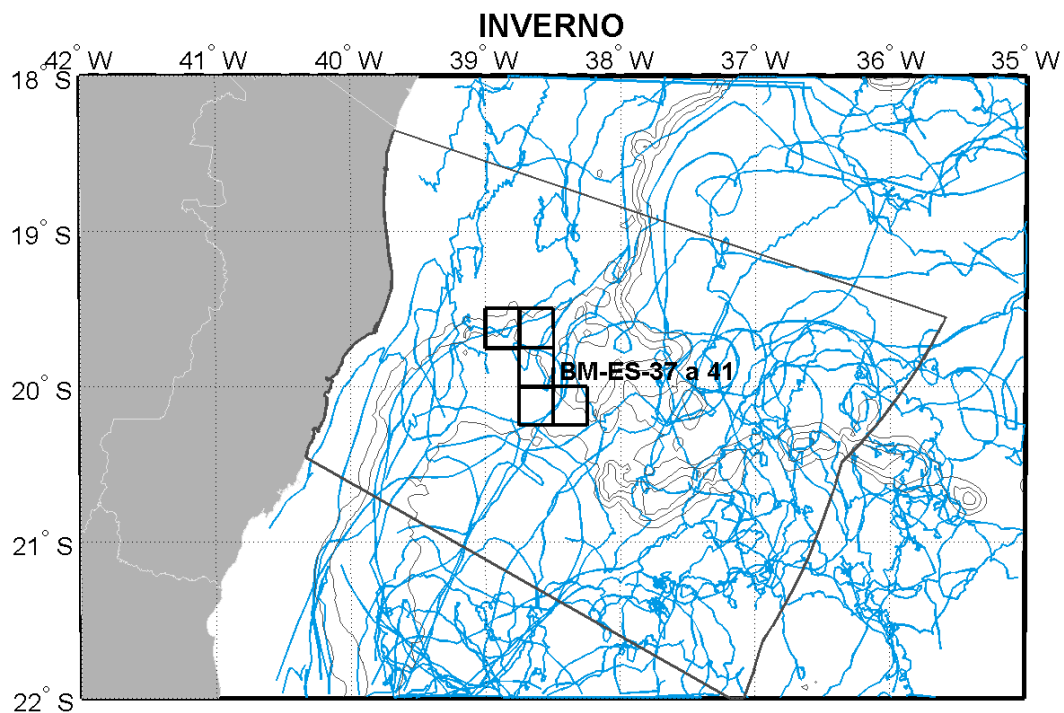


Figura 19: Trajetórias percorridas por todos os derivadores no período de inverno. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 2.000m. A área destacada representa a Baía do Espírito Santo.



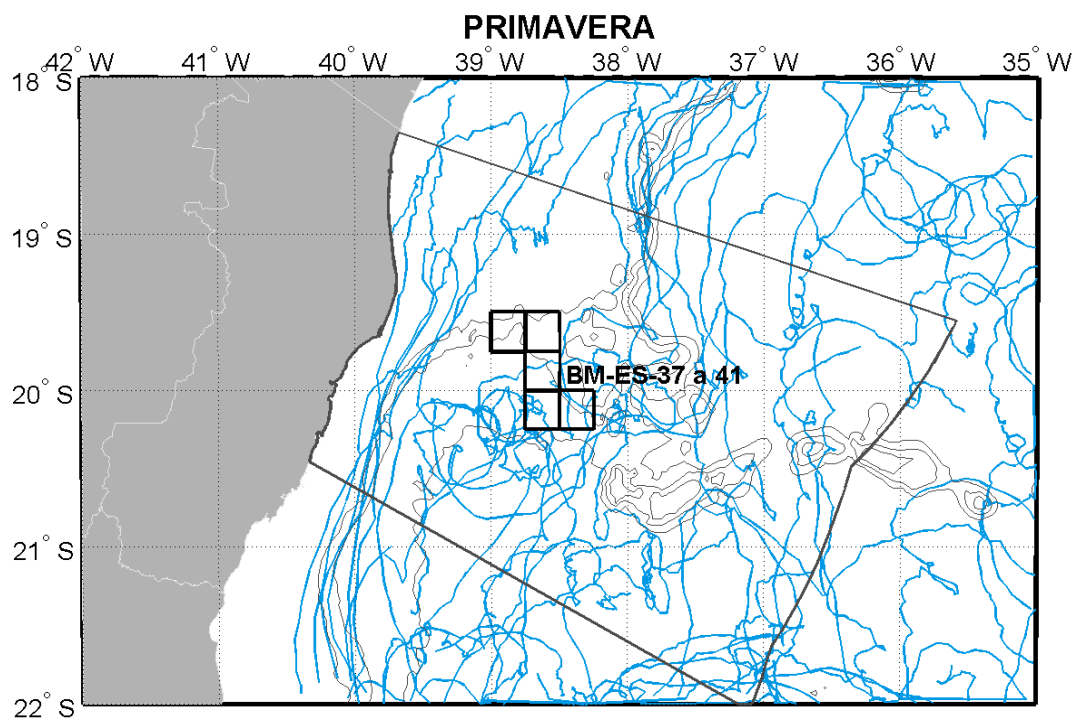


Figura 20: Trajetórias percorridas por todos os derivadores no período de primavera. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 2.000m. A área destacada representa a Baía do Espírito Santo.

Observa-se, para o período de outono, um acúmulo de trajetórias no entorno da Cadeia Vitória-Trindade, na longitude de 36°S. Na região de recorrência do Vórtice de Vitória, foi observado um meandramento a partir da trajetória de 1 (um) derivador no outono e outro no inverno. Notou-se também que outro derivador foi capturado pelo vórtice, fato ocorrido na primavera. As trajetórias desses três derivadores identificados acima são apresentadas a seguir, na Figura 21.



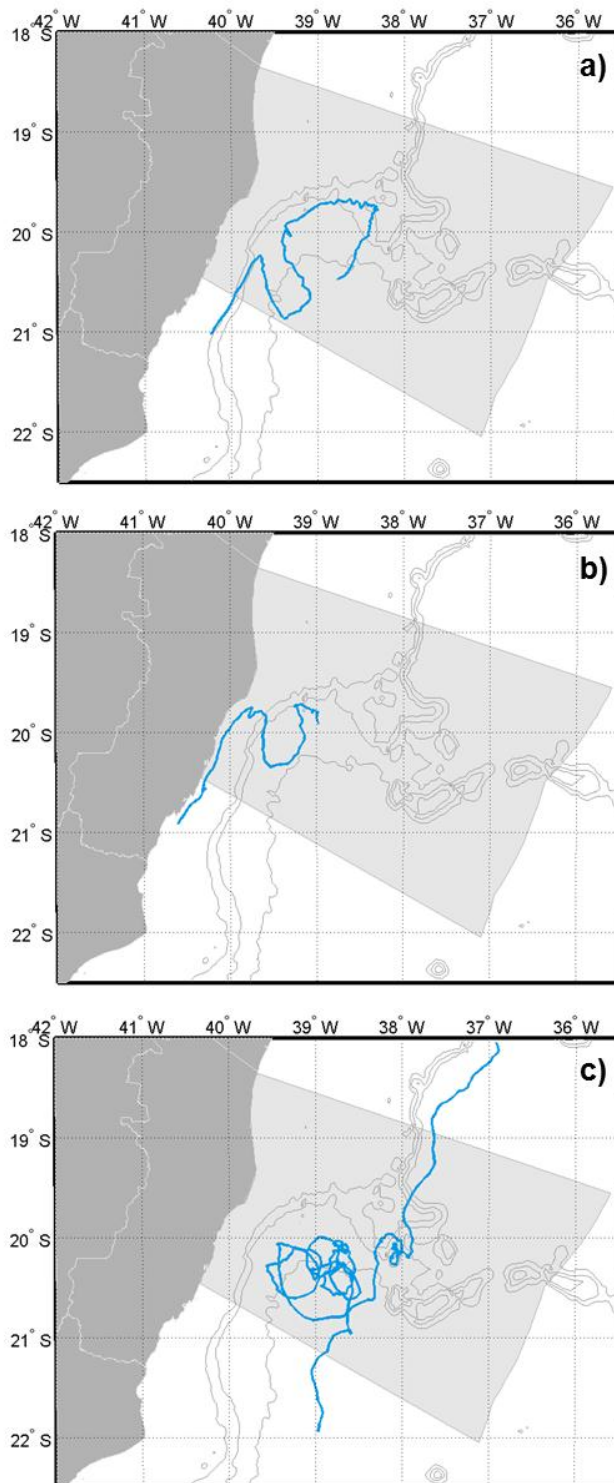


Figura 21: Trajetórias dos derivadores que identificaram o sinal do Vórtice de Vitória no período de:
a) março de 1999; b) julho de 2004; e c) de outubro a novembro de 2005.



A trajetória percorrida pelo derivador apresentado no painel superior da figura (Figura 21.a) acima indica um deslocamento do vórtice para sudoeste, saindo da região do Embaiamento do Tubarão. Esse comportamento também foi observado no derivador do painel central (Figura 21.b). A trajetória registrada pelo derivador do painel inferior (Figura 21.c) indica um deslocamento para leste do vórtice.

Os dois primeiros derivadores apresentados apenas bordejaram o vórtice, tendo apenas o último sido capturado pelo mesmo, registrando um giro completo em sua trajetória. Pelo comportamento registrado, realizou-se uma análise mais aprofundada no último derivador apresentado.

A confirmação da existência do vórtice foi realizada através da análise de produtos derivados de satélite, nesse caso dados de Clorofila da Superfície do Mar, obtidos para o mesmo período, verificando feições similares à trajetória circular observada.

Os dados de clorofila da superfície do mar utilizados para a análise são oriundos do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), instalado a bordo do satélite AQUA do *Earth Observing System* (EOS). O produto apresenta resolução espacial de 1 km e temporal de 1 dia, sendo disponibilizado na página do grupo Ocean Color: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>. Apesar da alta resolução espacial, os dados são limitados em decorrência da cobertura de nuvens que possa existir na hora da passagem do satélite, perdendo, desta forma, informações valiosas.

Na Figura 22 e Figura 23 são apresentados alguns exemplos das comparações feitas, de inspeção visual dos dados de derivadores e corroboração por imagem de satélite.



Dia: 17-10-2005

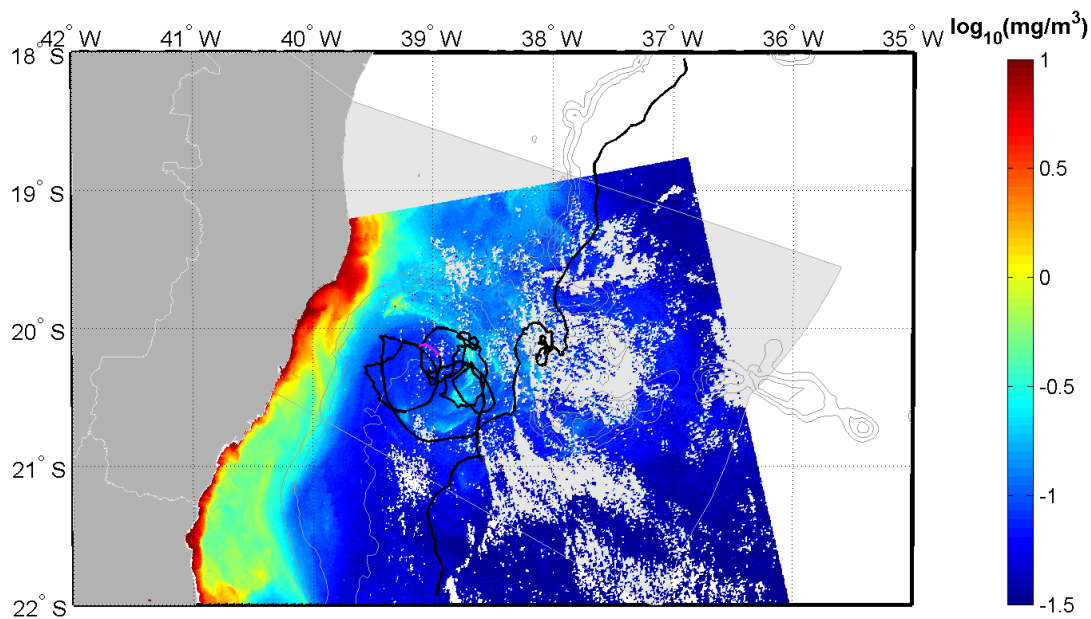


Figura 22: Trajetória do derivador capturado pelo vórtice sobreposta ao campo de Clorofila Superficial do Mar para o dia 17 de outubro de 2005. A marcação em rosa na trajetória do derivador corresponde ao dia analisado. As regiões sem dados no mapa representam a contaminação por nuvens. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m, 1.000 m e 2.000 m. A área destacada representa a Baía do Espírito Santo.

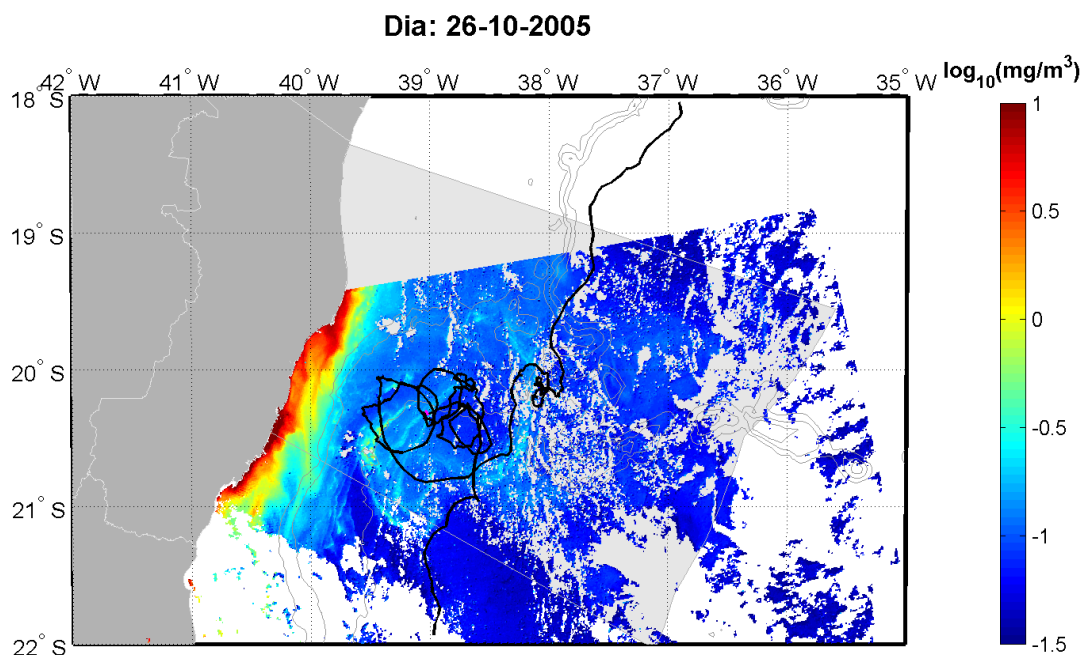


Figura 23: Trajetória do derivador capturado pelo vórtice sobreposta ao de Clorofila Superficial do Mar para o dia 26 de outubro de 2005. A marcação em rosa na trajetória do derivador corresponde ao dia analisado. As regiões sem dados no mapa representam a contaminação por nuvens. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m, 1.000 m e 2.000 m. A área destacada representa a Bacia do Espírito Santo.

Os campos de Clorofila corroboram a estrutura vortical observada nos dados dos derivadores, confirmando ainda o sentido de deslocamento do vórtice, para leste. De acordo com os dados do derivador, o vórtice apresenta, em média, 50 km de dimensão (tanto longitudinal quanto latitudinal) e foi observado desde o dia 29 de setembro até 15 de novembro de 2005.

3.1.1. Velocidade Média

Destaca-se que, a perda do *drogue* para um derivador do tipo SVP se traduz na perda de seu arrasto pela corrente. O derivador passa, então, a ter uma forte contribuição do vento regendo sua deriva. Desta forma, para a análise de velocidade apresentada a seguir, foram selecionadas apenas as trajetórias realizadas pelos derivadores nas quais o *drogue* ainda estava acoplado ao equipamento.



Para as estimativas de velocidade, recorreu-se a uma técnica muito utilizada em análises lagrangeanas, que consiste em agrupar os dados gerados em caixas geográficas (ASSIREU, 2003; OLIVEIRA, 2009; CERRONE, 2010).

O tamanho destas caixas deve ser definido seguindo duas condições: se por um lado deve ser o menor possível, de forma a representar corretamente os fenômenos de mesoescala, por outro, deve conter um número de informações que atenda aos critérios estatísticos propostos por Fratantoni (2001) *apud* Cerrone (2010), a saber:

- » Que a caixa possua medidas de, ao menos, 2 boias distintas; OU
- » Que uma mesma boia permaneça na caixa por um tempo superior à Escala Integral de Tempo Lagrangeana (TL).

Seguindo os valores propostos por Assireu (2003), foi considerado como limiar para TL = 5 dias (20 dados, uma vez que os derivadores transmitem de 6 em 6 horas), e a resolução das caixas escolhidas neste estudo apresentam-se de 0,25° x 0,25°.

As caixas que se enquadraram nos critérios estabelecidos acima, juntamente com as caixas excluídas, são expostas na Figura 24. As caixas selecionadas estão preenchidas com cores de acordo com a respectiva quantidade de dados gerados pelos derivadores.

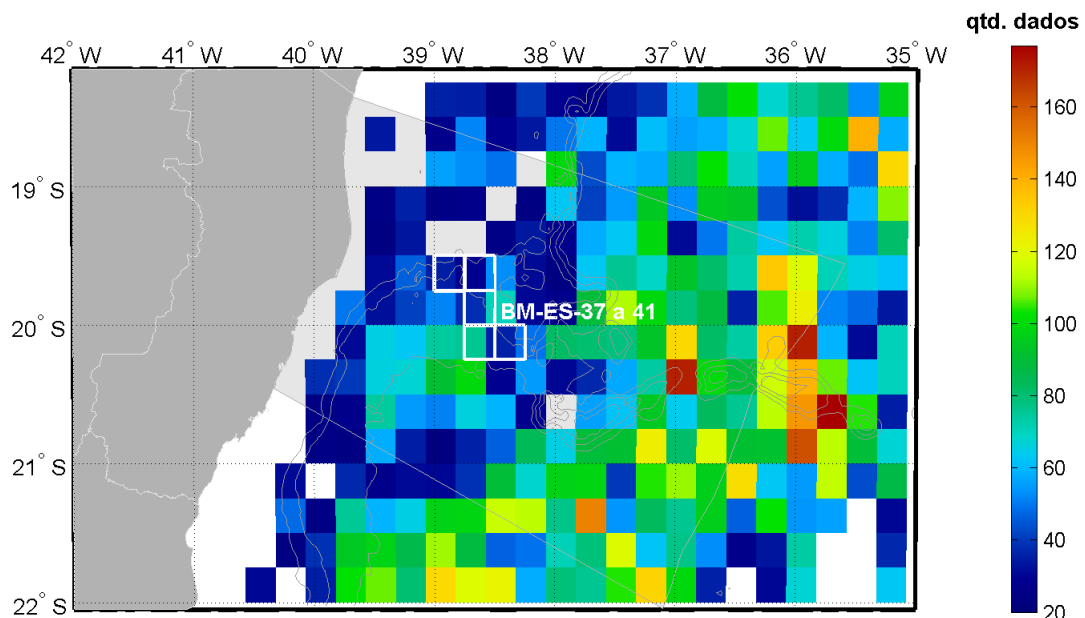


Figura 24: Mapa de distribuição das caixas analisadas selecionadas, com a respectiva quantidade de dados gerados pelos derivadores. As células em branco não possuem dados ou não se enquadram nos critérios estabelecidos.



O mapa de velocidade média obtida após a análise das caixas válidas é apresentado na Figura 25.

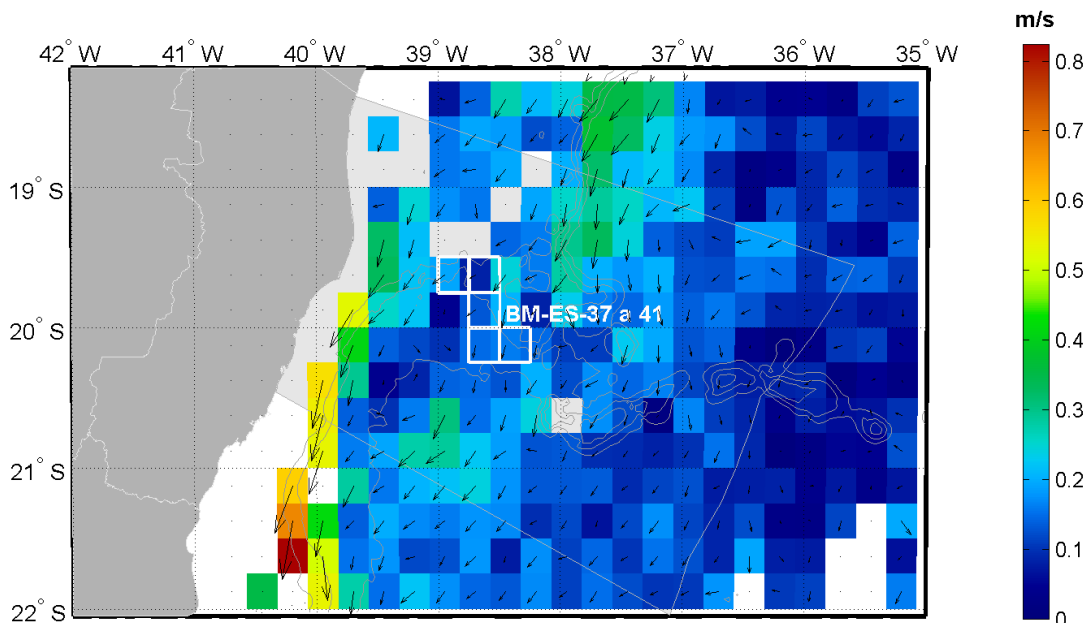


Figura 25: Mapa de velocidade média obtida através da análise das caixas válidas. As células em branco não possuem dados ou não se enquadram nos critérios estabelecidos. Os marcadores em preto representam os locais de lançamento.

Observa-se, em média, um deslocamento para sudoeste na porção oeste da região, com velocidades superficiais, em torno, de 0,2 m/s. É possível identificar também um giro ciclônico de rotação dos vetores de velocidade, na região de formação do Vórtice de Vitória (Figura 26). O giro apresenta uma dimensão de 0,5° tanto no sentido longitudinal quanto no latitudinal.

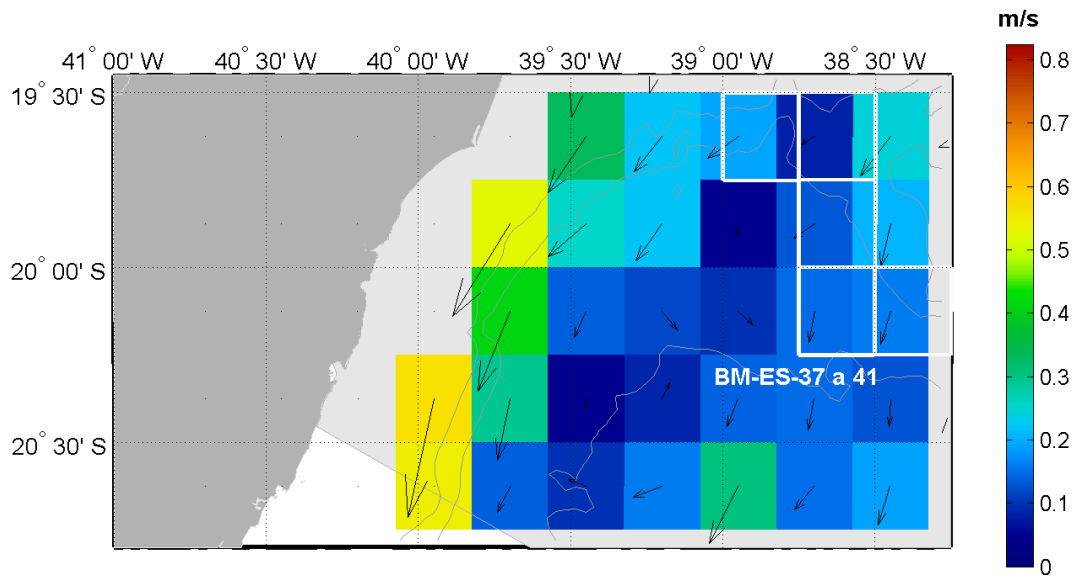


Figura 26: Mapa de velocidade média obtida através da análise das caixas válidas. Detalhe da região de formação do Vórtice de Vitória.

Devido aos critérios estatísticos estabelecidos acima, não foi possível realizar uma análise sazonal de velocidade, uma vez que não o número de caixas estatisticamente satisfatórias foi baixo.

3.2. Altimetria

Foram utilizados dados de altimetria multissatélite, técnica que combina dados altimétricos de vários satélites para preencher lacunas de dados, tanto no tempo como no espaço, deixados pelo sistema de amostragem de cada satélite separadamente (VIANNA; MENEZES, 2005).

Os produtos de altimetria aqui utilizados foram produzidos por SSalto/Duacs e distribuídos pela AVISO (*Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data* - <http://www.aviso.oceanobs.com/duacs>), com suporte do Cnes (*Centre National d'Etudes Spatiales*). O sistema SSalto/Duacs processa os dados de todas as missões de altimetria (Jason-1&2, T/P, Envisat, GFO, ERS-1 & 2 e Geosat) para prover consistência e homogeneidade aos produtos oferecidos.

Altimetros orbitais emitem radiação eletromagnética em direção a Terra e recebem o sinal de retorno. Conceitualmente simples, o altímetro mede o tempo de retorno deste sinal. Dividindo a velocidade de propagação da radiação emitida (velocidade da luz) por esse tempo de retorno,

obtem-se como resultado a distância entre o sensor e a superfície de reflexão (no caso, a superfície do oceano).

O dado oriundo da altimetria multisatélite de interesse para o monitoramento da circulação oceânica é a topografia dinâmica, diferença entre a altura da superfície do mar e o geoide marinho (estimado como a altura média da superfície do mar). Tal variável representa anomalias sobre o geoide marinho causadas pela circulação oceânica. Para se obter tal informação a partir do sinal altimétrico primário, diversas operações de filtragem devem ser realizadas. Tais operações incluem a retirada da componente das alturas de ondas, marés e correções geofísicas. Desta forma, a circulação oceânica pode ser estimada, em princípio, com base na altimetria, visto que as correntes dependem principalmente das inclinações e curvaturas locais da topografia dinâmica (VIANNA; MENEZES, 2005).

A remoção do sinal de maré é feita com base em modelos numéricos, que preveem com bastante precisão as marés livres em águas profundas e falham em águas rasas, onde a influência topográfica nas marés é grande a ponto de invalidar as medidas altimétricas (POLITO, 2005). Devido a isso, informações oriundas de altimetria por satélite sobre a plataforma continental devem ser analisadas com cautela.

3.2.1. Topografia Dinâmica

Foram utilizados dois anos de dados de topografia dinâmica absoluta e corrente geostrófica, compreendidos no período de 01/01/2009 a 31/12/2010, a partir dos quais foram realizadas análises sazonais e para toda a série de dados apresentada.

Da Figura 27 a Figura 31 são apresentados mapas médios da topografia dinâmica e corrente geostrófica, para as quatro estações e para todo o período.

Ressalta-se que o centro de baixa pressão localizado próximo à costa na latitude de 18° Sul não será levado em consideração nas análises devido à questão explicitada no item anterior (3.2), sobre a correção do sinal da maré em baixas profundidades.



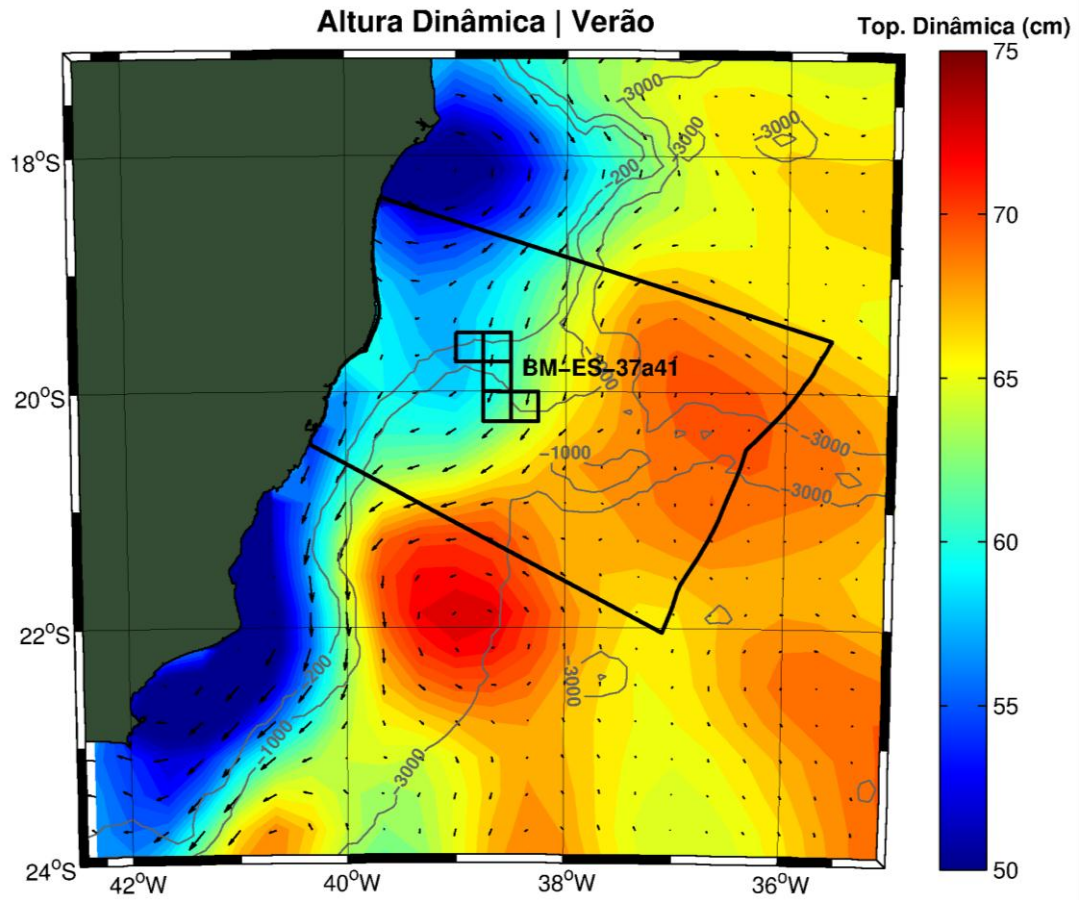


Figura 27: Topografia dinâmica climatológica de verão e corrente geostrófica. As linhas cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada a partir de dados da AVISO.

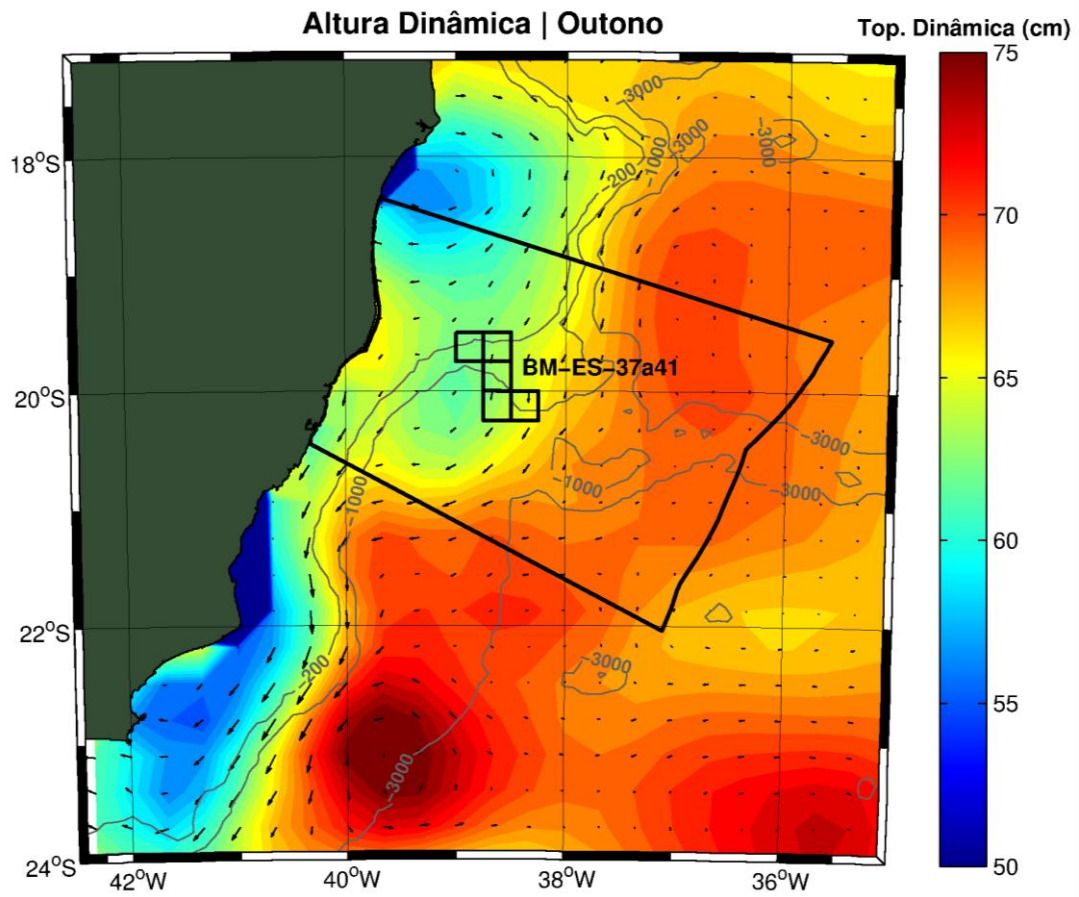


Figura 28: Topografia dinâmica climatológica de outono e corrente geostrófica. As linhas cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada a partir de dados da AVISO.

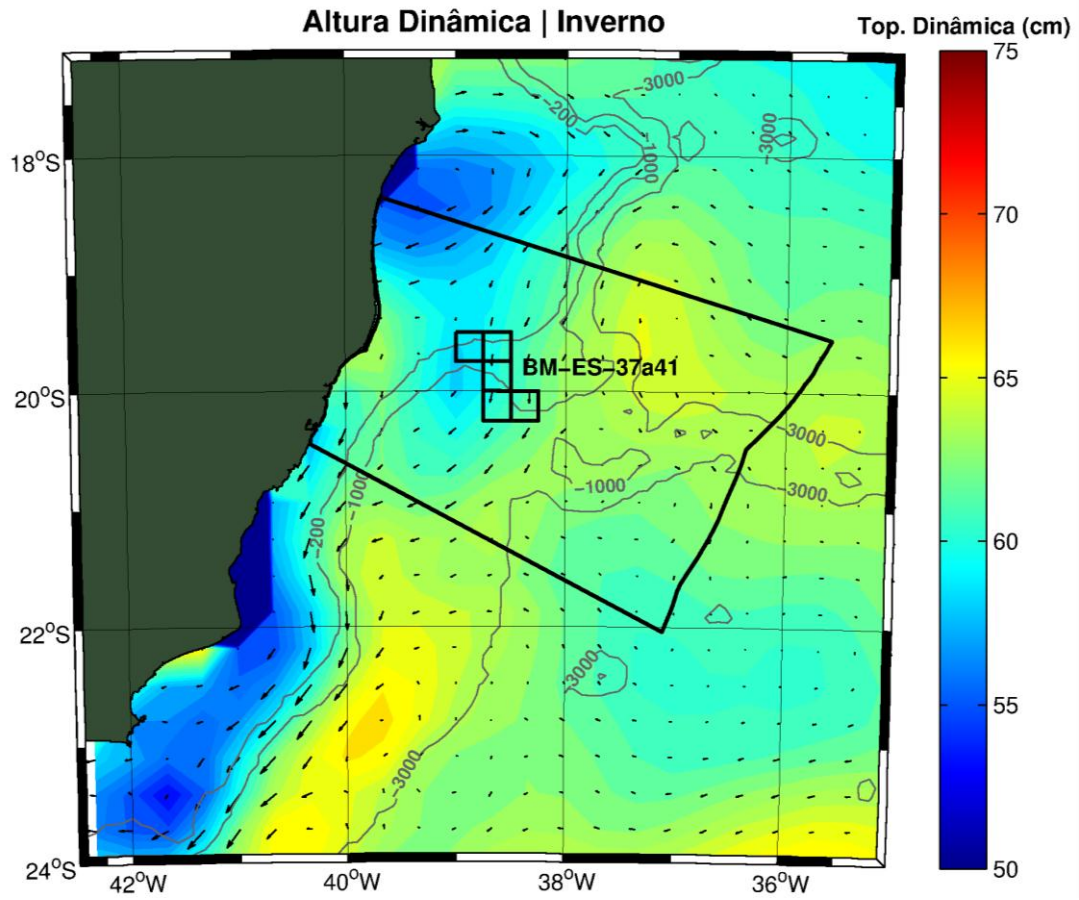


Figura 29: Topografia dinâmica climatológica de inverno e corrente geostrófica. As linhas cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo.

Figura gerada a partir de dados da AVISO.

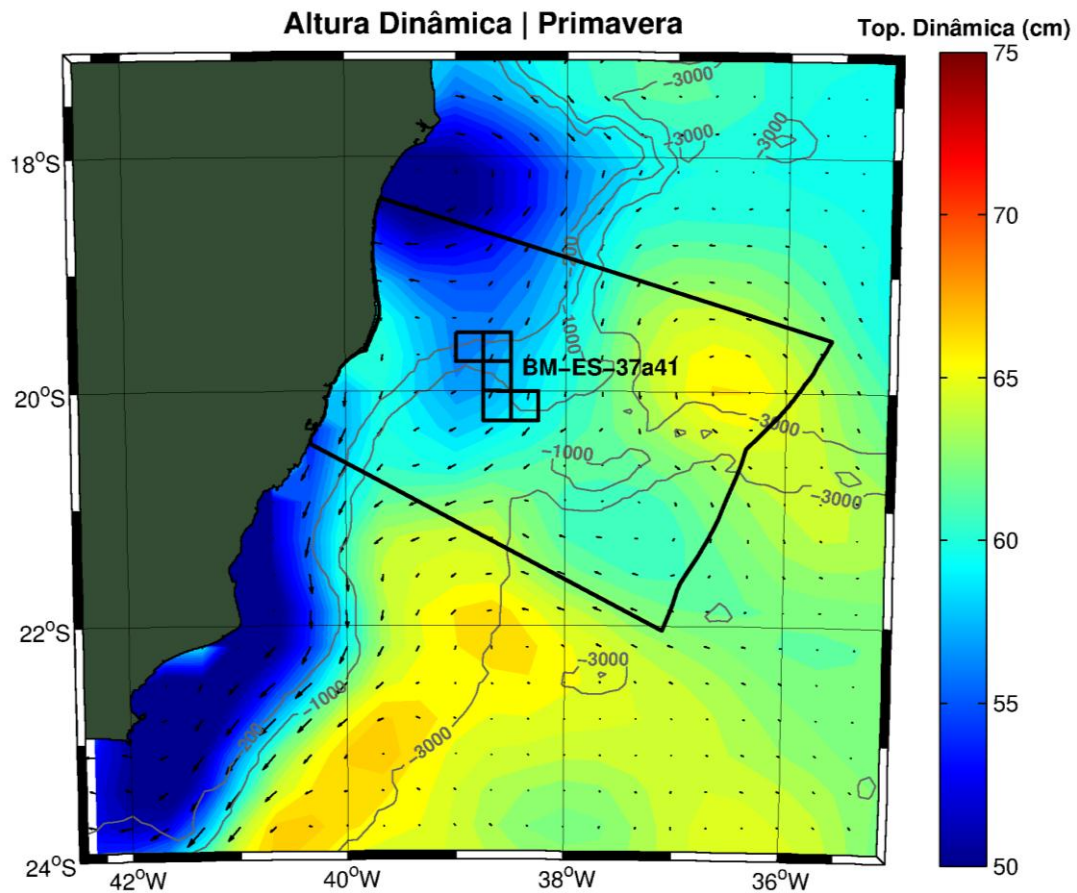


Figura 30: Topografia dinâmica climatológica de primavera e corrente geostrófica. As linhas cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Baía do Espírito Santo.

Figura gerada a partir de dados da AVISO.

Os gradientes da topografia dinâmica se apresentam mais agudos (e por consequência a corrente geostrófica é mais intensa) nos meses de verão e outono, quando comparados com os meses de inverno e primavera.

Os blocos BM-ES-37 a 41 encontram-se na borda leste de um centro de baixa pressão, na região onde o Vórtice de Vitória (VV) é descrito na literatura (SCHIMD *et al.*, 1995; GAETA *et al.*, 1999; FRAGOSO, 2004; CAMPOS, 2006), centrado em aproximadamente 20,3° Sul e 39° Oeste.

A Corrente do Brasil, fluindo para sudoeste, apresenta um padrão meandrante, se comportando como um trem de ondas de vorticidade permeando os centros de alta e baixa pressão sucessivos. A figura didática retirada de CALADO (2006), no que se refere ao posicionamento

dos centros de alta e baixa pressão, apresenta boa correlação com a climatologia gerada com os dados da AVISO (Figura 31 e Figura 32).

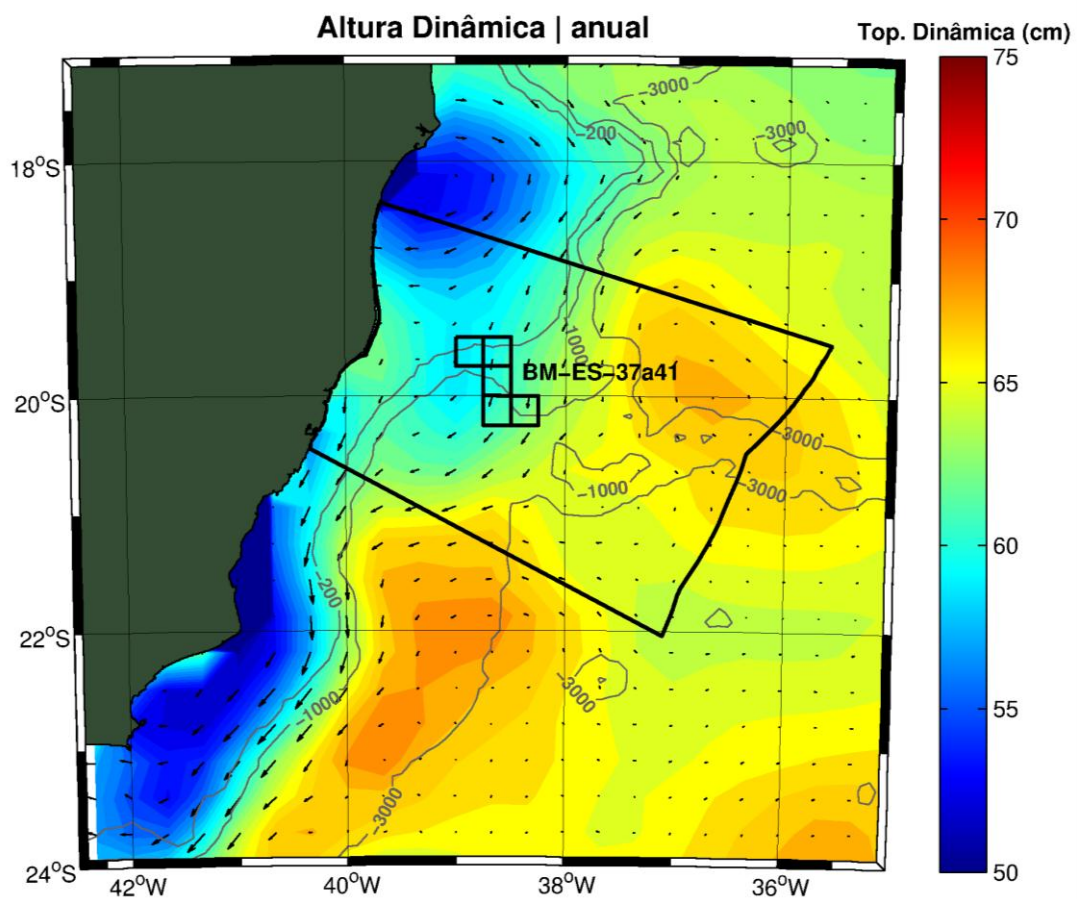


Figura 31: Topografia dinâmica climatológica anual e corrente geostrófica. As linhas cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada a partir de dados da AVISO.

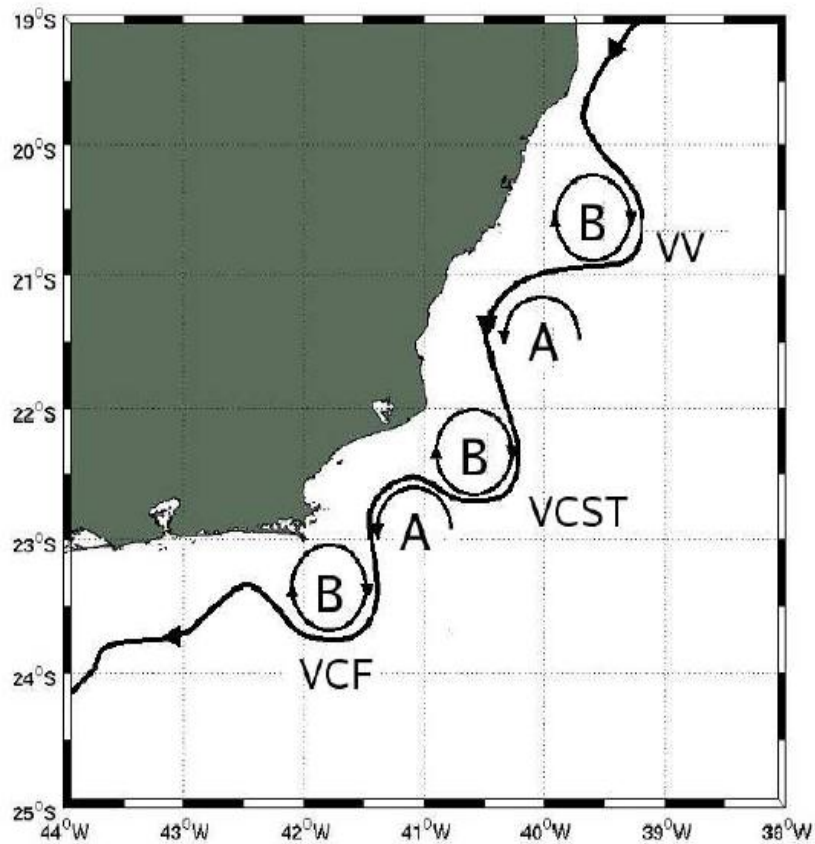


Figura 32: Figura esquemática representando a sucessão dos centros de alta e baixa pressão e a trajetória da Corrente do Brasil. Retirado de Calado (2006).

A Bacia do Espírito Santo apresentou um padrão espacial permanente de distribuição dos centros de alta e baixa pressão para todas as épocas do ano, com um centro de alta pressão na porção nordeste e um centro de baixa pressão na porção sudoeste da bacia.

3.2.2. Vorticidade Relativa

A vorticidade relativa é um parâmetro que indica a presença de vórtices e permite também identificar o sentido do giro (ciclônico ou anticiclônico). Com a análise desse parâmetro buscou-se obter informações sobre o comportamento sazonal do Vórtice de Vitória e de parâmetros relacionados à circulação de mesoescala da região.

No hemisfério sul, valores de vorticidade positivos indicam giro anticiclônico (anti-horário) enquanto valores de vorticidade negativos indicam giro ciclônico (horário).



Os campos de vorticidade relativa foram obtidos a partir das correntes geostróficas dos dados do AVISO, para cada estação do ano e para todo o período estudado (01/01/2009 a 31/12/2010). Esta estimativa foi feita com base na fórmula clássica de vorticidade relativa exposta na equação 1:

$$Vr = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (1)$$

Onde Vr é a Vorticidade Relativa, $\frac{\partial v}{\partial x}$ é a variação da velocidade meridional no eixo x (zonal) e

$\frac{\partial u}{\partial y}$ é a variação da velocidade zonal no eixo meridional (derivada cruzada).

A partir dos campos de vorticidade relativa é possível determinar com mais acurácia algumas características do vórtice, como o diâmetro e localização do seu centro.

Da Figura 33 a Figura 36 são apresentados os campos climatológicos de vorticidade relativa para cada estação do ano.



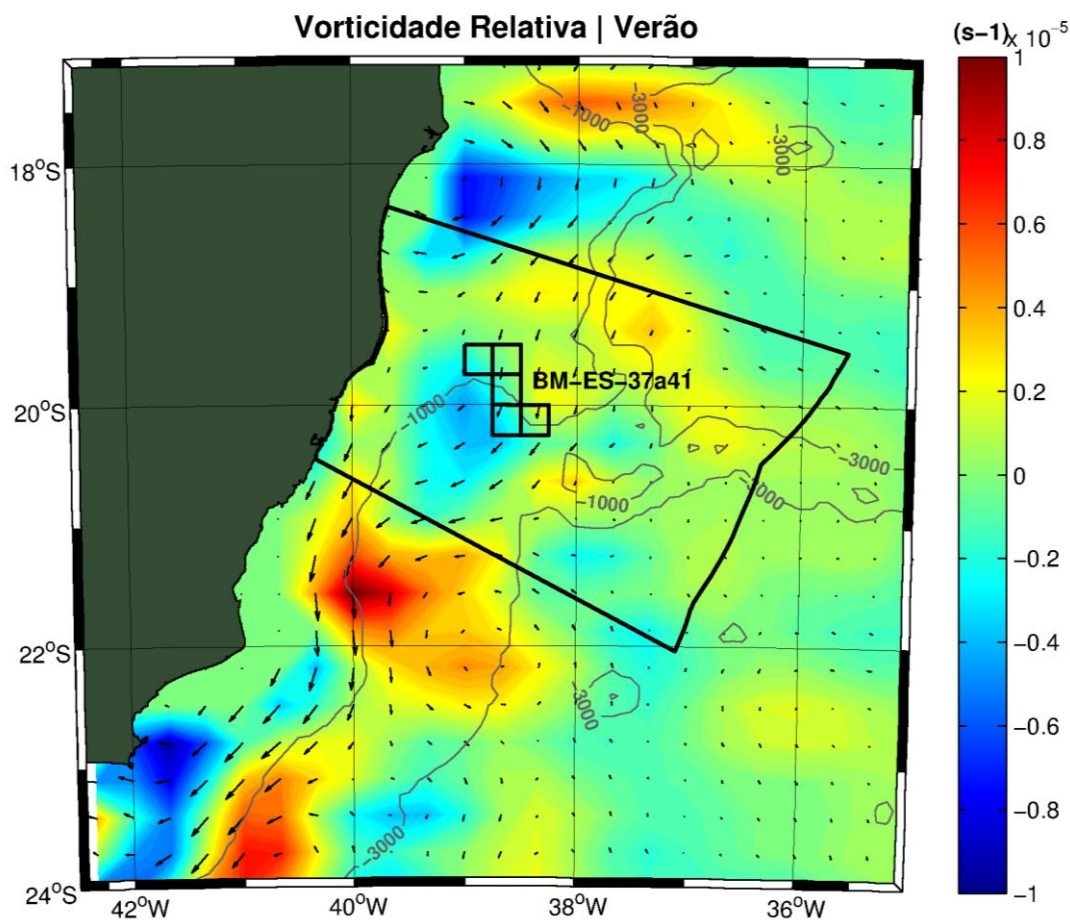


Figura 33: Vorticidade relativa climatológica de verão e corrente geostrófica. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada a partir de dados da AVISO.

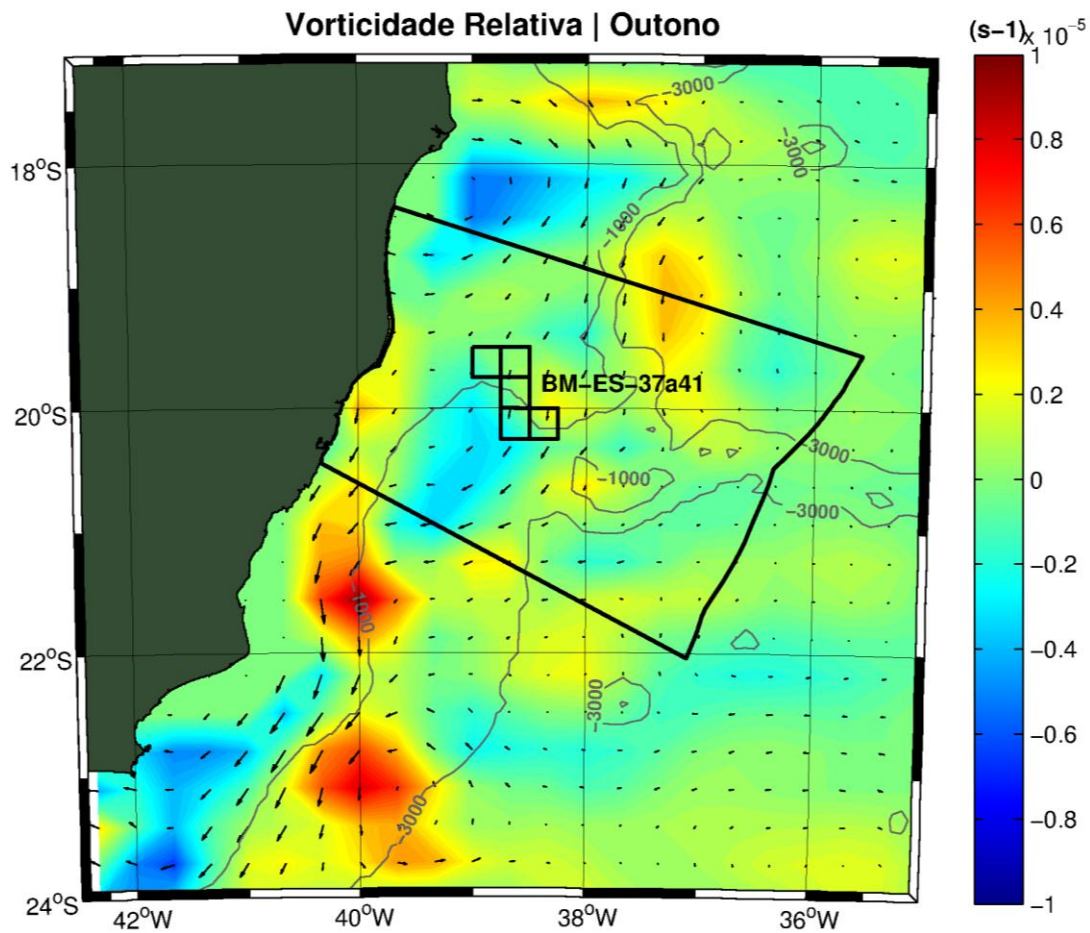


Figura 34: Vorticidade relativa climatológica de outono e corrente geostrófica. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada a partir de dados da AVISO.

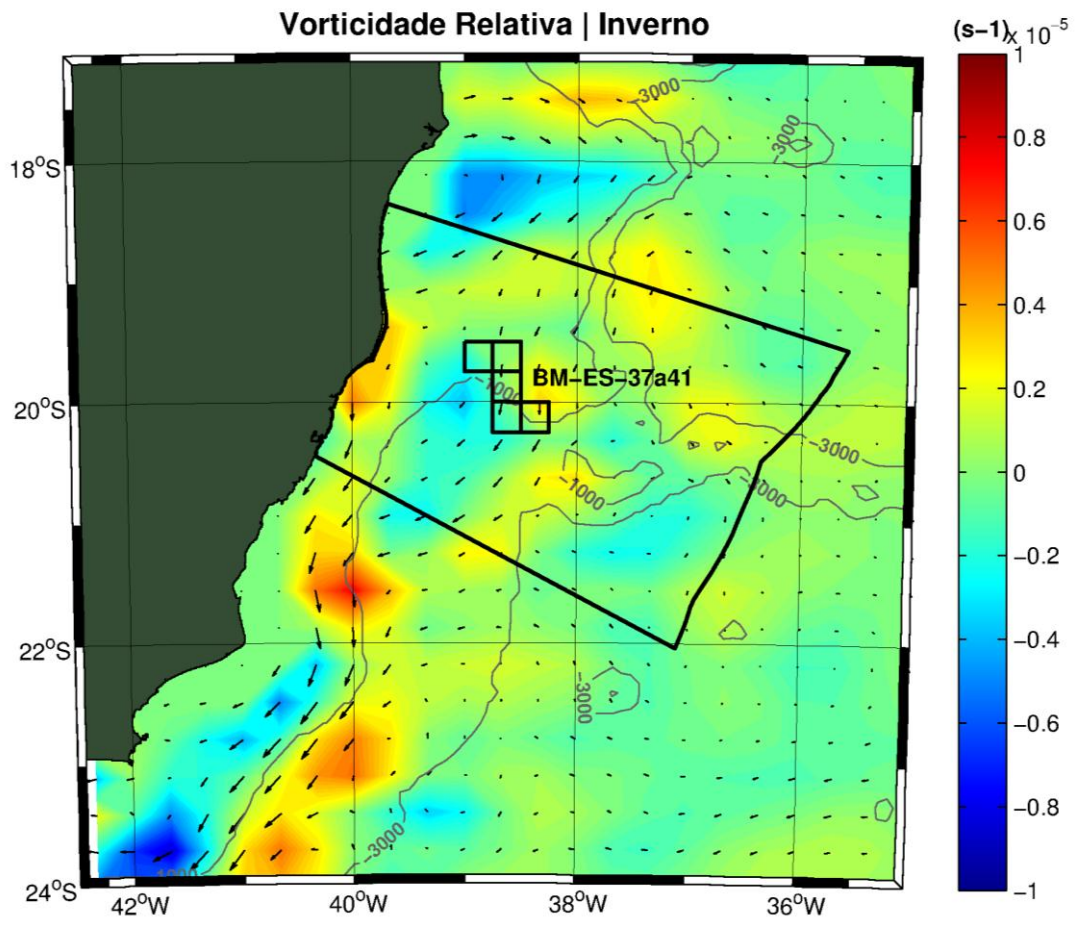


Figura 35: Vorticidade relativa climatológica de inverno e corrente geostrófica. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada a partir de dados da AVISO.

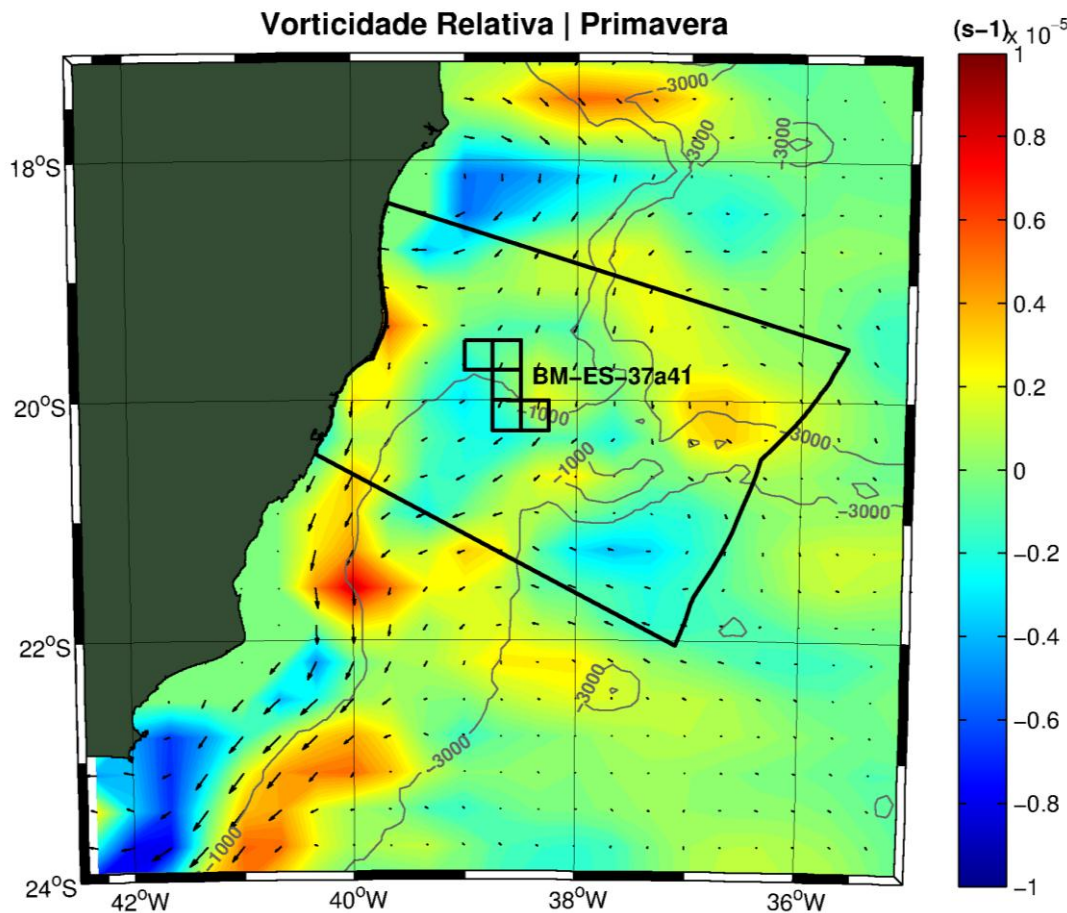


Figura 36: Vorticidade relativa climatológica de primavera e corrente geostrofica. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada a partir de dados da AVISO.

Na região da Bacia do Espírito Santo, foi identificado um centro de vorticidade negativa, representando o Vórtice de Vitória, no Embaiamento do Tubarão, a sudoeste dos blocos. Este centro pode ser observado em todas as épocas do ano, centrado em aproximadamente 20,3°S e 39°W, porém apresentou-se mais intenso no verão e no outono, diminuindo de intensidade no inverno e na primavera.

Na porção nordeste da Bacia, foi identificado um centro de vorticidade positiva (giro anticiclônico, sentido anti-horário), provavelmente representando o Vórtice de Abrolhos. Este também pode ser observado tanto na climatologia anual quanto na sazonal, centrado aproximadamente em 19,5°S e 37°W, também com variações de intensidade. Nos meses de verão e outono se apresentou mais intenso e nos meses de inverno e primavera, menos intenso.

A Figura 37 representa o padrão observado através da análise da estatística sazonal da vorticidade relativa para a região da Bacia do Espírito Santo. Um centro de vorticidade negativa (Ciclônico) referente ao Vórtice de Vitória foi observado na porção sudoeste da Bacia, no Embaiamento do Tubarão, e um centro de vorticidade positiva (Anticiclônico) foi observado na porção nordeste da Bacia, referente ao Vórtice de Abrolhos (SILVEIRA *et al.*, 2006).

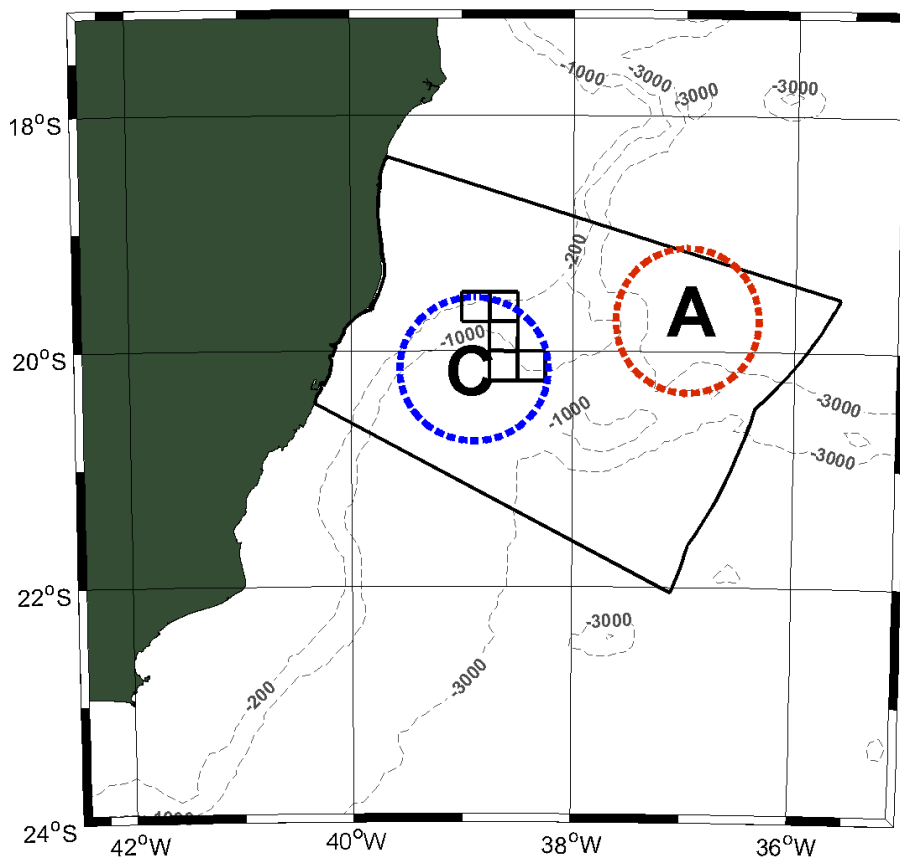


Figura 37: Figura esquemática dos núcleos de vorticidade negativa, ciclônico (em azul) e positiva, anticiclônico (vermelho). As linhas cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo.

Na Figura 38, observa-se a trajetória de um derivador, obtida no banco de dados do GDP (*Global Drifter Program*) que foi capturado pelo VV, sobreposto ao mapa de vorticidade relativa anual.



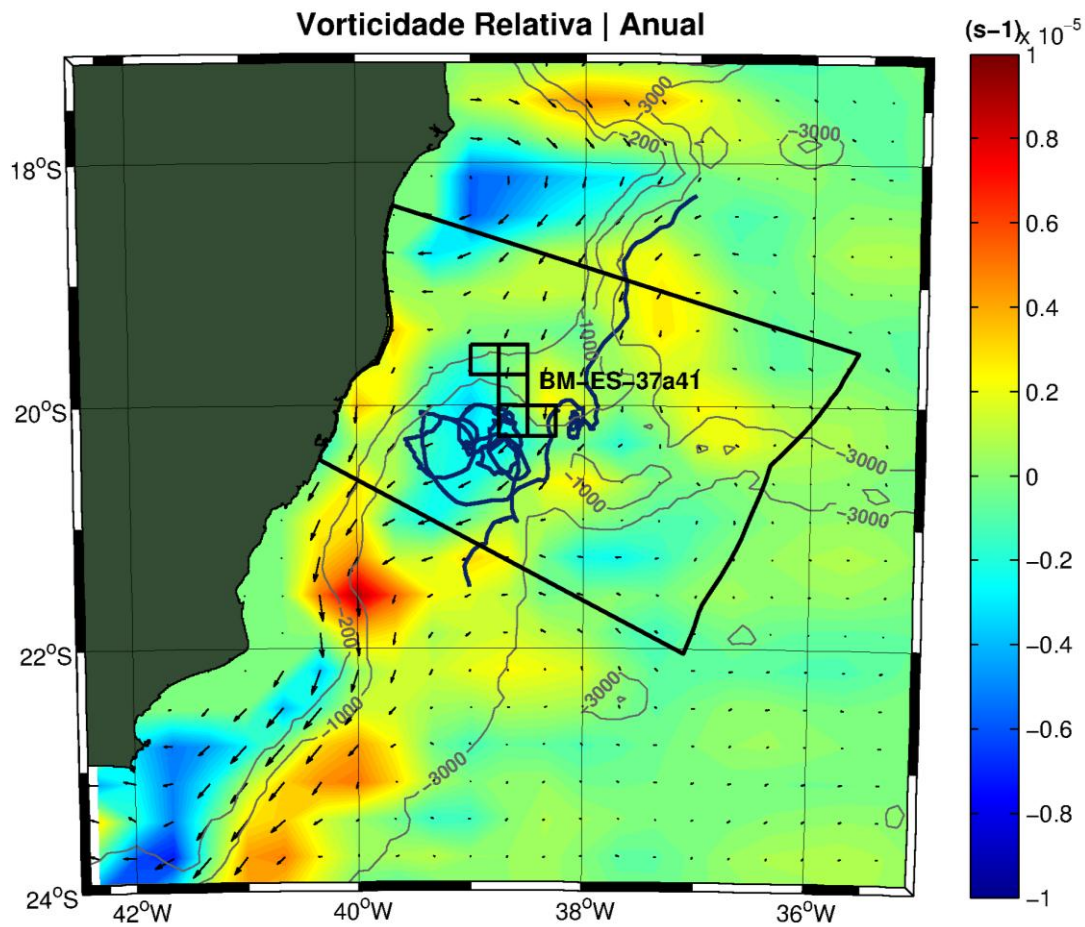


Figura 38: Trajetória de um derivador capturado pelo Vórtice de Vitória sobreposto ao campo climatológico anual de vorticidade relativa. As linhas cinza representam as isóbatas de 200m, 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Baía do Espírito Santo. Fonte do dado de derivador: GDP. Fonte do dado de vorticidade: AVISO.

O fato de que um dado sinótico (derivador) estar em concordância com um dado climatológico evidencia que o sinal observado nas análises estatísticas corresponde ao Vórtice de Vitória. O núcleo de vorticidade negativa observado na climatologia anual possui diâmetro de aproximadamente 110 Km.

Com intuito de se analisar mais detalhadamente o padrão sazonal do VV, foi realizada uma análise temporal da vorticidade relativa integrada na região de ocorrência do Vórtice. Para isso, uma área de ocorrência do vórtice foi delimitada e os valores de vorticidade relativa foram integrados para cada instante no tempo. A delimitação da área foi feita com base na bibliografia e nas variações sazonais apresentadas acima. Desta forma, a área foi centrada em 20,3°S e 39°W com 0,5° para cada lado, compreendendo um quadrado de 1° (Figura 39).

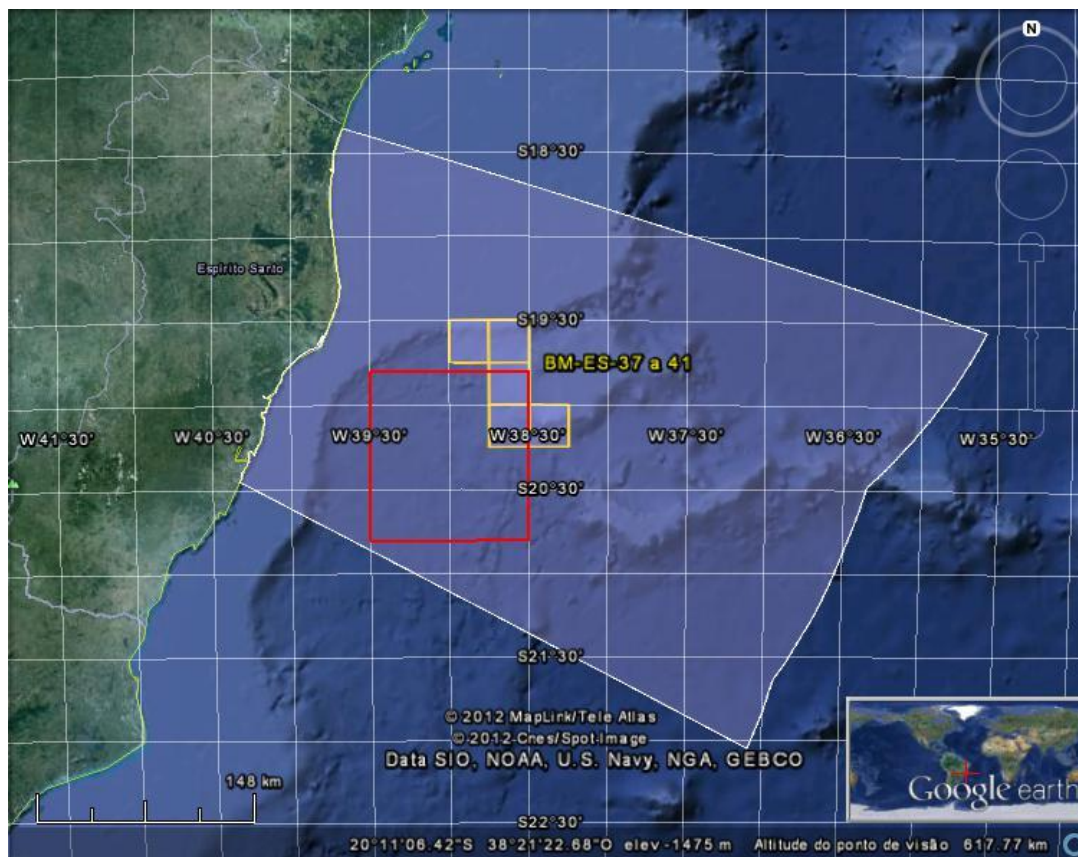


Figura 39: Posição da área de integração espacial da vorticidade relativa (quadrado vermelho) e dos blocos BM-ES-37 a 41. A área destacada representa a Bacia do Espírito Santo.

Toda a série de vorticidade relativa integrada na área do VV é apresentada a seguir, na Figura 40.

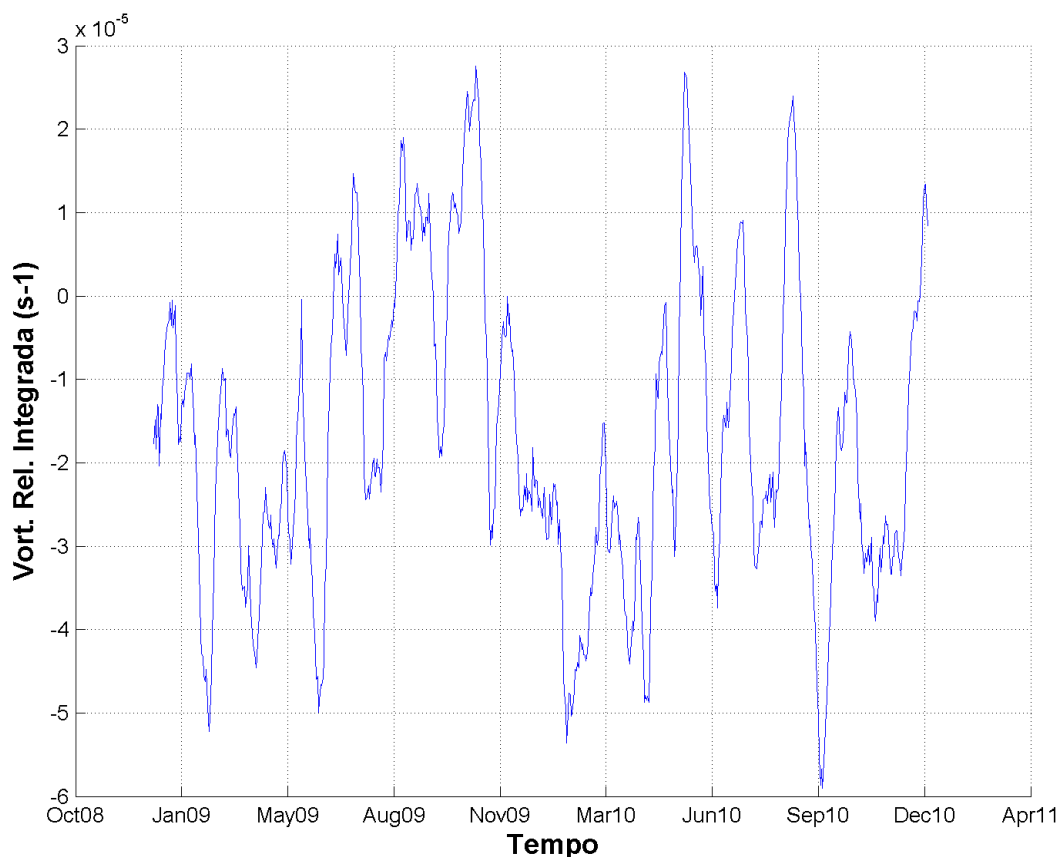


Figura 40: Série temporal de vorticidade relativa integrada no espaço. Dados de 01/01/2009 a 31/12/2010.

Analisando-se o gráfico, nota-se que a vorticidade relativa integrada nem sempre é negativa, indicando o caráter não permanente do vórtice. Os intervalos nos quais o parâmetro em questão é positivo vão de Junho a Novembro no primeiro ano analisado (2009) e de meados de Maio a início de Setembro em 2010, meses de inverno e primavera.

Foram feitas médias mensais para se analisar o comportamento sazonal da vorticidade relativa integrada (Figura 41).



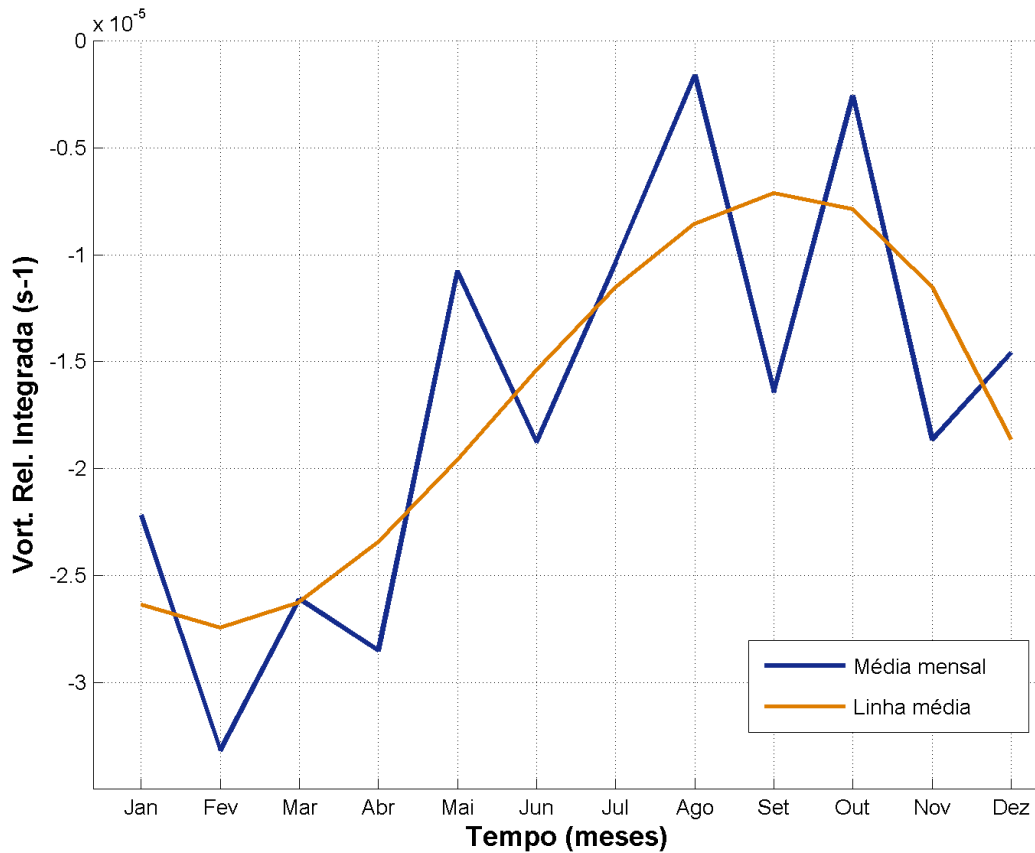


Figura 41: Médias mensais da vorticidade relativa integrada espacialmente (linha azul) e linha média de tendência (Linha laranja).

Um claro padrão sazonal pode ser observado, com valores de vorticidade relativa baixos no verão e elevados no inverno. Ao analisar a média mensal (linha em azul), observa-se que, sobreposta ao período anual, encontra-se uma oscilação de período mensal. Não existe na literatura uma descrição de tal período de oscilação do Vórtice de Vitória, porém, alguns autores (SCHMID *et al.*, 1995; FRAGOSO, 2004; CAMPOS, 2006) descrevem um movimento de translação do Vórtice com direção Nordeste, sem, contudo, citar o período deste movimento. Como a área utilizada na integração espacial da vorticidade relativa é fixa, a oscilação mensal observada pode ser devido a movimentos horizontais para fora da área de integração.

3.3. Temperatura da Superfície do Mar

Para realizar uma análise climatológica e da variabilidade sazonal da temperatura da superfície do mar (TSM), foram utilizados dados satelitais disponibilizados pelo NCOF (*National Center for*



Ocean Forecast). O produto OSTIA (*Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis*) abrange todo o globo e possui resolução espacial de, aproximadamente, 6 km e temporal de um dia. O produto é resultado da combinação de diversos sensores infravermelhos e micro-ondas, além de *dados in situ*, por meio de processo de Análise Objetiva. Este produto tem oferecido dados acurados de TSM, com um erro médio quadrático menor que 0,6°C, em alta resolução e disponibilizados em tempo quase real (STARK *et al.*, 2007).

Foram obtidos dados para o mesmo período de abrangência dos dados utilizados da AVISO (01/01/2009 a 31/12/2010), contabilizando dois anos de dados. Assim como nos dados altimétricos, médias sazonais e para todo o período analisado foram produzidas.

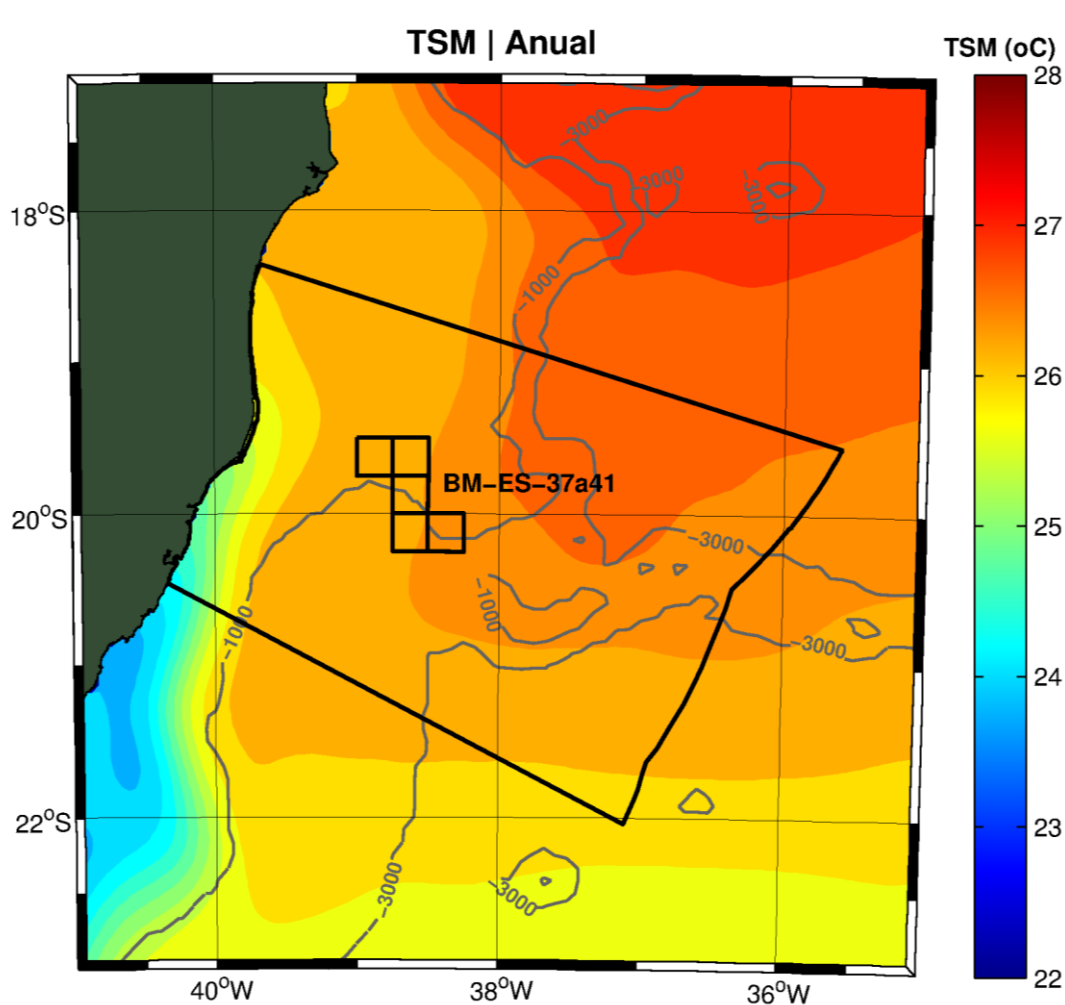


Figura 42: Climatologia da Temperatura da Superfície do Mar para todo o período analisado. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Baía do Espírito Santo. Figura gerada com dados obtidos no banco de dados OSTIA.

Foram observados padrões espaciais e sazonais. Espacialmente, notam-se maiores temperaturas na porção nordeste da Bacia e menores na porção sudoeste da mesma, em um gradiente de aproximadamente 1°C. Tal fato pode estar associado ao posicionamento dos centros de vorticidade relativa positiva e negativa, correspondentes aos Vórtices de Abrolhos e de Vitória observados no item anterior.

A seguir, da Figura 43 a Figura 46, são apresentados os mapas climatológicos sazonais de TSM.

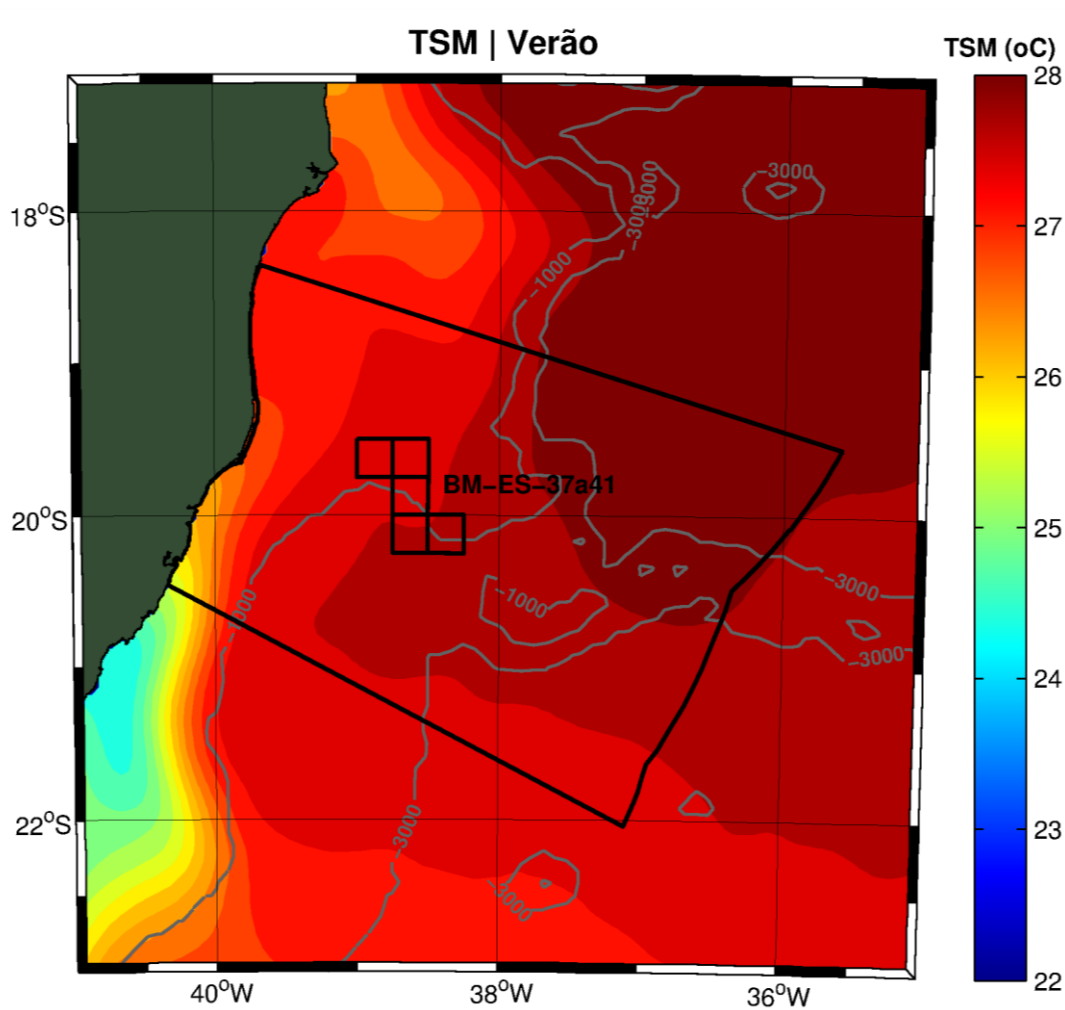


Figura 43: Climatologia da Temperatura da Superfície do Mar para o verão. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada com dados obtidos no banco de dados OSTIA.

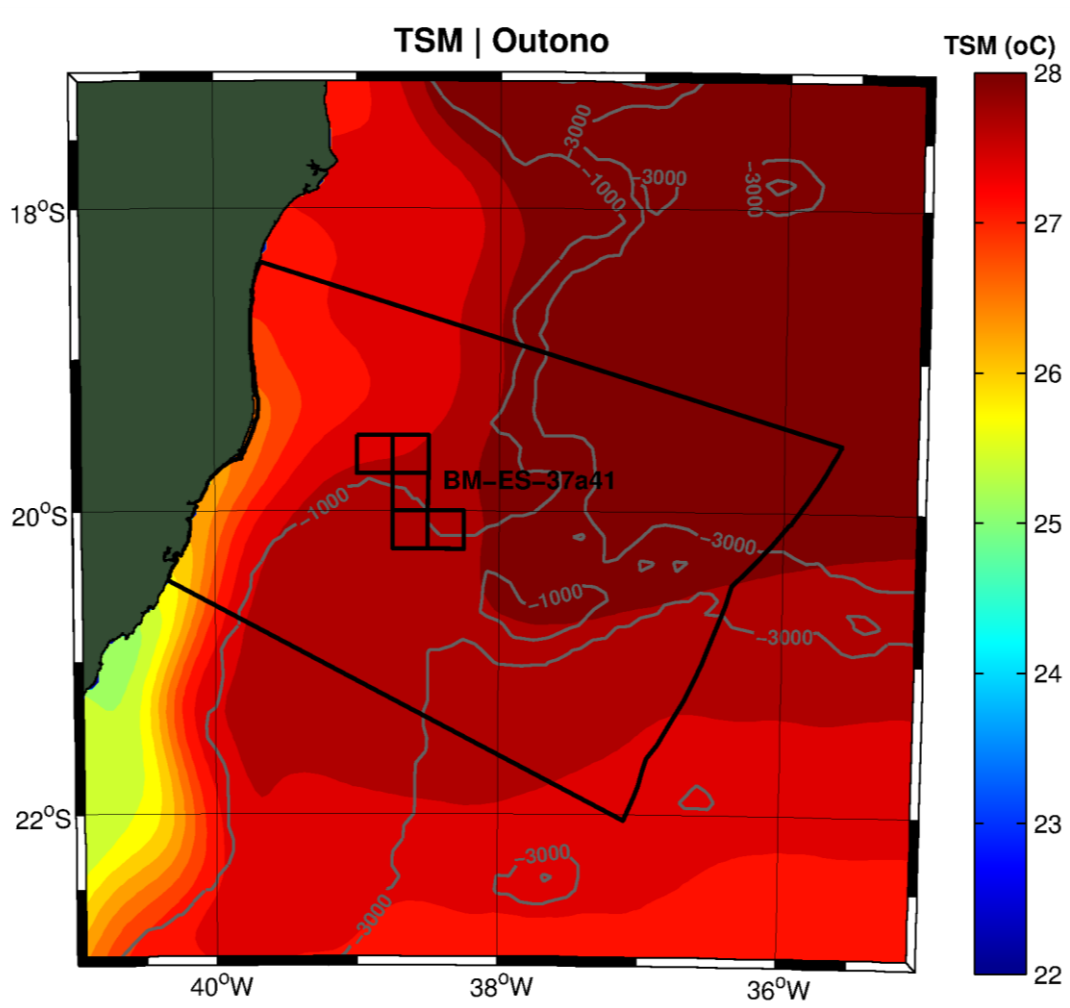


Figura 44: Climatologia da Temperatura da Superfície do Mar para o outono. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada com dados obtidos no banco de dados OSTIA.

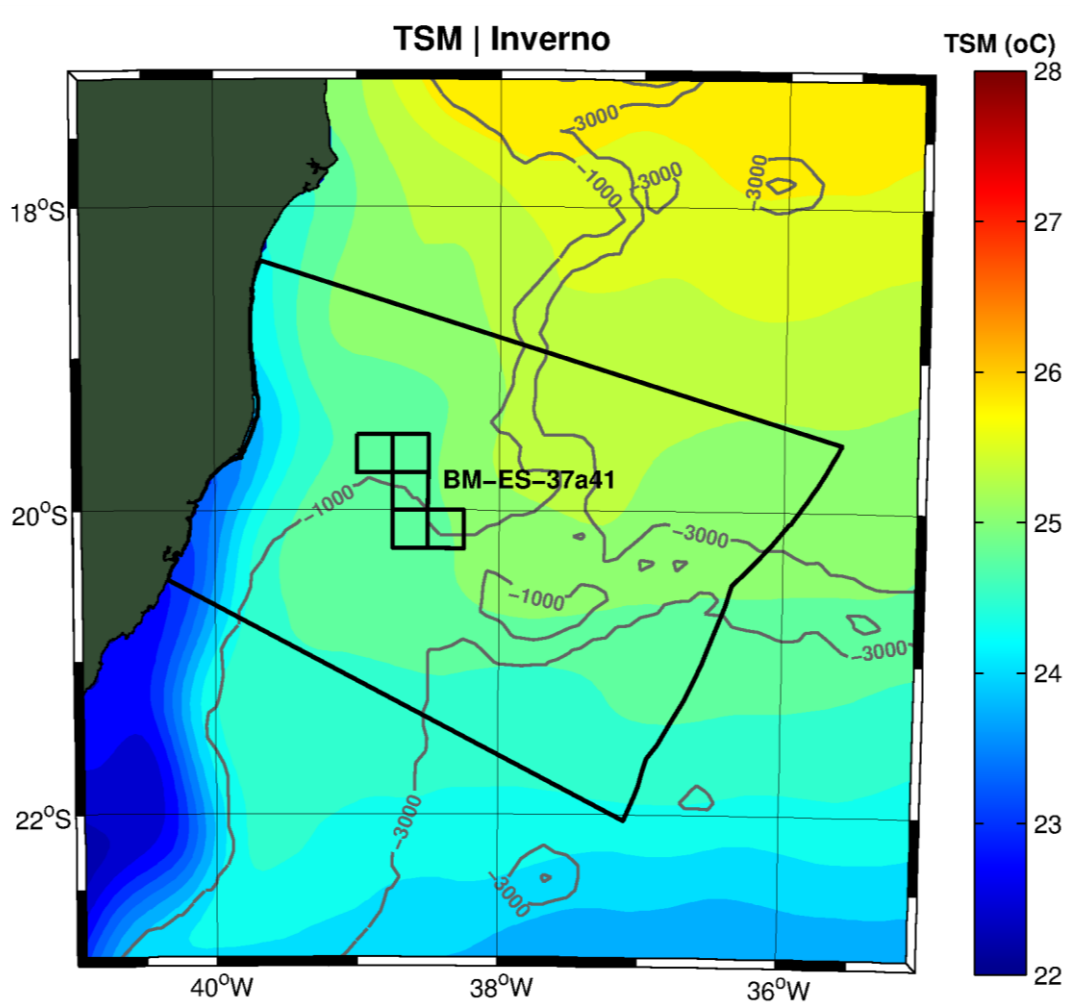


Figura 45: Climatologia da Temperatura da Superfície do Mar para o inverno. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada com dados obtidos no banco de dados OSTIA.

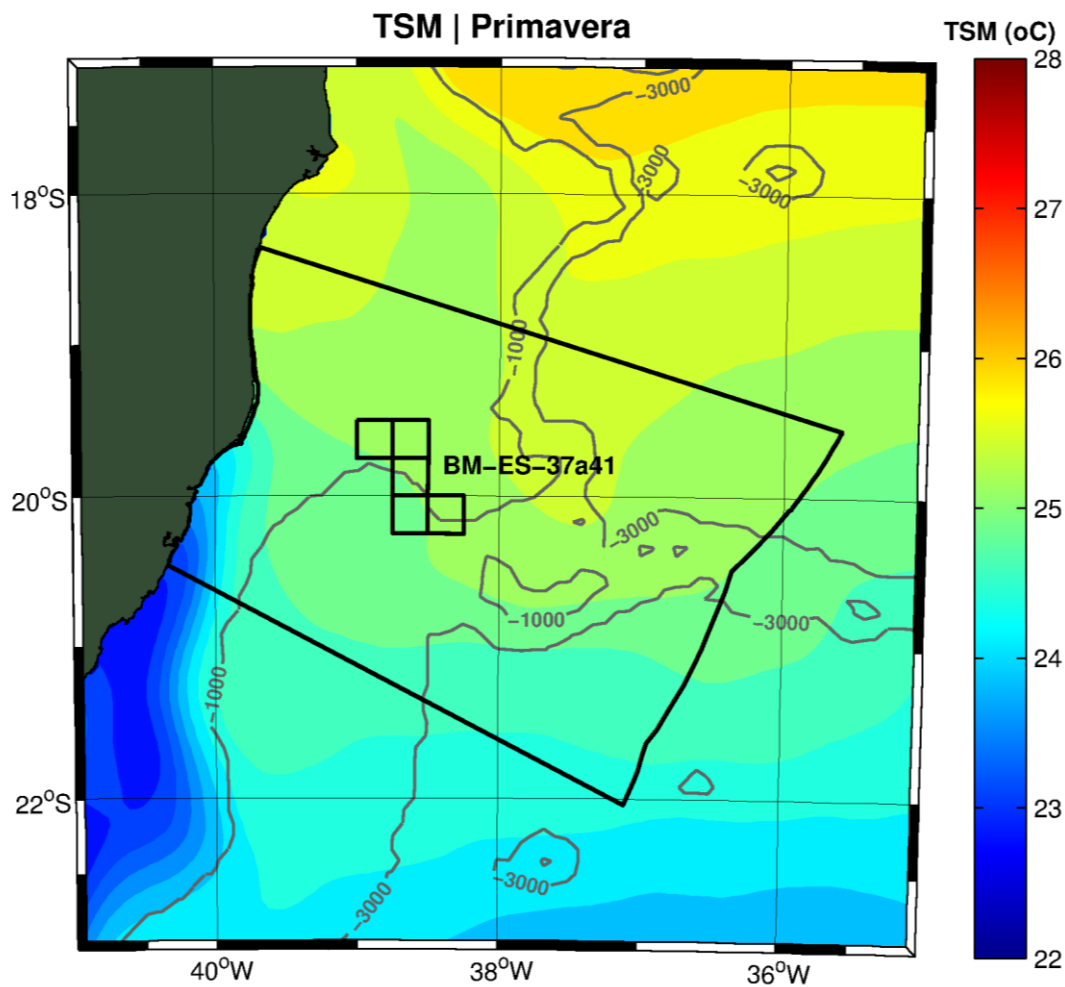


Figura 46: Climatologia da Temperatura da Superfície do Mar para a primavera. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Figura gerada com dados obtidos no banco de dados OSTIA.

Sazonalmente, observa-se uma variação de até 2°C entre os meses de verão e inverno na região dos blocos. Nos meses de verão e outono a região apresenta uma temperatura de, aproximadamente, 27°C e nos meses de inverno e primavera de, aproximadamente, 25°C, resultado da maior incidência de radiação solar durante o verão.

De acordo com a literatura (SCHMID *et al.*, 1995; GAETA, 1999), o Vórtice de Vitória apresenta núcleo frio, devido à ressurgência de águas de maior profundidade causada pelo seu giro ciclônico. A fim de verificar o sinal do vórtice nos dados de TSM, calculou-se um campo médio de um período (29/09/2005 a 15/11/2005) onde houve a presença do VV, comprovada por dados de derivadores. A partir disso, um mapa de anomalia de TSM foi elaborado (Figura 47),

representando a diferença entre o campo médio de TSM calculado para o período de permanência do vórtice e a climatologia de TSM de dois anos (apresentada na Figura 42).

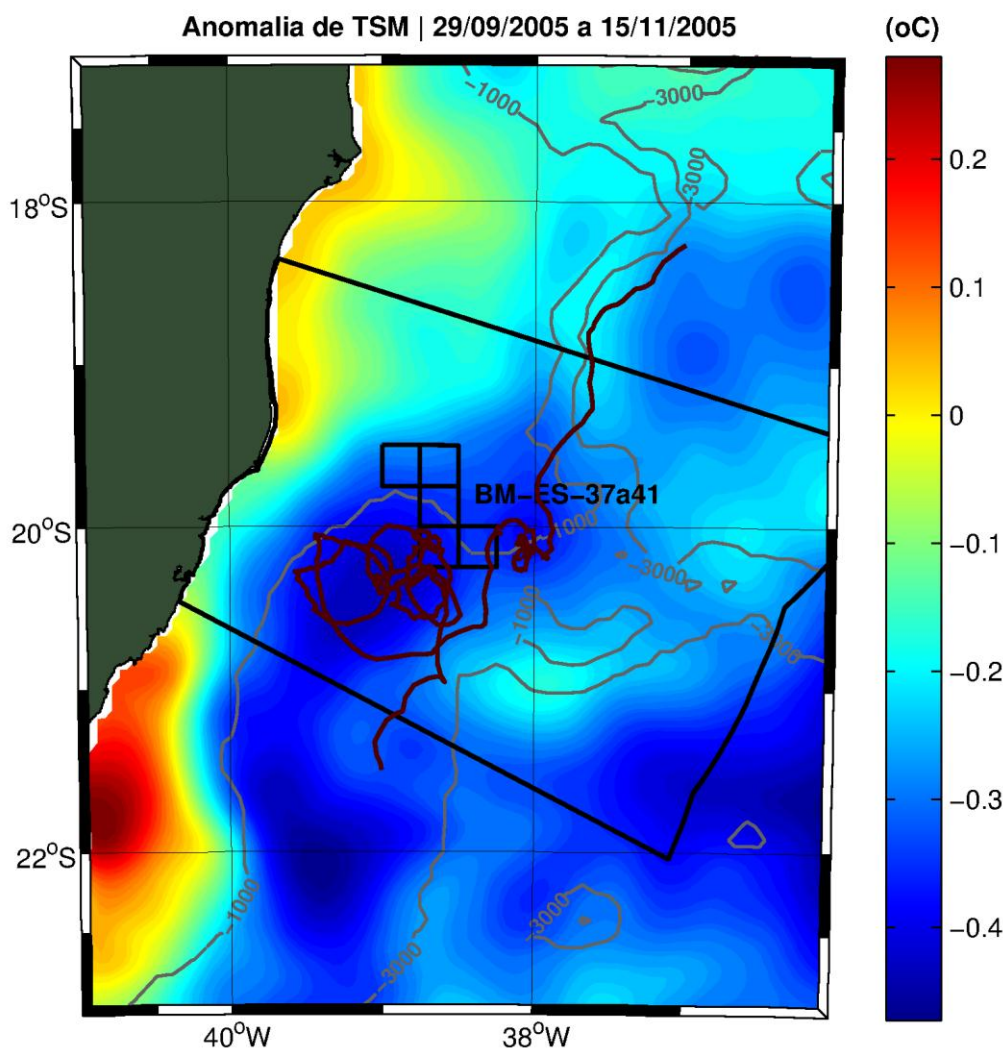


Figura 47: Mapa de anomalia de TSM para o período de 29/09/2005 a 15/11/2005. Trajetória de um derivador capturado pelo VV na mesma época sobreposto (linha marrom).

Observa-se que o núcleo de anomalia negativa de temperatura coincide com a trajetória do derivador capturado pelo Vórtice de Vitória, indicando que o sinal do vórtice pode ser observado em superfície com dados satelitais de TSM, apesar do mesmo não ser aparente nos mapas climatológicos do mesmo parâmetro.

De acordo com essa análise, o Vórtice de Vitória presente na primavera de 2005 apresentou sinal de anomalia de temperatura em superfície, da ordem de $-0,45^{\circ}\text{C}$, aproximadamente.

3.4. Modelagem Numérica

Dados de modelos numéricos são utilizados neste projeto tanto para gerar uma climatologia da circulação da região da Baía do Espírito Santo quanto para se investigar com mais detalhe o Vórtice de Vitória.

Nesse caso, a utilização de modelos numéricos apresenta a grande vantagem em relação aos obtidos por satélite, por permitir uma análise tridimensional, ou seja, pode-se investigar a estrutura vertical do VV. Além disso, serão realizadas análises na camada superficial, similares às realizadas com dados de altimetria, a fim de se investigar a capacidade dos modelos de representar a estrutura vortical descrita.

Para este objetivo, dois modelos foram utilizados: O HYCOM, de domínio público, com resultados disponíveis em um banco de dados na internet e o ROMS, com o qual uma modelagem para a região de estudo já foi desenvolvida pela PROOCEANO e apresentada em um estudo preliminar para este projeto, entregue à Perenco em novembro de 2009.

3.4.1. HYCOM

O HYCOM (*Hybrid Coordinate Ocean Model*) é um modelo de circulação oceânica global, que utiliza discretização horizontal em diferenças finitas (GABIOUX, 2008), e tem como principal característica a utilização de um sistema de coordenadas verticais híbridas, isto é, utiliza o sistema de coordenadas isopícnais para as áreas de oceano aberto e estratificado, coordenadas z (cartesianas) para a camada de mistura e regiões pouco estratificadas, e coordenadas sigma para regiões com menores profundidades e topografia de fundo variável (zonas costeiras). Utilizando esses três sistemas de coordenadas, o modelo pode conservar as características das massas d'água por longos períodos de tempo em regiões oceânicas (coordenada isopícnal), obter alta resolução na camada de mistura ou em regiões com pouca estratificação (coordenada z), e resolver melhor a topografia de fundo em áreas costeiras ou sobre a plataforma continental (coordenada sigma).

Foram utilizados os dados da Análise Global do modelo HYCOM para o período de janeiro de 2009 a dezembro de 2010.

Para analisar as características espaciais e temporais da circulação da região, foram realizadas médias sazonais dos campos de velocidade superficial. Os mapas climatológicos encontram-se da Figura 48 a Figura 51.



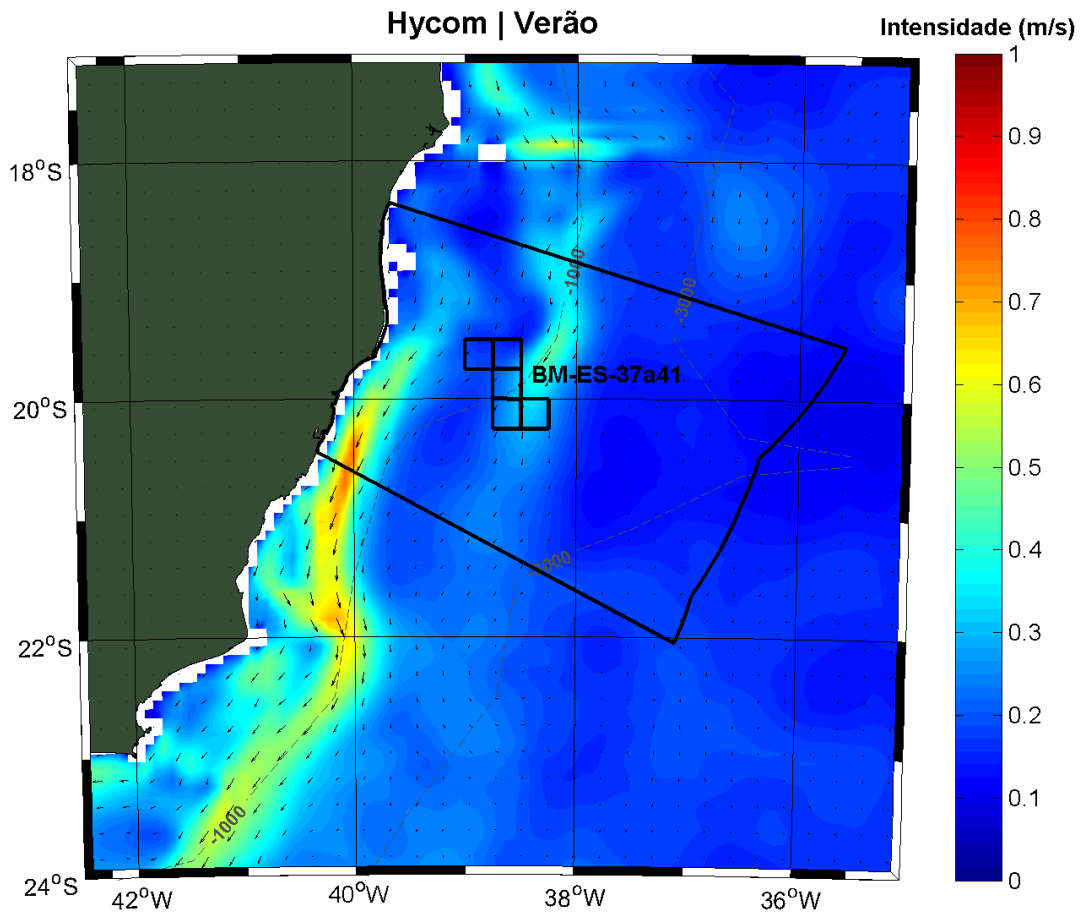


Figura 48: Campo médio de corrente para o período de verão. Os vetores representam a direção das correntes e as cores, a intensidade das mesmas, em m/s. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM.

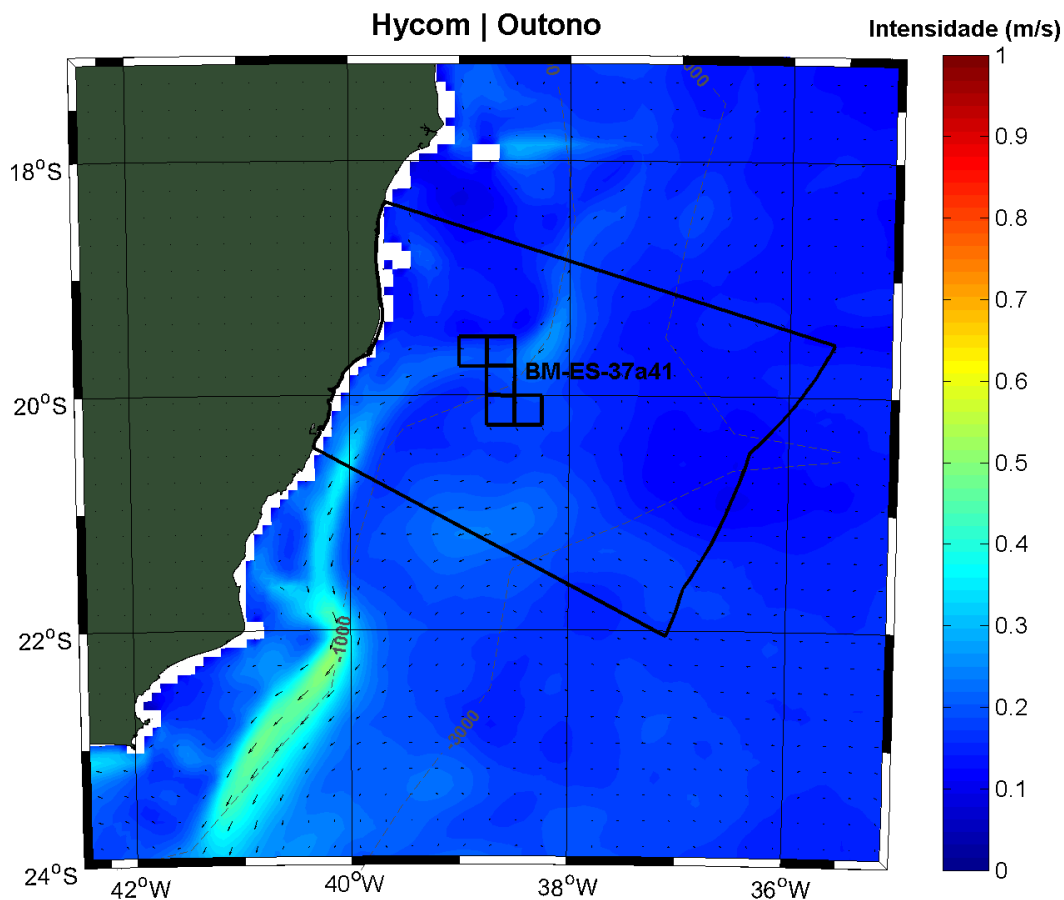


Figura 49: Campo médio de corrente para o período de outono. Os vetores representam a direção das correntes e as cores, a intensidade das mesmas, em m/s. As linhas cinza representam as isóbatas de 1.000m e 3.000m, e a área destacada, a Bacia do Espírito Santo. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM.

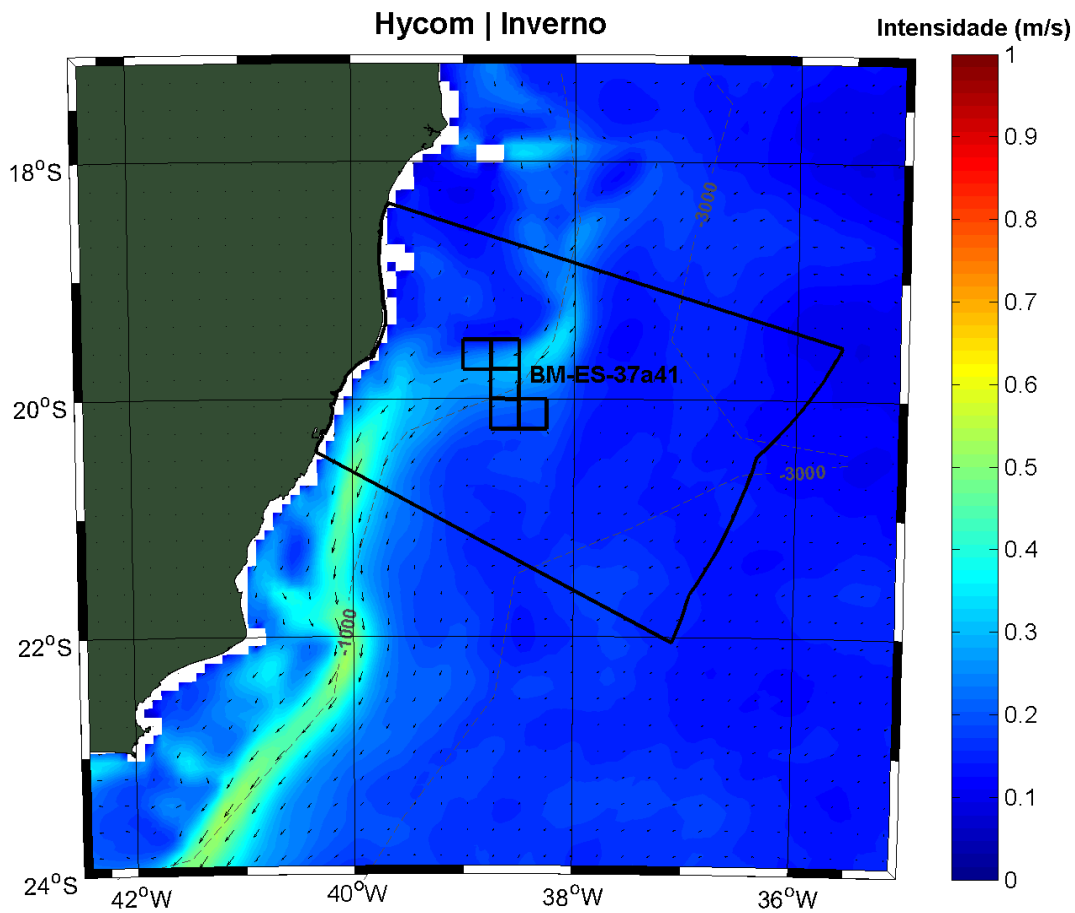


Figura 50: Campo médio de corrente para o período de inverno. Os vetores representam a direção das correntes e as cores, a intensidade das mesmas, em m/s. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM.

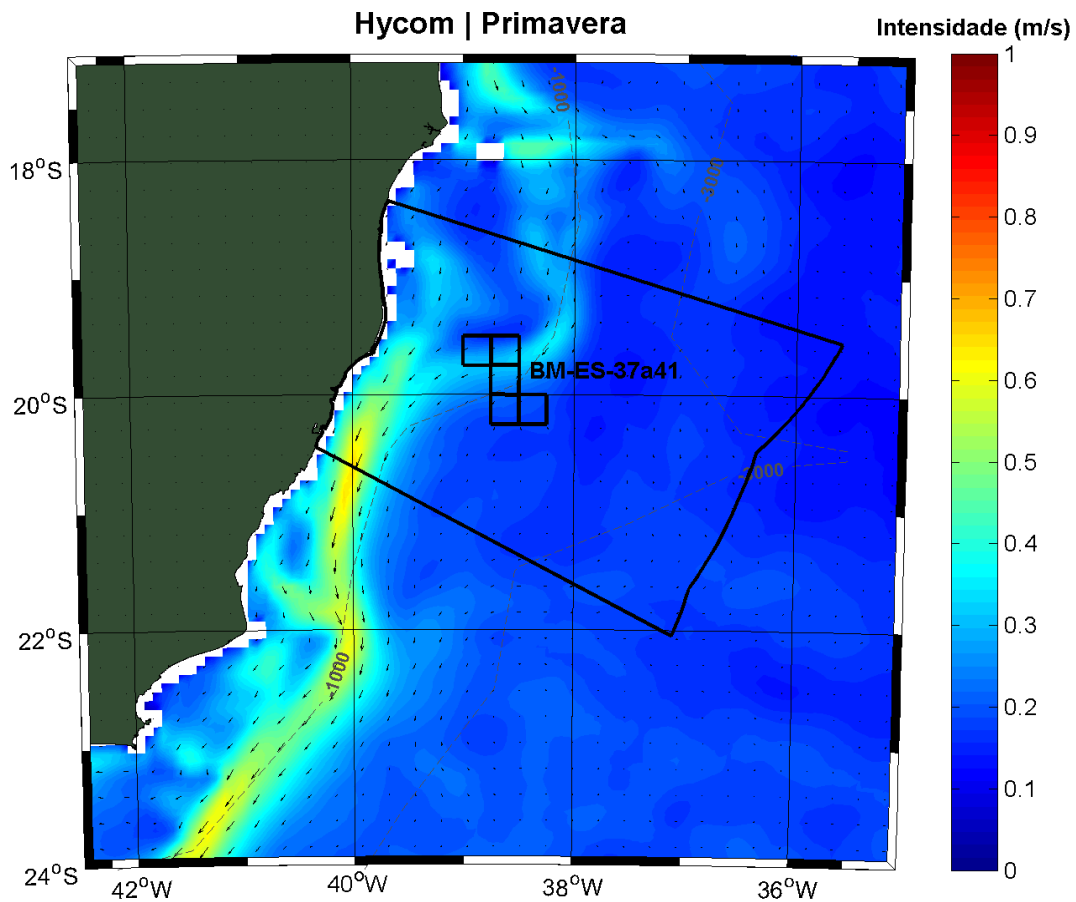


Figura 51: Campo médio de corrente para o período de primavera. Os vetores representam a direção das correntes e as cores, a intensidade das mesmas, em m/s. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM.

A Corrente do Brasil é observada fluindo para sudoeste, em trajetória meandrante, aproximadamente sobre a isóbata de 1000 metros. Nos meses de verão e primavera, as correntes apresentaram-se mais intensas com valores de aproximadamente 0,5 m/s na região dos Blocos BM-ES-37 a 41. Nos meses de outono e inverno, valores de aproximadamente 0,3 m/s puderam ser observados nas adjacências dos blocos. Os Vórtices de Abrolhos e de Vitória não podem ser observados nos campos climatológicos do HYCOM.

A seguir, da Figura 52 a Figura 55, são apresentados mapas climatológicos de vorticidade relativa calculados segundo a equação 1, para as componentes u e v do HYCOM.

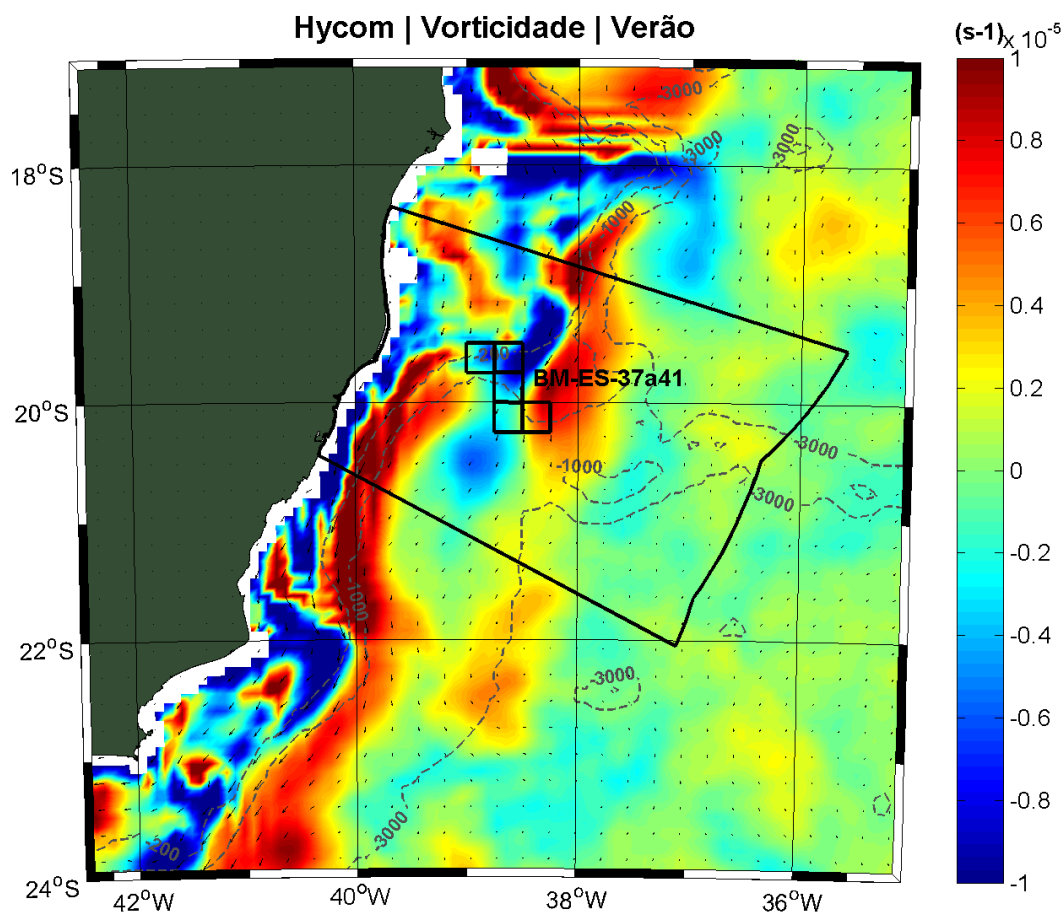


Figura 52: Campo de vorticidade relativa referente aos meses de verão. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM.

Hycom | Vorticidade | Outono

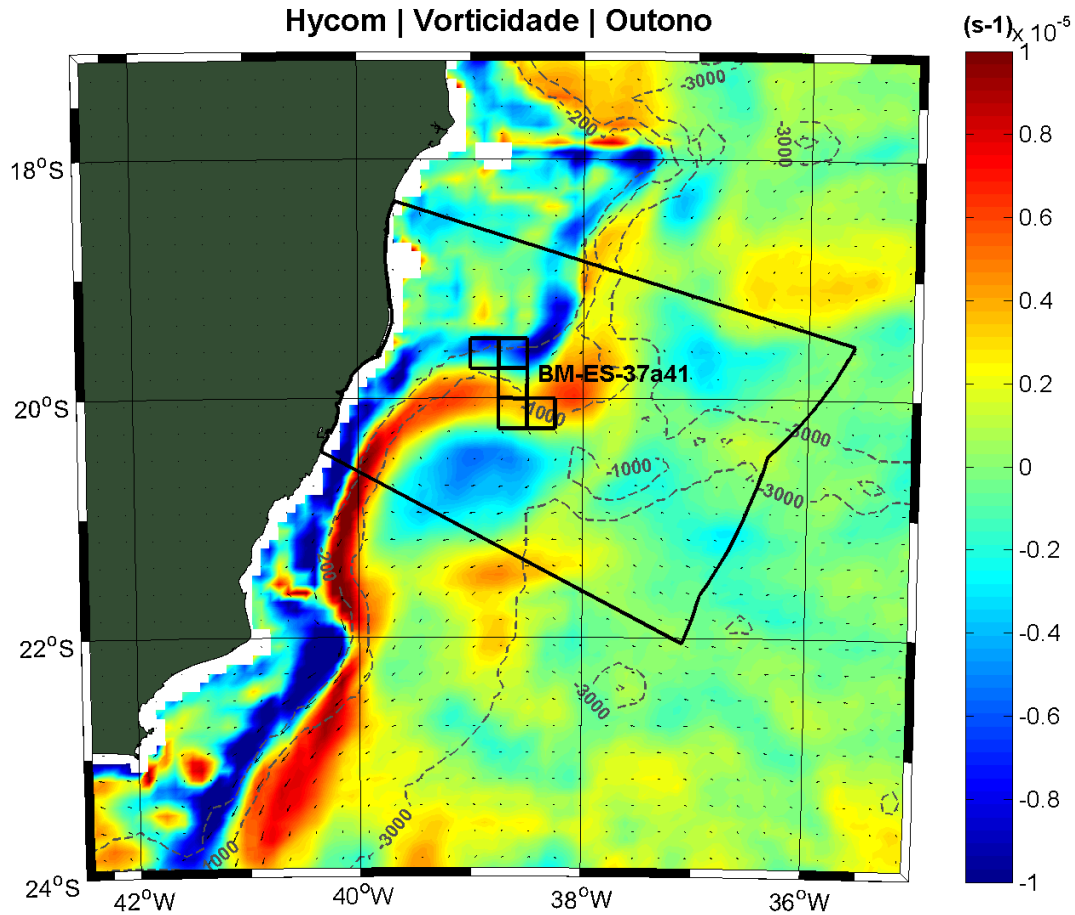


Figura 53: Campo de vorticidade relativa referente aos meses de outono. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM.

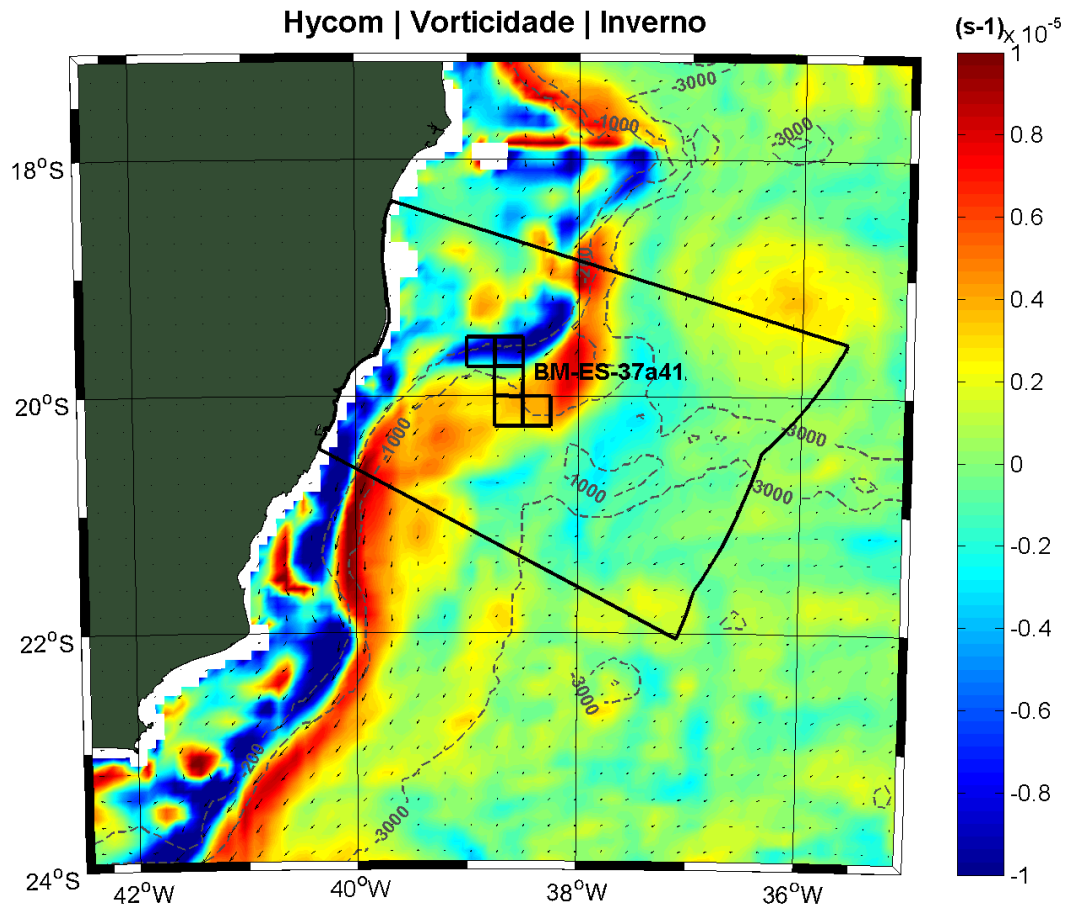


Figura 54: Campo de vorticidade relativa referente aos meses de inverno. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM.

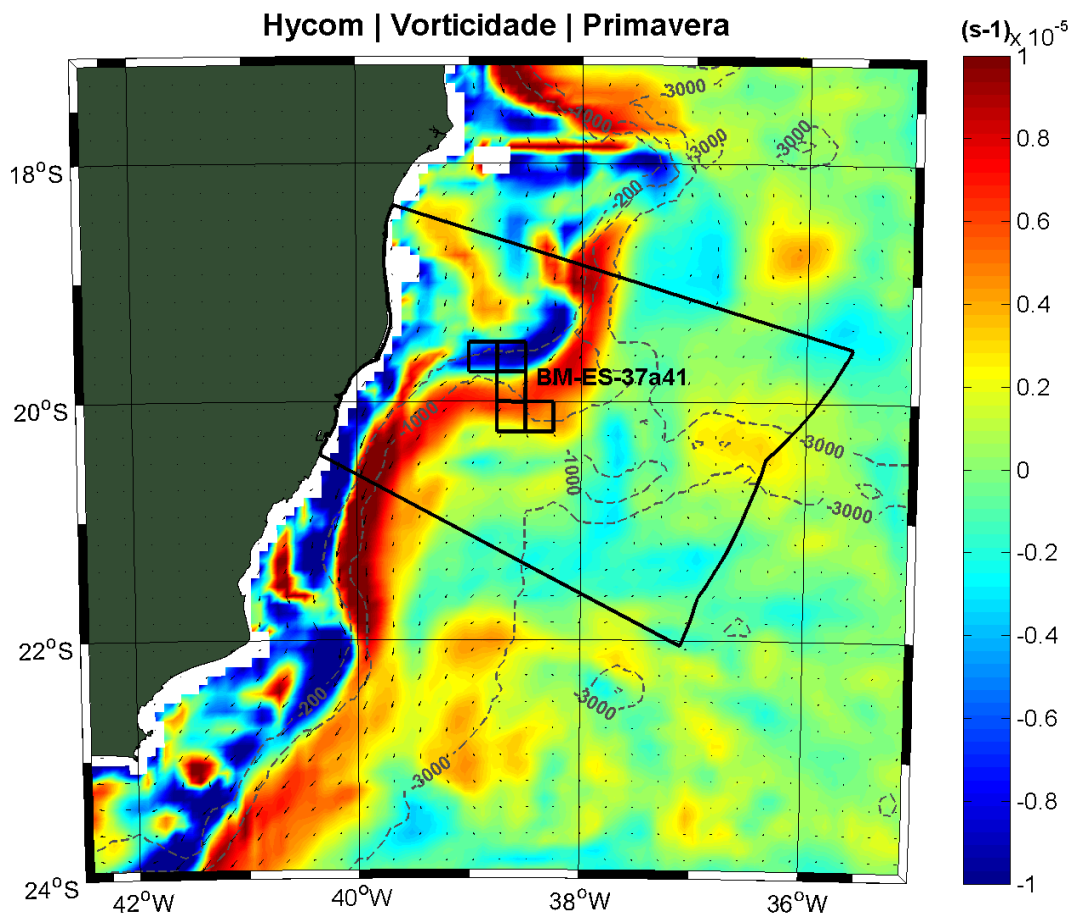


Figura 55: Campo de vorticidade relativa referente aos meses de primavera. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM.

Apesar de não ser representado no campo de corrente climatológico do HYCOM, o sinal de vorticidade relativa negativa pôde ser observado na região de ocorrência do VV, nos meses de verão e outono. Nos meses de inverno e primavera o sinal de vorticidade negativa não esteve presente.

A seguir, é apresentada uma análise análoga à que foi apresentada na seção 3.2.2. Trata-se de uma análise temporal da vorticidade relativa integrada na área de ocorrência do Vórtice de Vitória (Figura 56 e Figura 57). Tal análise nos permite avaliar a sazonalidade deste parâmetro que indica a presença de giros ciclônicos ou anticiclônicos na região. Foi utilizada a mesma área de integração da análise com dados de altimetria (Figura 39).



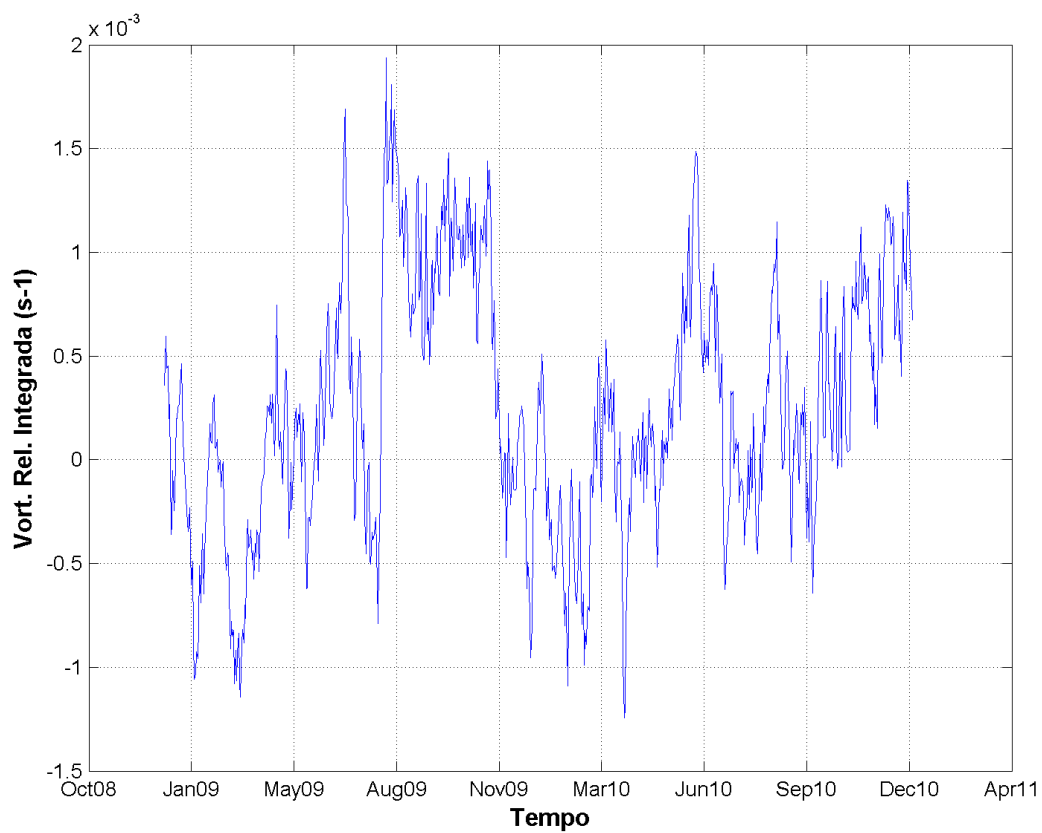


Figura 56: Série temporal de vorticidade relativa integrada na região do Vórtice de Vitória. Figura gerada a partir de dados do HYCOM.



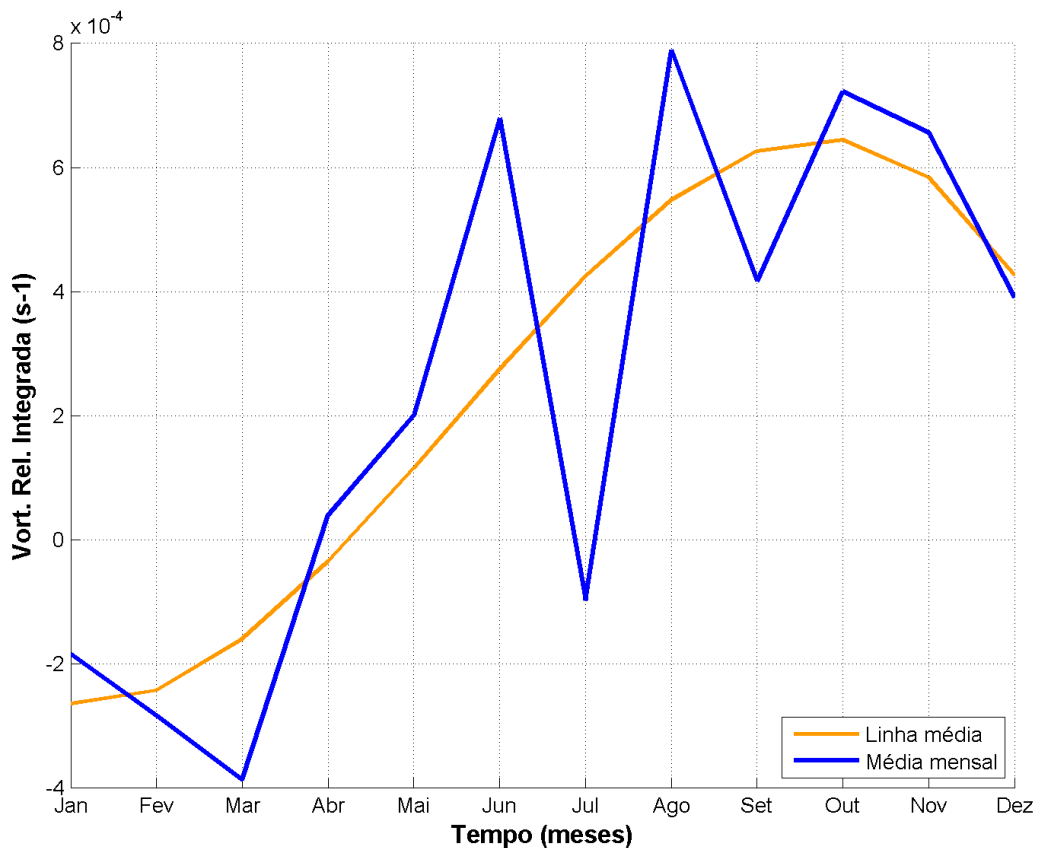


Figura 57: Médias mensais e linha média de vorticidade relativa integrada na região do Vórtice de Vitória. Figura gerada a partir de dados do HYCOM.

Observa-se o mesmo comportamento senoidal observado na análise feita com os dados de altimetria multisatélite. Porém, valores de vorticidade negativa só são observados nos meses de Janeiro, Fevereiro e Março (Verão/Outono) com o restante do ano apresentando Vorticidade positiva.

A fim de se analisar a capacidade do modelo de representar o Vórtice de Vitória, foram obtidos campos de corrente do HYCOM para um período no qual a ocorrência do vórtice fosse comprovada. O período utilizado, de 26/09/2005 a 15/11/2005, é o mesmo utilizado na comparação do campo de anomalia de TSM do OSTIA com o derivador capturado pelo Vórtice de Vitória.

O campo de corrente médio do período citado acima é apresentado na Figura 58 sobreposto ao campo de TSM (do HYCOM). Pode-se observar o Vórtice de Vitória, centrado em aproximadamente 20,9°S e 38,9°W e o Vórtice de Abrolhos, centrado em aproximadamente

19,3°S e 37°W. Comprova-se que o modelo representa o vórtice, porém não em médias climatológicas.

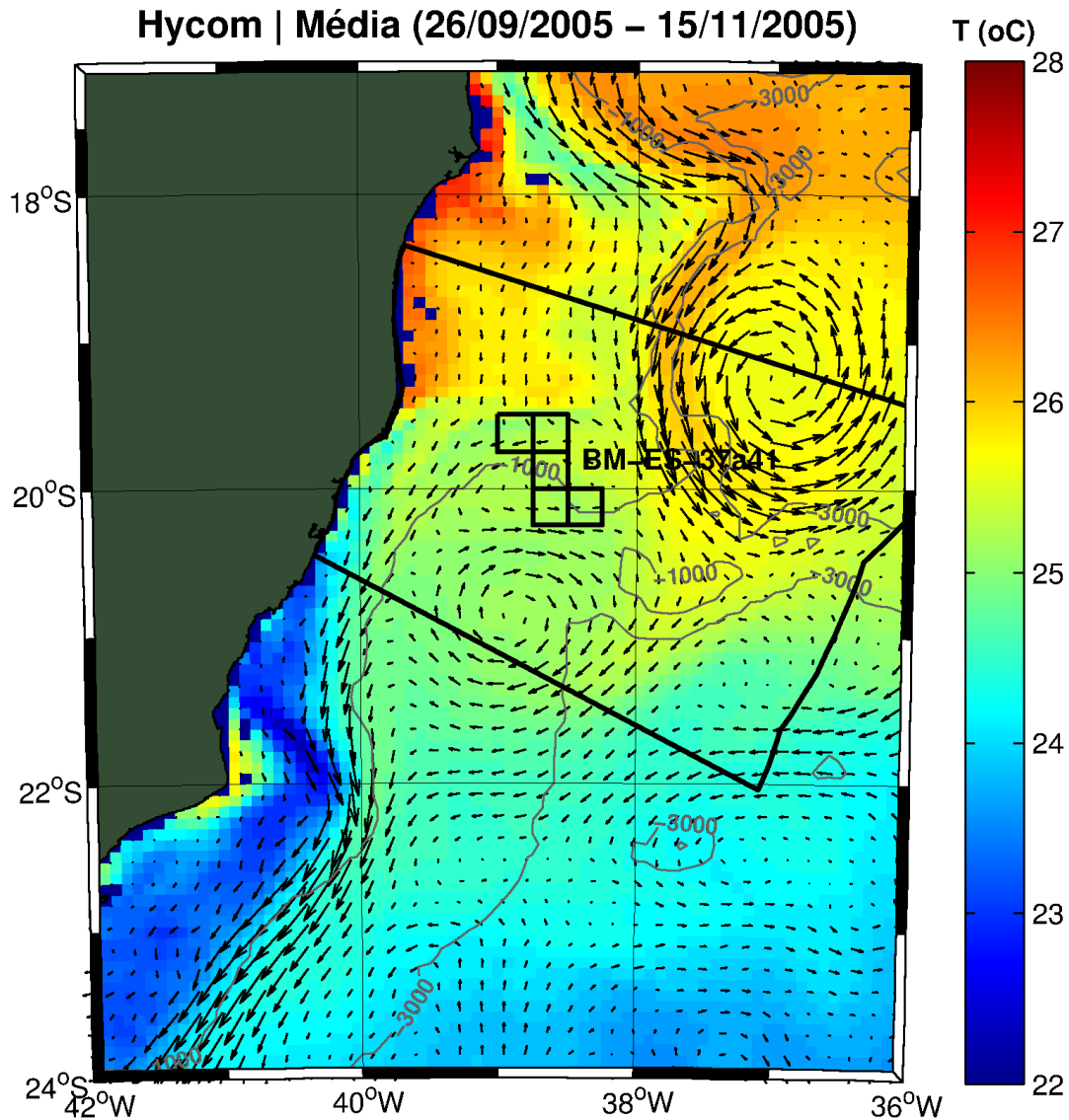


Figura 58: Campo médio de corrente (vetores) e TSM (cores) para o período entre 26/09/2005 a 15/11/2005. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM.

A seguir, na Figura 59, apresenta-se um corte zonal, na latitude de 20,28° S, com o campo de velocidade meridional médio para o mesmo período (primavera de 2005). Observam-se dois núcleos de corrente com direção Sul, um sobre a quebra da plataforma continental (39,7°W) e outro em aproximadamente 37,5°W. Ao analisar conjuntamente a Figura 59 e a Figura 58, nota-se que os dois núcleos representam a CB, que devido ao seu meandramento, aparece em duas

longitudes diferentes. Ainda na mesma figura, nota-se uma estrutura vortical (Vórtice de Vitória) centrada em 39°W, indo desde a superfície até 1000 metros de profundidade, com seu núcleo de intensidade em aproximadamente 600 metros.

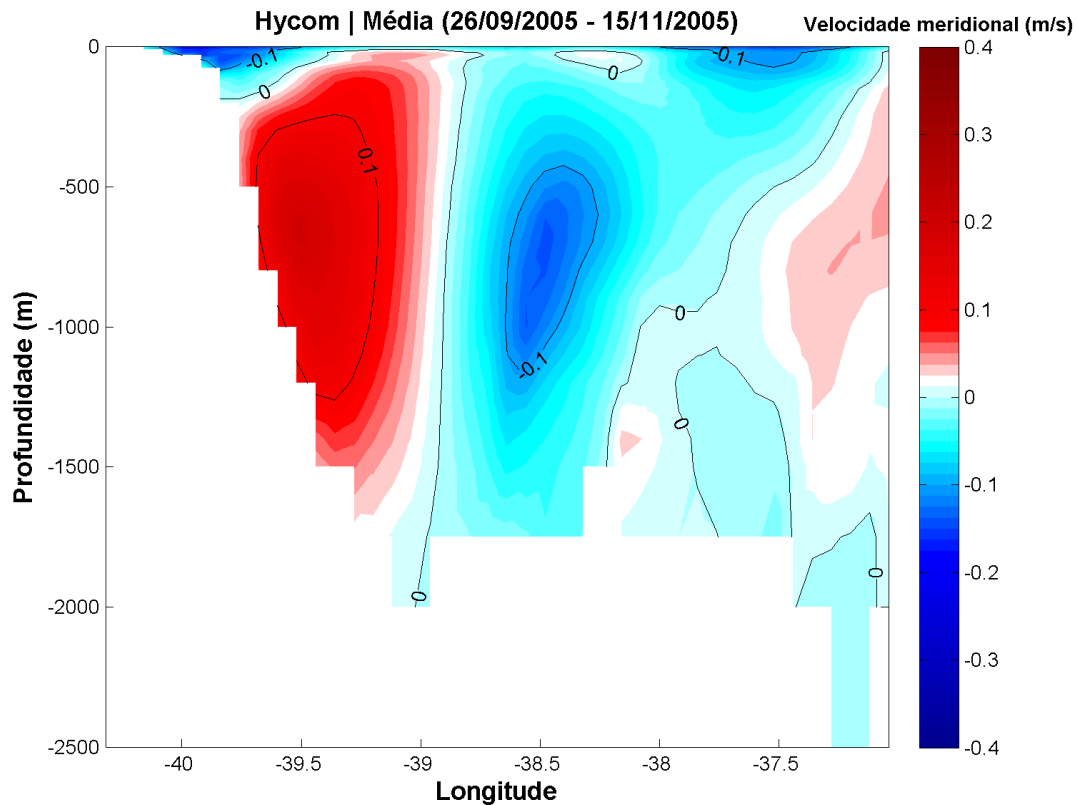


Figura 59: Seção de velocidade meridional média para o período entre 26/09/2005 a 15/11/2005. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM.

A seguir, a média do campo de temperatura para a mesma seção, extraída do HYCOM, para o mesmo período de tempo. Apesar da complexidade de correntes, nota-se uma estratificação bem comportada. A partir deste campo médio, pode-se afirmar a corrente em direção norte, na profundidade de aproximadamente 600 metros observada sobre o talude é a Corrente de Contorno Intermediária (CCI), que transporta a massa d'água ACAS.

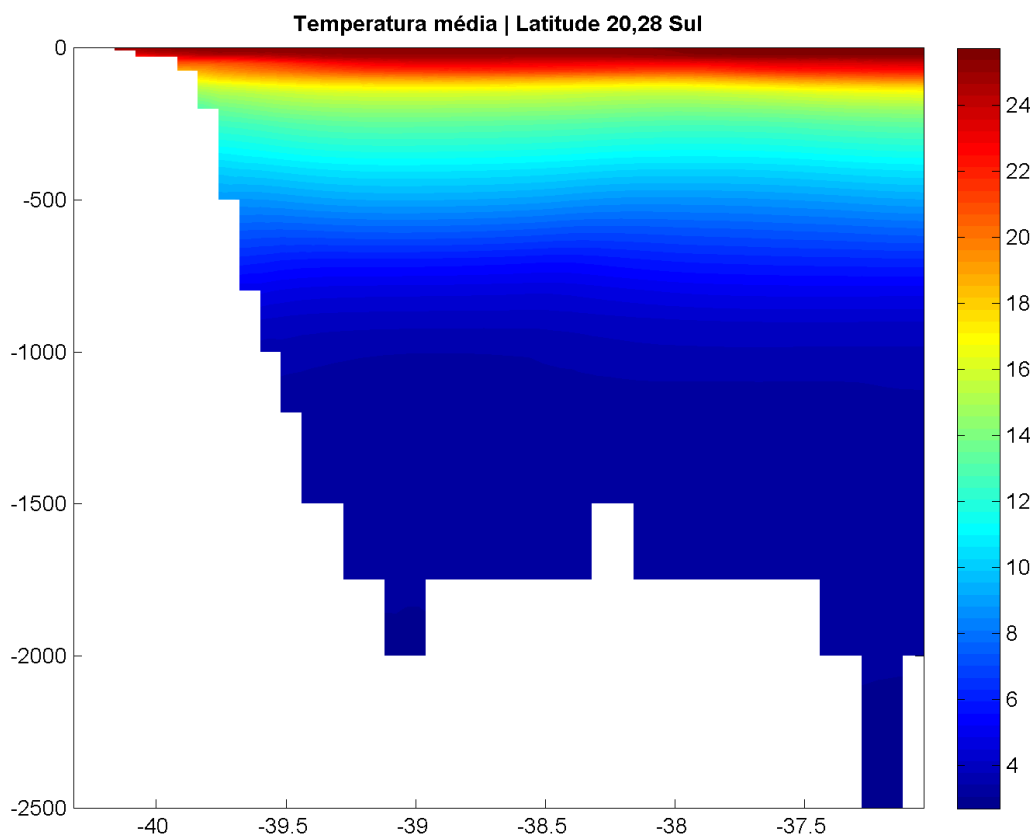


Figura 60: Seção de temperatura média para o período entre 26/09/2005 a 15/11/2005. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM.

Foi escolhido um instante representativo para se analisar a estrutura vertical de velocidade meridional (Figura 61) e de anomalia de temperatura (Figura 62).

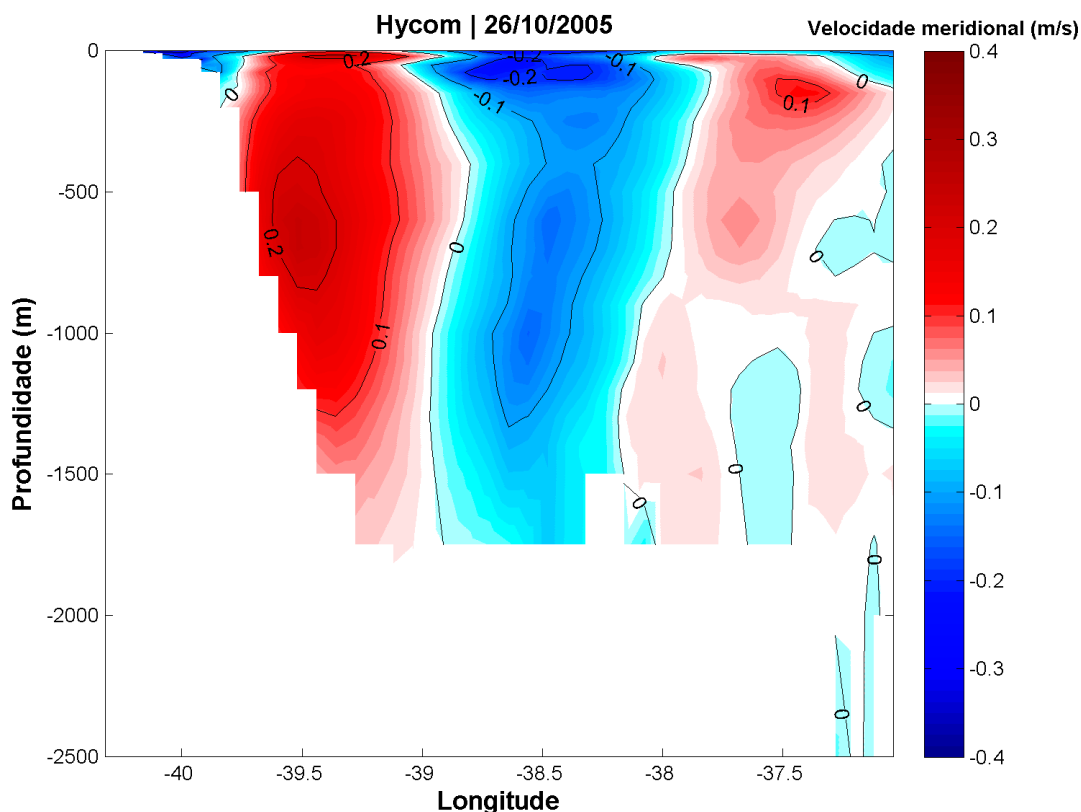


Figura 61: Seção de velocidade meridional para o dia 26/10/2005. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM.

Observa-se que a estrutura vertical do VV encontra-se mais aflorada em superfície neste instante de análise, com intensidades de aproximadamente 0,2 m/s em superfície, em ambos os lobos do vórtice. Outro ponto interessante é que o núcleo de corrente com direção Sul observado na longitude 37,5°W na Figura 59 não é observado nesta. Provavelmente isso é devido a um deslocamento do núcleo da CB para leste, em momentos nos quais o VV está mais intensificado ou então que tal núcleo encontra-se unido ao lobo leste do próprio Vórtice de Vitória.

Nota-se que neste instante em que o vórtice encontra-se na superfície, o lado do vórtice que apresenta sentido contrário à CB apresenta-se fundido à CCI. Costa (2007) encontrou o mesmo padrão em seu estudo climatológico a cerca do Vórtice de Vitória e relacionou o movimento de translação do vórtice para nordeste à intensificação da CCI.



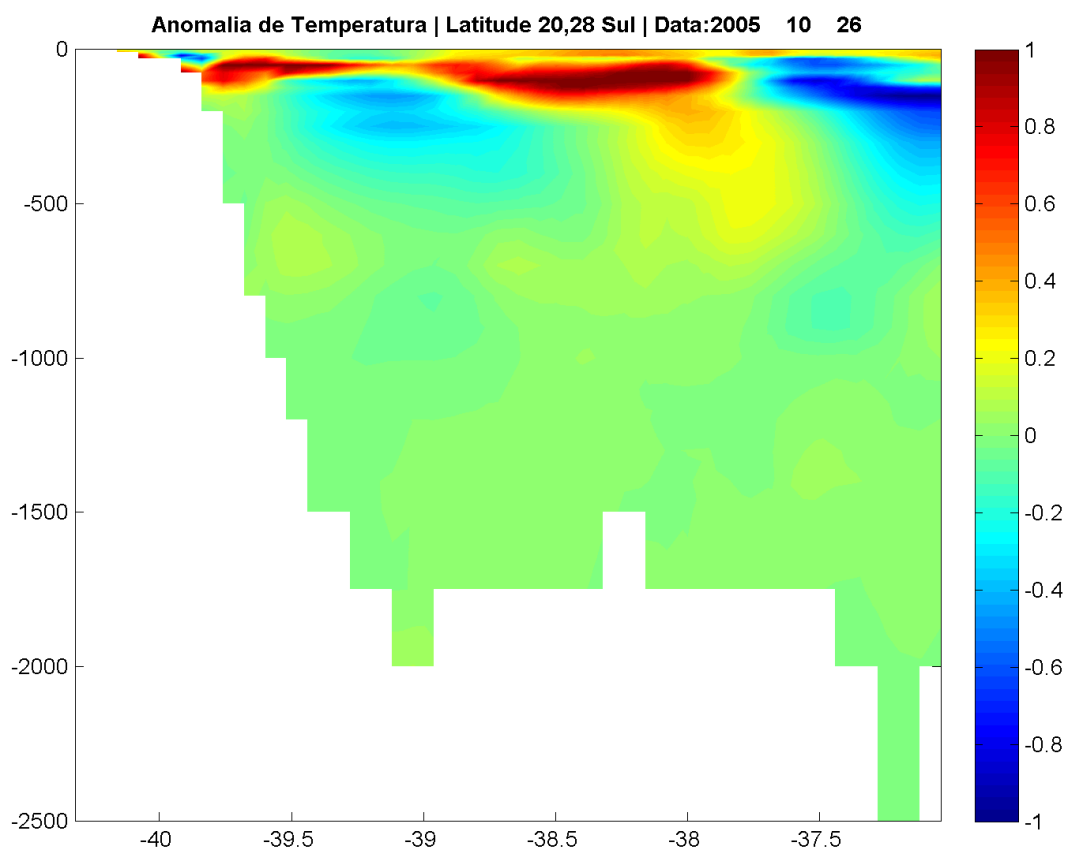


Figura 62: Seção de anomalia de temperatura para o dia 26/10/2005. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM.

No mapa de anomalia de temperatura, observa-se claramente uma anomalia negativa no núcleo do vórtice, de aproximadamente 100 a 300 metros, porém não atingindo a superfície.

3.4.2. ROMS

Nesta seção será apresentada uma modelagem realizada previamente neste projeto, entregue à Perenco, em novembro de 2009. Nesta, foi implementado um modelo numérico hidrodinâmico (*Regional Ocean Model – ROMS*), que pudesse reproduzir as condições oceanográficas da Bacia do Espírito Santo, apresentando assim evidências da formação, permanência e outras características da circulação de mesoescala dessa região.



Desta forma, confere-se maior robustez às análises feitas com base em modelagem numérica ao utilizar dois modelos diferentes, um global (HYCOM) e outro regional (ROMS), este elaborado exclusivamente para a investigação proposta neste projeto.

O ROMS é um modelo oceânico de superfície livre, coordenadas seguidoras de terreno e equações primitivas, utilizado pela comunidade científica em uma ampla gama de aplicações (HAIDVOGEL *et al.*, 2000; MARCHESIELLO *et al.*, 2003; PELIZ *et al.*, 2003; DI LORENZO, 2003; DINNIMAN *et al.*, 2003; BUDGELL, 2005; WARNER *et al.*, 2005; WILKIN *et al.*, 2005).

Tanto a grade horizontal quanto a grade vertical do ROMS utilizam diferenças finitas de segunda ordem centradas. As equações primitivas são discretizadas verticalmente sobre a variável topografia utilizando coordenadas seguidoras de terreno “esticadas” (SONG; HAIDVOGEL, 1994). As coordenadas esticadas permitem o aumento da resolução em áreas de interesse, como a termoclina e as camadas limites de fundo. Na horizontal, as equações primitivas são calculadas usando coordenadas ortogonais curvilíneas ajustadas ao contorno em uma grade C de Arakawa irregular.

Para este estudo, o domínio do modelo foi estabelecido de maneira a incluir a região dos Bancos de Abrolhos e Royal Charlotte ao norte, a Cadeia Vitória Trindade a leste e possuir extensão suficiente para o desenvolvimento e deslocamento do Vórtice Vitória. Foi desenhada uma grade curvilínea (Figura 63) com resolução espacial variável entre 2 e 4km na região dos Blocos da Perenco, do Vórtice de Vitória e da costa até pouco mais de cerca de 30 km em regiões de menor interesse. A grade possui ainda 30 níveis verticais sigma. Dessa forma, construiu-se uma grade com resolução espacial adequada para os objetivos do estudo ao mesmo tempo em que se pode otimizar o número de pontos utilizados, melhorando o desempenho computacional.



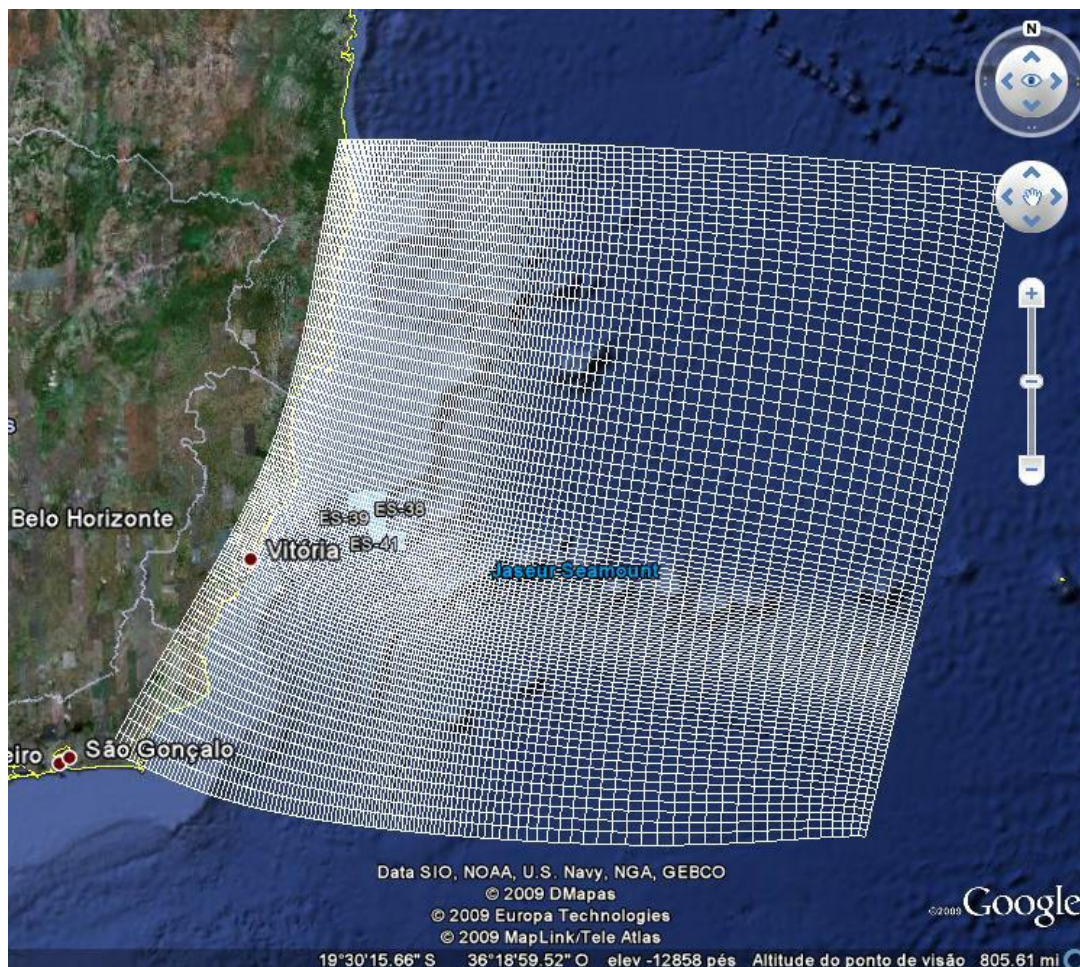


Figura 63: Grade numérica curvilínea utilizada nas simulações.

O modelo foi integrado por dois anos (2007 e 2008), sendo analisados apenas os dados de 2008 para manter a significância dos resultados, já que o modelo demorou 180 dias para atingir o estado de equilíbrio.

Para analisar as características espaciais e temporais da circulação da região, foram realizadas médias sazonais dos campos de velocidade superficiais e algumas características são aqui destacadas. Durante o verão, em média, observa-se maiores velocidades associadas ao fluxo da Corrente o Brasil, chegando a atingir valores superiores a 1m/s (Figura 64). As regiões cujo fluxo da CB são mais intensos estão entre 16°S e 18°S e ao sul de 21°S. Pode-se notar que o Vórtice de Vitória encontra-se presente nessa média, o que indica que esteve presente, senão sempre, ao menos na maior parte desse período.



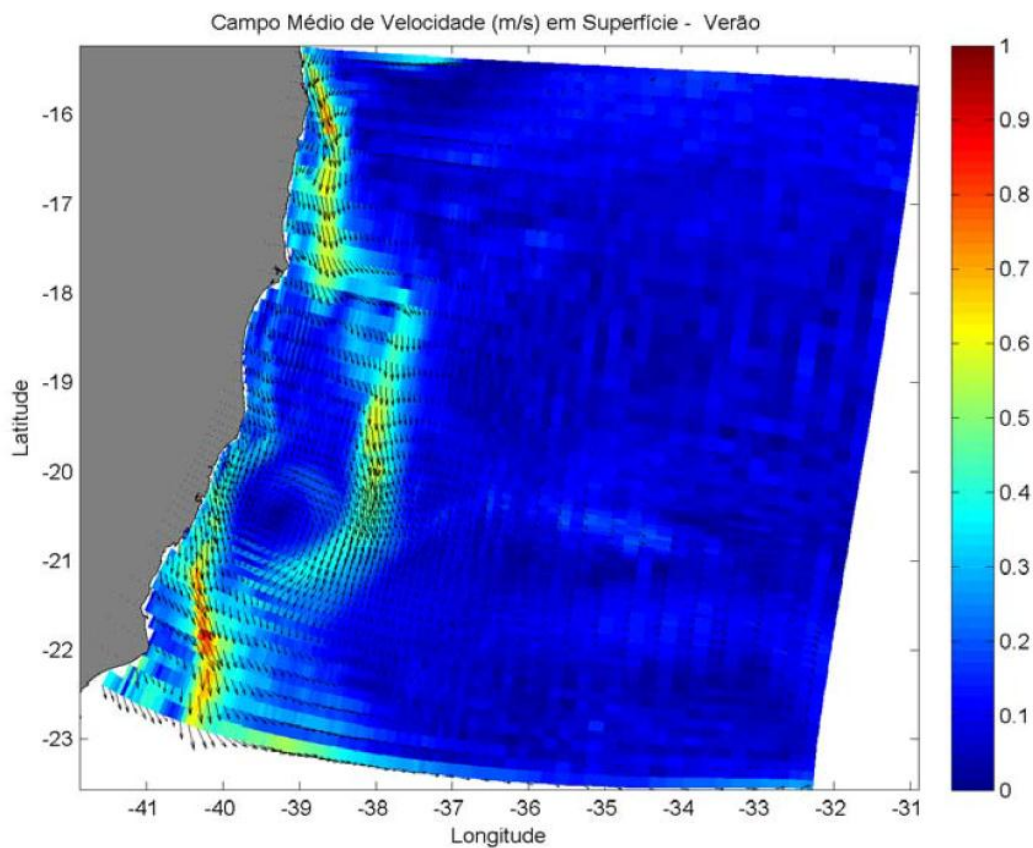


Figura 64: Campo médio de velocidade em superfície para o período de verão.

Durante o outono, o fluxo da CB não é tão intenso quanto no verão, em média (Figura 65). Com diminuição principalmente ao norte do Banco de Abrolhos (entre 16°S e 18°S). Nota-se novamente a presença do Vórtice de Vitória na média, o que indica sua permanência durante o outono.



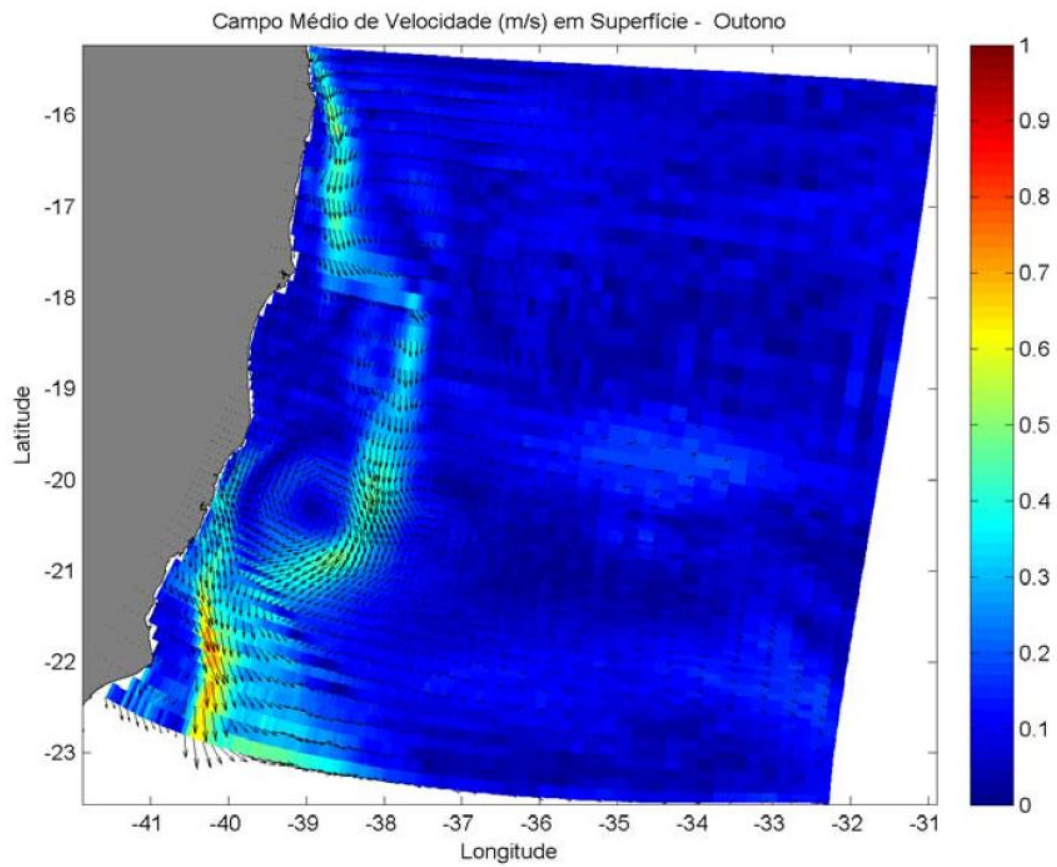


Figura 65: Campo médio de velocidade em superfície para o período de outono.



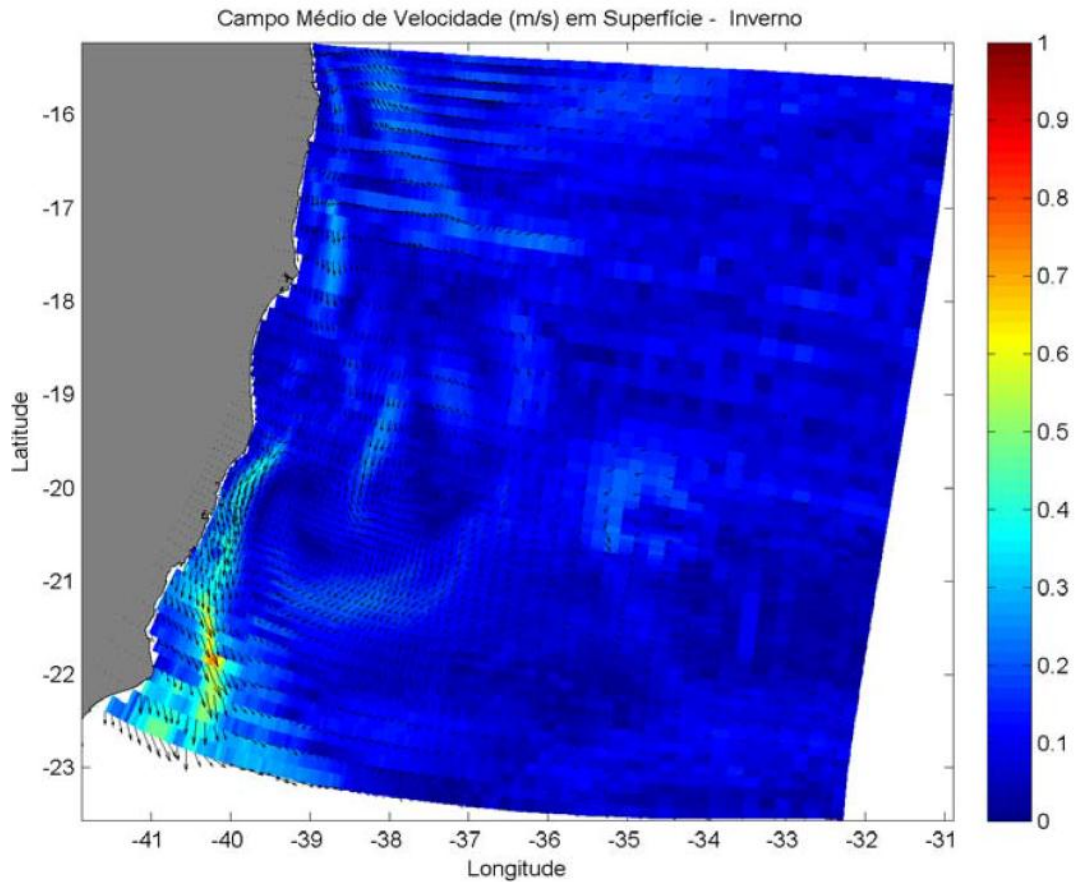


Figura 66: Campo médio de velocidade em superfície para o período de inverno.

Durante o inverno, há uma diminuição ainda maior do fluxo da CB, sendo que o fluxo superficial ao norte de 17°S apresenta uma inversão de sentido, rumando para norte (Figura 66). Isso pode ser um indicativo da influência da bifurcação da Corrente Sul Equatorial que se desloca mais para sul nessa época do ano. Desta vez, não é nítida a presença do Vórtice de Vitória na média, o que indica que ao menos durante a maior parte do inverno, o vórtice não estava presente.

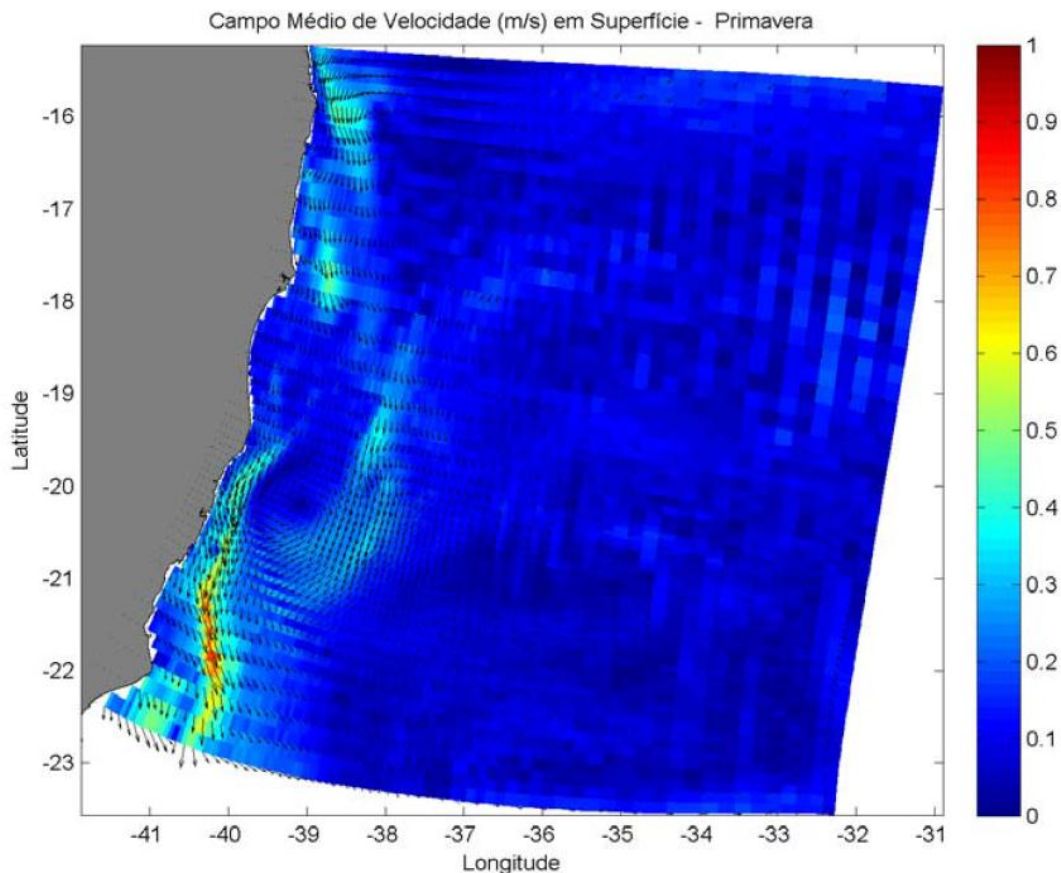


Figura 67: Campo médio de velocidade em superfície para o período de primavera.

Durante a primavera, o fluxo da CB volta a se intensificar, não havendo mais inversão de sentido na corrente ao norte do domínio (Figura 67). O Vórtice de Vitória volta a ser identificado.

Para uma caracterização mais adequada do Vórtice de Vitória, os campos médios de vorticidade relativa sazonais foram calculados (Figura 68 a Figura 71). Com estes campos podemos melhor determinar algumas características, como o diâmetro do vórtice e a localização do seu centro.

Durante o verão, o Vórtice de Vitória apresentou em média um diâmetro de 120 km, sendo centrado em 20,56°S e 39,26°W. No outono, o Vórtice de Vitória apresentou em média um diâmetro de 130 km, sendo centrado em 20,37°S e 39,0°W. Durante o inverno, o Vórtice de Vitória não se apresenta como uma estrutura coerente, em média. Já durante a primavera, o Vórtice de Vitória volta a ser observado, apresentando em média um diâmetro de 70 km, sendo centrado em 20,12°S e 39,18°W.



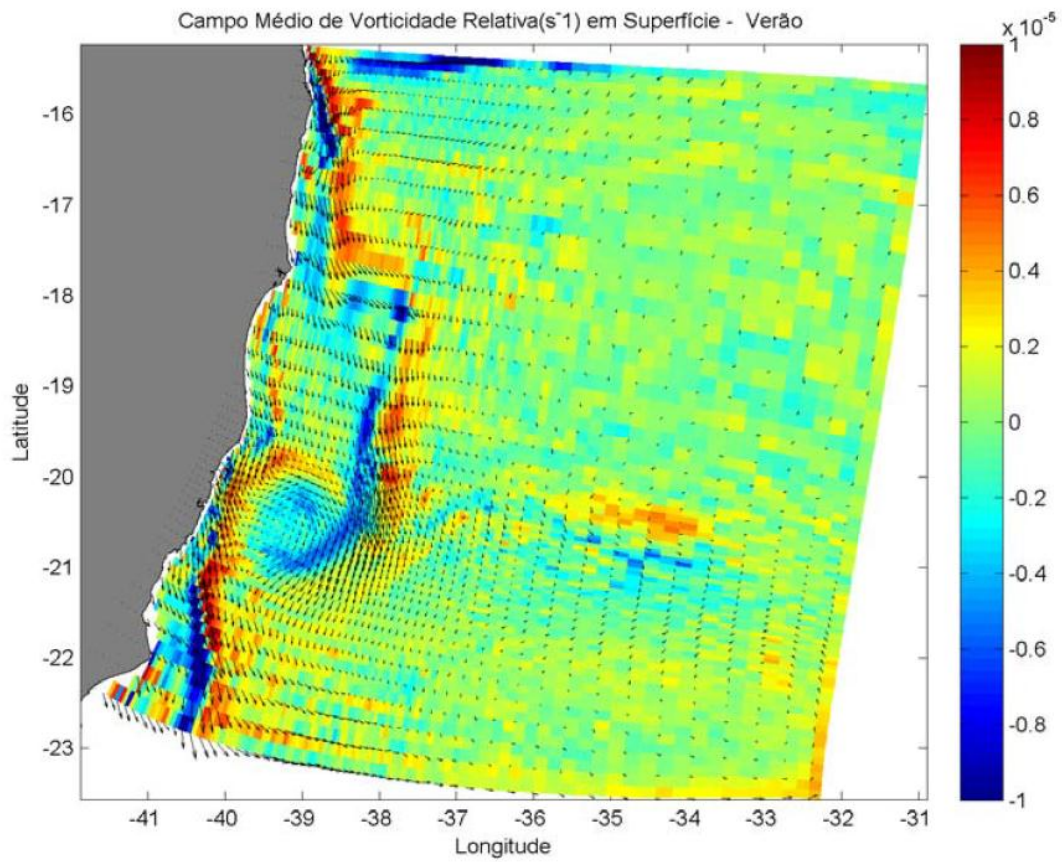


Figura 68: Campo médio de vorticidade relativa para o período de verão.

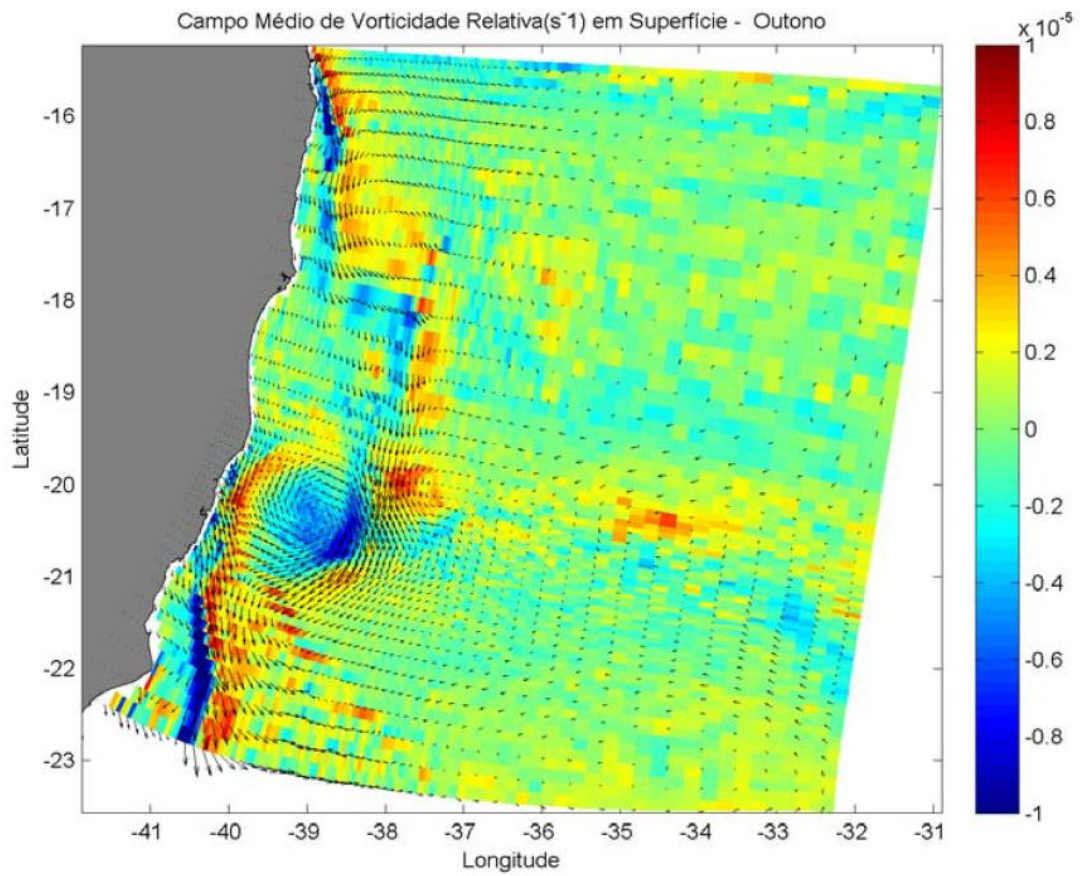


Figura 69: Campo médio de vorticidade relativa para o período de outono.



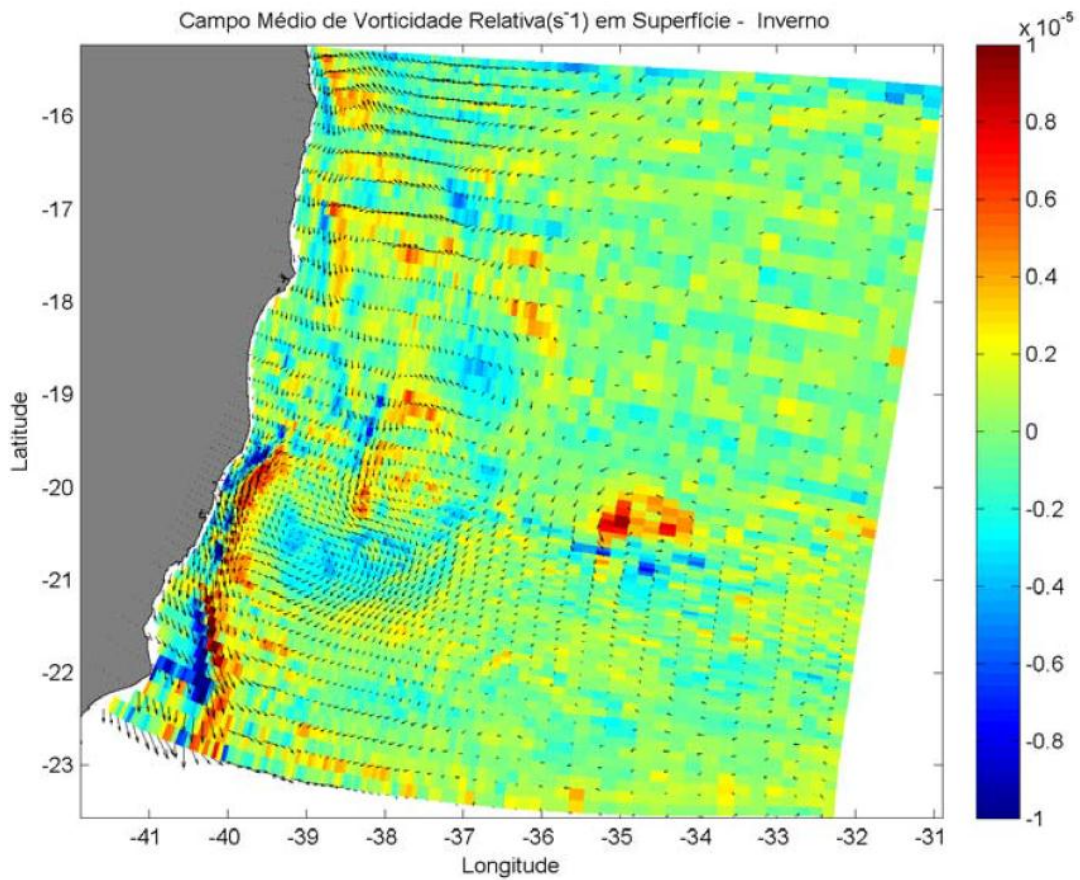


Figura 70: Campo médio de vorticidade relativa para o período de inverno.

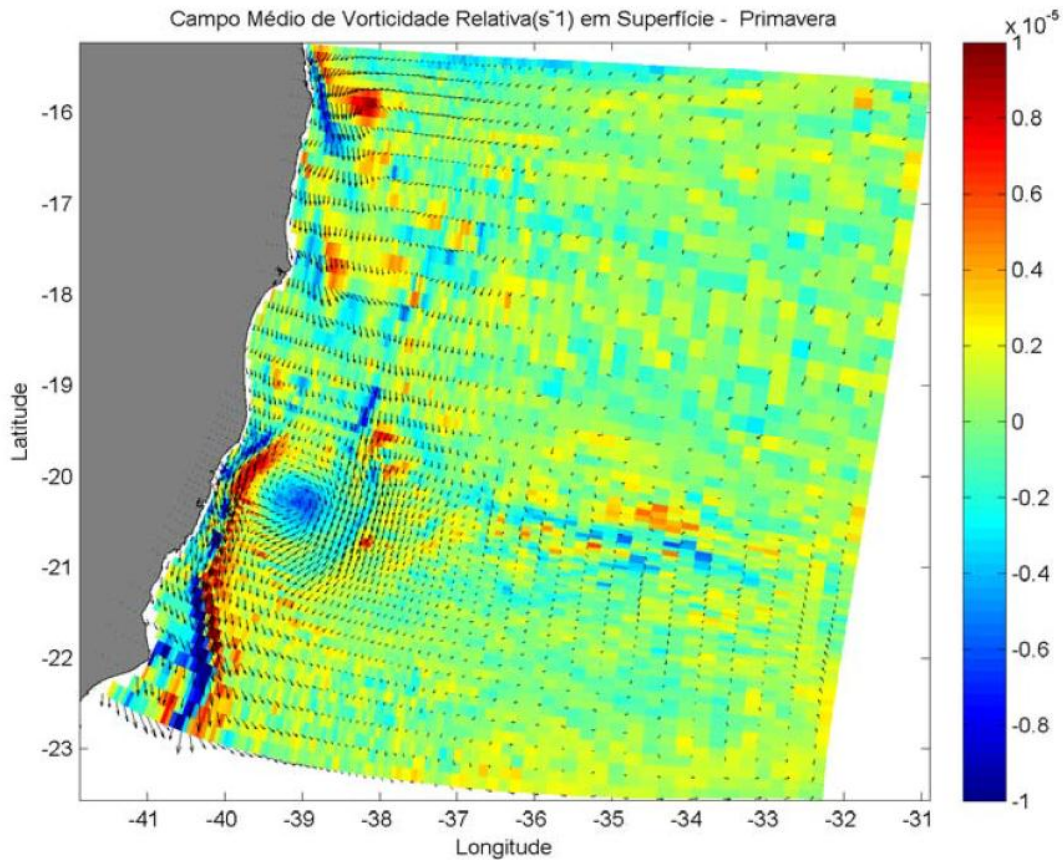


Figura 71: Campo médio de vorticidade relativa para o período de primavera.

Esses resultados numéricos indicam que há uma sazonalidade na presença do Vórtice de Vitória, sendo mais intenso durante o verão e outono, diminuindo de intensidade no inverno e voltando a aumentar durante a primavera. Tal fato também foi relatado por outros autores (vide capítulo 2).

Para melhor investigar a sazonalidade do Vórtice de Vitória, a vorticidade relativa integrada em superfície na região do vórtice, entre as longitudes de 39,8°S e 38,2°S e as latitudes de 21,4°S e 19,6°S (Figura 72) foi calculada para todo o ano de 2008. A Figura 73 mostra a série temporal obtida.

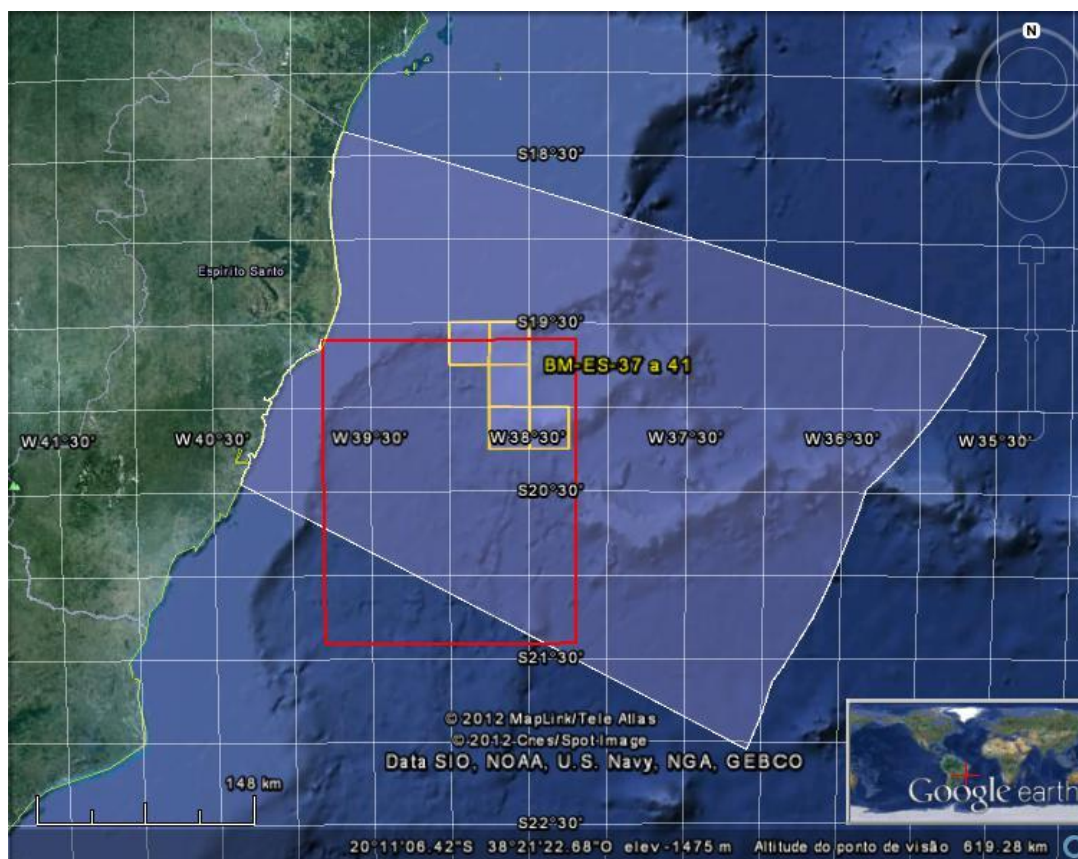


Figura 72: Posição da área de integração espacial da vorticidade relativa (quadrado vermelho) e dos blocos BM-ES-37 a 41. A área destacada representa a Baía do Espírito Santo.

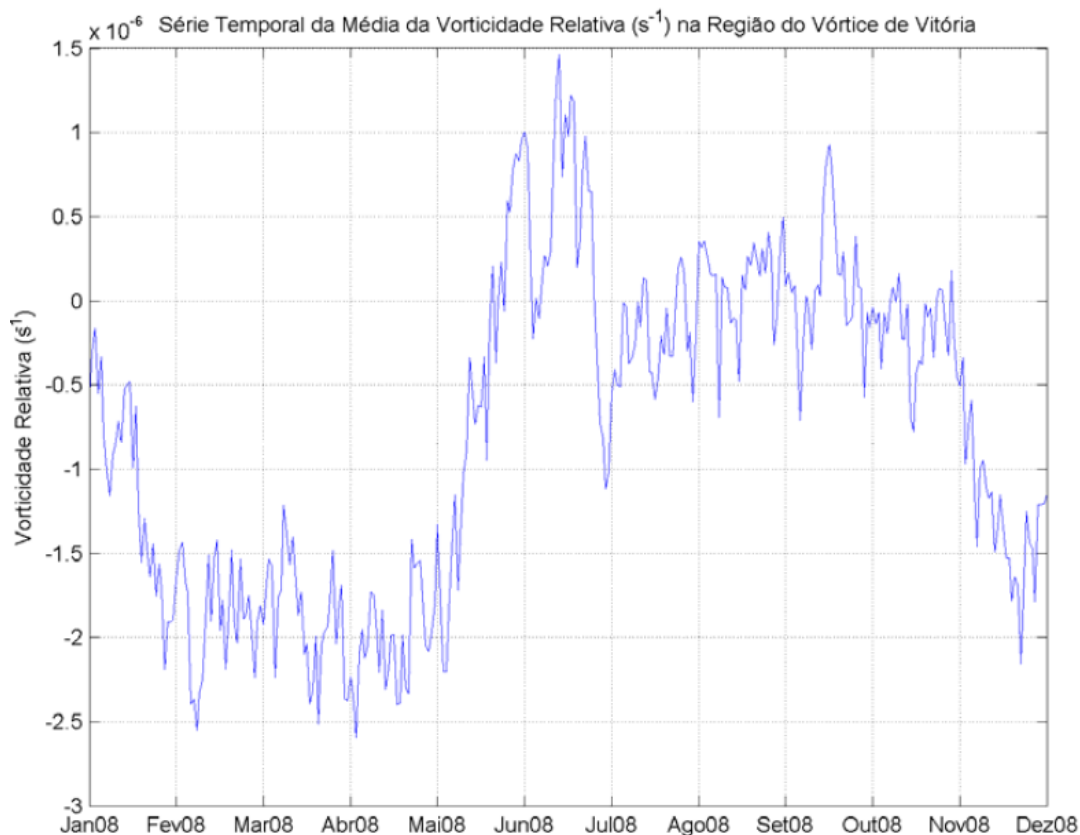


Figura 73: Série temporal de vorticidade relativa integrada na região do Vórtice de Vitória.

Novamente, podemos notar a sazonalidade da vorticidade relativa, que apresenta maiores valores (com sinal negativo) entre os meses de janeiro e abril. A partir de maio, a vorticidade passa a ter valores menores (em módulo), chegando a atingir valores positivos (o que indicaria tendência de rotação anticiclônica). De novembro em diante, a vorticidade novamente se intensifica.

Desta forma, os resultados do modelo mostram de forma clara que o Vórtice de Vitória não seria permanente, mas estaria presente na maior parte do ano, sendo mais intenso durante o verão/outono e menos (chegando a não estar presente) durante o inverno.

A partir desta modelagem específica, foi possível realizar uma análise mais detalhada da evolução do Vórtice de Vitória, e tecer considerações sobre sua formação e evolução.

Como demonstrado nas figuras anteriores, esse modelo foi capaz de reproduzir o Vórtice de Vitória e suas principais características, como localização, diâmetro, velocidades e estrutura vertical.



A Figura 74 mostra a circulação superficial indicando a presença do Vórtice de Vitória sobre a topografia oceânica. Essa figura ilustra algumas características importantes como a localização e interação do Vórtice de Vitória com a topografia e o fluxo da Corrente do Brasil (CB).

O mecanismo de formação desse vórtice, segundo indicado pelos resultados do modelo deve-se à passagem abrupta do fluxo da Corrente do Brasil de menores para maiores profundidades. Ao norte do Vórtice de Vitória, a CB flui sobre a quebra da plataforma continental, que encontra-se alargada devido à presença do Banco de Abrolhos. Logo após o término do Banco, a plataforma estreita-se de forma contundente, formando assim uma “fossa” sobre a qual o Vórtice de Vitória se situa, chamada de Embaiamento de Tubarão (COSTA, 2007). Nessa passagem de profundidades menores para maiores, ocorre o que é conhecido como estiramento do tubo de vórtice, que é o alongamento do fluxo e a sua consequente diminuição de diâmetro. Por conservação do momento angular, isso causa o aumento da velocidade tangencial do fluxo e portanto uma maior tendência à rotação (ou aumento da vorticidade relativa). Isso faz com que o fluxo gire ciclonicamente naquela região, formando o Vórtice de Vitória. Embora, esse seja o “berço” desse vórtice, o mesmo desloca-se a partir do seu local de origem, como já detectado por outros autores (vide Capítulo 2).



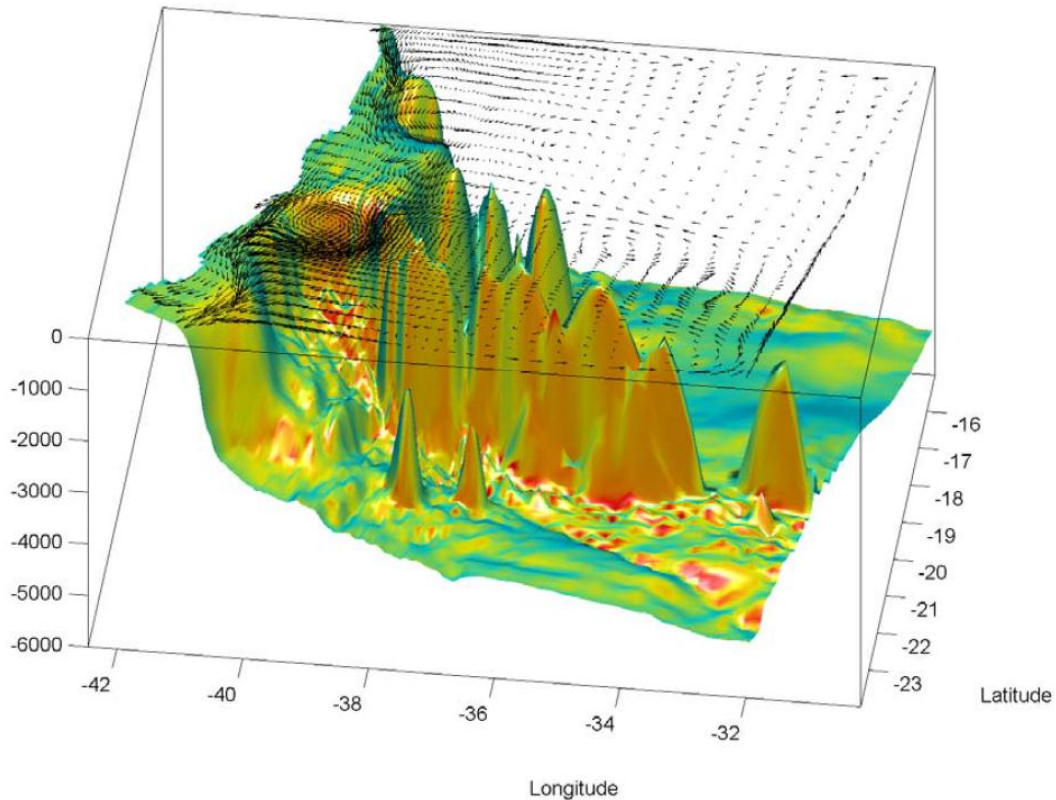


Figura 74: Campo de velocidade superficial sobreposto à batimetria local. O eixo vertical indica a profundidade, em metros.

Para estudar mais detalhadamente o Vórtice de Vitória, optou-se por analisar separadamente a região compreendida entre as longitudes de 39,8°S e 38,2°S e as latitudes de 21,4°S e 19,6°S, onde o vórtice encontra-se em sua maior parte. A Figura 75 mostra uma visão da estrutura vertical do vórtice e seu posicionamento em relação à topografia oceânica. Pode-se observar que o Vórtice de Vitória encontra-se “encaixado” no Embaiamento de Tubarão, tendo como obstáculos a quebra da plataforma continental a oeste, o Banco de Abrolhos a norte e a Cadeia Vitória-Trindade a leste. Pode-se notar também que o vórtice só se configura como uma estrutura coerente até aproximadamente 600m de profundidade. Esse detalhe fica ainda mais claro na Figura 76.



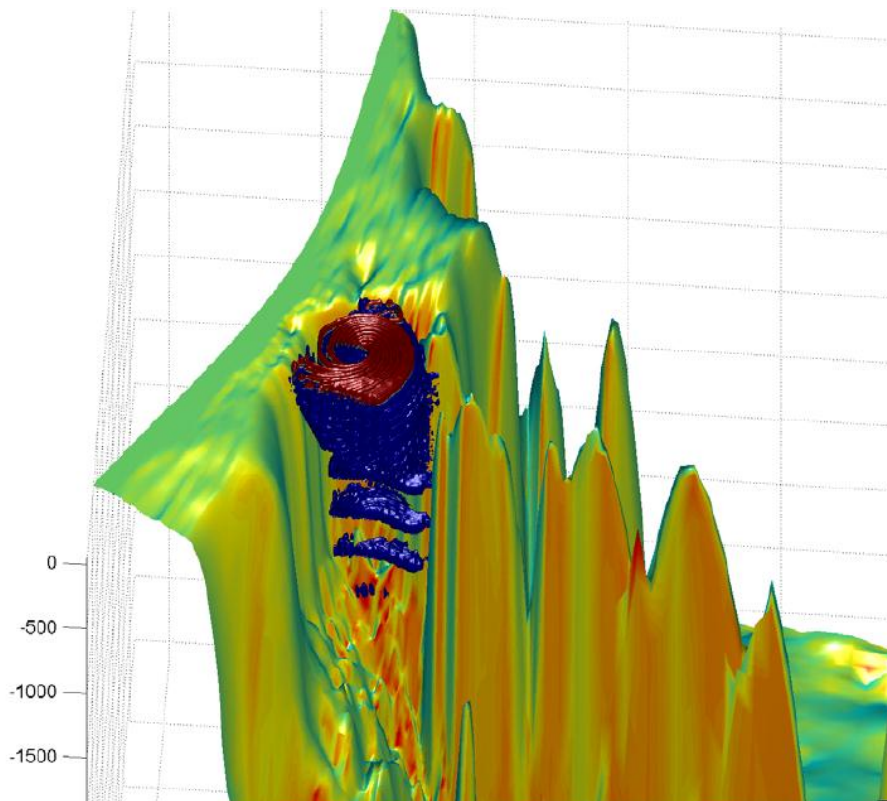


Figura 75: Detalhe do Vórtice sobreposto à topografia oceânica. O eixo vertical indica a profundidade, em metros.

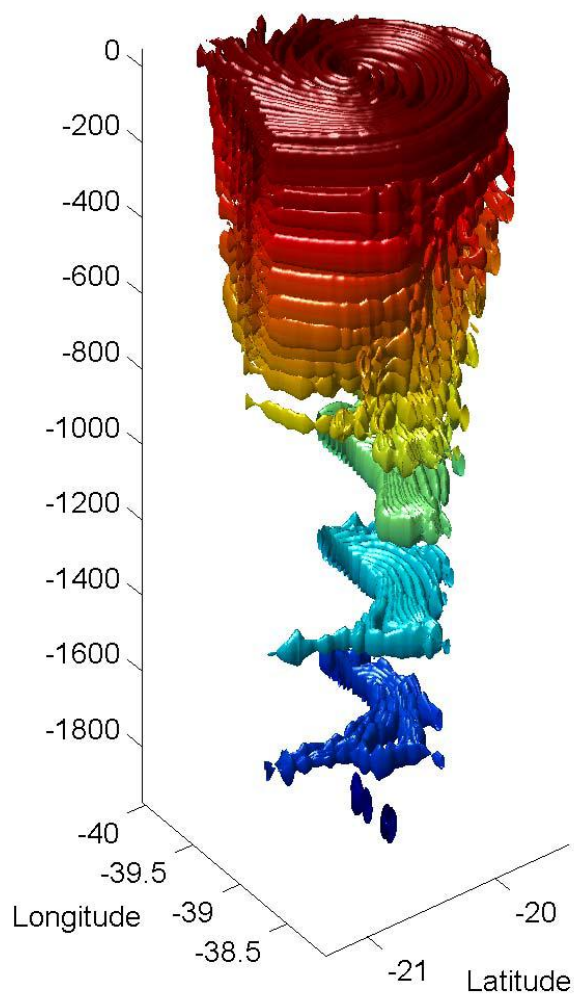


Figura 76: Estrutura vertical do Vórtice de Vitória. O eixo vertical indica profundidade, em metros.

Outra característica importante sobre a estrutura tridimensional do Vórtice de Vitória, que os resultados das simulações puderam destacar, foi a inclinação do eixo vertical. Pode-se observar na Figura 77 que o eixo inclina-se em relação ao plano vertical. Não é de nosso conhecimento que tal observação já tenha sido relatada em outros estudos, sendo assim, provavelmente inédita.



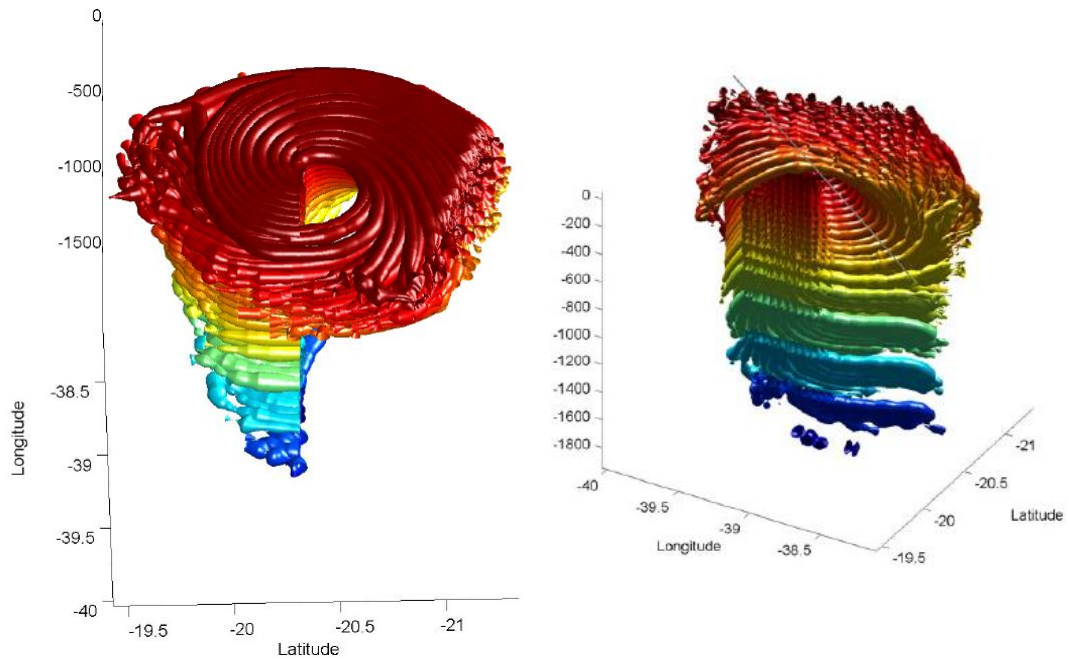


Figura 77: Visões em perspectiva da estrutura vertical do Vórtice de Vitória. Na figura a direita, a linha cinza evidencia a inclinação do eixo vertical do vórtice.

Outro resultado bastante interessante ocorreu no período entre 01 e 27 de junho de 2008 (Figura 78), quando o Vórtice de Vitória desloca-se primeiramente para leste e depois se divide, sendo que uma parte se desloca para norte, e passa pela Cadeia Vitória-Trindade, atingindo a latitude de 18,5°S. Comportamento semelhante foi descrito por Campos (2006) e caso seja comprovado, pode indicar que o Vórtice de Vitória possa também funcionar como um exportador de nutrientes para latitudes mais ao norte.

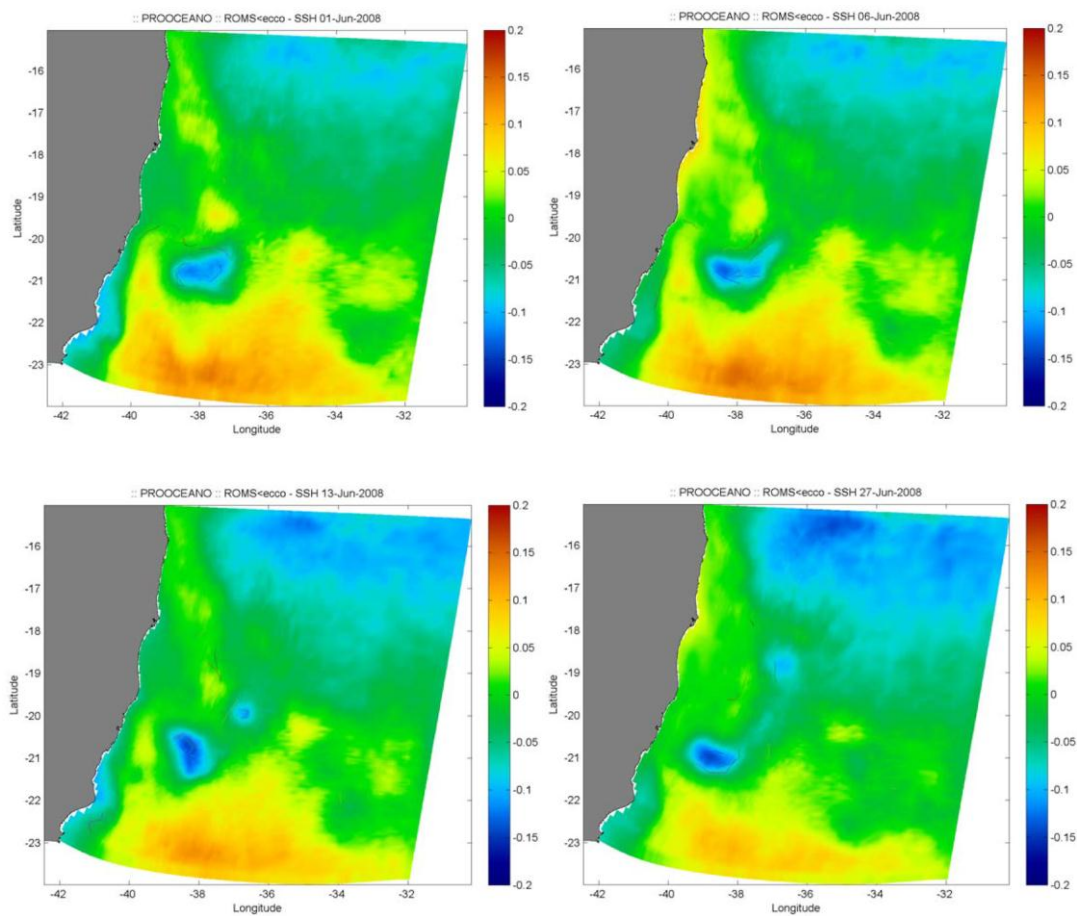


Figura 78: De cima para baixo, da esquerda para a direita, campos de elevação da superfície livre de 01, 06, 13 e 27 de Junho de 2008.

4. Identificação e Monitoramento das Feições de Mesoescala

4.1. Projeto mondoPERENCO

O Projeto mondoPERENCO foi desenvolvido para o monitoramento das correntes de deriva superficial em tempo real, durante as atividades de perfuração nos Blocos BM-ES-37 a 41, na Bacias do Espírito Santo. De novembro de 2011 a fevereiro de 2012, uma vez por mês, um arranjo de três derivadores do tipo WOCE-SVP foi lançado no mar na região ao redor dos blocos.

Ao longo deste capítulo serão descritas as campanhas de lançamento, as estatísticas de operação dos derivadores e os resultados obtidos, interpretados com base na oceanografia local. O período analisado abrange os dados transmitidos entre 01 de novembro de 2011 e 16 de março de 2012 (último dia em que se coletou informações para a presente análise).

O monitoramento dos derivadores permite a coleta de informações como temperatura da superfície do mar, direção e intensidade das correntes e possíveis desvios de padrão. Todas as informações obtidas, bem como aquelas que continuam a ser transmitidas pelos derivadores, podem ser acessadas na página do projeto: <http://prooceano.com.br/prooceano/perenco>.

4.1.1. Metodologia

O Programa de Monitoramento Ambiental da operação de perfuração nos Blocos BM-ES-37 a 41, no que diz respeito às condições oceanográficas, consistiu no lançamento de três derivadores do tipo WOCE-SVP (vide capítulo 3.1), mensalmente, durante 4 meses, próximo aos blocos, totalizando 12 derivadores lançados. Para cada campanha, uma radial latitudinal contendo três pontos de lançamento foi escolhida, com o objetivo de tentar registrar o Vórtice de Vitória nos dados dos derivadores.

As radiais escolhidas para cada campanha, bem como os pontos de lançamento, são apresentadas na Figura 79.



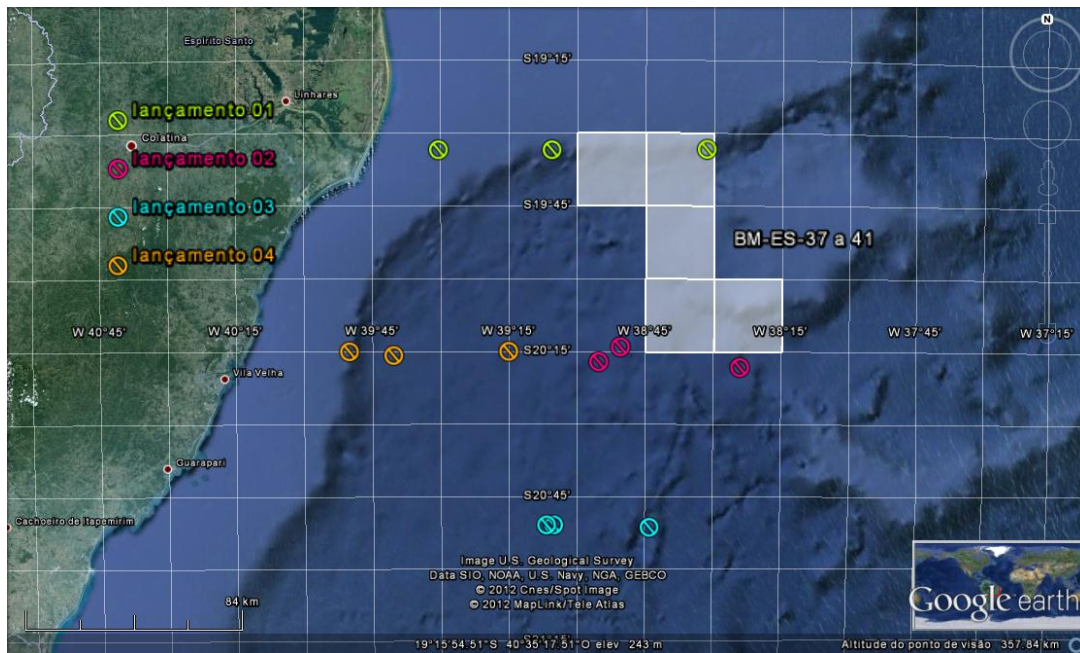


Figura 79: Pontos de lançamento dos derivadores do Projeto mondoPERENCO, bem como a região delimitada pelos blocos BM-ES-37 a 41.

O Projeto teve início no dia 1º de novembro de 2011, com o primeiro lançamento. A quarta e última campanha de lançamento foi realizada no dia 18 de fevereiro de 2012.

4.1.2. Resultados

Os resultados aqui apresentados baseiam-se em análises realizadas nos dados gerados até o dia 16/03/2012.

4.1.2.1. Lançamentos

O projeto proposto prevê o lançamento mensal de 3 derivadores dispostos em uma radial. Por motivos operacionais, o lançamento que ocorreria no mês de dezembro foi transferido para o final de novembro. O calendário de lançamentos dos derivadores é apresentado na Figura 80.

Atenta-se para o fato do segundo lançamento ter ocorrido em dois dias, em função de ter sido realizado na virada de um dia para o outro.

November 2011							January 2012							February 2012						
S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7				1	2	3	4
6	7	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	13	14	5	6	7	8	9	10	11
13	14	15	16	17	18	19	15	16	17	18	19	20	21	12	13	14	15	16	17	18
20	21	22	23	24	25	26	22	23	24	25	26	27	28	19	20	21	22	23	24	25
27	28	29	30				29	30	31					26	27	28	29			

Figura 80: Datas de lançamento dos derivadores. O mês de dezembro foi retirado do calendário por não ter ocorrido nenhum lançamento nesse período.

4.1.2.2. Tratamento dos dados

Todos os dados gerados pelos derivadores passaram por um controle de qualidade, em que os dados considerados espúrios foram eliminados. Essa eliminação utilizou como critério a velocidade estimada pelo derivador. Como a velocidade depende da informação de duas transmissões consecutivas, a correta remoção de dados espúrios depende de um método eficiente de identificação de qual das duas (ou ambas) informações é incorreta. Para isto, utilizou-se a metodologia proposta por Hansen & Poulain (1996), mesma aplicada aos dados do GDP, que realiza a análise das velocidades tanto avançando quando regredindo no tempo.

Desta forma, das 6.237 transmissões de informações dos derivadores, 6.015 foram consideradas válidas (96,4% do total). Do total de dados válidos transmitidos pelos derivadores WOCE-SVP, 4.360 foram gerados a partir de derivadores que ainda estavam com o drogue acoplado ao equipamento.

Um mapa apresentando a distribuição espacial de todos os dados válidos gerados pelos derivadores do Projeto mondoPERENCO é apresentado na Figura 81. E um mapa apresentando somente os dados válidos gerados pelos derivadores com o drogue ainda acoplado ao equipamento pode ser visualizado na Figura 82. Os mapas foram confeccionados com resolução de 1/2 de grau.



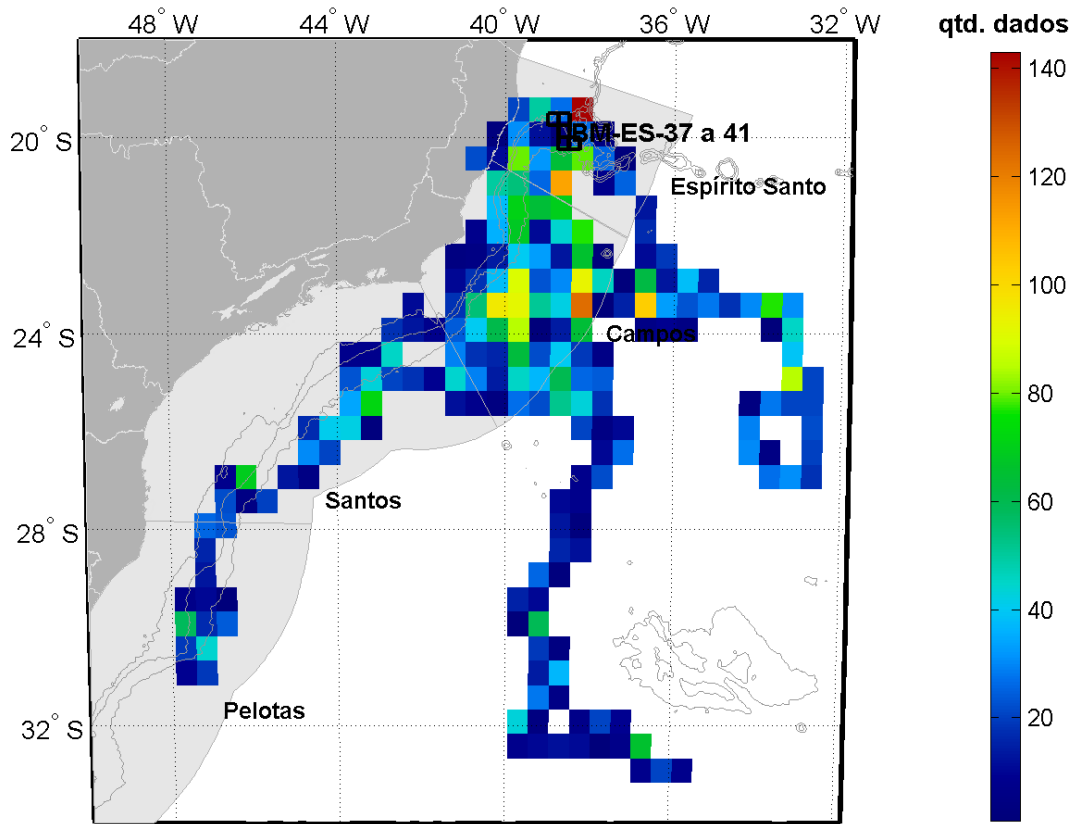


Figura 81: Distribuição espacial dos dados válidos gerados pelos derivadores. As células em branco não possuem dados. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m 1.000 m e 2.000 m. As áreas destacadas representam as Bacias do Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas.

Os dados gerados abrangem grande parte da plataforma e do talude continental das Bacias do Espírito Santo e Campos, compreendendo as latitudes de 19°S e 26°S e longitudes de 42°W e 38°W. Três trajetórias se destacam: uma na região de quebra da plataforma continental, outra em direção sul, próximo à longitude de 38°W, e uma para sudoeste dos blocos. Essas trajetórias correspondem aos derivadores lançados na primeira campanha.

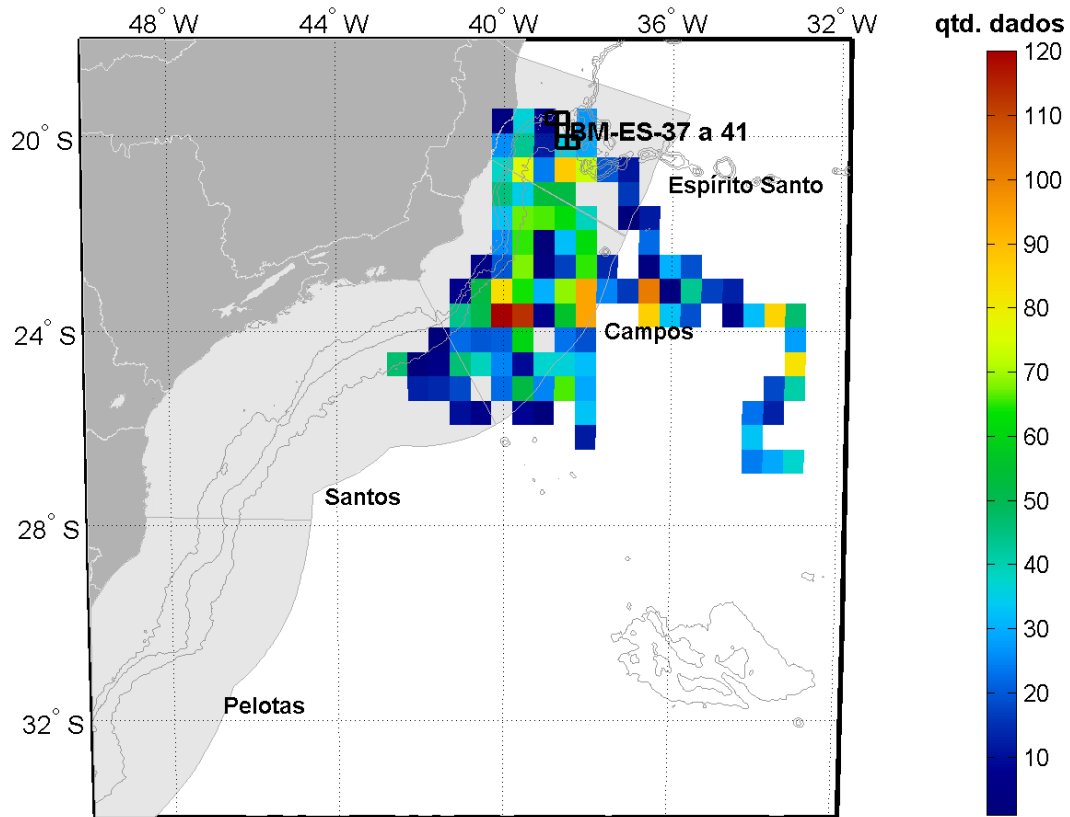


Figura 82: Distribuição espacial dos dados válidos gerados pelos derivadores com o *drogue* acoplado ao equipamento. As células em branco não possuem dados. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m, 1.000 m e 2.000 m. As áreas destacadas representam as Bacias do Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas.

Os dados gerados pelos derivadores com o *drogue* ainda acoplado ao equipamento apresentam-se mais restritos às áreas das Bacias do Espírito Santo e de Campos.

Na Figura 83 é apresentado um gráfico *spaghetti* das trajetórias (com e sem *drogue*) descritas por todos os derivadores lançados até o dia 16 de março de 2012.



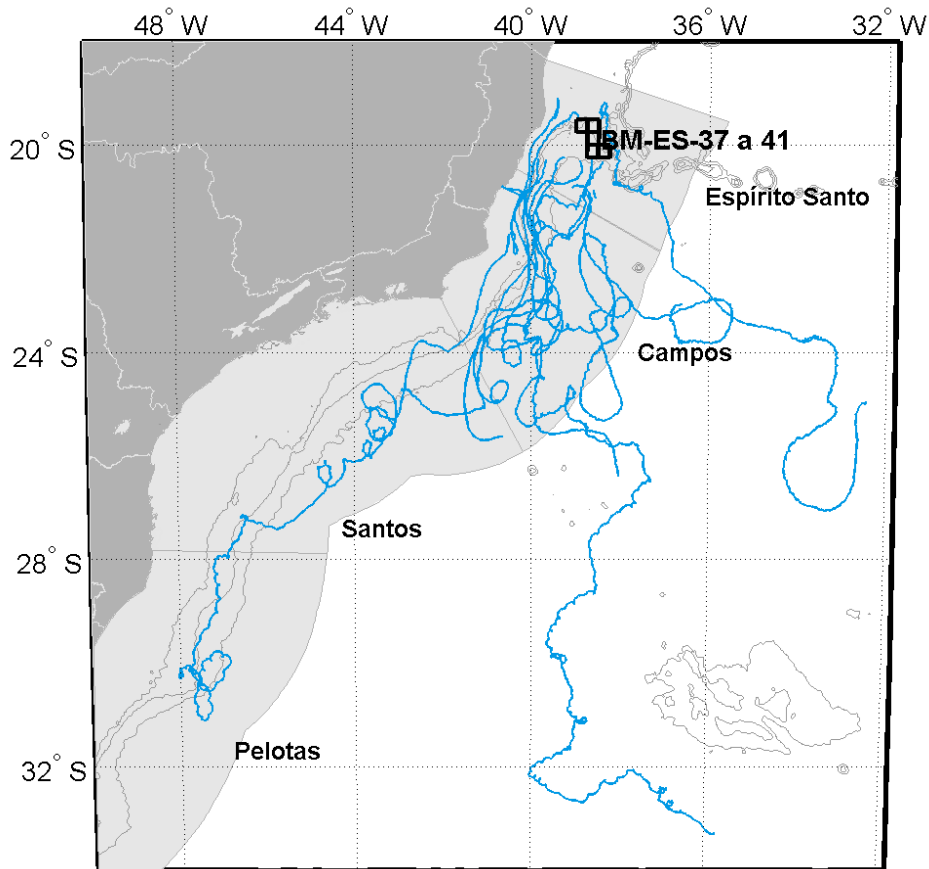


Figura 83: Trajetórias percorridas pelos derivadores. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m, 1.000 m e 2.000 m. As áreas destacadas representam as Bacias do Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas.

Dos 12 derivadores lançados, apenas 2 seguiram o sentido preferencial da Corrente do Brasil, ao se deslocarem sobre a quebra da plataforma continental. Com exceção de um derivador, que foi capturado por uma embarcação, os demais derivaram para sul/sudoeste, se distanciando da costa.

Não foi possível a realização de análises de velocidade nos dados dos derivadores, em função do reduzido número de caixas com confiança estatística (vide explicação dos critérios estatísticos estabelecidos para a análise dos dados no item 3.1.1).

4.1.2.3. Temperatura

Na Figura 84, é apresentado um gráfico com a variação da temperatura, de acordo com a latitude e o tempo, a partir dos dados obtidos por todos os derivadores.

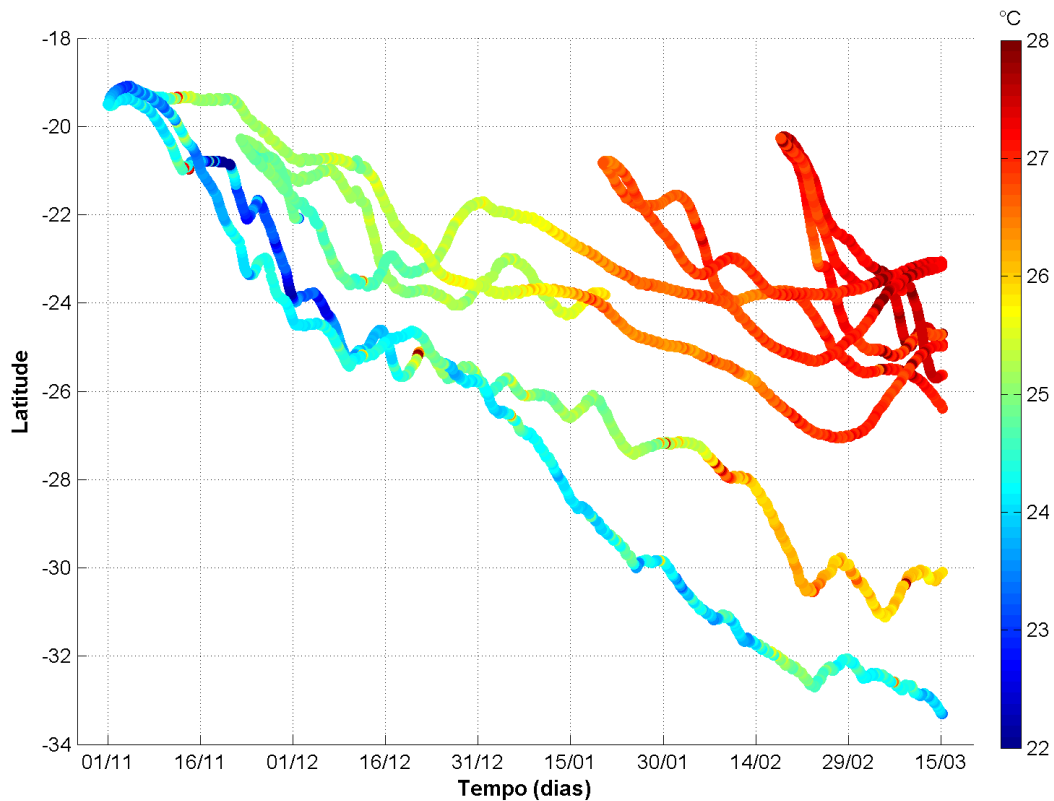


Figura 84: Variação da temperatura obtida pelos derivadores com a latitude no tempo.

A variação sazonal é bem marcada nos dados, tendo os derivadores lançados em janeiro e fevereiro apresentado maiores temperaturas que os demais. Apesar do reduzido número de derivadores, a distribuição dos dados em latitude é bem abrangente, tendo sido gerado informações até 33,8°S. As medições próximas aos Blocos (latitude ~20°S) registraram temperaturas próximas a 22°C, em novembro, e 27°C, em fevereiro.

4.1.2.4. Feições de mesoescala

Operações *offshore* dependem crucialmente do conhecimento das condições hidrodinâmicas da região, em particular do sistema de correntes sobre a quebra da plataforma continental e o sopé. Na costa brasileira, esta é a região preferencial de presença da Corrente do Brasil, que

por emitir intensos vórtices, capazes de inverter as correntes em relação à situação média e ter velocidades superiores a esta, introduz sérios riscos à infraestrutura da exploração de petróleo.

Neste contexto, os dados de todos os derivadores com o *drogue* acoplado ao equipamento foram analisados para fins de caracterização e quantificação dos vórtices presentes na região da Bacia Oceânica SE/S do Brasil.

As radiais de lançamento dos derivadores foram determinadas com o objetivo de lançá-los na região mais provável à formação do Vórtice de Vitória. Apesar deste cuidado, nenhum derivador foi capturado pelo vórtice. No entanto, o registro de um possível meandramento da corrente na região próxima aos Blocos levou a crer ser um sinal do vórtice (Figura 85). Desta forma, as análises apresentadas a seguir são voltadas para a identificação do possível vórtice na região.

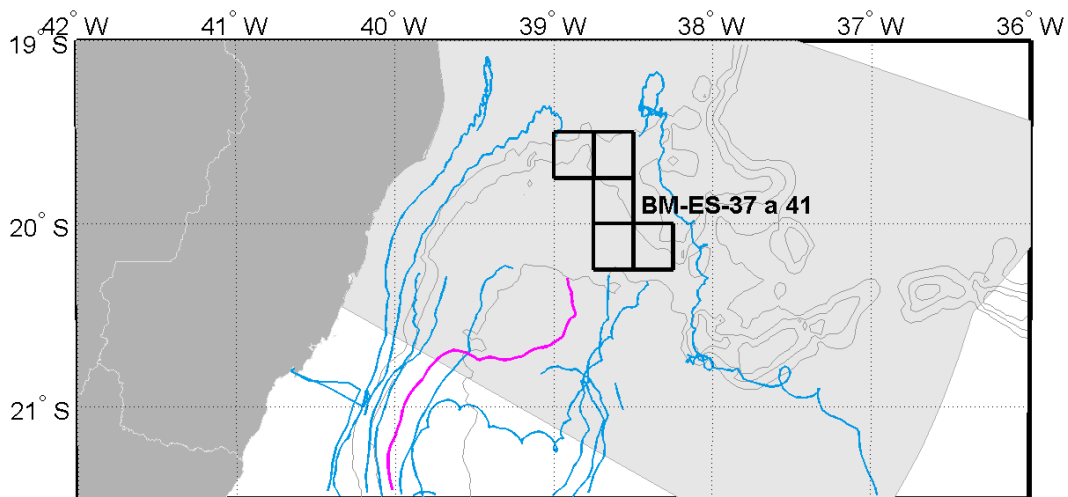


Figura 85: Trajetórias percorridas pelos derivadores. Em destaque, a trajetória do derivador que apresentou um meandramento. Zoom da região próxima aos Blocos BM-ES-37 a 41. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m, 1.000 m e 2.000 m. A área destacada representa a Bacia do Espírito Santo.

O período identificado como o início e o fim do meandramento vai de 22 a 27 de novembro de 2011. A confirmação da existência ou não do vórtice foi realizada através da análise de produtos derivados de satélite, nesse caso dados de TSM do produto OSTIA, e de modelagem numérica, resultados do HYCOM, obtidos para o mesmo período. Infelizmente, uma análise utilizando também dados de clorofila da superfície do mar não foi possível, devido a persistente cobertura de nuvens durante o período de interesse.

Desta forma, uma média dos campos de TSM do OSTIA para todo o período foi feita e é apresentada na Figura 86.



Média: 22-11-2011 | 27-11-2011

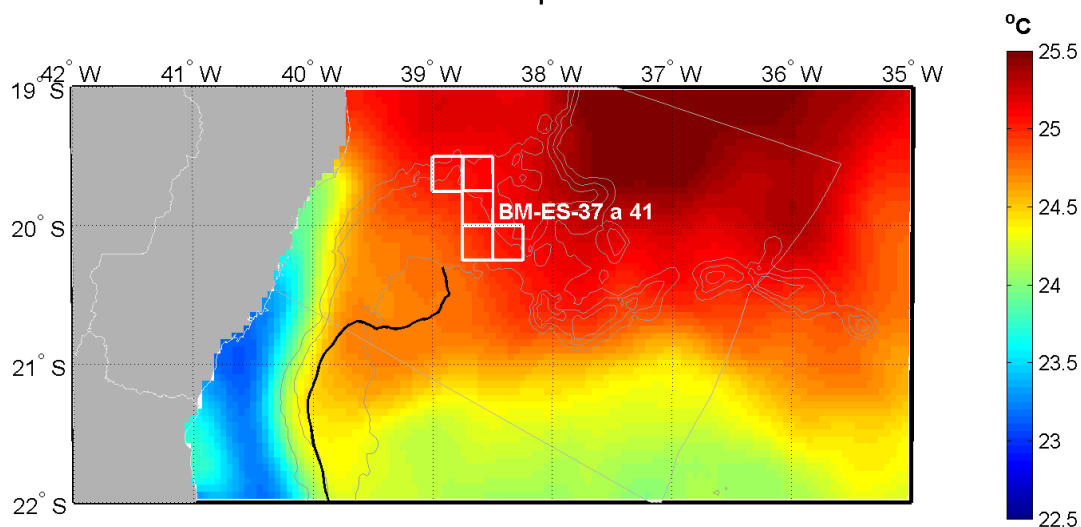


Figura 86: Trajetória do derivador sobreposta ao campo médio de TSM do produto OSTIA para o período de 22 a 27 de novembro de 2011. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m, 1.000 m e 2.000 m. A área destacada representa a Baía do Espírito Santo.

A partir campo médio de TSM do período de identificação do meandro, não foi possível identificar o sinal de uma atividade ciclônica ocorrendo na região. No entanto, analisando um dia antes do lançamento do derivador, no dia 21 de novembro (Figura 87), foi possível observar uma feição, aparentemente circular, mais fria que a área ao redor, podendo ser o sinal do VV. Nota-se ainda que a região de identificação dessa feição coincide com o meandro registrado pelo derivador.



21-Nov-2011

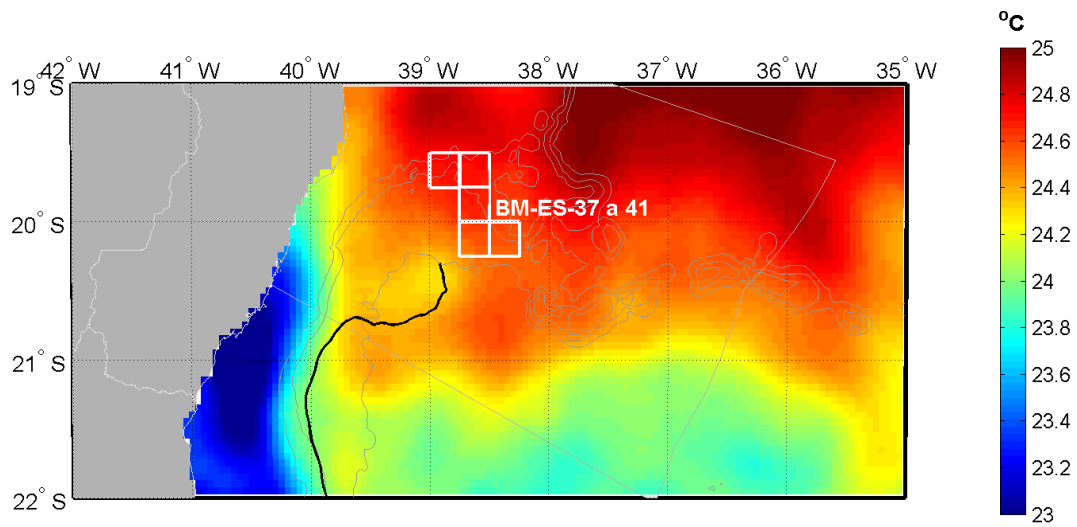


Figura 87: Trajetória do derivador sobreposta ao campo de TSM do produto OSTIA para o dia de 21 de novembro de 2011. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m, 1.000 m e 2.000 m. A área destacada representa a Baía do Espírito Santo.

O campo de vorticidade relativa médio do período analisado, oriundo dos resultados do modelo numérico HYCOM, é apresentado na Figura 88.

Hycom | Média | 22/11/2011 a 26/11/2011

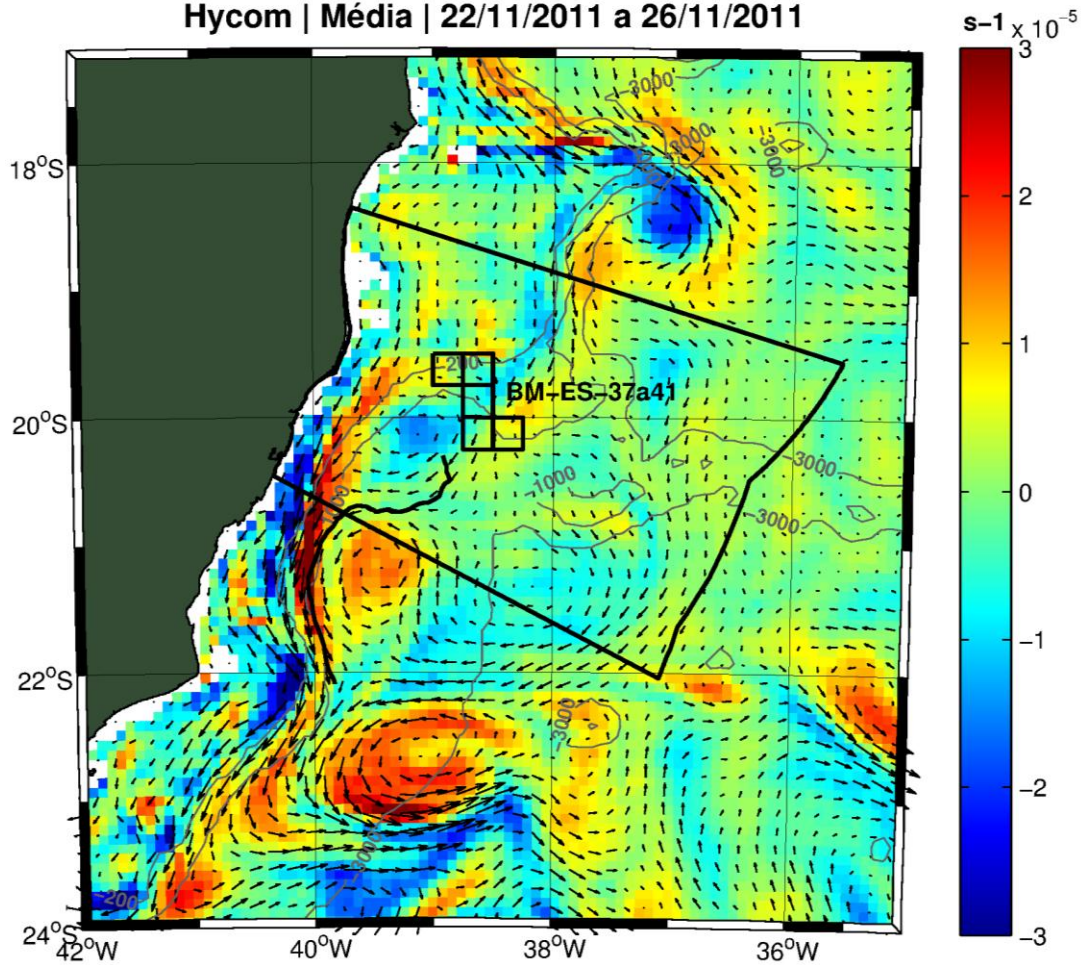


Figura 88: Trajetória do derivador sobreposta ao campo de vorticidade relativa médio para o período de 22 a 26 de novembro de 2011. Mapa gerado a partir de dados obtidos no banco de dados do HYCOM. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 m, 1.000 m e 3.000 m. A área destacada representa a Baía do Espírito Santo.

Observa-se uma região de vorticidade negativa um pouco acima do meandro registrado pelo derivador, indicando um possível sinal do VV. Logo abaixo, nota-se o sinal de um vórtice anticiclônico e do derivador bordejando essa feição. Pela trajetória apresentada pelo derivador, o campo médio de vorticidade relativa e corrente do HYCOM está representando bem as feições formadas na região para o período analisado.

Não foi possível identificar a dimensão do vórtice, uma vez que o derivador apenas registrou o meandro formado, e não o vórtice em sua totalidade.

5. Conclusão

O Projeto de Caracterização da Circulação de Mesoescala foi desenvolvido para atender o escopo proposto pela Perenco ao CGPEG/IBAMA, no Capítulo II.10.7 do Estudo de Impacto Ambiental da Atividade de Perfuração Marítima na Área Geográfica dos Blocos BM-ES-37, 38, 39, 40 e 41.

A metodologia para avaliação do padrão de circulação de mesoescala na região considera três etapas. Como a primeira etapa já foi realizada, este relatório procura atender ao que está proposto nas segunda e terceira etapas.

Na segunda etapa, dois anos de dados pretéritos de sensoriamento remoto relativos à temperatura da superfície do mar (TSM) e à elevação da superfície do mar, além de dados de derivadores oceânicos e modelagem numérica foram utilizados, com o intuito de gerar uma climatologia da circulação de mesoescala da Bacia do Espírito Santo, com especial ênfase no Vórtice de Vitória.

A terceira etapa compreendeu a identificação e monitoramento das feições de mesoescala através do sensoriamento remoto em conjunto com dados existentes de derivadores oceânicos., apesar da grande complexidade da circulação na Bacia do Espírito Santo, gerada pela interação do fluxo com a topografia do fundo oceânico que na região apresenta feições peculiares como a cadeia Vitória-Trindade e o Banco de Abrolhos, observaram-se alguns padrões no comportamento da circulação local, com base nas análises realizadas.

A Corrente do Brasil, observada fluindo para sudoeste em trajetória meandrante, apresentou marcada sazonalidade. Maiores velocidades associadas ao fluxo da CB foram observadas durante o verão, com valores entre 0,5 e 1 m/s. As regiões entre 16°S e 18°S e ao sul de 21°S apresentam fluxo mais intenso. Durante o inverno o fluxo da CB é menos intenso, com valores de aproximadamente 0,3 m/s e intensidade maior nas regiões supracitadas. Observou-se ainda, nos resultados do modelo ROMS uma inversão no sentido do fluxo superficial ao norte de 17°S, indicando a influência da bifurcação da Corrente Sul Equatorial que se desloca para o sul nesta época do ano.

Na região próxima a latitude de 20°S, a plataforma continental apresenta mudança brusca de largura e o fluxo da CB, ao passar pela cadeia Vitória-Trindade, encontra maiores profundidades, resultando em diminuição da intensidade do fluxo e aumento de sua tendência à rotação. Esse conjunto de fatores faz com que essa região apresente forte atividade meandrante, podendo gerar o Vórtice de Vitória. De acordo com as análises realizadas, a formação deste vórtice está relacionada com a intensidade com que o fluxo da CB chega ao



Embaçamento do Tubarão e, possivelmente, à intensidade e profundidade do fluxo com sentido norte da CCI.

As análises de vorticidade relativa integrada na região do Vórtice de Vitória, realizadas com os dados de modelagem numérica e de altimetria multisatélite indicam que:

» O VV não é permanente durante todo o ano, pelo menos em superfície, apresentando valores até mesmo positivos, em diversos trechos dos dados.

» O VV possui uma sazonalidade bem marcada, sendo mais intenso no período de verão e outono e menos intenso nos períodos de inverno e primavera.

Dados de derivadores identificaram uma região de atividade ciclônica na análise média das velocidades obtidas em 14 anos de dados, indicando que a provável região de formação do VV situa-se em torno de 20,75°S e 20°S e 39,6°W e 38,8°W. Esta região de formação do VV obtida a partir da análise de derivadores está de acordo com as análises de vorticidade relativa realizadas com dados de modelagem numérica e altimetria multisatélite. Desta forma, os blocos BM-ES-37 a 41 situam-se na borda leste do vórtice.

A sazonalidade do Vórtice de Vitória e da Corrente do Brasil apresenta-se em fase, corroborando a hipótese de que o mecanismo de formação proposto depende de certa intensidade da CB, presente em média nos meses de verão. Apesar do padrão sazonal observado, o vórtice pode ser observado em outras épocas do ano, como evidenciado pela trajetória do derivador na primavera de 2005, simulado pelo modelo HYCOM e observado na velocidade média dos dados de derivadores.

A posição central do VV observada nos resultados revelou-se coerente com a pesquisa de outros autores (vide capítulo 2), em aproximadamente 20,3°S e 39°W, encaixado no Embaçamento do Tubarão. Segundo as análises, o vórtice possui diâmetro de aproximadamente 100 km. O movimento de translação para o norte, descrito por Campos (2006), foi observado na modelagem elaborada para esse estudo com o modelo ROMS, porém não comprovada com dados. Os dados de derivadores registraram uma translação do vórtice para sudoeste.

A estrutura vertical do VV apresentou divergências nos dois modelos utilizados. Enquanto o HYCOM simulou um vórtice que pode ser observado até aproximadamente 1.000 metros, no ROMS o mesmo só apresentou estrutura coerente até os 600 metros. Diversos fatores podem contribuir para diferenças entre os resultados dos dois modelos, tais como: batimetria utilizada, resolução espacial, diferença no sistema de coordenadas verticais e forçantes atmosféricas utilizadas.



A TSM na Bacia do Espírito Santo apresenta padrão espacial e sazonal bem marcado. Espacialmente, notam-se maiores temperaturas na porção nordeste da bacia e menores na porção sudoeste da mesma, com um gradiente de aproximadamente 1°C . Nos meses de verão e outono, a região dos blocos BM-ES-37 a 41 apresenta TSM de aproximadamente 27°C e nos meses de inverno e primavera, de aproximadamente 25°C . A análise feita para o caso de ocorrência do VV na primavera de 2005 indicou uma anomalia de temperatura de $-0,45^{\circ}$ no centro do Vórtice.

A Bacia do Espírito Santo apresentou um padrão espacial permanente na distribuição dos centros de alta e baixa pressão para todas as épocas do ano, com um centro de alta pressão na porção nordeste e um centro de baixa pressão na porção sudoeste da bacia.

Nos resultados da terceira etapa, os resultados obtidos pelos derivadores lançados pelo Projeto mondoPERENCO foram analisados e comparados com dados de TSM e modelagem numérica. O Projeto teve início em 1^o de novembro de 2011, com o lançamento dos três primeiros derivadores. Desta forma, os dados analisados correspondem ao período de 1^o de novembro de 2011 a 16 de março de 2012 (último dia em que se coletou informação para este estudo). Durante esse período, foram lançados ao mar 12 derivadores, três de cada vez dispostos em radial, na região próxima aos Blocos BM-ES-37 a 41. Os dados gerados abrangem grande parte da plataforma e do talude continental das Bacias do Espírito Santo e Campos, compreendendo as latitudes de 19°S e 26°S e longitudes de 42°W e 38°W .

As temperaturas registradas pelos derivadores variaram entre $18,2^{\circ}\text{C}$ – no mês de novembro – e $29,8^{\circ}\text{C}$ – nos meses de janeiro a março, apresentando uma gradativa diminuição em direção às maiores latitudes e com o passar do tempo, marcando a variação sazonal que ocorre na região.

As trajetórias realizadas pelos derivadores marcaram com clareza algumas feições de mesoescala descritas na literatura, como o meandro formado pela Corrente do Brasil (CB) na região de Cabo Frio (23°S) e alguns vórtices formados na Bacia de Santos e Pelotas. No entanto, na região da Bacia do Espírito Santo, apenas um derivador registrou o meandro formado no Embaiamento do Tubarão, próximo aos blocos da Perenco.

Análises realizadas com dados de TSM e resultados de modelagem numérica, para o período de identificação do meandro (final de novembro de 2011), comprovaram a formação do Vórtice de Vitória na região. Apesar das dimensões do Vórtice de Vitória não terem sido identificadas nos dados obtidos na terceira etapa, uma vez que o derivador apenas registrou o meandro que o originou, valores para o tamanho do vórtice foram previamente apresentados na primeira e segunda etapa do projeto.





No presente estudo, foram analisados diversos dados e comparados com descrições disponíveis na literatura, resultando em uma caracterização bem robusta da circulação de mesoescala da região. Dessa forma, a premissa inicial do projeto foi alcançada, sendo possível aprimorar o conhecimento sobre a dinâmica local, em especial sobre as estruturas de mesoescalas presentes na região, como o Vórtice de Vitória.



6. Bibliografia

- BOYER, T.; LEVITUS, S.; GARCIA, H.; LOCARNINI, R.A.; STEPHENS, C.; ANTONOV, J. Objective analyses of annual, seasonal, and monthly temperature and salinity for the world ocean on a 0.25 degrees grid. **Int. J. Climatology**, v. 25, n. 7, pp. 931–945. 2005.
- BUDGEELL, W.P., 2005: Numerical simulation of ice-ocean variability in the Barents Sea region, **Ocean Dynamics**, DOI 10.1007/s10236-005-0008-3.
- CALADO, L., 2006. **Dinâmica da Interação de atividades de meso-escala da Corrente do Brasil com o fenômeno da ressurgência costeira ao largo de Cabo Frio e Cabo de São Tomé, RJ**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 159 pp.
- CAMPOS, E. J. D. (2006), Equatorward translation of the Vitória Eddy in a numerical simulation, **Geophys. Res. Lett.**, 33, L22607 doi:10.1029/2006GL026997.
- CASTRO, B.M.; MIRANDA, L.B., 1998: Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S. In: Robinson, A.R.; Brink, K.H. (eds.): **The Sea**, Vol. 11: pp. 209-252, New York, John Wiley & Sons.
- COSTA, T.P. 2007. **Existe um Vórtice de Vitória Climatológico?** Monografia (Bacharelado em Oceanografia). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, SP. 76p.
- DI LORENZO, E., 2003: Seasonal dynamics of the surface circulation in the southern California Current System, **Deep-Sea Res.**, Part II, 50, 2371-2388.
- DINNIMAN, M. S., J. M. Klinck, and W. O. Smith Jr. (2003), Cross shelf exchange in a model of the Ross Sea circulation and biogeochemistry, **Deep-Sea Res.**, Part II, 50, 3103-3120.
- EVANS D.L. , S. S. SIGNORINI & L.B. MIRANDA, 1983: A note on the transport of the Brazil Current. **Journal Of Physical Oceanography**, 9, 724-738.
- FRAGOSO, M.R. 2004. **Um Modelo Numérico da Circulação Oceânica para as Bacias Leste e Sudeste do Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ. 173p.
- GABIOUX, M. **Estudo numérico dos meandros e vórtices da corrente do Brasil entre 22°S e 30°S** [Rio de Janeiro] 2008 XVII, 138 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Oceânica, 2008) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.



- GAETA, S.A.; LORENZETTI, J.A.; MIRANDA, L.B.; SUSINI-RIBEIRO, S.M.M.; POMPEU, M.; de ARAÚJO, C.E.S. The Vitória Eddy and its relation to the phytoplankton biomass and primary productivity during the austral fall of 1995. **Arch. Fish. Mar. Res.**, v. 47, n. 2/3, pp. 253-270. 1999
- HAIIDVOGEL, D. B., H. G. ARANGO, K. HEDSTROM, A. BECKMANN, P. MALANOTTE-RIZZOLI, and A. F. SHCHEPETKIN (2000), Model evaluation experiments in the North Atlantic Basin: Simulations in nonlinear terrain-following coordinates, **Dyn. Atmos. Oceans**, 32, 239-281.
- HANSEN, D.; POULAIN, P. Quality control and interpolations of WOCE/TOGA drifter data. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 13, n. 4, p. 900-909, 1996.
- MAIA, L. F. P. G., 1986. **Alguns Aspectos Dinâmico-Climatológicos em Minas Gerais**. Tese Apresentada à Universidade Federal de Viçosa.
- MARCHESIELLO, P., J.C. MCWILLIAMS, and A. SHCHEPETKIN, 2003: Equilibrium structure and dynamics of the California Current System, **J. Phys. Oceanogr.**, 33, 753-783.
- NIILER, P. P.; DAVIS, R. AND WHITE, H. Water-following characteristics of a mixed-layer drifter. **Deep-Sea Research**, v. 34, pp. 1867-1882, 1987.
- OLIVEIRA, F.S.; CLEMENTE, E.P. ; R, C.E.G ; MOREIRA, G.F.; OLIVEIRA, A.C.; FARIA, A.L.P. A biogeografia insular da Ilha de Trindade e sua contribuição para o levantamento pedológico: uma experiência. In: VI Congresso Brasileiro de Geógrafos - Setenta anos da AGB: as transformações do espaço e a geografia no século XXI, 2004, Goiânia/GO.
- OLIVEIRA, L.R.; PIOLA, A.R; MATA, M.M; SOARES, I.D. Brazil Current surface circulation and energetics observed from drifting buoys. **Journal of Geophysical Research**, 2009.
- PELIZ, A., J. DUBERT, D. B. HAIIDVOGEL, and B. LE CANN (2003), Generation and unstable evolution of a density-driven Eastern Poleward Current: The Iberian Poleward Current, **J. Geophys. Res.**, 108(C8), 3268, doi:10.1029/2002JC001443.
- PETERSON, R.G. AND L. STRAMMA, 1991. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, 26, pp. 1-73.
- POLITO, P. S., 2005. Utilização de Dados de Altimetro em Oceanografia. Em: de Souza R.B. (Org.). **Oceanografia por Satélite**. Oficina de Textos, São Paulo, SP.



- ROCHA, C. R. M., 2005. **Influência da topografia marinha no vórtice de Vitória**. Monografia de Graduação, Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 33p.
- SCHMID, C.; SCHÄFER, H.; PODESTÁ, G.; ZENK, W. The Vitória Eddy and Its Relation to the Brazil Current. **Journal of Physical Oceanography**, v. 25, pp. 2532-2546. 1995
- SILVEIRA, I.C.A.; SCHMIDT, A.K.; CAMPOS, E.J.D.; GODOI, S.S.; IKEDA, Y. A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira. **Rev. Bras. Oceanogr.**, v. 48, n. 2, pp.171-183. 2000.
- SONG, Y. and D. B. HAIDVOGEL, 1994. A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography-following coordinate system. **J. Comp. Phys.**, 115(1), 228-244.
- STARK, J. D.; DONLON, C. J.; MARTIN; M. J.; MCCULLOCH, M. E. OSTIA : An operational, high resolution, real time, global sea surface temperature analysis system. Oceans '07 IEEE Aberdeen, conference proceedings. Marine challenges: coastline to deep sea. Aberdeen, Scotland.IEEE. 2007.
- SYBRANDY, A. L.; Niiler, P.P. WOCE/TOGA Lagrangian drifter-construction manual. Califórnia, CA. University of Califórnia, 1991. 92 p.
- VIANNA, M. L.; MENEZES, V. V., 2005: Circulação Oceânica: Monitoramento por meio de Altimetria Multi-satélite. Em: de Souza R.B. (Org.). **Oceanografia por Satélite**. Oficina de Textos, São Paulo, SP.
- WARNER, J.C, C.R. SHERWOOD, H.G. ARANGO, AND R.P. SIGNELL, 2005a. Performance of four Turbulence Closure Methods Implemented using a Generic Length Scale Method. **Ocean Modelling**, 8, 81-113.
- WILKIN, J.L., H.G. ARANGO, D.B. HAIDVOGEL, C.S. LICHTENWALNER, S.M. DURSKI, AND K.S. HEDSTROM, 2005. A regional Ocean Modeling System for the Long-term Ecosystem Observatory. **J. Geophys. Res.**, 110, C06S91, doi:10.1029/2003JC002218.

