



VARIAÇÃO SAZONAL DA ÁGUA CENTRAL DO ATLÂNTICO SUL NA
PLATAFORMA CONTINENTAL SUDESTE BRASILEIRA AO LARGO DO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Elisa Nóbrega Passos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadores: Luiz Landau

Luiz Paulo de Freitas Assad

Rio de Janeiro

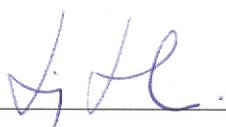
Junho de 2015

VARIAÇÃO SAZONAL DA ÁGUA CENTRAL DO ATLÂNTICO SUL NA
PLATAFORMA CONTINENTAL SUDESTE BRASILEIRA AO LARGO DO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO

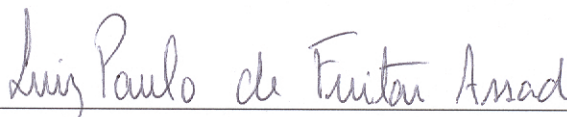
Elisa Nóbrega Passos

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

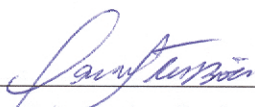
Examinada por:



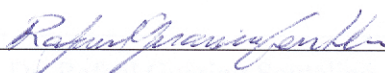
Prof. Luiz Landau, D.Sc.



Dr. Luiz Paulo de Freitas Assad, D.Sc.



Dra. Carina Stefoni Böck, D.Sc.



Dr. Rafael Guarino Soutelino, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2015

Passos, Elisa Nóbrega

Variação sazonal da Água Central do Atlântico Sul na Plataforma Continental Sudeste Brasileira ao largo do Estado do Rio de Janeiro/ Elisa Nóbrega Passos. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015.

XIX, 114 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Luiz Landau

Luiz Paulo de Freitas Assad

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2015.

Referências Bibliográficas: p. 100-108.

1. Hidrodinâmica Costeira. 2. Projeto *MyOcean*. 3. Ressurgência Costeira. I. Landau, Luiz *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

DEDICATÓRIA

À quem sempre esteve ao meu lado,

José Augusto.

PENSAMENTO

“Tenha sempre bons pensamentos, porque os seus pensamentos se transformam em suas palavras.

Tenha boas palavras, porque as suas palavras se transformam em suas ações.

Tenha boas ações porque as suas ações se transformam em seus hábitos.

Tenha bons hábitos porque os seus hábitos se transformam em seus valores.

Tenha bons valores porque os seus valores se transformam no seu próprio destino.”

Mahatma Ghandi

“A água é a força motriz de toda a natureza”

Leonardo da Vinci

AGRADECIMENTOS

À Deus por me carregar nos momentos difíceis.

Ao meu pai, pelo homem maravilhoso que é e por ter sido sempre o meu herói.

À minha irmã, avó e mãe, pois sem elas a vida não teria tanto sentido.

À minha família, por ser meu porto seguro.

Aos amigos que conquistei ao longo da vida, obrigada pelos bons momentos, risadas e companheirismo.

Aos amigos do NUMA, que sempre estiveram presentes e me ajudaram na confecção deste documento. À Carina, Raquel e ao Rafael pelo auxílio constante. Um agradecimento especial à Andressa, Ian e Lívia pelas ideias compartilhadas e pelo apoio.

À toda equipe do LAMCE.

À Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis pelo apoio financeiro.

Ao Prof. Luiz Landau, obrigada pela oportunidade e orientação.

Ao Luiz Paulo, por ter me acolhido em sua equipe. Obrigada pela assistência, pelos momentos de sabedoria e auxílio. Espero não tê-lo desapontado.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

VARIAÇÃO SAZONAL DA ÁGUA CENTRAL DO ATLÂNTICO SUL NA
PLATAFORMA CONTINENTAL SUDESTE BRASILEIRA AO LARGO DO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Elisa Nóbrega Passos

Junho/2015

Orientadores: Luiz Landau

Luiz Paulo de Freitas Assad

Programa: Engenharia Civil

O trabalho procurou investigar a sazonalidade da Água Central do Atlântico Sul na Plataforma Continental Sudeste Brasileira adjacente ao litoral do Rio de Janeiro. Para tal, foram utilizados resultados do Projeto *MyOcean* gerado através do modelo computacional hidrodinâmico NEMO. As análises consistiram na avaliação dos campos de temperatura, salinidade e densidade para determinadas profundidades assim como também perfis verticais destes mesmos parâmetros em seções definidas estrategicamente. A análise do escoamento da Água Central do Atlântico Sul na Plataforma Continental Sudeste Brasileira concomitantemente com os resultados obtidos para o cálculo da vorticidade relativa na região apresentou boa concordância. Adicionalmente, análises mais aprofundadas para a primavera foram realizadas através dos dados coletados *in situ* por duas boias meteoceanográficas. Esta análise objetivava compreender a advecção de águas da região de Cabo Frio em direção à região ao largo da Baía de Guanabara. As análises foram inconclusivas e demonstraram que processos costeiros podem influenciar na advecção destas águas. Sugere-se uma maior relação deste processo no verão devido à maior influência da Corrente do Brasil na Plataforma Continental Sudeste Brasileira neste período.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

SEASONAL VARIABILITY OF SOUTH ATLANTIC CENTRAL WATER ON THE
SOUTH BRAZIL BIGHT NEAR RIO DE JANEIRO'S COAST

Elisa Nóbrega Passos

June/2015

Advisors: Luiz Landau

Luiz Paulo de Freitas Assad

Department: Civil Engineering

This work aims to investigate the seasonal variability of South Atlantic Central Water on the South Brazil Bight near Rio de Janeiro's coast. For this purpose, results of *GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_002* produced by NEMO model from MyOcean Project available for free to the scientific community. The analyses consisted on evaluate temperature, salinity and density fields from different depths and also vertical profiles for the same parameters on sections strategically defined. These analyses jointly with the results of relativity vorticity exhibit a good agreement. Additionally, further analyses for the spring season were made through *in situ* data collected from meteoceanographic buoys. These analyses aimed to understand the water's advection from Cabo Frio (Cold Cape) to the region off the Guanabara Bay. The results were inconclusive and demonstrated that coastal processes may influence on this water advection. It suggests that the Brazil Current plays an important role on this process during the summer.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. MOTIVAÇÃO	2
3. OBJETIVOS	3
3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
4. ÁREA DE ESTUDO.....	4
4.1. CIRCULAÇÃO NA PLATAFORMA CONTINENTAL SUDESTE BRASILEIRA ADJACENTE AO RIO DE JANEIRO.....	4
4.1.1. <i>Influência da Circulação Atmosférica.....</i>	6
4.1.1.1. <i>O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul.....</i>	7
4.1.1.2. <i>Frentes Frias</i>	8
4.1.2. <i>Corrente do Brasil.....</i>	10
4.1.3. <i>Maré.....</i>	14
4.1.4. <i>Características Hidrográficas na PCSE</i>	15
4.2. ÁGUA CENTRAL DO ATLÂNTICO SUL	18
4.3. RESSURGÊNCIA COSTEIRA DE CF	21
4.4. BAÍA DE GUANABARA	29
5. METODOLOGIA	31
5.1. NUCLEUS FOR EUROPEAN MODELLING OF THE OCEAN (NEMO)	31
5.1.1. <i>Resultados utilizados oriundos do Projeto MyOcean</i>	35
5.2. DADOS OCEANOGRÁFICOS UTILIZADOS.....	38
5.2.1. <i>Dados da Boia Meteoceanográfica do Projeto SIODOC</i>	38
5.2.2. <i>Dados da Boia Meteoceanográfica do LIOc.....</i>	40
5.3. TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR.....	41
5.4. ANÁLISE APLICADA	43
5.4.1. <i>Análise da sazonalidade da ACAS na PCSERJ.....</i>	43
5.4.2. <i>Análise Observacional.....</i>	46
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
6.1. SAZONALIDADE DA ACAS NA PCSERJ	48
6.2. ANÁLISE OBSERVACIONAL DA ADVECÇÃO DA ACAS PELA PCSERJ PARA A PRIMAVERA	89
7. CONCLUSÕES	97
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
ANEXO I	109
ANEXO II.....	113

Índice de Figuras

Figura 1: Modelo digital batimétrico da PCSE contendo toda a sua extensão e a área oceânica adjacente.	5
Figura 2: Pressão Atmosférica indicando o posicionamento do Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). A imagem superior é representativa de verão e a imagem inferior é representativa de inverno. As figuras foram geradas a partir de resultados de modelos atmosféricos da Reanálise NCEP-DOE AMIP II.	8
Figura 3: Representação esquemática para a passagem de uma FF na PCSE. O eixo X representa as longitudes e o eixo Y representa as latitudes.	10
Figura 4: Representação da distribuição das principais correntes oceânicas do giro tropical do OAS.	11
Figura 5: Representação da hipótese de STOMMEL (1965, <i>apud</i> SILVEIRA <i>et al.</i> , 2000) que explicaria a diferença do volume entre a CB e a CG devido à diferença ou não do sentido da circulação influenciada pelo vento e a circulação termohalina.	11
Figura 6: Representação do Sistema Anfidrômico mundial. As linhas azuis são resultantes de pontos com mesma amplitude de maré, ou seja, representam regiões com a mesma variação da maré. As linhas em vermelho representam linhas cotidais, que podem ser definidas por representarem pontos com mesma fase da maré, ou seja, locais nos quais as preamares ocorrem no mesmo instante. Os pontos anfidrômicos são representados nos pontos de convergência das linhas cotidais.	15
Figura 7: Representação esquemática da divisão da PCSE para o verão (superior) e para o inverno (inferior). As divisões da Plataforma Continental em Interna, Média e Externa são referidas, respectivamente, como PCI, PCM e PCE. FTP significa Frente Térmica Profunda e FHS significa Frente Halina Superficial. A Corrente do Brasil é referida como CB. As distâncias verticais estão expressas em metros e as distâncias horizontais estão expressas em quilômetros.	17
Figura 8: Esquema da divisão da PCSE em PCI, PCM e PCE. Destaca-se também a hidrodinâmica dominante em cada divisão. A linha tracejada na PCI representa as linhas de densidade. A linha tracejada na PCE representa a Corrente do Brasil. As linhas contínuas representam as correntes forçadas pelo vento sinótico.	18
Figura 9: Representação esquemática de grande escala para a circulação em nível subpicnoclínico (de 100 a 500 m de profundidade). A região de formação da ACAS está sombreada (Fonte: STRAMMA; ENGLAND, 1999).	19
Figura 10: Diagrama TS representativo para a PCSE ao largo do Rio de Janeiro e oceano adjacente. As massas d'água estão salientadas. A figura foi gerada através dos resultados do modelo computacional utilizado no trabalho e descrito em 5.2.	21
Figura 11: Distribuição da Temperatura de Superfície do Mar (TSM) durante um evento de ressurgência costeira ao largo da costa brasileira.	22
Figura 12: Representação da variação sazonal da ocorrência da ACAS na Plataforma Continental brasileira sendo a figura A a representação para o verão e a figura B a representação para o inverno.	23

Figura 13: Vorticidade média mensal para o Vórtice de CF. As médias foram realizadas para o período de 1997 à 2004. As barras verticais representam o desvio padrão.	24
Figura 14: Representação esquemática dos vórtices oriundos dos meandros da CB. VCF representa o Vórtice de CF, VCST representa o Vórtice do Cabo de São Tomé e VV representa o Vórtice de Vitória. A denominação A são para os vórtices de alta pressão (anti-ciclônicos) e a denominação B são para os vórtices de baixa pressão (cyclônicos).	25
Figura 15: Modelo digital batimétrico da PCSE ao largo do Estado do Rio de Janeiro.	26
Figura 16: Representação esquemática do Transporte de Ekman na região de estudo.	28
Figura 17: Região Metropolitana do Rio de Janeiro e Baía de Guanabara.	30
Figura 18: Representação da grade C de Arakawa, identificando a disposição das variáveis.	33
Figura 19: Representação da grade C de Arakawa em uma seção vertical, apresentando a disposição das variáveis.	34
Figura 20: Representação horizontal dos pontos de grade do modelo	37
Figura 21: Representação dos níveis verticais do modelo para a longitude de 43°W....	37
Figura 22: Localização geográfica da boia SIODOC representado pelo quadrado em azul, e os pontos de grades mais próximo às boias no modelo (losangos verdes) e da TSM-MUR (círculos azuis).	39
Figura 23: Esquema ilustrativo da boia meteoceanográfica fundeada na região de CF. Fonte: Dragaud (2014).	40
Figura 24: Localização geográfica da boia LIOc representado pela estrela em vermelho, e os pontos de grades mais próximo às boias no modelo (losangos verdes) e da TSM-MUR (círculos azuis).	41
Figura 25: Representação gráfica da disposição das seções analisadas na análise sazonal.	45
Figura 26: Representação gráfica da disposição das seções analisadas na análise mensal.	48
Figura 27: Diagramas TS obtidos para a análise sazonal realizada para o ano de 2014 com os resultados do modelo computacional	50
Figura 28: Campo superficial de temperatura (5 m de profundidade) para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a temperatura de 20°C.	51
Figura 29: Isotherma de 20°C, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de temperatura superficial para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.	52
Figura 30: Campo superficial de salinidade (5 m de profundidade) para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a salinidade de 36.	53
Figura 31: Isohalina de 36, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de salinidade superficial para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.	53
Figura 32: Campo superficial de densidade (5 m de profundidade) para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a densidade de 25,5 kg/m ³	54

Figura 33: Isopicnal de $25,5 \text{ kg/m}^3$, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de densidade superficial para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.....	55
Figura 34: Campo de temperatura para a profundidade de 10 m para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a temperatura de 20°C	56
Figura 35: Isoterma de 20°C , que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de temperatura para a profundidade de 10 metros para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.....	57
Figura 36: Campo de salinidade para a profundidade de 10 m para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a salinidade de 36.....	58
Figura 37: Isohalina de 36, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de salinidade para a profundidade de 10 metros para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.....	58
Figura 38: Campo de densidade para a profundidade de 10 m para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a densidade de $25,5 \text{ kg/m}^3$	59
Figura 39: Isopicnal de $25,5 \text{ kg/m}^3$, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de densidade para a profundidade de 10 metros para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.....	60
Figura 40: Campo de temperatura para a profundidade de 25 m para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a temperatura de 20°C	61
Figura 41: Isoterma de 20°C , que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de temperatura para a profundidade de 25 metros para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.....	61
Figura 42: Campo de salinidade para a profundidade de 25 m para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a salinidade de 36.....	62
Figura 43: Isohalina de 36, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de salinidade para a profundidade de 25 metros para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.....	63
Figura 44: Campo de densidade para a profundidade de 25 m para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a densidade de $25,5 \text{ kg/m}^3$	64
Figura 45: Isopicnal de $25,5 \text{ kg/m}^3$, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de densidade para a profundidade de 25 metros para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.....	64
Figura 46: Campo de temperatura para o fundo da PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a temperatura de 20°C	65
Figura 47: Isoterma de 20°C , que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de temperatura para o fundo oceânico para as estações do ano. O verão está representado	

em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.	66
Figura 48: Campo de salinidade para o fundo da PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a salinidade de 36.	67
Figura 49: Isohalina de 36, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de salinidade para o fundo oceânico para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.	67
Figura 50: Campo de densidade para o fundo da PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a densidade de 25,5 kg/m ³	68
Figura 51: Isopicnal de 25,5 kg/m ³ , que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de densidade para o fundo oceânico para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.	69
Figura 52: Perfil Vertical de temperatura na seção de CF. Em destaque em preto temos a isoterma de 20°C.	70
Figura 53: Perfil Vertical de temperatura na seção de Maricá. Em destaque em preto temos a isoterma de 20°C.	71
Figura 54: Perfil Vertical de temperatura na seção de BG. Em destaque em preto temos a isoterma de 20°C.	71
Figura 55: Perfil Vertical de temperatura na seção de Sepetiba. Em destaque em preto temos a isoterma de 20°C.	72
Figura 56: Isoterma de 20°C, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de temperatura para a seção de CF para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.	72
Figura 57: Isoterma de 20°C, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de temperatura para a seção de Maricá para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.	73
Figura 58: Isoterma de 20°C, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de temperatura para a seção da BG para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.	73
Figura 59: Isoterma de 20°C, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de temperatura para a seção de Sepetiba para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.	74
Figura 60: Perfil vertical de salinidade na seção de CF. Em destaque em preto temos a isohalina de 36.	75
Figura 61: Perfil vertical de salinidade na seção de Maricá. Em destaque em preto temos a isohalina de 36.	75
Figura 62: Perfil vertical de salinidade na seção da BG. Em destaque em preto temos a isohalina de 36.	76

Figura 63: Perfil vertical de salinidade na seção de Sepetiba. Em destaque em preto temos a isohalina de 36.....	76
Figura 64: Isohalina de 36, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de salinidade para a seção de CF para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.....	77
Figura 65: Isohalina de 36, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de salinidade para a seção Maricá para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.....	77
Figura 66: Isohalina de 36, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de salinidade para a seção da BG para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.....	78
Figura 67: Isohalina de 36, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de salinidade para a seção de Sepetiba para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.	78
Figura 68: Perfil vertical de densidade na seção de CF. Em destaque em preto temos a linha de densidade sigma correspondente a 25,5 kg/m ³	79
Figura 69: Perfil vertical de densidade na seção de Maricá. Em destaque em preto temos a linha de densidade sigma correspondente a 25,5 kg/m ³	80
Figura 70: Perfil vertical de densidade na seção da BG. Em destaque em preto temos a linha de densidade sigma correspondente a 25,5 kg/m ³	80
Figura 71: Perfil vertical de densidade na seção de Sepetiba. Em destaque em preto temos a linha de densidade sigma correspondente a 25,5 kg/m ³	81
Figura 72: Isopicnal de 25,5 kg/m ³ , que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de densidade para a seção CF para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.....	81
Figura 73: Isopicnal de 25,5 kg/m ³ , que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de densidade para a seção Maricá para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.....	82
Figura 74: Isopicnal de 25,5 kg/m ³ , que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de densidade para a seção BG para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.....	82
Figura 75: Isopicnal de 25,5 kg/m ³ , que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de densidade para a seção Sepetiba para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.	83

Figura 76: Perfil vertical da divisão da PCSERJ em PCI, PCM e PCE segundo CASTRO (1996) para a seção de CF. A linha em azul representa a isoterma de 18°C e a linha tracejada em vermelho representa a isohalina de 36,4.	84
Figura 77: Perfil vertical da divisão da PCSERJ em PCI, PCM e PCE segundo CASTRO (1996) para a seção de Maricá. A linha em azul representa a isoterma de 18°C e a linha tracejada em vermelho representa a isohalina de 36,4.	85
Figura 78: Perfil vertical da divisão da PCSERJ em PCI, PCM e PCE segundo CASTRO (1996) para a seção da BG. A linha em azul representa a isoterma de 18°C e a linha tracejada em vermelho representa a isohalina de 36,4.	85
Figura 79: Perfil vertical da divisão da PCSERJ em PCI, PCM e PCE segundo CASTRO (1996) para a seção de Sepetiba. A linha em azul representa a isoterma de 18°C e a linha tracejada em vermelho representa a isohalina de 36,4.	86
Figura 80: Perfil horizontal da divisão da PCSERJ em PCI, PCM e PCE segundo CASTRO (1996). A linha em azul representa a isoterma de 18°C e a linha tracejada em vermelho representa a isohalina de 36,4.	87
Figura 81: Campo do escoamento do transporte de volume da ACAS integrado na coluna d'água.	88
Figura 82: Representação da Vorticidade Relativa da ACAS na PCSERJ. Valores positivos estão representados em vermelho e valores negativos estão representados em azul.	89
Figura 83: Localização geográfica da boia SIODOC (próximo a CF) representado pelo quadrado em azul, da boia LIOc (próximo a BG) representada pela estrela em vermelho e os pontos de grades mais próximo às boias no modelo (losangos verdes) e da TSM-MUR (círculos azuis).	90
Figura 84: Temperatura de superfície coletada pela boia SIODOC (azul) e pela boia LIOc (rosa). Em vermelho destaca-se a isoterma de 18°C.	91
Figura 85: Temperatura de superfície na região de CF para a série temporal analisada. Os dados coletados pela boia SIODOC estão representados em azul escuro, o modelo está representado pela linha em verde e a TSM-MUR está representada pela linha em azul claro. Em vermelho destaca-se a isoterma de 18°C.	92
Figura 86: Temperatura de superfície na região da BG para a série temporal analisada. Os dados coletados pela boia LIOc estão representados em rosa, o modelo está representado pela linha em verde e a TSM-MUR está representada pela linha em azul claro. Em vermelho destaca-se a isoterma de 18°C.	93
Figura 87: TV da ACAS para as seções meridionais definidas no item 5.5.2.	94
Figura 88: TV da ACAS para as seções zonais definidas no item 5.5.2.	95
Figura 89: Escoamento da ACAS integrado para cada trecho das seções para a primavera de 2014. As setas em roxo indicam a direção do escoamento desta massa d'água para os três meses, outubro (O), novembro (N) e dezembro (D). A seta azul indica a direção do TV integrado para o trecho de seção apenas para outubro. A seta verde tracejada indica a direção do TV integrado para o trecho de seção apenas para novembro. E a seta vermelha tracejada indica a direção do TV integrado para o trecho de seção apenas para dezembro.	96

Figura 90: Esquema representativo da Baía de Guanabara e os pontos de coleta de dados. Fonte: Site do projeto (www.projetobaiadeguanabara.com.br)	109
Figura 91: À esquerda está representado o Diagrama TS e à direita está a representação do percentual de ACAS identificada para toda a série temporal obtida para as regiões de coleta selecionadas.	110
Figura 92: Identificação da ocorrência da ACAS ao longo das coletas realizadas	111
Figura 93: Representação da numeração da seção e a sua localização	113

Índice de Tabelas

Tabela 1: Índices termohalinos encontrados na literatura para a ACAS ao longo de seu trajeto.....	21
Tabela 2: Lista parcial dos produtos utilizados para a interpolação dos dados de satélite para gerar o produto MUR-SST	42
Tabela 3: Divisão adotada para a separação dos meses para o cálculo sazonal	44
Tabela 4: Resultado do cálculo da ζ_R integrado na região da PCSERJ para a ACAS em diferentes períodos do ano.....	89
Tabela 5: Coeficiente de correlação calculado entre as boias meteoceanográficas e o modelo.	93
Tabela 6: Coeficiente de correlação calculado entre as boias meteoceanográficas e a TSM-MUR.....	93
Tabela 7: Índice de concordância calculado para as boias e o modelo.....	94
Tabela 8: A tabela abaixo relaciona as coletas numeradas cronologicamente e as datas nas quais as coletas ocorreram.....	112
Tabela 9: TV integrado para cada trecho de seção apresentado na Figura 69 para os meses de primavera abordados no capítulo 6.	114

Lista de Acrônimos

AC - Água Central
ACAS - Água Central do Atlântico Sul
ASAS - Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
AT - Água Tropical
AVHRR - *Advanced Very High Resolution Radiometer*
BG - Baía de Guanabara
CA - Corrente das Agulhas
CB - Corrente do Brasil
CBg - Corrente de Benguela
CBM - Confluência Brasil-Malvinas
CCA - Corrente Circumpolar Antártica
CERFACS - *Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique*
CF - Cabo Frio
CM - Corrente das Malvinas
CNRS - *Centre National de la Recherche Scientifique*
CSE - Corrente Sul Equatorial
ECMWF (Sigla em inglês) - Centro Europeu de Previsão de Tempo de Médio Prazo
FF - Frentes Frias
FHS - Frente Halina Superficial
FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos
FTP - Frente Térmica Profunda
FUNDEP - Fundação de Apoio à Pesquisa
GEBCO8 - *General Bathymetric Chart of the Oceans* 8ª versão
IEAPM - Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira
IR - Infravermelho
JPL - *Jet Propulsion Laboratory*
LIM - *Louvain-la-Neuve*
LIOc - Laboratório de Instrumentação Oceanográfica
LODYC - *Laboratoire d'Océanographie DYnamique et de Climatologie*
MW - Micro Ondas

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*
NEMO - *Nucleus for European Modelling of the Ocean*
OAS - Oceano Atlântico Sul
OPA - *Océan PArallélisé*
PC - Plataforma Continental
PCE - Plataforma Continental Externa
PCI - Plataforma Continental Interna
PCM - Plataforma Continental Média
PCSE - Plataforma Continental Sudeste Brasileira
PCSERJ - Plataforma Continental Sudeste Brasileira adjacente ao Rio de Janeiro
SIOCD - Sistema de Obtenção de Dados Ambientais para a Defesa
SIODOC - Sistema Integrado de Obtenção de Dados Oceanográficos
TRP - *Tracer in the Ocean Paradigm*
TSM - Temperatura De Superfície Do Mar
TSM_MUR - *Multi-scale Ultra-high Resolution Sea Surface Temperature*
TV - Transporte de Volume
UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais
UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro
ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul
 ζ_P - Vorticidade Potencial
 ζ_R - Vorticidade Relativa
 f - Vorticidade Planetária

1. Introdução

O estudo da circulação oceânica na Plataforma Continental Sudeste Brasileira (PCSE) é de grande importância, pois além de abrigar importantes atividades econômicas, como o comércio e transporte marítimos, concentra blocos petrolíferos essenciais à indústria do petróleo, principalmente, pela presença do pré-sal. Sendo a dinâmica oceânica bem compreendida e representada numericamente, possíveis derramamentos de óleo podem ser contidos em um período de tempo mais curto, visto que a deriva da pluma de óleo poderia ser prevista com maior exatidão. Tal representação pode contribuir para uma melhor compreensão de diversos outros eventos ou fenômenos que ocorrem na PCSE, como vórtices, meandros e a ressurgência costeira.

Cabe ressaltar ainda, o fenômeno da ressurgência que ocorre na costa brasileira, o qual é de fundamental importância para a indústria pesqueira brasileira (THOMPSON; O'BRIEN, 1973; LORENZZETTI; GAETA, 1996). Segundo SIGNORINI (1978), VALENTIN *et al.* (1987), GONZALEZ-RODRIGUEZ *et al.* (1992) e CASTELÃO; BART (2006), a água que ressurge na região é rica em nutrientes. Com a maior disponibilidade de nutrientes, toda a teia trófica da região é enriquecida em eventos de ressurgência (VALENTIN *et al.* (1987); CASTELÃO *et al.*, 2004).

De forma geral, obter dados oceanográficos é um trabalho difícil e extremamente custoso e apesar de sua importância, o Atlântico Sul não possui muitos dados medidos quando comparado com outros oceanos (DONNERS *et al.*, 2005). Muitos dos estudos existentes foram realizados com uma base de dados pequena ou dados de comissões oceanográficas realizadas em determinada região, o que não é representativo para a bacia oceânica inteira. Tal fato também ocorre quando observamos áreas oceânicas próximas à costa, como a PCSE.

A coleta de dados em apenas uma época do ano ou de um período específico é comum, mas não retrata com exatidão as variações da circulação oceânica interdecadal, interanual ou até mesmo sazonal. Para tal, faz-se necessário a coleta de dados de forma contínua e sistemática por longos períodos.

A análise dos resultados de modelos computacionais se apresenta como uma solução parcial para cobrir a ausência de informações, apesar das diversas aproximações físicas e matemáticas intrínsecas a eles. Adicionalmente, estudos que auxiliem na

descrição sazonal e interanual da Circulação Termohalina e a circulação gerada pelo vento na região do Oceano Atlântico Sul (OAS) são de fundamental importância.

A próxima seção deste documento abordará a motivação deste trabalho. Na terceira seção do trabalho serão apresentados os objetivos e objetivos específicos deste estudo. A quarta seção fornecerá algumas caracterizações da área de estudo e do fenômeno que foi estudado. No capítulo 5 será realizada uma breve descrição do modelo computacional utilizado e da metodologia adotada para a realização do estudo, assim como uma breve descrição dos dados utilizados, os quais foram adquiridos pelas boias meteoceanográficas fundeadas ao largo do Rio de Janeiro e a descrição da base de dados utilizadas da temperatura de superfície do mar (TSM). Em seguida, na sexta seção, são apresentados os resultados e a discussão é realizada. Por fim, é feita a conclusão do trabalho.

2. Motivação

A Água Central do Atlântico Sul (ACAS) é uma das massas d'água transportadas pela Corrente do Brasil (CB) e, dessa forma, ocupa grandes áreas sobre a plataforma continental brasileira e a região costeira adjacente. Essa massa d'água é formada pela subducção de águas superficiais na Confluência Brasil-Malvinas (CBM) (WILLIAMS, 1962). Após sua formação, a ACAS passa a compor a circulação do Giro Subtropical. Essa massa d'água, assim como as correntes superficiais, se bifurca ao se aproximar do continente americano (SILVEIRA *et al.*, 2000). Deve ser ressaltado que, segundo este autor, poucos estudos mais aprofundados sobre este assunto foram realizados na região.

Na costa brasileira, a ACAS é conhecida por aflorar na região próxima a Cabo Frio (CF) (EMILSSON, 1961). Segundo EMILSSON (1961) e MATSUURA (1986 *apud* CASTRO *et al.*, 2006) a incidência da ACAS na PCSE varia sazonalmente, apresentando-se com maior influência e atingindo mais facilmente a região costeira no verão e ocorrendo de forma mais restrita no inverno. Além disso, o meandramento da CB próximo ao Cabo de São Tomé é capaz de impulsionar intrusões da ACAS na PCSE (CALADO, 2010).

Segundo CASTRO (1996), a PCSE pode ser subdividida em três, a interna, a média e a externa. Segundo o autor, esta classificação é importante visto que o

mapeamento de tais subdivisões auxilia na compreensão de quais processos oceânicos e atmosféricos dominam a dinâmica de uma determinada região.

A ressurgência costeira ao largo da costa brasileira ocorre na cidade de Arraial do Cabo, entretanto o fenômeno é referenciado na literatura como ocorrendo em CF. Nessa região, esse fenômeno ocorre, sobretudo, durante o verão, quando a ACAS alcança a plataforma continental, estendendo-se sobre ela desde a Ilha de CF até a Baía de Guanabara (BG) (SILVA *et al.*, 2006; MIRANDA; DOURADO, 2011). De fato, BÉRGARMO (2006) relatou índices termohalinos característicos da ACAS na BG em fevereiro de 2001.

Mais recentemente, PASSOS *et al.* (2012) e MARIANO *et al.* (2012) identificaram a ocorrência da ACAS no interior da BG (Ver Anexo I). Entretanto, tal intrusão ainda é pouco estudada. Segundo MARIANO *et al.* (2012), a ACAS encontrada na BG pode ser resultante de inúmeros processos de mistura com outras massas d'água existente na região. Entretanto, a contribuição desta massa d'água para o volume de água presente na BG não deve ser descartada. PASSOS *et al.* (2012) relacionaram períodos de incidência da ACAS no interior da BG com a ressurgência costeira presente na região de CF, indicando que os dois processos podem estar relacionados.

Dessa forma, esse trabalho pretende avaliar o comportamento sazonal da ACAS na PCSE e a possível correlação da água fria e índices termohalinos, característicos da ACAS, encontrados por medição *in situ* no interior da BG com a ressurgência costeira existente de CF. Para tal, foram utilizados como método de investigação resultados da modelagem computacional e dados oceanográficos coletados *in situ*.

3. Objetivos

Estudar a sazonalidade da distribuição espacial da ACAS na Plataforma Continental Sudeste Brasileira na região entre CF e Sepetiba.

3.1. Objetivos Específicos

- Identificar o posicionamento da Frente Halina Superficial e da Frente Térmica Profunda na região de estudo;

- Avaliar com maior detalhamento a advecção de águas da região de CF para a região ao largo da BG através de medições *in situ*, medições remotas e modelagem computacional.

4. Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho corresponde à porção da PCSE ao largo do litoral do Rio de Janeiro compreendido entre a região de CF até a região da Baía de Sepetiba. Neste capítulo será realizada uma revisão a respeito da PCSE, da ACAS, da resurgência de CF e sobre a BG.

4.1. Circulação na Plataforma Continental Sudeste Brasileira adjacente ao Rio de Janeiro

A extensão total da PCSE corresponde à região compreendida desde o Cabo de São Tomé (RJ), localizado na coordenada geográfica de 21°59'S e 40°58'W, até o Cabo de Santa Marta (SC), localizado na latitude de 28°36'S e longitude de 48°48'W (Figura 1). A linha de costa neste domínio geográfico é extensa e irregular, com aproximadamente 1100 km. É composta por algumas reentrâncias, como baías e enseadas, por uma diversidade de ilhas, algumas com grande extensão, como a Ilha Grande (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP) e outras de menor extensão, via de regra, situadas no interior das baías existentes. De forma geral, as isóbatas nessa região estão dispostas paralelamente à linha de costa e evidenciam um tênue declive em direção à quebra da Plataforma Continental (PC).

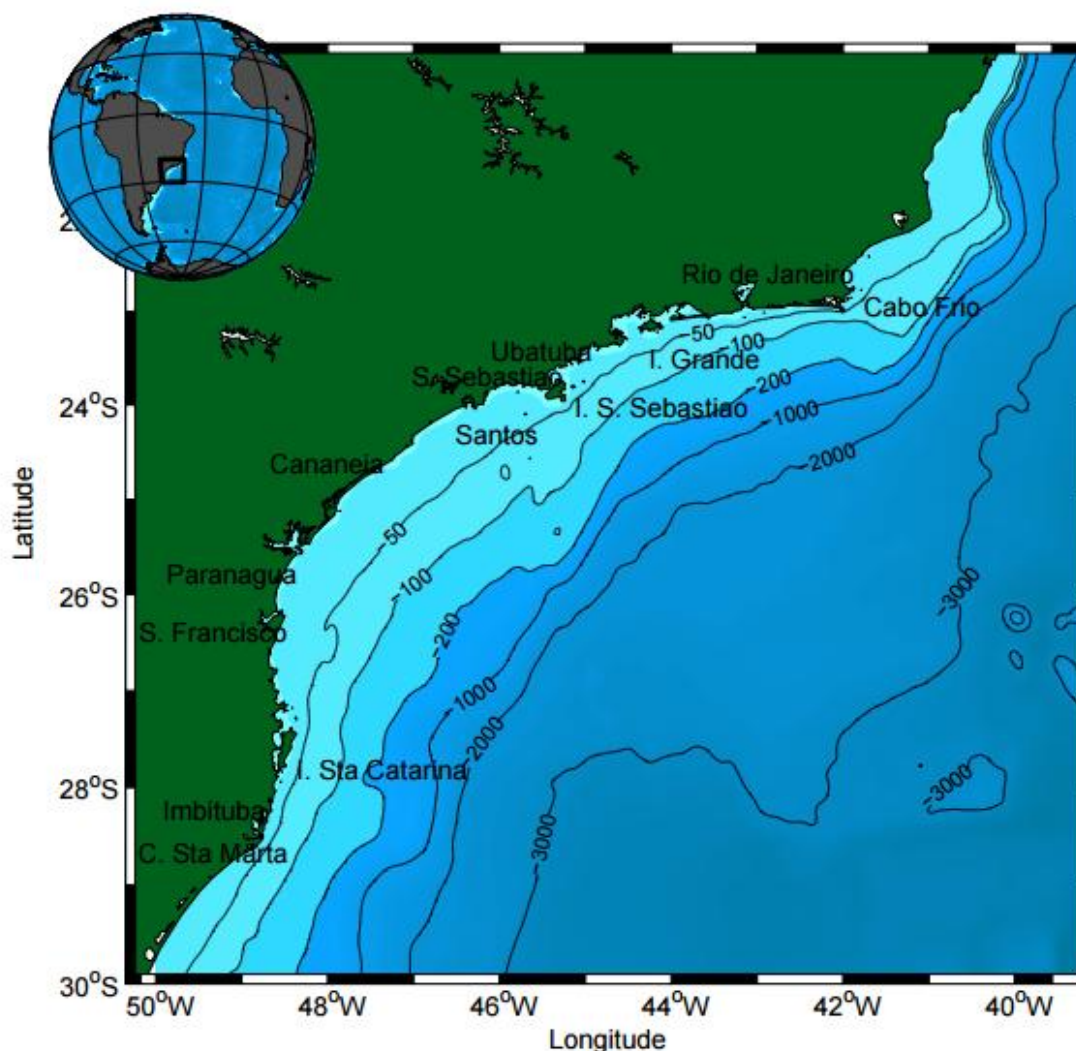


Figura 1: Modelo digital batimétrico da PCSE contendo toda a sua extensão e a área oceânica adjacente.

Fonte: MAZZINI (2009).

Segundo CASTRO (1996), a PCSE pode ser dividida em duas subáreas de acordo com a sua morfologia. A subárea mais ao norte estende-se deste Arraial do Cabo (RJ) até o Cabo de São Tomé (RJ) e é caracterizada por apresentar a linha de costa orientada de SW/NE, PC mais extensa com largura desde a linha de costa até a quebra da PC variando de 70 a 100 km e a profundidade de quebra de PC mais rasa, entre 80 e 100 metros. A subárea ao sul de Arraial do Cabo (RJ) é definida pela abrupta mudança na orientação da linha de costa que passa a ser de E/W. Esta última subárea também é caracterizada por possuir uma PC mais estreita próximo à Arraial do Cabo (RJ), alargando-se conforme o aumento da latitude, e variando de 50 a 150 km de extensão. A profundidade de quebra de PC é comparativamente maior, sendo de 150 a 200 m (Figura 1).

A hidrodinâmica marinha na região da PCSE sofre a influência de três forçantes principais: a componente atmosférica; a CB; e a Maré. A seguir serão descritos cada forçante separadamente. Além disso, será apresentada uma descrição das características hidrográficas observadas na literatura para a região da PSCE.

4.1.1. Influência da Circulação Atmosférica

Segundo a Lei de Lavoisier do final do século XVIII, “Na Natureza nada se cria e nada se perde, tudo se transforma”. Analogamente, a influência da atmosfera no oceano pode ser descrita, simplificada, pelo intercâmbio de energia de um meio para o outro.

Na atmosfera, regiões distintas podem apresentar diferentes pressões, em razão de diferentes composições químicas da atmosfera, temperatura do ar, entre outros, o que gera um deslocamento de ar entre estas duas regiões. Essa diferença de pressão cria um gradiente de pressão, ou seja, há um deslocamento da região de menor pressão para a região de maior pressão. O atrito do vento com a camada superficial oceânica é responsável pela transferência de *momentum* da atmosfera para o oceano. Tal influência pode também interferir nas camadas subsuperficiais do oceano pelo efeito da dinâmica de Ekman. Além disso, os fenômenos meteorológicos também são capazes de desencadear processos de mistura nas águas superficiais e consequentes alterações nas propriedades físicas, como a temperatura. Dessa forma, entender os fenômenos meteorológicos que exercem influência em uma determinada região oceânica auxilia na compreensão da dinâmica marinha da mesma.

As PCs são porções de águas rasas sujeitas à ação do vento. A dinâmica marinha resultante da ação dos ventos também sofre influência da circulação termohalina, da topografia de fundo e do comprimento da PC até a sua quebra, além de características do vento, como a persistência, intensidade e direção (CASTRO *et al.*, 2006). Os movimentos gerados na PC, via de regra, manifestam-se como correntes paralelas às isóbatas com o intuito de manter o balanço geostrófico perpendicularmente à topografia (CASTRO; MIRANDA, 1998). Variações no vento local podem provocar um desequilíbrio no sistema devido às possíveis elevações na superfície do mar. Este desequilíbrio gera uma força denominada força do gradiente de pressão, responsável pelas correntes geostróficas quase paralelas à costa, intituladas como “Jatos Costeiros” (CSANADY, 1977). No caso da região da PCSE, os sistemas atmosféricos que mais

influenciam são o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e os Sistemas Frontais Polares, também denominados de Frentes, que podem ser frias, quentes ou estacionárias. Segundo CASTRO (1996), a perturbação meteorológica mais influente na região são as Frentes Frias (FF).

A seguir serão brevemente descritos os mais importantes sistemas atmosféricos que atuam na região de interesse.

4.1.1.1. O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

O ASAS é um sistema meteorológico de macroescala quase-estacionário que ocorre o ano todo e que atua em regiões subtropicais do OAS, sofrendo variações sazonais (Figura 2). No período de verão, principalmente em Janeiro, seu centro está localizado mais próximo do continente africano (menor pressão atmosférica na PCSE) enquanto que no inverno, principalmente no mês de Julho, seu centro está localizado mais próximo do continente americano (maior pressão atmosférica na PCSE). Este deslocamento do centro do ASAS influencia remotamente o padrão de ventos encontrados na PCSE, que são compostos por ventos com direção predominante de NE/E. O sistema atmosférico pode ser desestabilizado eventualmente por perturbações ondulatórias com diferentes escalas espaciais e temporais tais como frentes, o anticiclone polar e ciclones extratropicais assim como também eventos de El Niño (*El Niño Southern Oscillation* - ENSO).

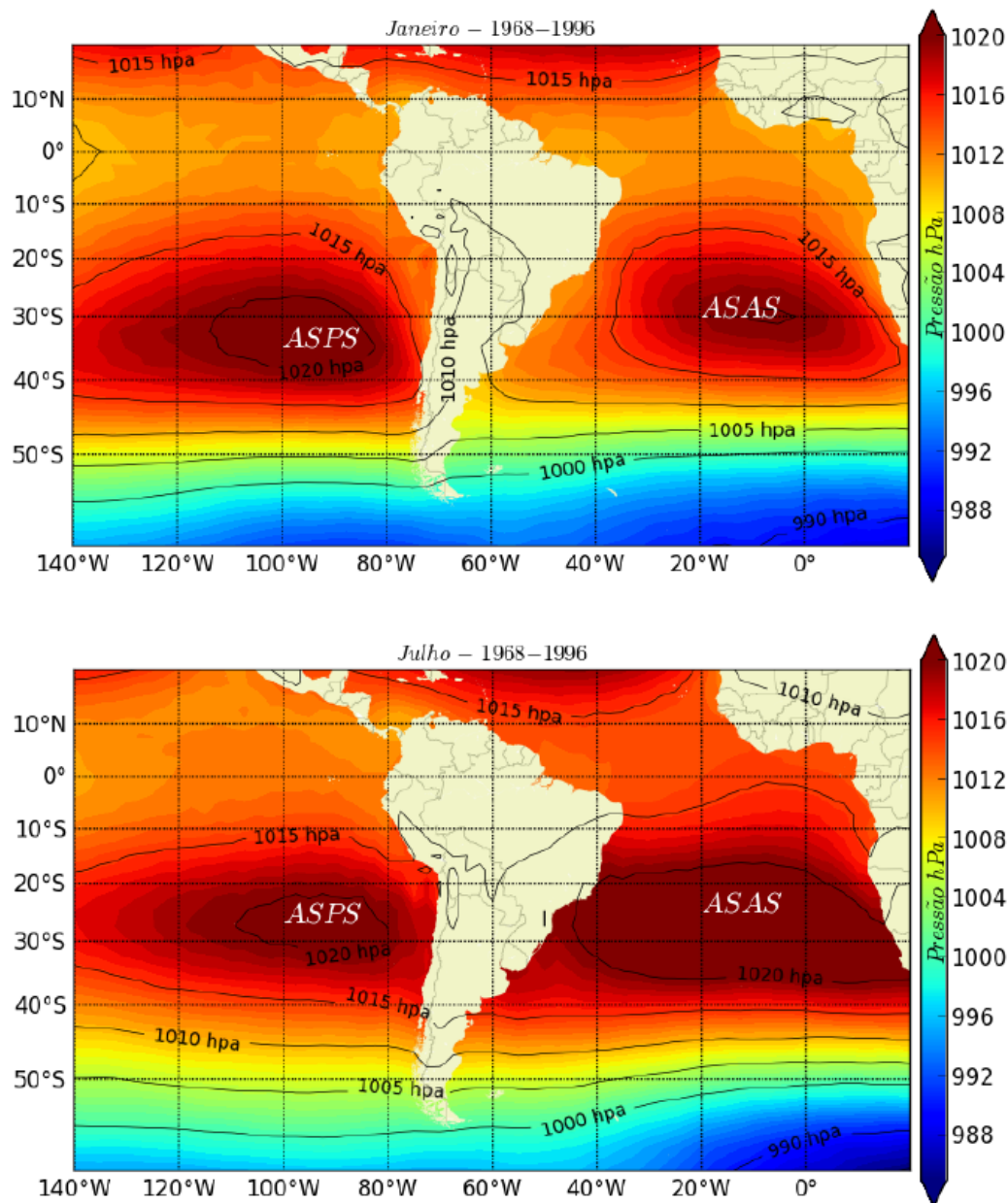


Figura 2: Pressão Atmosférica indicando o posicionamento do Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). A imagem superior é representativa de verão e a imagem inferior é representativa de inverno. As figuras foram geradas a partir de resultados de modelos atmosféricos da Reanálise NCEP-DOE AMIP II.

Fonte: Adaptado de KANAMITSUA *et al.* (2002).

4.1.1.2. Frentes Frias

As FF são massas de ar frias e úmidas de baixa pressão que se originam nas regiões polares e se deslocam, geralmente, em direção às baixas latitudes. Segundo CASTRO (1996), os movimentos atmosféricos no Oceano Pacífico Sul são

influenciados pelo Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul e resulta na formação de ventos predominantes de oeste. Tais ventos são o reduto de ondas baroclínicas, impulsionadoras da gênese das FF no OAS e são predominantemente de SW/NE. Esses sistemas ocorrem ao longo de todo o ano e têm período de ocorrência em torno de 5 à 10 dias. É possível que, uma vez que a FF atinja a PCSE, esta se enfraqueça e não atinja a região mais ao norte da PCSE.

STECH; LORENZZETTI (1992) desenvolveram um modelo conceitual para a passagem de FF na região da PCSE a partir de imagens termais e cartas meteorológicas sinóticas. Este modelo representa a mudança do comportamento do vento como consequência da passagem de uma FF (Figura 3). De acordo com o modelo, as FF na região possuem velocidade média de $500 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ e dirigem-se para NE. Entretanto, antes da passagem destas frentes, o vento inicia um movimento de rotação anti-ciclônica até se tornar paralelo à face da frente, passando a ser de NW. Durante a passagem da frente os ventos predominantes são de SW e possuem maior intensidade. Após a passagem da FF, os ventos mantêm o mecanismo de rotação por cerca de até 24 h, quando retorna ao padrão de circulação de NE.

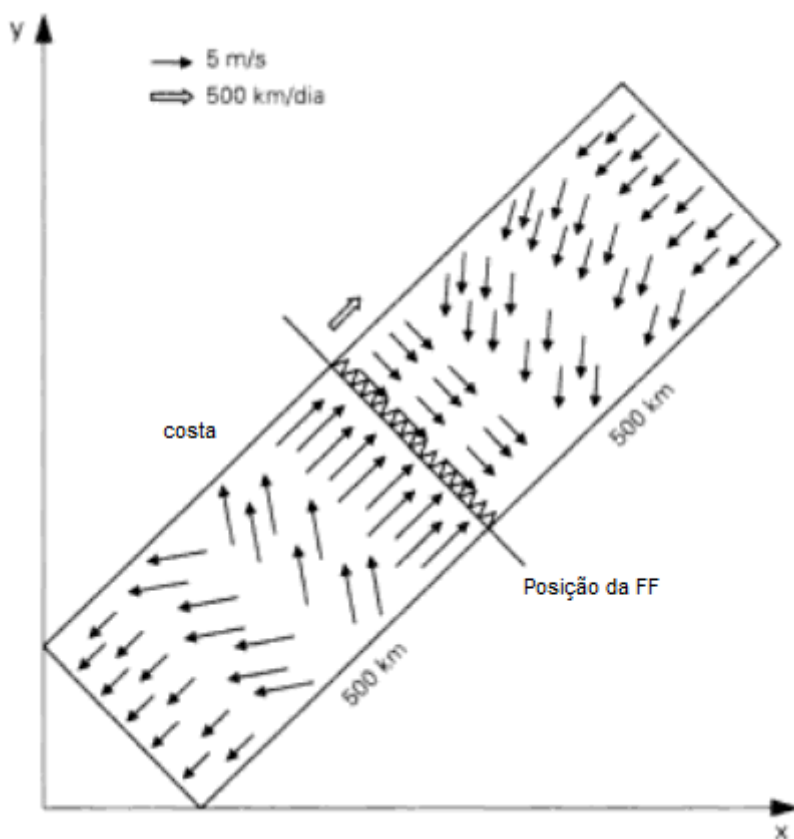


Figura 3: Representação esquemática para a passagem de uma FF na PCSE. O eixo X representa as longitudes e o eixo Y representa as latitudes.

Fonte: Adaptado de STECH; LORENZZETTI (1992).

4.1.2. Corrente do Brasil

A CB exerce uma função importante na distribuição de calor no OAS transportando águas quentes e salinas de baixas latitudes para regiões de altas latitudes. Climatologicamente, a CB origina-se em superfície, aproximadamente, na latitude de 10°S (SOUTELINO, 2008), fluindo a partir deste instante para sul ao largo da costa brasileira (Figura 4). É a corrente de bordo oeste do giro subtropical do OAS, portanto, é a corrente mais intensa do giro. Entretanto é bem menos intensa se comparada às outras correntes de bordo oeste. Segundo STOMMEL (1957), as componentes da circulação oceânica na região apresentam sentido oposto, o que resulta em uma CB menos intensa quando comparada à sua análoga no Atlântico Norte, a Corrente do Golfo (Figura 5). Além disso, as correntes de bordo oeste são caracterizadas como correntes estreitas e profundas. Com isso, salienta-se que a CB pode atuar como uma barreira entre as feições existentes em plataforma e as feições existentes no oceano adjacente.

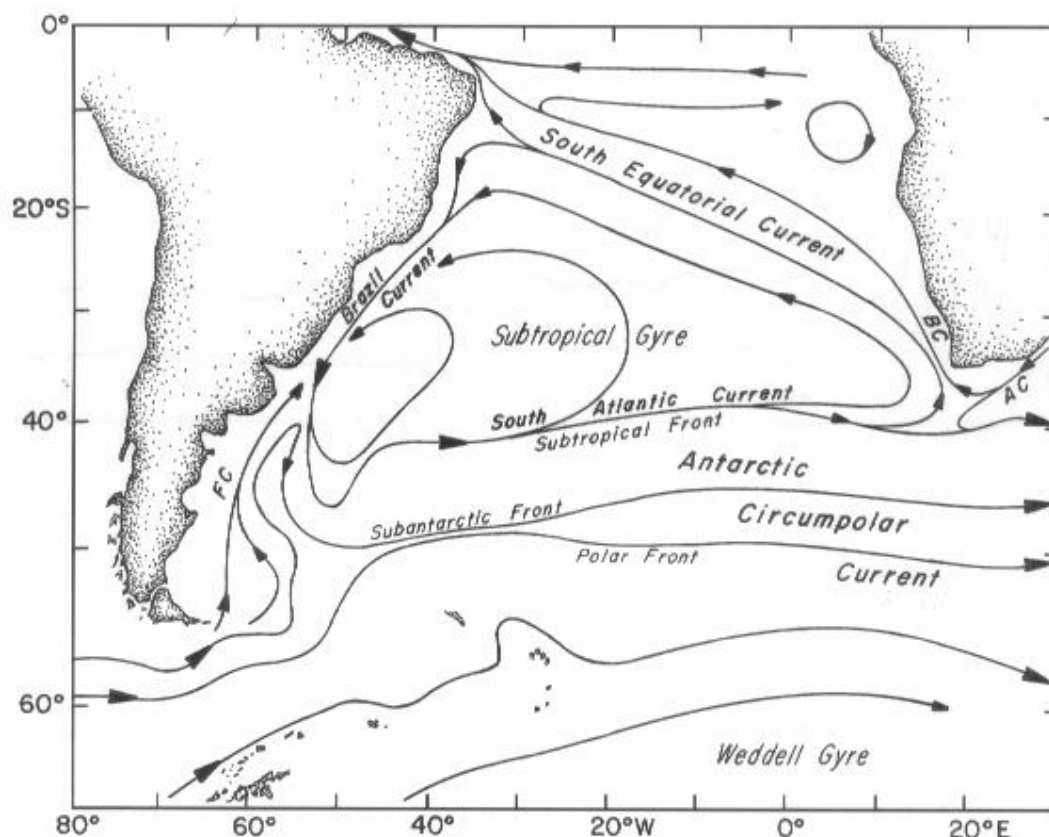


Figura 4: Representação da distribuição das principais correntes oceânicas do giro tropical do OAS.
Fonte: SCHMITZ (1996).

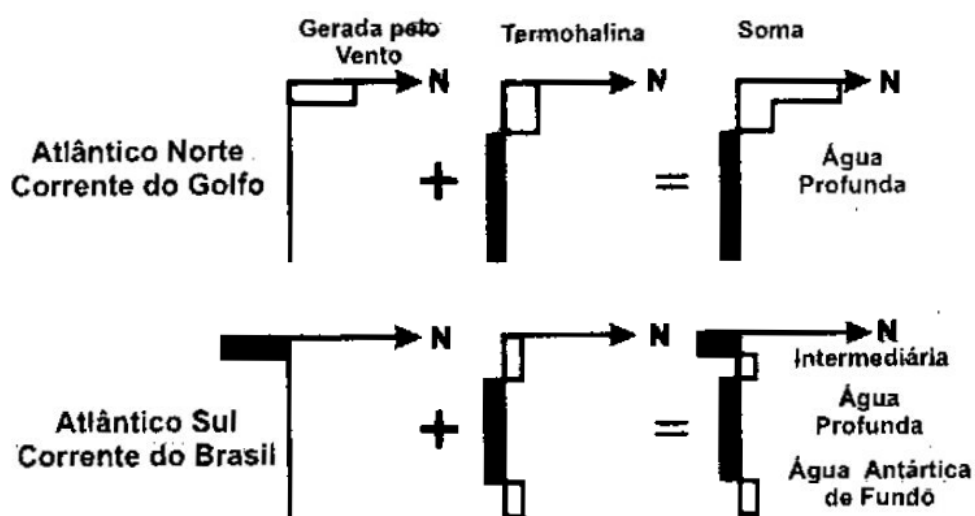


Figura 5: Representação da hipótese de STOMMEL (1965, *apud* SILVEIRA *et al.*, 2000) que explicaria a diferença do volume entre a CB e a CG devido à diferença ou não do sentido da circulação influenciada pelo vento e a circulação termohalina.
Fonte: Modificado de SILVEIRA *et al.* (2000).

Próximo à sua formação, a CB é rasa e se localiza junto à quebra da PC, transportando cerca de 4 Sv para sul (PETERSON; STRAMMA, 1991). Segundo SILVEIRA *et al.* (2000), a CB permanece com essas características até aproximadamente 22°S onde a ACAS se bifurca e parte dela se desloca para o sul, integrando também a CB. Ao longo de seu percurso, a CB é marcada pela presença de meandros e vórtices.

Não há uma definição única para os limites da CB na literatura. Alguns autores consideram CB apenas a porção que é influenciada pelo vento, já que a CB é uma corrente gerada pelo vento. Desta forma, seria composta pela Água Tropical (AT) e a ACAS, após esta sofrer bifurcação, e estaria compreendida entre a superfície e níveis picnoclínicos (MANO, 2007). Outros autores, como ZEMBA (1991), que utilizam o argumento cinemático, consideram a CB todo fluxo que integra a coluna d'água e que está escoando para o sul.

Na região próxima a CF, a hidrodinâmica da CB é caracterizada pela presença de meandros e vórtices (SIGNORINI, 1978; CAMPOS *et al.*, 1995; SILVEIRA *et al.*, 2000). CAMPOS *et al.* (1995) relacionam o meandramento da CB nesta região com a deflexão da linha de costa. CALADO (2006) esclarece que tal meandramento é consequência da conservação da vorticidade potencial.

Fisicamente, a vorticidade é uma grandeza que obtemos através do rotacional da velocidade: $w = \vec{\nabla} \times \vec{u}$. Em outras palavras, a vorticidade representa a tendência de rotação de um fluido e tal tendência pode originar-se através de diferentes formas. Basicamente, existe uma vorticidade induzida pelo cisalhamento das velocidades de um fluido (Vorticidade Relativa - ζ_R) e uma vorticidade induzida pelo movimento de rotação do planeta (Vorticidade Planetária - f). A formulação da ζ_R é dada por:

$$\zeta_R = \vec{\nabla} \times \vec{V} = \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) \cdot \vec{i} + \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) \cdot \vec{j} + \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \cdot \vec{k} \quad (1)$$

onde ζ_R é uma grandeza vetorial imaginária, cujo módulo expressa a tendência de rotação de um campo de corrente. Considerando um movimento horizontal ($w = 0$) e que o fluido não apresenta cisalhamentos verticais de velocidade, isto é $\partial u / \partial z = \partial v / \partial z = 0$, pode-se simplificar a equação (1) em:

$$\zeta_R = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \cdot \vec{k} \quad (2)$$

A f também é intitulada como parâmetro de Coriolis. Em valores absolutos, possui máximos em altas latitudes e mínimos em baixas latitudes, sendo nula no Equador. Convencionalmente, assume-se que apresenta valores positivos no Hemisfério Norte e valores negativos no Hemisfério Sul. A formulação deste parâmetro é dada por:

$$f = 2 \pi \sin(\varphi) \quad (3)$$

onde φ é a latitude.

A Vorticidade Potencial (ζ_p) é a relação entre o somatório da ζ_R com a f e a profundidade (H). A ζ_p é dada pela seguinte fórmula:

$$\zeta_p = \frac{f + \zeta_R}{H} = 0 \quad (4)$$

O fluido se desloca de modo a conservar seu potencial de rotação. Ou seja, toda vez que ocorrer variação em H , f ou ζ_R será de forma que ζ_p permaneça constante. É possível exemplificar esta conservação ao considerar um fluido se deslocando ao longo de um paralelo, ou seja, com f constante. Neste caso, o aumento de H implica em um aumento da ζ_R e consequente rotação no sentido ciclônico com o intuito de conservar a ζ_p . Em um segundo cenário no qual há variação em latitude, do Equador em direção ao pólo, mas a coluna d'água flui em um mesmo meridiano, ela deverá perder ζ_R para compensar o aumento da f .

Em CF, além da mudança brusca da orientação da linha de costa, há um condensamento das isobatas e consequente aumento do gradiente batimétrico. Assim sendo, ao ultrapassar a latitude de 23°S fluindo para sul, o fluxo da CB passa a ocupar regiões de maiores profundidades em um curto espaçamento horizontal. Devido à conservação da vorticidade potencial, a CB adquire vorticidade ciclônica e meandra em sentido horário, passando a fluir em direção a PC. Analogamente, em regiões de PC, por serem regiões rasas, o escoamento da CB retrata um comportamento anti-ciclônico no qual o fluxo passa a orientar-se em direção ao oceano adjacente (CAMPOS *et al.*, 1995; CALADO 2006). Segundos os autores, a CB mantém este meandramento em direção ao sul do Brasil como uma onda de vorticidade topográfica.

No final de seu trajeto a CB encontra a Corrente das Malvinas (CM), que flui

para norte, e finalmente se separa do continente americano. A região de encontro destas duas correntes é denominada de CBM e é uma das mais importantes feições oceanográficas existentes no OAS (CATALDI *et al.*, 2010). A CBM varia sazonalmente e se localiza mais ao norte no inverno e mais ao sul no verão do hemisfério sul (TASCHETTO; WAINER, 2003).

4.1.3. Maré

As marés podem ser descritas como o resultado da influência dos forçantes gravitacionais astronômicas no oceano. Segundo CASTRO (1996), “Em PCs largas, entretanto, as oscilações do nível do mar e as correntes nas frequências astronômicas das marés, apresentam-se, em geral, como co-oscilações com o oceano profundo. Isto é, a maior parte da energia fica com as ondas excitadas na região costeira pelas oscilações globais do oceano profundo, sendo a comunicação estabelecida através do talude e da quebra da PC.”.

Ainda segundo o autor, “Na PCSE, a constituinte M_2 da maré é a dominante nas oscilações do nível do mar, seguida pelas constituintes S_2 , O_1 e K_1 (MESQUITA; HARARI, 1983; MESQUITA; HARARI, 1987).”.

Na região de estudo, CASTRO (1996) descreve uma convergência de sinais de maré em direção à região central da PCSE. Segundo o autor, existem duas ondas da componente harmônica M_2 na região. Uma se desloca desde CF com direção SW e a outra se propaga sentido NE na porção mais ao Sul da PCSE. De fato, existem dois pontos anfidrômicos no OAS e a influência destes pode ser uma justificativa para essa convergência de sinais distintos da componente de maré na região.

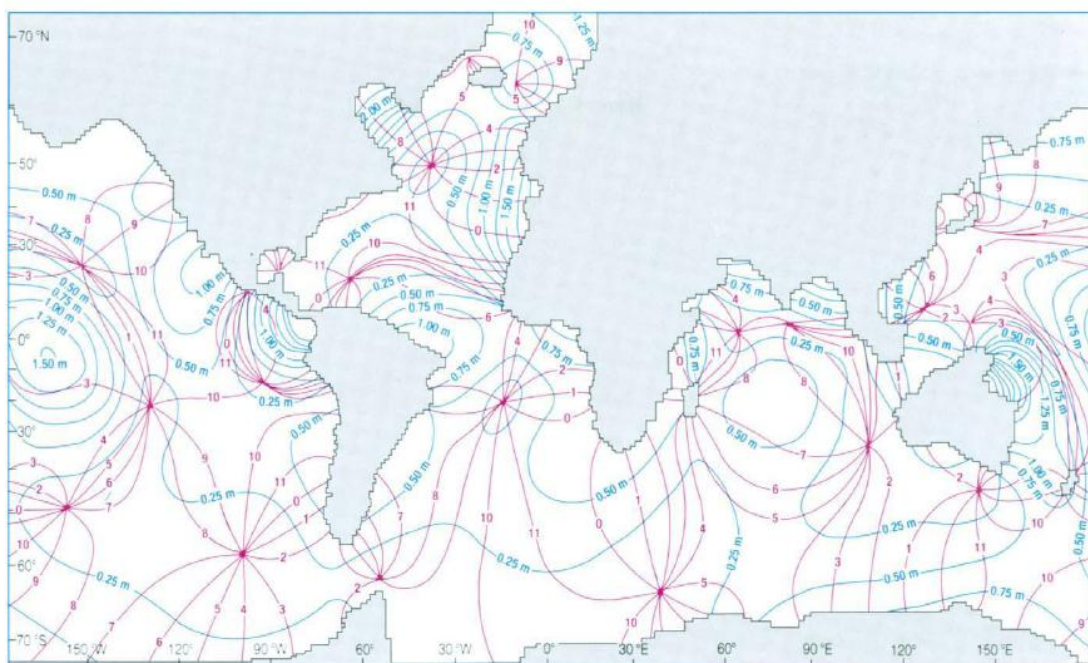


Figura 6: Representação do Sistema Anfidrômico mundial. As linhas azuis são resultantes de pontos com mesma amplitude de maré, ou seja, representam regiões com a mesma variação da maré. As linhas em vermelho representam linhas cotidais, que podem ser definidas por representarem pontos com mesma fase da maré, ou seja, locais nos quais as preamares ocorrem no mesmo instante. Os pontos anfidrômicos são representados nos pontos de convergência das linhas cotidais.

Fonte: BROWN (1999)

4.1.4. Características Hidrográficas na PCSE

Em seu estudo, CASTRO (1996) definiu critérios dinâmicos para compartimentar a PCSE em três: Plataforma Continental Interna; Plataforma Continental Média; e Plataforma Continental Externa. Tais critérios dinâmicos adotados são referentes às frentes existentes na PC. Regiões de intenso gradiente horizontal ou quase-horizontal de uma ou mais propriedades físicas podem caracterizar tais frentes (CASTRO *et al.*, 2006). Na PCSE foram definidas duas frentes de acordo com as propriedades físicas temperatura e salinidade.

A temperatura é a propriedade física determinante para frente térmica profunda (FTP). Como relatado no item 4.1.2, a CB flui próximo ao talude continental e transporta em superfície a massa d'água denominada como AT e, em níveis subsuperficiais, a ACAS. Segundo (CASTRO *et al.*, 2006), uma parcela deste volume de água transportado pela CB penetra por sobre a PC em direção à costa. A FTP é formada na região de encontro das águas frias oceânicas, dito ACAS, com as águas

características de PC, dito Água Central (AC). Em outras palavras, a FTP é a interseção da termoclina com o fundo.

Analogamente para a salinidade, temos a Frente Halina Superficial (FHS). A FHS também atua como uma região de separação para diferentes massas d'água, porém em superfície e geralmente na região próxima à quebra da PC. Esta frente é formada pelo encontro da AC, que é pouco salina, com a AT, bem salina. Segundo MIRANDA (1982, *apud* CASTRO; MIRANDA 1998), a AT possui índices salinos superiores a 34,6, tornando este o valor característico da FHS. A analogia da FTP separando as águas costeiras das águas oceânicas também pode ser aplicada à FHS. A posição e a estrutura desta frente variam sazonalmente.

Dessa forma, a compartimentação da PCSE (Figura 7) ocorre da seguinte forma:

Plataforma Continental Interna (PCI): Está localizada entre a costa e a FTP. A localização da FTP varia sazonalmente e encontra-se mais próxima à costa durante o verão e mais afastada no período do inverno. Consequentemente, a PCI é mais extensa no período de inverno. Em virtude da tensão de cisalhamento do vento e das descargas de águas fluviais, um gradiente de pressão é formado, o que induz a formação de correntes subinerciais que tendem a ser paralelas à costa com sentido ora SW ora NE. Sendo assim, a dinâmica na PCI é composta por correntes de densidade barotrópicas, uma vez que as propriedades físicas tridimensionais tendem a permanecer homogêneas durante todo o ano (CASTRO *et al.*, 2006) e não apresentam, portanto, influência da CB (Figura 8). Segundo CASTRO (1996), a direção da corrente subinercial será resultante do balanço entre o cisalhamento do vento e o gradiente de salinidade, que varia sazonalmente de acordo com o aporte de águas fluviais e pode ser diferente para regiões distintas da PCSE. A passagem de FF influencia diretamente este sistema e é capaz de provocar a inversão destas correntes.

Plataforma Continental Média (PCM): É a região compreendida entre a FTP e a FHS. Sua extensão é melhor demarcada durante o verão. Já no inverno a PCM não é tão bem demarcada. De acordo com CASTRO (1996), o vento exerce um papel mais determinante sobre as correntes subinerciais nesta compartimentação da PC. Entretanto, a influência dos gradientes de pressão gerados pela estratificação da densidade não pode ser descartado assim como, eventualmente, a influência da CB, que ocorre, principalmente, em regiões de PC mais estreitas. Ainda segundo o autor, o fluxo

predominante da corrente é para SW, havendo frequentemente inversões da corrente para NE associados a FF.

Plataforma Continental Externa (PCE): Estende-se desde a FHS até a quebra da PC. A dinâmica da PCE é dominada pela influência da CB, com correntes subinerciais dispostas na direção S/SW e raras inversões. Geralmente essas inversões, quando ocorrem, estão associadas a meandros e vórtices presentes na CB e que estariam influenciando na hidrodinâmica da PCE. O cisalhamento do vento exerce menor influência sobre as correntes.

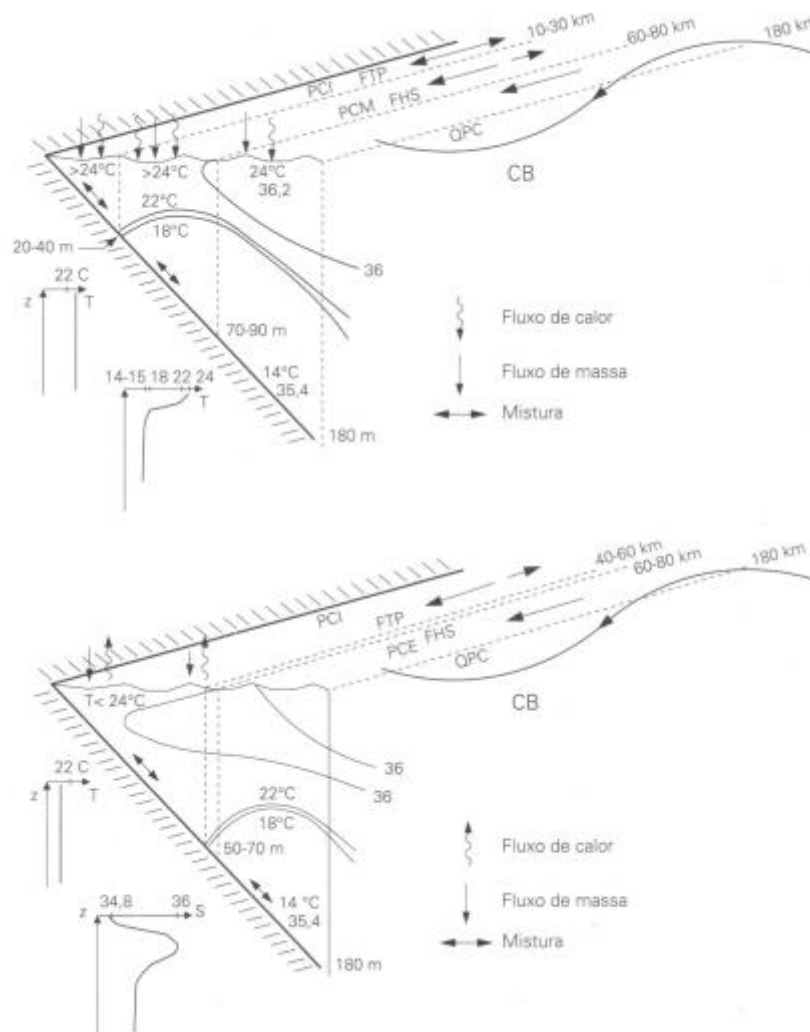


Figura 7: Representação esquemática da divisão da PCSE para o verão (superior) e para o inverno (inferior). As divisões da Plataforma Continental em Interna, Média e Externa são referidas, respectivamente, como PCI, PCM e PCE. FTP significa Frente Térmica Profunda e FHS significa Frente Halina Superficial. A Corrente do Brasil é

referida como CB. As distâncias verticais estão expressas em metros e as distâncias horizontais estão expressas em quilômetros.

Fonte: CASTRO (1996, *apud* CASTRO *et al.*, 2006)

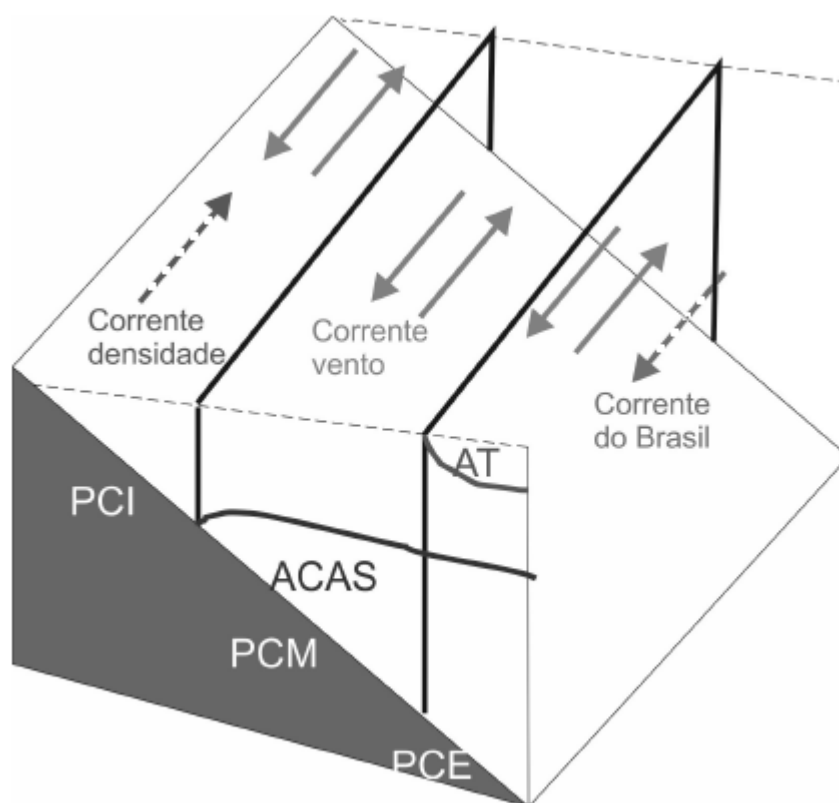


Figura 8: Esquema da divisão da PCSE em PCI, PCM e PCE. Destaca-se também a hidrodinâmica dominante em cada divisão. A linha tracejada na PCI representa as linhas de densidade. A linha tracejada na PCE representa a Corrente do Brasil. As linhas contínuas representam as correntes forçadas pelo vento sinótico.

Fonte: Modificado de GREGORIO (2014).

Apesar do estudo de CASTRO (1996) ser aplicado apenas para a região norte de São Paulo, os forçantes que exercem influência na hidrodinâmica da PCSE podem ser consideradas os mesmos em toda a sua extensão de acordo com o estudo de CASTRO; MIRANDA (1998). Dessa forma, os limites definidos pelo autor foram adotados para a região costeira do Rio de Janeiro.

4.2. Água Central do Atlântico Sul

A ACAS é formada na CBM, região de encontro da CM com a CB (GORDON, 1981). A CM tem sua origem a partir do fluxo da Corrente Circumpolar Antártica (CCA). O fluxo da CM se dirige para o norte na borda oeste do OAS. Entretanto, nessa

mesma região flui para o sul, a CB. A posição da CBM varia sazonalmente e localiza-se mais ao norte no inverno e mais ao sul no verão. A circulação atmosférica exerce influência na CB e na CM, o que provoca influência indireta no posicionamento da CBM (CAMPOS *et al.*, 1999a).

Após sua formação, a ACAS atinge equilíbrio hidrodinâmico em níveis picnoclínicos. Ao atingir o equilíbrio, a ACAS penetra no Giro Subtropical e circula até atingir a costa do Brasil próximo a 22°S (Figura 9) (SILVEIRA *et al.*, 2000). Segundo TOMCZAK; GODFREY (1994), parte do volume caracterizado como ACAS não é oriunda da região de convergência subtropical, mas é, na realidade, a Água Central do Oceano Índico que foi transportada pela Corrente das Agulhas (CA) até o OAS. A mistura desta água central oriunda do oceano Índico com a proveniente da frente subtropical do OAS resulta em dois tipos de águas caracterizadas como ACAS, sendo uma mais densa que a outra. A menos densa é, basicamente, a formada na frente subtropical, enquanto que a mais densa é resultado da maior mistura das duas águas ao longo da Corrente de Benguela (CBg) e a Corrente Sul Equatorial (CSE) (STRAMMA; SCOTT, 1999).

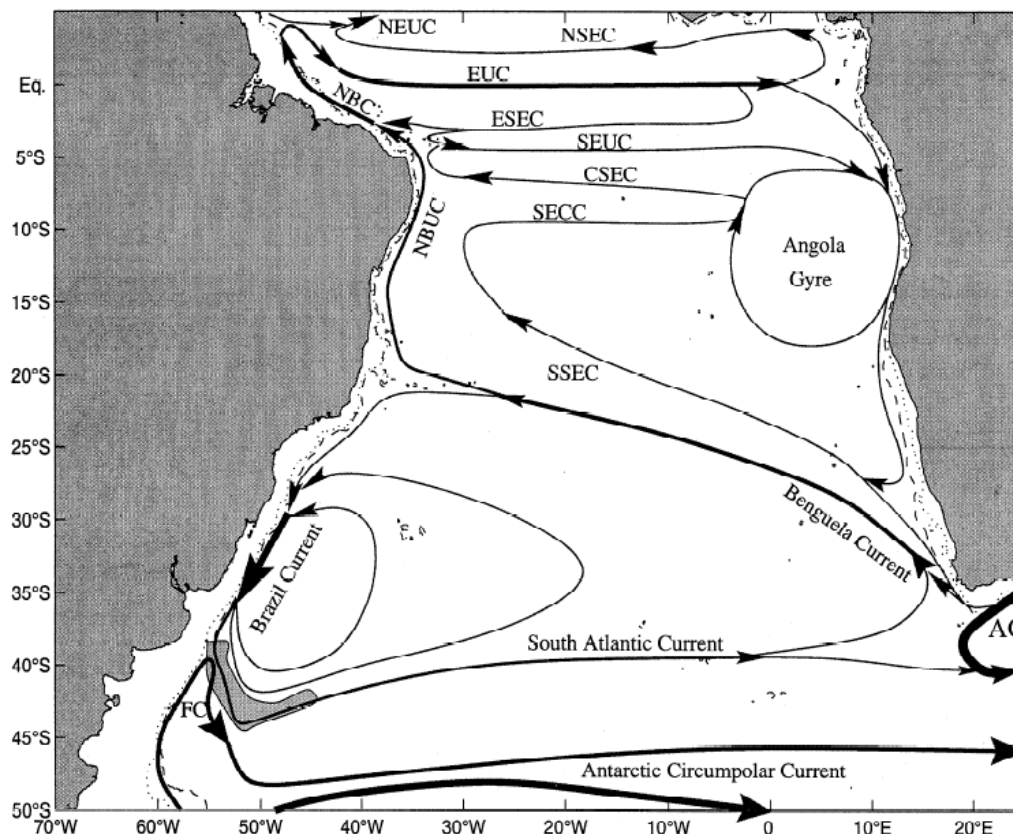


Figura 9: Representação esquemática de grande escala para a circulação em nível

subpicnoclínico (de 100 a 500 m de profundidade). A região de formação da ACAS está sombreada (Fonte: STRAMMA; ENGLAND, 1999).

Segundo GORDON *et al.* (1992), a ACAS é transportada para leste pela Corrente do Atlântico Sul, havendo cisão de sua massa, de forma que parte dela contribui diretamente para a formação da CBg e a outra porção flui em direção ao Oceano Índico em latitudes mais ao sul da CA. Esta porção da ACAS entra na célula de recirculação das Agulhas e retorna ao OAS. Após fluir na CBg, a ACAS passa a compor a Corrente Sul Equatorial até atingir a plataforma brasileira (STRAMMA; ENGLAND, 1999).

SILVEIRA *et al.* (2000), afirmam que a bifurcação da ACAS ocorre quando essa atinge a costa do Brasil, na qual parte dela passa a fluir para o norte, integrando a Corrente Norte do Brasil, e parte passa a fluir para o Sul, se unindo à CB. A localização da bifurcação da ACAS é incerta, mas há um consenso na literatura de que ao sul do Cabo de São Tomé, o fluxo da ACAS é para sul e, ao norte dele, o fluxo é para o norte. Segundo SILVEIRA (2007) a cadeia de montanhas Vitória-Trindade serviria como uma barreira geográfica para o escoamento desta massa d'água, provocando assim a bifurcação da mesma.

A ACAS é bem definida em toda a sua extensão por apresentar propriedades uniformes. Em um diagrama TS (Figura 10), normalmente ocorre como uma linha bem demarcada entre os pontos correspondentes aos seus índices termohalinos (Tabela 1). Na região tropical, entre 300 m e 400 m, a ACAS possui índices mínimos de oxigênio (STRAMMA; ENGLAND, 1999; STRAMMA; SCOTT, 1999). Também é considerada uma massa d'água rica em nutrientes (CASTELÃO; BARTH, 2006). Os índices termohalinos da ACAS podem ser observados até latitudes de 15°N. No entanto, ao norte do Equador, a ACAS é mais salina (STRAMMA; ENGLAND, 1999).

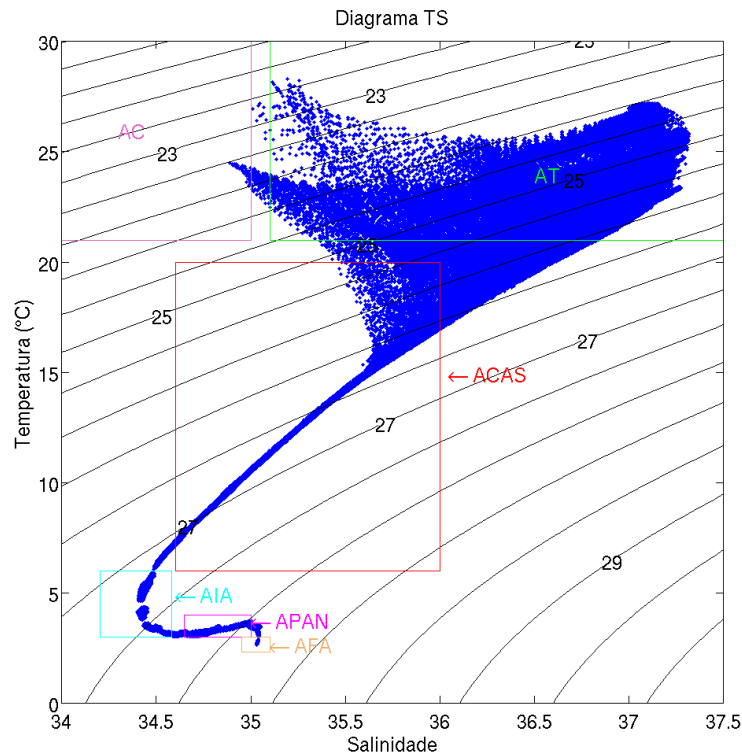


Figura 10: Diagrama TS representativo para a PCSE ao largo do Rio de Janeiro e oceano adjacente. As massas d'água estão salientadas. A figura foi gerada através dos resultados do modelo computacional utilizado no trabalho e descrito em 5.1.1.

Tabela 1: Índices termohalinos encontrados na literatura para a ACAS ao longo de seu trajeto

Referência	Temperatura (°C)	Salinidade
SILVEIRA <i>et al.</i> , 2000; MIRANDA, 1985	20 - 6	34.6 - 36.0
MIRANDA, 1985 (Plataforma sudeste brasileira)	20	36.2
SILVA, 1995	20	36.41
SILVEIRA, 2007 (Região da Bacia de Campos)	20 - 8.72	36.2 - 34.66

4.3. Ressurgência Costeira de CF

A ressurgência ao largo da costa brasileira estende-se desde a costa do Espírito Santo até próximo à Baía de Guanabara, no estado do Rio de Janeiro (Figura 11) (TORRES JR., 1995; FRANCHITO *et al.*, 1998). O fenômeno é intensificado próximo à cidade de CF (Figura 11) devido às condições geomorfológicas, meteorológicas e oceanográficas propícias existentes (RODRIGUES; LORENZZETTI, 2001).

O fenômeno é de grande importância para a região porque estabelece uma conexão entre processos oceânicos costeiros e da plataforma continental externa, além de enriquecer a teia trófica local devido à maior disponibilidade de nutrientes (CASTELÃO *et al.*, 2004). Segundo EMILSSON (1961), MATSUURA (1986, *apud* CASTRO *et al.*, 2006) e CAMPOS *et al.* (2000), a ACAS se encontra mais disponível na PCSE no período de verão, o que contribui para o fenômeno de ressurgência neste período. Ainda segundo o autor, no período de inverno a ACAS está mais afastada da PCSE e assim, o fenômeno de ressurgência é menos frequente ao longo deste período (Figura 12).

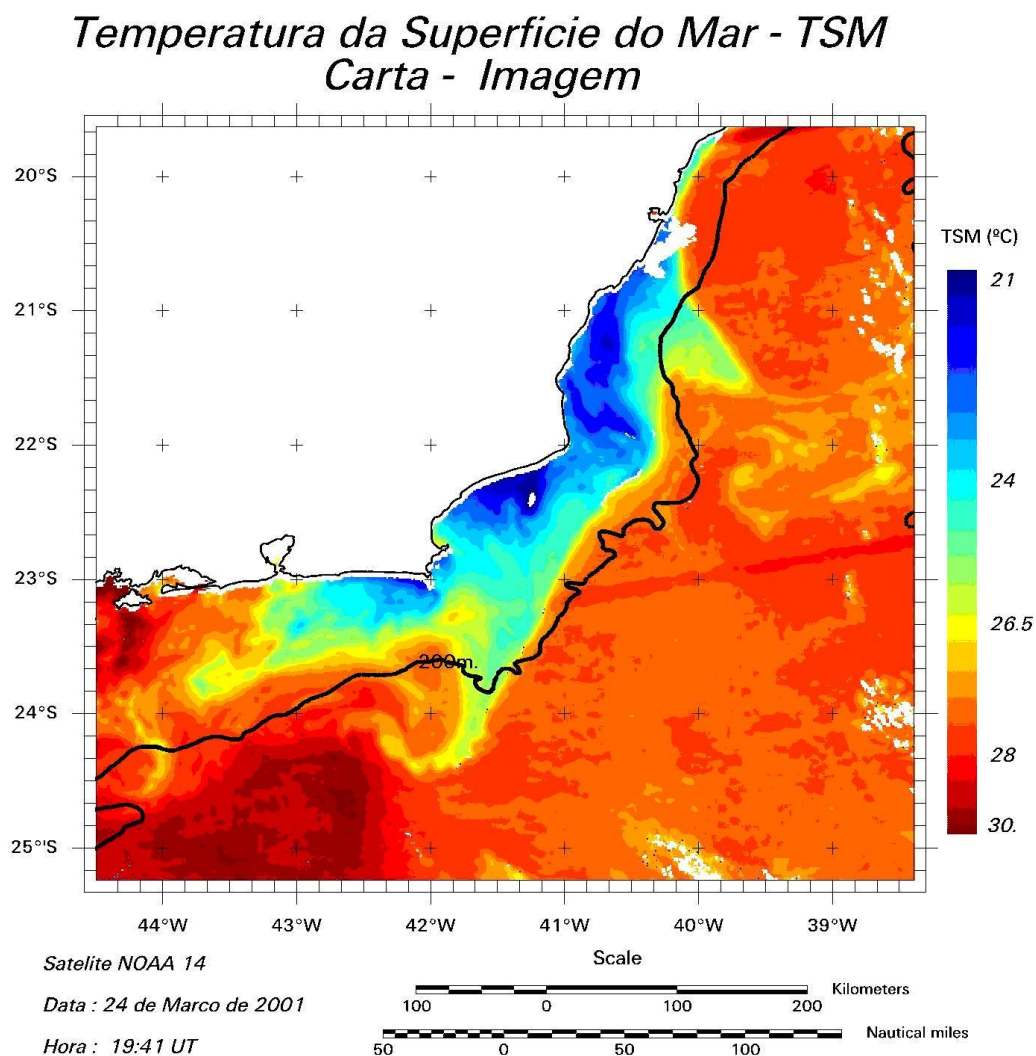


Figura 11: Distribuição da Temperatura de Superfície do Mar (TSM) durante um evento de ressurgência costeira ao largo da costa brasileira.

Fonte: NOAA (2001)

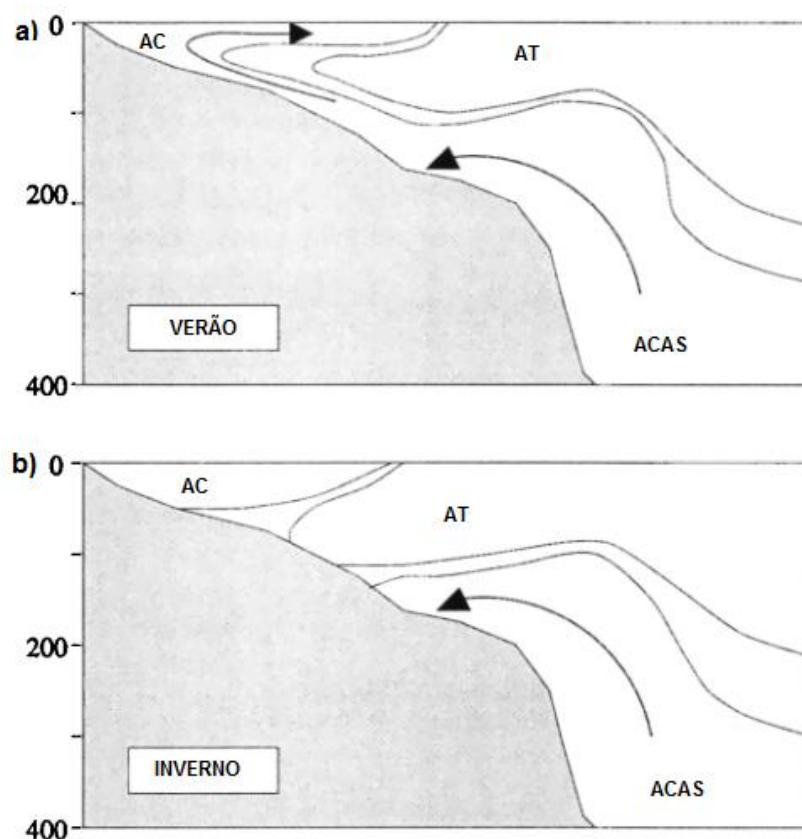


Figura 12: Representação da variação sazonal da ocorrência da ACAS na Plataforma Continental brasileira sendo a figura A a representação para o verão e a figura B a representação para o inverno.

Fonte: Modificado de CAMPOS *et al.*, (2000).

Outro fator que desfavorece a ressurgência, no período de inverno, é o afastamento da CB da margem costeira, diminuindo a disponibilidade da ACAS sobre a plataforma (PAVIGLIONE; MIRANDA, 1985). CAMPOS *et al.* (1999b) indicam que a ressurgência causada pelo meandramento da CB pode ocorrer durante todo o ano. Porém, essa ressurgência seria menos frequente no inverno, visto que as correntes são menos intensas e a CB se encontra mais afastada da costa nesse período.

SOARES (2014) analisou, baseado em simulações numéricas da hidrodinâmica marinha com um modelo regional, a variabilidade da vorticidade média mensal do vórtice de CF (Figura 13). Segundo o autor, foi observado que os valores mínimos se encontram no período de primavera e verão, o que indica que este período é mais favorável para a formação de vórtices corroborando os resultados de CAMPOS *et al.* (1999b). Estes autores sugerem que no verão ocorre a combinação dos efeitos de vento e meandros na formação da ressurgência e durante o inverno, como descrito também por

CASTELÃO *et al.* (2004), há a atuação apenas dos meandros. Já CAMPOS *et al.* (2000) sugerem que os vórtices ciclônicos presentes na região de CF (Figura 14) podem também estar associados com eventos de ressurgência por facilitar o bombeamento da ACAS para o interior da PCSE.

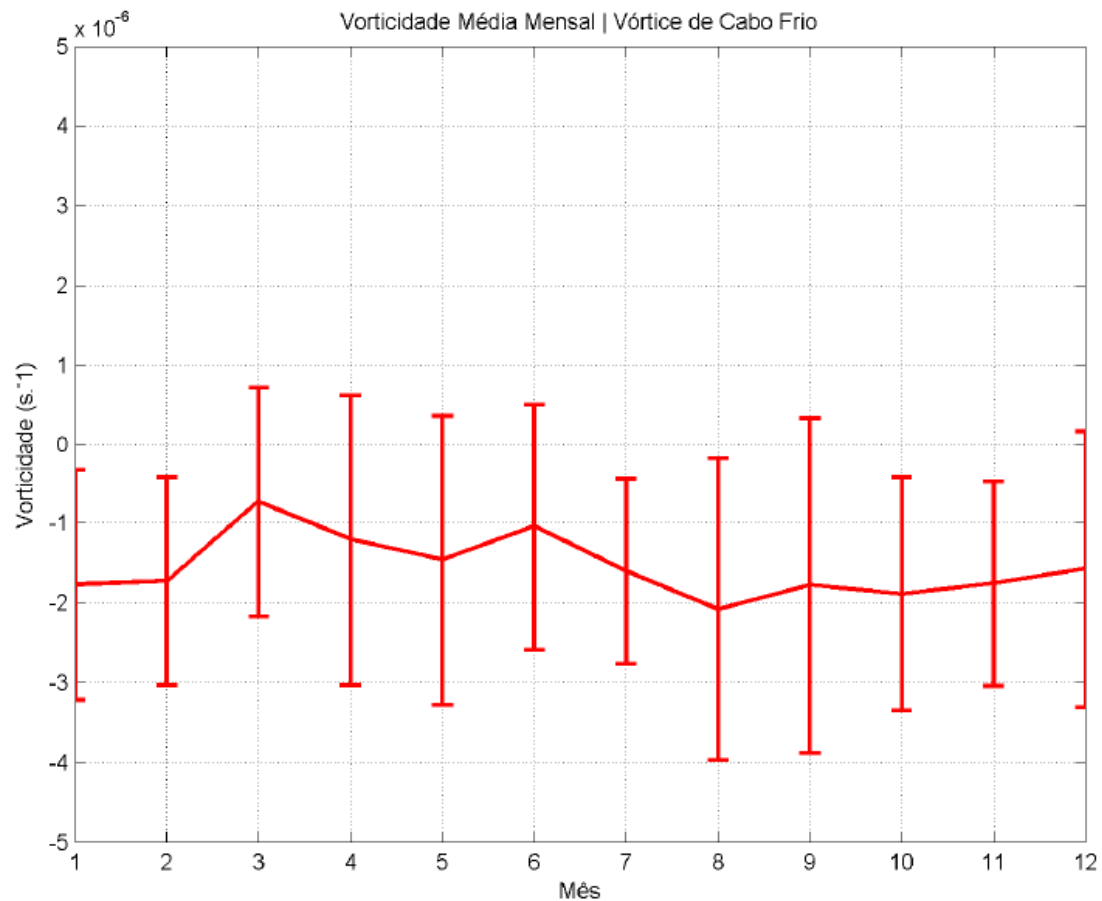


Figura 13: Vorticidade média mensal para o Vórtice de CF. As médias foram realizadas para o período de 1997 à 2004. As barras verticais representam o desvio padrão.

Fonte: SOARES (2014)

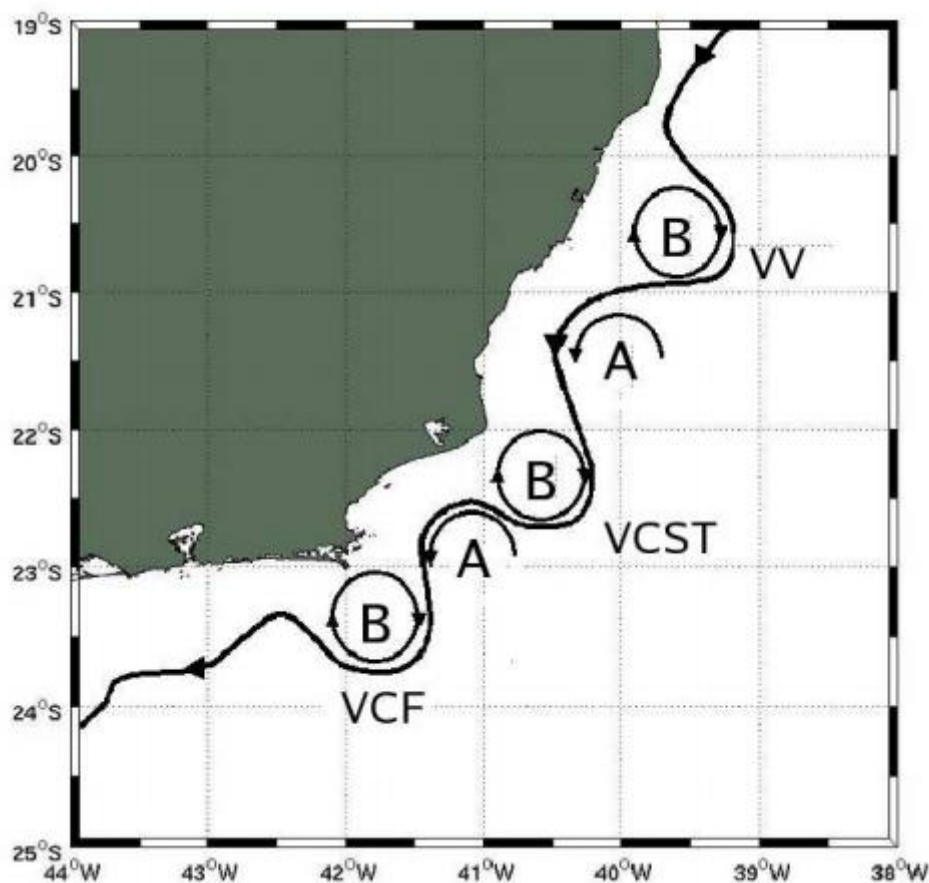


Figura 14: Representação esquemática dos vórtices oriundos dos meandros da CB. VCF representa o Vórtice de CF, VCST representa o Vórtice do Cabo de São Tomé e VV representa o Vórtice de Vitória. A denominação A são para os vórtices de alta pressão (anti-ciclônicos) e a denominação B são para os vórtices de baixa pressão (ciclônicos).

Fonte: CALADO (2006)

Conforme podemos observar na Figura 15, a área de estudo está compreendida entre as latitudes 22°S e 25°S e as longitudes 41°W e 45°W. Esta região da costa brasileira abriga duas das principais baías existentes no país: a Baía de Guanabara e a Baía de Sepetiba. Conforme já foi descrito, a região também é caracterizada pela mudança de orientação da linha de costa. As isobatas sofrem uma aproximação com a costa na região de inflexão, o que provoca um aumento no gradiente batimétrico. As maiores profundidades encontradas estão localizadas em áreas mais afastadas do continente e são superiores a 2500 m.

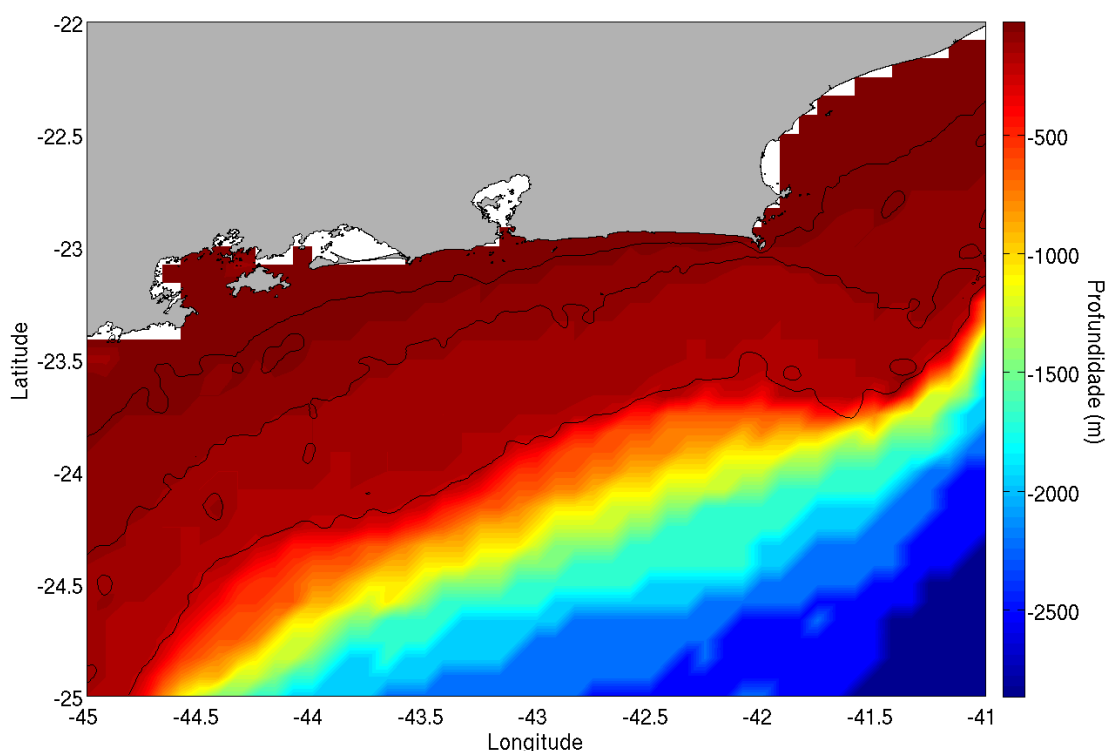


Figura 15: Modelo digital batimétrico da PCSE ao largo do Estado do Rio de Janeiro.

Para esta região, ressalta-se o estudo de CERDA; CASTRO (2014) que investigou a climatologia hidrográfica de parte da PCSE que contempla a região ao largo do Estado do Rio de Janeiro e utilizou dados hidrográficos históricos. Os autores avaliaram a variabilidade sazonal da temperatura e salinidade para determinadas profundidades e identificaram também a região próxima a cidade de Ubatuba como favorável à intrusões da ACAS na PCSE. De acordo com os resultados, o efeito combinado de três fatores são determinantes para a ocorrência da intrusão da ACAS: a topografia da PC; incidência de ventos favoráveis; e a variabilidade sazonal da CB.

Ainda com relação à região ao largo do Estado do Rio de Janeiro, PALMA; MATANO (2009) evidenciaram que eventos de intrusões da ACAS na PC podem estar relacionados com variações da força do gradiente de pressão ao longo do talude continental, causados por variação da topografia oceânica e que influenciariam águas que compõe a CB.

Conforme descrito no item 4.1.1, a circulação atmosférica na região de estudo é influenciada por diferentes sistemas meteorológicos que possuem escalas temporais e espaciais distintas. O ASAS é o sistema que exerce maior influencia no clima da região e pode ser caracterizado por céu claro e pouca nebulosidade e ventos com direção

nordeste de fraca intensidade (DERECZYNSKI *et al.*, 2009). Segundo CAMPOS *et al.* (2000), a estabilidade deixa de existir quando sistemas como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) contribuem para o aumento da nebulosidade e a intensificação dos ventos. A direção predominante dos ventos quando a ZCAS está atuando pode ser nordeste-sudeste (DERECZYNSKI *et al.*, 2009) ou Nordeste-Leste com uma componente paralela à costa (RODRIGUES; LORENZZETTI, 2001).

A região também sofre influencia de sistemas frontais, mais frequentes no inverno, que alteram o padrão dos ventos quanto à direção e intensidade (CASTELÃO *et al.*, 2004; CASTELÃO; BARTH, 2006). Segundo LORENZZETTI; GAETA (1996) e FRANCHITO *et al.* (1998), a incidência de tais sistemas frontais ocorre, em média, de 6 a 11 dias. A ACAS tende a aflorar após 24-36 horas do estabelecimento dos ventos favoráveis (TORRES JR., 1995) com velocidade vertical estimada da ordem de $10^{-4} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (TANAKA, 1977).

Muitos pesquisadores, como RODRIGUES; LORENZZETTI (2001) e CASTELÃO; BARTH (2006) identificaram o período de setembro a abril (primavera e verão austrais) como favorável à ocorrência de ressurgência por causa da tensão de cisalhamento negativa do vento, e de abril a agosto (outono e inverno austrais) como desfavoráveis para tal. Para o período da primavera e verão, a intensificação dos ventos ocorre devido ao deslocamento do centro de alta pressão do oceano Atlântico Sul para latitudes mais altas (FRANCHITO *et al.*, 2008).

Os ventos associados ao ASAS causam o transporte de água de superfície (transporte de Ekman) (CASTELÃO *et al.*, 2004). Devido ao efeito da força de Coriolis, no Hemisfério Sul, esta água transportada pela ação do vento é desviada para a esquerda em relação à direção do vento (Figura 16) (CASTELÃO; BARTH, 2006). A camada superficial deslocada é denominada camada de superfície de Ekman e, no verão no Hemisfério Sul, pode se aproximar até 50 km da costa (CAMPOS *et al.*, 2000). No caso de CF, onde a costa possui orientação Leste-Oeste, esse desvio faz com que a água superficial (Água Tropical) seja transportada para longe da costa.

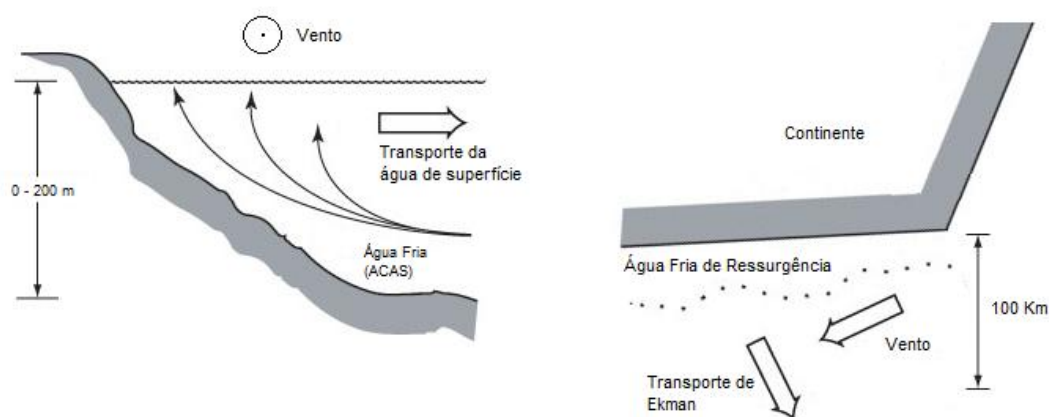


Figura 16: Representação esquemática do Transporte de Ekman na região de estudo.
Fonte: Modificado de STEWART (2008)

Quando as águas superficiais são transportadas em direção ao oceano por conservação de volume, as águas subsuperficiais afloram. Na região estudada, a água que ressurge é a ACAS, conhecida por ser fria e rica em nutrientes (CASTELÃO; BARTH, 2006). RODRIGUES; LORENZZETTI (2001) teorizam que as condições propícias para a ocorrência da ressurgência ocorrem devido ao bombeamento de Ekman somado à topografia de fundo.

FRANCHITO *et al.* (2008) demonstram que a brisa marinha tende a ser intensificada devido à ressurgência. Uma vez que a TSM diminui quando o fenômeno ocorre, o gradiente térmico entre o oceano e o continente se intensifica, influenciando a brisa marinha. Os autores também evidenciam que a ressurgência impede a inversão da brisa marinha para brisa terrestre, pois não há inversão térmica no período da noite, considerando que a superfície do oceano permanece mais fria que a do continente. Da mesma forma, os ventos de Nordeste-Leste (propícios à ressurgência) são intensificados pela brisa marinha, que os torna mais zonais, favorecendo a ressurgência, sugerindo, então, que há um *feedback* positivo entre ambos os fenômenos (FRANCHITO *et al.*, 1998).

Uma vez ocorrendo a ressurgência na região, os valores de TSM tendem a cair para até 13°-14°C, ou seja, a TSM cai cerca de 10°-11°C (LORENZZETTI; GAETA, 1996; RODRIGUES; LORENZZETTI, 2001). Quando a TSM indica temperatura referente a 15°C, aproximadamente, supõe-se que as águas superficiais sobre a plataforma estão 10°C inferiores ao se comparar com a climatologia da região (LORENZZETTI; GAETA, 1996; CARRIÈRE *et al.*, 2009).

4.4. Baía de Guanabara

A BG está situada nas latitudes de 22°41' e 22°58' S e longitudes de 43°02' e 43°18' W, adjacente à segunda maior metrópole brasileira, próxima às cidades do Rio de Janeiro e Niterói (Figura 17) (PERIN *et al.*, 1997; CARREIRA *et al.*, 2002; CARREIRA *et al.*, 2004; JÚNIOR *et al.*, 2006).

Por ser uma região historicamente importante, a BG sofreu influência antropogênica desde o início da colonização do Brasil. Ao longo do desenvolvimento do país, a BG abrigou diversas fábricas e indústrias, o que provocou sua intensa degradação (QUARESMA *et al.*, 2000). Além disso, é comum a falta de saneamento básico em algumas regiões fronteiriças a ela.

A BG é considerada uma baía costeira rasa, que ocupa uma área de 381 km² e profundidade média de 5,7 metros com algumas características tipicamente estuarinas (KJERFVE *et al.*, 1997; CASTRO *et al.*, 2005). Segundo KJERFVE *et al.* (1997), a BG pode ser classificada como um estuário dominado por marés, sendo a direção das correntes de maré o resultado da combinação da própria força geradora da maré relacionada com a topografia de fundo e a linha de costa. Entretanto, CARVALHO (2010) identificou uma significativa influência do vento na porção norte da BG nos períodos de preamar e baixa mar, provavelmente, por ser uma região rasa e a propagação da onda de maré ter influência reduzida. Ainda segundo o autor, o vento exerce influência na hidrodinâmica da baía tanto com relação à elevação de superfície livre quanto na alteração de componentes de velocidade.

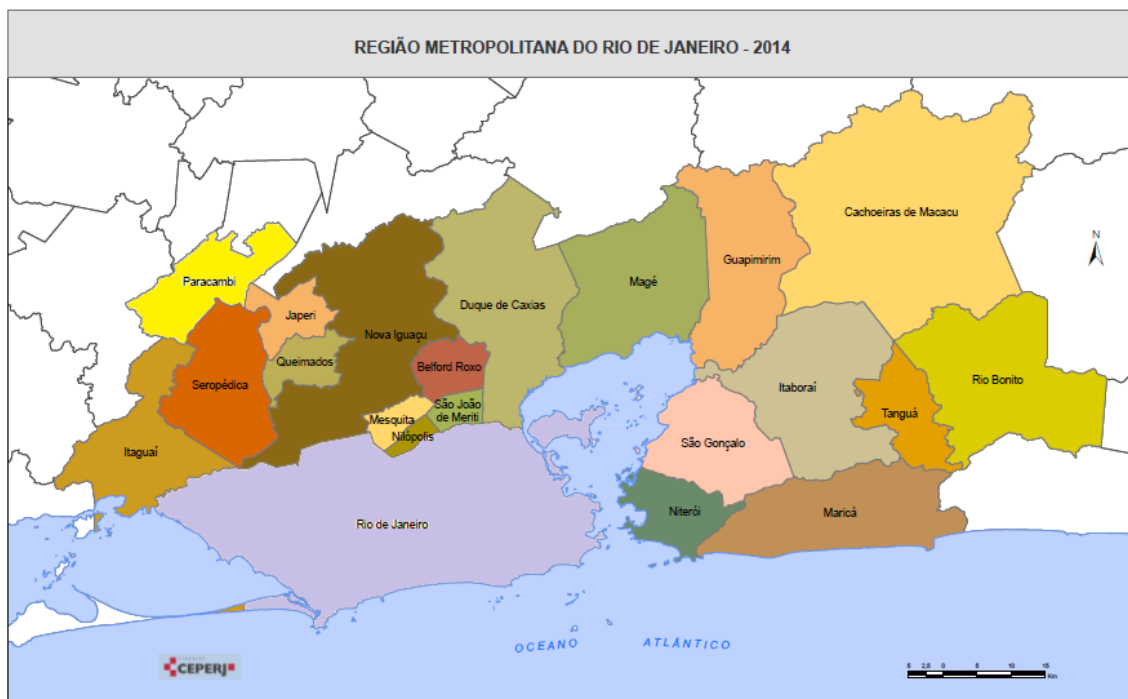


Figura 17: Região Metropolitana do Rio de Janeiro e Baía de Guanabara.

Fonte: Adaptado da Fundação Centro Estadual de Estatística, Pesquisa e Formação de Servidores Públicos do Estado do Rio de Janeiro (CEPERJ) (2014).

As correntes de marés são de fundamental importância uma vez que são responsáveis pelas trocas que ocorrem entre o estuário e o oceano, bem como por influenciar diretamente no processo de mistura deste (MYIAO; HARARI, 1989). Sabe-se que tais correntes adquirem velocidade também através da transferência de energia do vento atuante. Logo, a BG possui um padrão das correntes de marés desigual, apresentando preamares mais velozes (KJERFVE *et al.*, 1997).

Segundo JOURDAN (2007), a circulação dos sistemas de brisa é importante para o regime de ventos na região da BG devido à influência do OAS, a topografia acidentada próximo a baía e a própria região urbana de entrono. Ainda segundo o autor, na região da BG existem dois sistemas de brisas atuantes, o sistema de brisa marinha e terrestre e o sistema de brisa vale-montanha. PIMENTEL *et al.* (2014) afirmam que a região metropolitana do Rio de Janeiro ainda necessita de estudos aprofundados do regime de ventos com diversos fatores atmosféricos, dentre eles, os processos de formação de nevoeiro. Acredita-se que tais nevoeiros são fortemente influenciados por eventos de TSM fria, ou seja, possivelmente por intrusões de ACAS na BG.

Os ventos do quadrante sul predominam, tanto em intensidade quanto em frequência, sobre os do quadrante norte, sendo que os mais frequentes possuem

intensidade média de 6 a 8 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. PIMENTEL *et al.* (2014) analisaram 8 estações meteorológicas para a região metropolitana do Rio de Janeiro, sendo 3 próximas à BG: a do aeroporto Tom Jobim (Galeão), a do aeroporto Santos Dumont e a do Centro. Destas 3 estações, a estação do Galeão foi descartada pela ausência de dados contínuos. A estação do Aeroporto Santos Dumont apresentou ventos do quadrante sul predominantes sobre o quadrante norte, indicando um padrão bem semelhante ao da brisa marinha e terrestre, com ventos do quadrante sul predominantes durante a tarde e a noite, e do quadrante norte durante a madrugada e manhã. A estação localizada no Centro apresentou um padrão semelhante à brisa marinha e terrestre, porém com predominância de ventos do quadrante SE, no período de tarde e noite, sobre ventos do quadrante NW, no período da madrugada e manhã. Possivelmente, o Maciço da Tijuca atua como uma barreira geográfica, influenciando o padrão de ventos na região.

5. Metodologia

Para atingir os objetivos propostos anteriormente, a metodologia do trabalho consiste na análise de resultados oriundos de um modelo computacional hidrodinâmico como método de investigação da circulação oceânica visando a identificação e caracterização espacial e temporal da ACAS na região de estudo. Análises de dados coletados *in situ*, por boias meteoceanográficas e remotamente foram utilizados para identificar eventos de ocorrência da ACAS em superfície e o processo de advecção desta massa d'água entre a região de CF e a BG. Para tal, foram realizados índices estatísticos para a temperatura superficial coletada *in situ*, medições remotas e os resultados do modelo computacional.

Como foi descrito anteriormente, a extensão da PCSE corresponde à região compreendida entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Cabo de Santa Marta (SC). Entretanto, a área de estudo deste trabalho está compreendida entre as longitudes de 42°W e 44°W, a costa e a isóbata de 200 m. A região definida está ao largo do Estado do Rio de Janeiro, logo, será referida como PCSERJ.

A descrição do modelo utilizado e das boias assim como a metodologia empregada para a análise dos dados serão apresentadas nos tópicos deste capítulo.

5.1. Nucleus for European Modelling of the Ocean (NEMO)

Com a finalidade de monitorar o oceano e realizar previsões deste, foi criado em 2009 um projeto denominado *MyOcean*. O Projeto *MyOcean* implementou e operacionalizou para 7 grades distintas o modelo *Nucleus for European Modelling of the Ocean* (NEMO) e disponibiliza gratuitamente para a comunidade científica os resultados do modelo no *site* do projeto.

O NEMO utiliza um método singular para resolver as equações que governam os movimentos dos oceanos visto que é o resultado de um sistema composto por uma série de modelos. Neste sistema, a solução da dinâmica marinha é obtida a partir do modelo OPA (*Océan PARallélisé*), o gelo marinho é inferido pelo modelo LIM (*Louvain-la-Neuve*), os traçadores e o ciclo Biogeoquímico são calculados pelo TRP (*Tracer in the Ocean Paradigm*).

O modelo da dinâmica marinha OPA (MADEC *et al.*, 1998) foi desenvolvido no *Laboratoire d'Océanographie DYnamique et de Climatologie* (LODYC), da Universidade de Paris com o intuito de compreender a interação de três domínios em grande escala, cito: atmosfera, oceano e gelo marinho. O OPA se originou no trabalho de Chartier e Delecluse em 1985 e, após três anos, em 1988, o modelo foi totalmente reescrito e então chamado de OPA (ANDRICH *et al.*, 1988a; 1988b). A discretização do modelo em questão para o cálculo das equações primitivas é realizada em diferenças finitas utilizando a grade C de Arakawa (MESINGER; ARAKAWA, 1976). O sistema climático do NEMO (Oceano; Atmosfera; Gelo Marinho – *Sea Ice*; e o balanço de neve – *Snowpack*, sigla OASIS) é obtido através de um acoplador de modelos (VALCKE *et al.*, 2013), desenvolvido na França pelo *Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique* (CERFACS) e *Centre National de la Recherche Scientifique* (CNRS).

A grade C de Arakawa utilizada pelo NEMO pode ser descrita por apresentar os parâmetros vetoriais calculados no meio da aresta, os parâmetros escalares no centro da grade e, por fim, a função de corrente e a altura da superfície livre calculados nos vértices da grade (Figura 18). A espessura das camadas são calculadas juntamente com as variáveis escalares no centro da grade (Figura 19) (GRIFFIES *et al.*, 2000). As regiões continentais do domínio são configuradas na grade do modelo através da aplicação de uma “máscara” de terra.

Os oceanos apresentam uma grande variedade de interações ao longo da coluna d'água. Como exemplo pode-se citar as camadas superficiais como sendo dependentes temporalmente das variações da superfície do mar. Deve-se considerar também a

estratificação dos oceanos que atua como uma barreira para os movimentos verticais e de mistura. Além disso, o assoalho oceânico varia de acordo com a sua posição geográfica, e pode atingir valores superiores a 6000 metros nas regiões abissais e valores próximos a zero na região costeira. Com a finalidade de satisfazer essas peculiaridades oceânicas, o modelo OPA possui resolução vertical composta por um sistema de coordenada Z curvilínia. Este sistema mescla a coordenada Z em superfície e em regiões com topografias íngrimes e a coordenada σ nos outros ambientes (MADEC *et al.*, 2014).

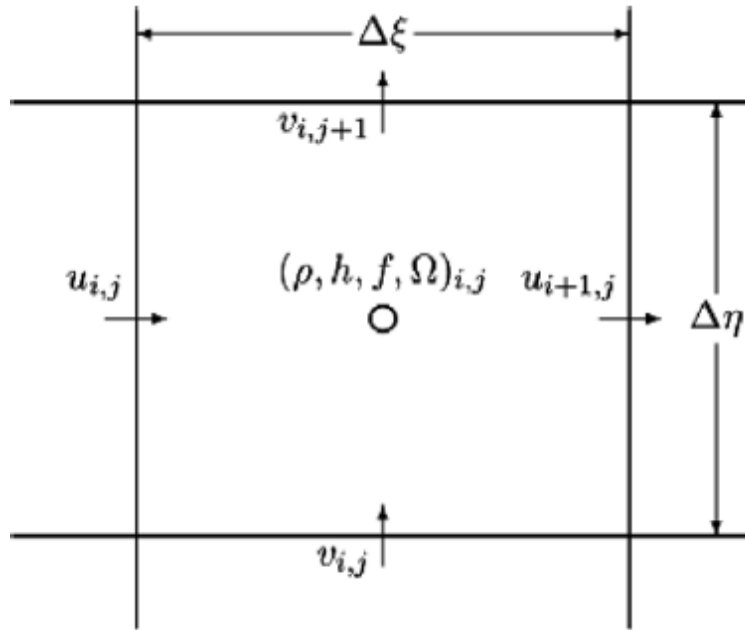


Figura 18: Representação da grade C de Arakawa, identificando a disposição das variáveis.

Fonte: HAIDVOGEL *et al.*, 2008.

O modelo em questão realiza assimilação de dados oceanográficos. Os parâmetros utilizados nessa técnica são temperatura, salinidade, temperatura da superfície do mar, anomalia do nível do mar, concentração de gelo marinho e componentes zonais e meridionais de velocidade. Estes parâmetros são interpolados através de um algoritmo para a grade do modelo. Entretanto, o montante de dados assimilados na região do OAS ainda é muito inferior quando comparado ao Oceano Atlântico Norte, sendo composto apenas pelas boias PIRATA (*Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic*, pela sigla em inglês) existentes na região costeira tropical do Brasil. Mais especificamente na região da área de estudo, não há assimilação de nenhum dado oceanográfico.

5.1.1. Resultados utilizados oriundos do Projeto MyOcean

Neste trabalho, apenas será utilizado o resultado para a grade global do produto denominado *GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_002* fornecido pelo Projeto MyOcean. A escolha da utilização de produtos fornecido pelo Projeto MyOcean ocorreu devido à resolução temporal e espacial do produto supracitado. Além disso, a facilidade de aquisição dos resultados também influenciou na escolha juntamente com a avaliação preliminar dos resultados que demonstraram representar as principais feições oceanográficas existentes na região de interesse como a CB, vórtices e a distribuição vertical das massas d'água.

O resultado utiliza a versão 3.1 do modelo NEMO. As configurações físicas são baseadas na grade global tripolar denominada ORCA. Para uma melhor representação da topografia oceânica é utilizado um método que permite o particionamento das células de grade próximo ao fundo. A batimetria utilizada foi obtida através da interpolação das bases do ETOPO e do *General Bathymetric Chart of the Oceans* 8ª versão (GEBCO8). No caso, regiões costeiras e rasas até 200 m foram utilizadas da base de dados GEBCO8 enquanto que regiões de profundidades maiores a 300 m foram obtidas do ETOPO. As altas frequências das ondas de gravidade são filtradas através da superfície livre segundo ROULLET; MADEC (2000). As descargas fluviais também são consideradas na física do modelo para os rios com os maiores fluxos de acordo com DAI; TRENBERTH (2002). A estimativa do derretimento das geleiras da Antártida são consideradas de acordo com JACOB *et al.* (1992). As correntes de marés para certas

regiões como a Indonésia foram parametrizadas segundo KOCH-LARROUY *et al.* (2008). Ressalta-se que o modelo não utiliza a maré como condição de contorno, apenas esta parametrização nas regiões de macromaré.

As condições de contorno atmosféricas são provenientes dos resultados dos modelos atmosféricos disponibilizados pelo Centro Europeu de Previsão de Tempo de Médio Prazo (ECMWF pela sigla em inglês). São utilizados resultados do modelo atmosférico com espaçamento temporal de 3 horas, tendo como finalidade a reprodução do ciclo diurno do vento e de forma a influenciar as camadas superficiais do oceano. Os fluxos de *momentum* e de calor da superfície turbulenta são obtidos segundo a formulação de LARGE; YEAGER (2009) que utilizam a temperatura da superfície do ar a 2 m, a umidade a 2 m, a pressão no nível médio do ar e as componentes zonais e meridionais do vento a 10 m. A resolução espacial da condição de contorno atmosférica utilizada pode, em alguns momentos, não representar o bombeamento de Ekman para o vento. Isto pode justificar a ausência da representação da ressurgência costeira em alguns eventos.

A configuração deste experimento conta com uma grade de resolução horizontal de $1/12^\circ$, o que corresponde a uma distância entre dois pontos de grades consecutivos de, aproximadamente, 9,3 km (Figura 20). Verticalmente, este resultado do Projeto *MyOcean* é composto por 50 níveis verticais, que vão de 0 à 5000 m de profundidade e possuem espaçamento variado, tendo maior resolução espacial nas camadas superficiais do oceano e sofrendo o aumento do espaçamento vertical ao longo da coluna d'água (Figura 21).

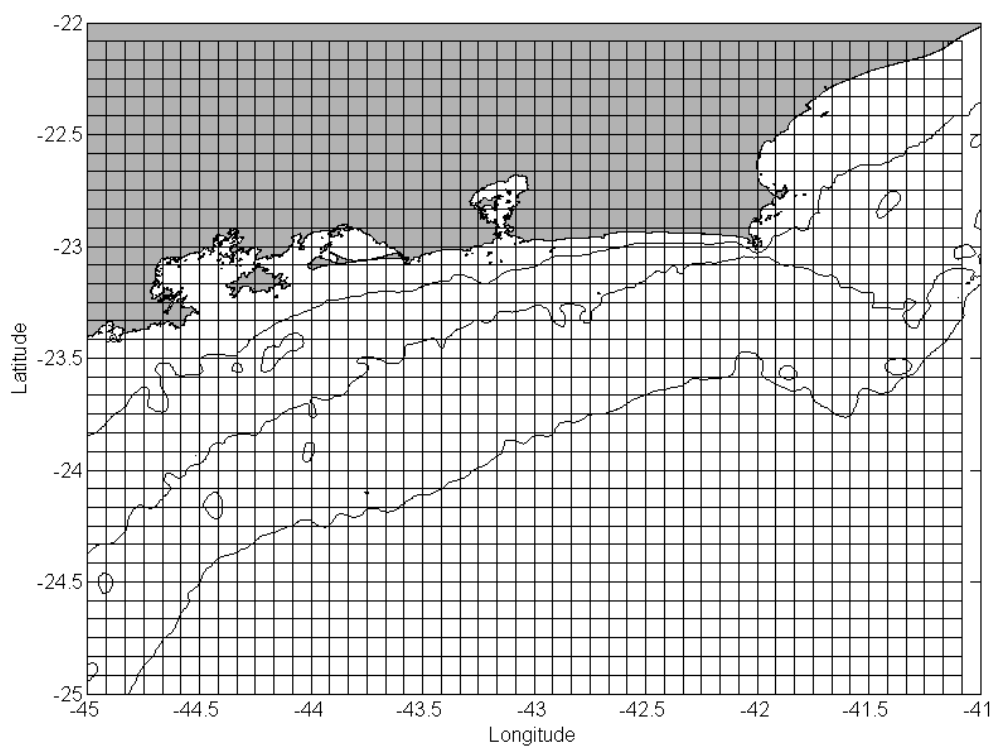


Figura 20: Representação horizontal dos pontos de grade do modelo

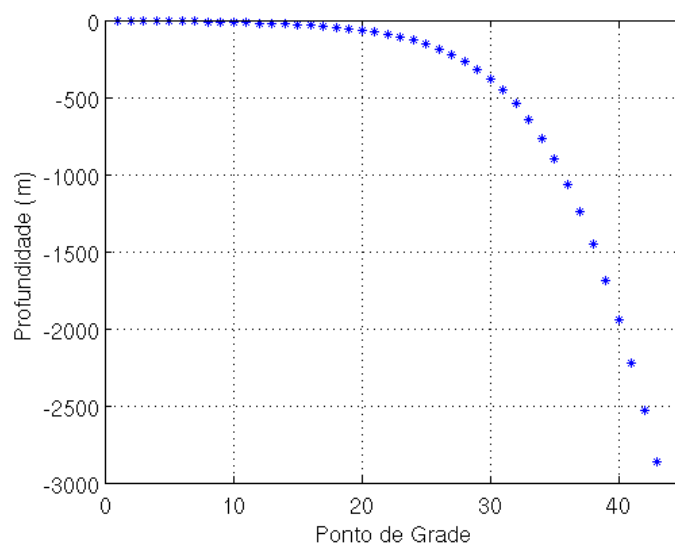


Figura 21: Representação dos níveis verticais do modelo para a longitude de 43°W.

Os parâmetros físicos utilizados nas análises foram temperatura, salinidade e as componentes zonais e meridionais da velocidade. O período de análise decorre desde 01 de janeiro de 2014 a 31 de dezembro de 2014 e é constituído por médias diárias para todos os parâmetros analisados.

5.2. Dados Oceanográficos utilizados

Os dados oceanográficos utilizados são oriundos de duas fontes distintas, a Boia Meteoceanográfica do projeto Sistema Integrado de Obtenção de Dados Oceanográficos (SIODOC) fundeada próximo à CF e a Boia Meteoceanográfica do Laboratório de Instrumentação Oceanográfica (LIOc) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) fundeada próximo à Ilha Rasa (RJ). Esses dados foram utilizados para identificar eventos de ocorrência da ACAS em superfície e o processo de advecção desta massa d'água entre a região de CF e a BG.

Informações complementares das boias serão descritas nos tópicos a seguir.

5.2.1. Dados da Boia Meteoceanográfica do Projeto SIODOC

O projeto SIODOC é fomentado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) através de convênio com a Fundação de Apoio à Pesquisa FUNDEP/UFMG e faz parte do Sistema de Obtenção de Dados Ambientais para a Defesa (SIODC). O intuito deste projeto é desenvolver sistemas integrados de obtenção, processamento e apresentação de dados meteorológicos e de acústica submarina da coluna d'água, do solo e subsolo marinhos, de uma área oceânica ao largo da cidade de Arraial do Cabo. Para tal, utiliza-se uma boia meteoceanográfica fabricada e lançada em parceria do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) com a empresa Fugro Oceanor para a coleta contínua de dados.

A boia realiza medições horárias e transmite em tempo real as medições para uma estação em terra. O fundeio está localizado na latitude 22°59,7'S e longitude 42°11,16'W (Figura 22), coletando dados *in situ* desde o dia 15 de julho de 2013. Os parâmetros oceânicos medidos são a temperatura, salinidade e as componentes zonais e meridionais da velocidade para diversas profundidades. Já os parâmetros atmosféricos medidos são temperatura, pressão, irradiação solar, intensidade e direção do vento. Um esquema ilustrativo da boia e dos sensores que a compõe está representado na Figura 23. Todos os dados coletados estão disponíveis gratuitamente no sitio virtual do projeto (<http://metocean.fugrogeos.com/marinha/>).

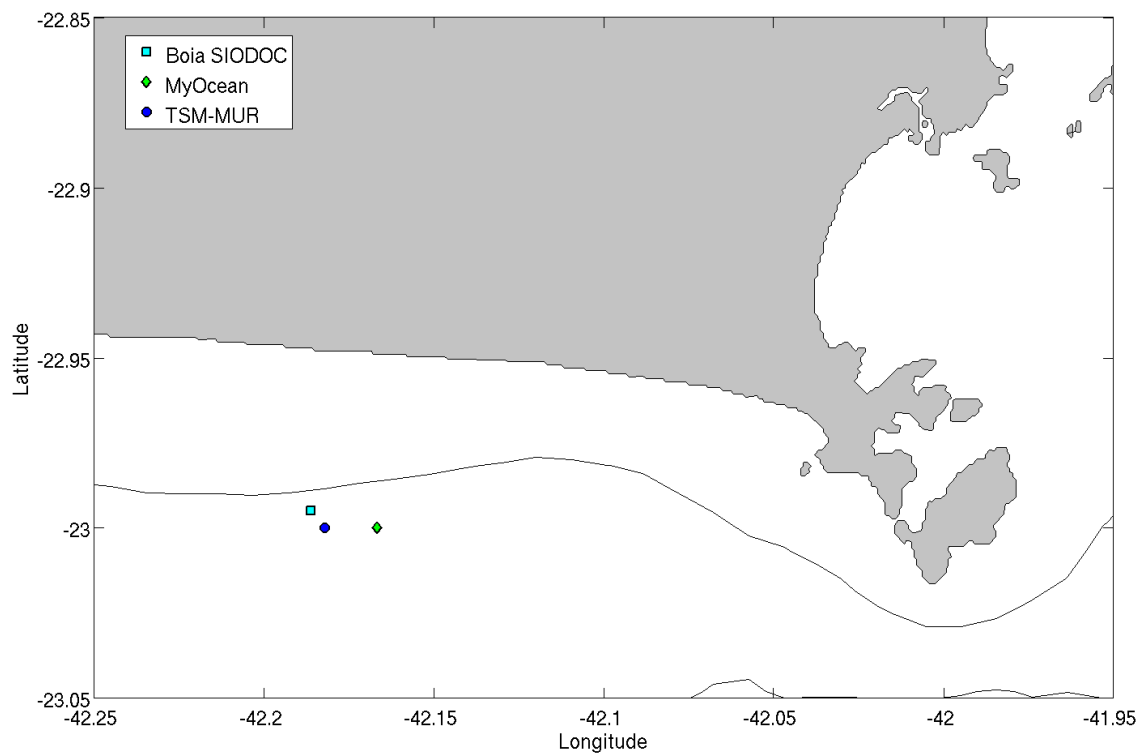


Figura 22: Localização geográfica da boia SIODOC representado pelo quadrado em azul, e os pontos de grades mais próximo às boias no modelo (losangos verdes) e da TSM-MUR (círculos azuis).

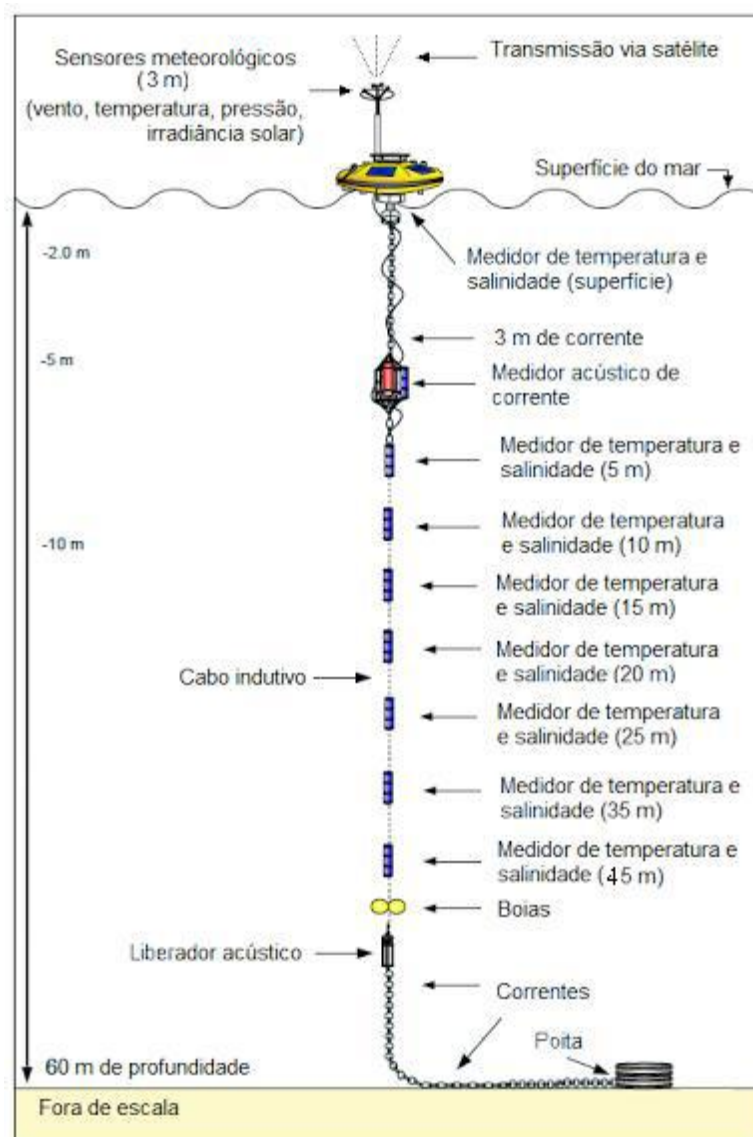


Figura 23: Esquema ilustrativo da boia meteoceanográfica fundeada na região de CF.
Fonte: Dragaud (2014)

5.2.2. Dados da Boia Meteoceanográfica do LIOc

O LIOc da UFRJ juntamente com a empresa AMBIDADOS desenvolveram uma boia meteoceanográfica que foi fundeada no dia 30 de setembro de 2014 na Ilha Rasa (RJ), próximo à entrada da BG (Figura 24). Os parâmetros oceânicos medidos nesta boia são as três direções de corrente na superfície, temperatura de superfície do mar, intensidade e direção de onda e são medidos por 3 aparelhos distintos. Os parâmetros atmosféricos são obtidos através da estação meteorológica Vaisala (modelo WXT520), com medição de temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, direção e intensidade do vento.

A transmissão dos dados é realizada com espaçamento temporal de 1 hora para uma estação em terra, entretanto, todos os parâmetros representam a média da variável no período de uma hora e não uma medição pontual dos parâmetros em um determinado horário. Os dados desta boia também estão disponíveis gratuitamente no sitio virtual do projeto (<http://www.lts.coppe.ufrj.br/boia/>).

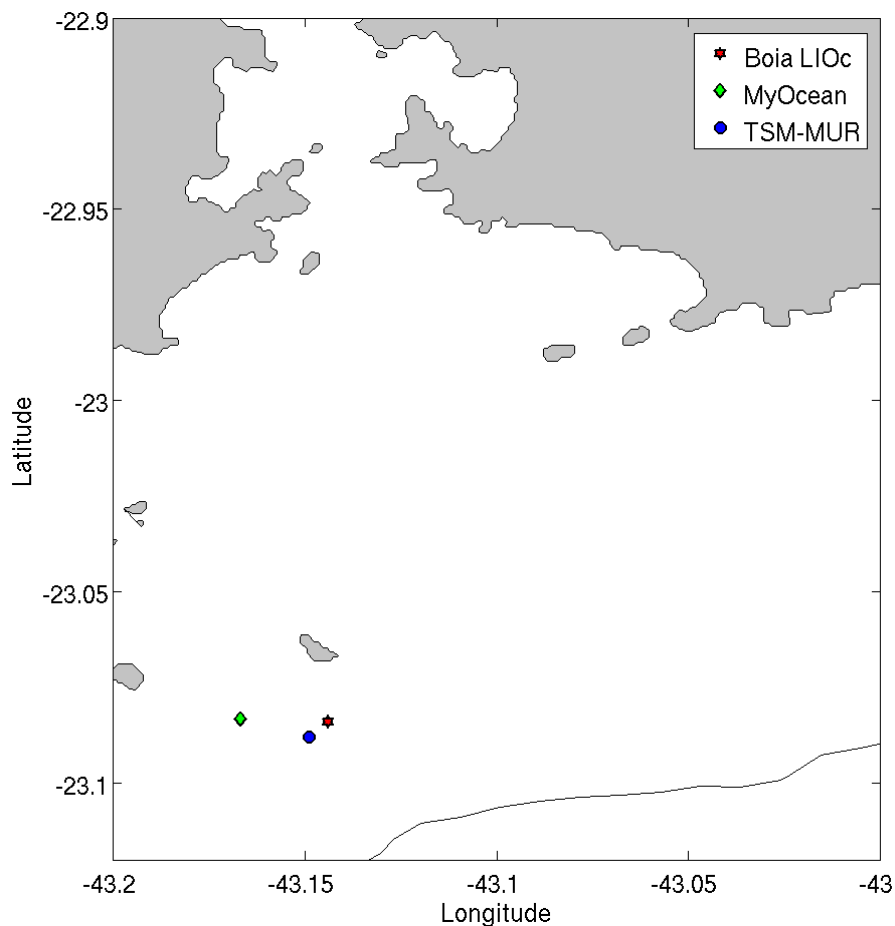


Figura 24: Localização geográfica da boia LIOc representado pela estrela em vermelho, e os pontos de grades mais próximo às boias no modelo (losangos verdes) e da TSM-MUR (círculos azuis).

5.3. Temperatura da Superfície do Mar

O Sensoriamento Remoto surgiu por volta da década de 1970 e trouxe alguns avanços ao longo do seu desenvolvimento, permitindo a aquisição de informações sobre objetos da superfície terrestre, no caso, levantamento de dados e monitoramento. Dentre os exemplos que se pode citar, temos a TSM como um dos resultados dos produtos

estudados no ramo da oceanografia por satélite. Os produtos gerados em tais sensores são classificados de acordo com o nível de processamento:

- a) Nível 0 (L0): dado bruto, sem qualquer tratamento prévio;
- b) Nível 1 (L1): inclui no dado a calibração instrumental e radiométrica. Não há alteração da projeção do dado;
- c) Nível 2 (L2): dado após a aplicação de algoritmos para a variável geofísica, porém ainda na mesma projeção e resolução do L1
- d) Nível 3 (L3): realiza o georreferenciamento do produto gerado em L2 para uma grade uniforme no espaço e no tempo.
- e) Nível 4 (L4): é o dado após a análise de um ou mais produtos de níveis inferiores.

A TSM utilizada é oriunda de banco de dados fruto da parceria entre o *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) do Instituto de Tecnologia da Califórnia e a agência *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Este banco de dados denomina-se *Multi-scale Ultra-high Resolution Sea Surface Temperature* (TSM-MUR) e está disponível gratuitamente no sitio virtual da NASA. O produto gerado é considerado como de nível 4 e é oriundo da interpolação de imagens de 8 satélites com resoluções, radiometria e órbita distintas (Tabela 2).

Tabela 2: Lista parcial dos produtos utilizados para a interpolação dos dados de satélite para gerar o produto MUR-SST

Fonte: CHIN *et al.* (2013)

Instrument or Satellite	Radiometer/Orbit	Resolution (km)	Nominal Error	Availability in GHRSSST-PP
AVHRR	IR/Polar	1	0.6°C	Early 2005 - Present
MODIS	IR/Polar	1	0.4°C	Late-2006 - Present
AATSR	IR/Polar	1	0.3°C	Early 2005 - Present
AMSR-E	MW/Polar	25	0.5°C	2002 - Present
TMI	MW/Equatorial	25	0.5°C	1998 - Present
GOES Imager	IR/Geostationary	6	1.0°C	Late-2006 - Present
SEVIRI	IR/Geostationary	10	0.7°C	Early 2005 - Present

Como pode ser observado na Tabela 2, este produto de TSM utiliza tanto dados de Infravermelho (IR) termal como dados de micro ondas (MW). Os produtos obtidos pelo IR termal são dados adquiridos na faixa entre 3-4 μ m e 10-12 μ m e, apesar de

possuir maior resolução espacial quando comparado ao dado de MW, este produto não é capaz de penetrar nas nuvens existentes na atmosfera. Assim, os produtos adquiridos no MW (operam na faixa entre 3 e 50 mm) são utilizados para auxiliar na interpolação já que, apesar de possuir uma resolução espacial de 25 km, são capazes de penetrar em nuvens. Por causa desta limitação, o algoritmo de interpolação acaba por superestimar as baixas temperaturas de TSMs, principalmente em regiões de ressurgência (FREITAS, 2014; DRAGAUD, 2014). Outro problema evidenciado pelos autores e que é tratado na interpolação é a profundidade de referência das diferentes bandas consideradas, sendo de 1 μ m para o IR termal e 1mm para o MW.

Após a interpolação e os devidos tratamentos, a TSM-MUR possui resolução espacial de cerca de 1 km e resolução temporal de 1 dia (CHIN *et al.*, 2013). Com o propósito de evitar a influência da radiação solar diurna nos produtos gerados, apenas são considerados os dados coletados no período noturno.

5.4. Análise aplicada

O presente trabalho procurou compreender a variabilidade sazonal da ACAS na PCSERJ para o ano de 2014 através de resultados obtidos por meio da modelagem computacional. Adicionalmente, a identificação de eventos de ocorrência da ACAS em superfície e o processo de advecção desta massa d'água entre a região de CF e a BG para outubro, novembro e dezembro de 2014 foi avaliada. Para tal, foram utilizados, além da modelagem computacional, dados coletados por boias meteoceanográficas e por medição remota. A descrição detalhada da metodologia adotada será realizada nos próximos tópicos.

5.4.1. Análise da sazonalidade da ACAS na PCSERJ

Inicialmente, procurou-se identificar as variações sazonais da ACAS na PCSERJ. Para isso, foram utilizados os resultados do modelo NEMO descrito no item 5.1.1. Os índices termohalinos utilizados para inferir a ACAS foram os determinados por MIRANDA (1985), que define a ACAS como a massa d'água que apresenta salinidade variando de 34,6 a 36, temperatura entre 6°C e 20°C e densidade entre 1025,5 kg/m³ e 1027,2 kg/m³. Nas análises de densidade, o cálculo foi realizado para a densidade sigma. Sendo assim, os limites de densidade são 25,5 kg/m³ e 27,2 kg/m³.

Uma vez que, pela definição astronômica, o verão no Hemisfério Sul tem início no dia 21 de dezembro e final no dia 20 de março, considerou-se que os meses que melhor representariam as feições características desta estação do ano seriam os meses de janeiro, fevereiro e março, visto que apenas 10 dias de dezembro seriam classificados como verão. O mesmo raciocínio foi aplicado para os outros períodos do ano. Além disso, ALPERT *et al.* (2004) afirmaram que a classificação sazonal na qual o verão para o Hemisfério Sul é composto pelos meses de dezembro, janeiro e fevereiro é uma definição meteorológica. Com isso, optou-se por compor os períodos sazonais através da distribuição mensal apresentada na Tabela 3, considerando à inércia do oceano frente às forçantes atmosféricas. Portanto, os cálculos sazonais dos parâmetros respeitou esta divisão.

Tabela 3: Divisão adotada para a separação dos meses para o cálculo sazonal

Verão	Outono	Inverno	Primavera
Janeiro	Abril	Julho	Outubro
Fevereiro	Maio	Agosto	Novembro
Março	Junho	Setembro	Dezembro

As análises realizadas neste trabalho com relação à sazonalidade da ACAS na PCSERJ foram classificadas em Análise Hidrográfica e Análise Dinâmica. Ambas estão descritas a seguir:

a) Análise Hidrográfica

A Análise Hidrográfica é composta pela avaliação dos parâmetros físicos como temperatura, salinidade e densidade através de campos horizontais e verticais. Assim sendo, após o cálculo da sazonalidade dos parâmetros, foram estabelecidas 4 profundidades, de acordo com CERDA; CASTRO (2014), que são superfície (no caso foi considerado os campos de 5 m de profundidade), 10 m, 25 m e o fundo. Adicionalmente às análises dos campos horizontais sazonais, foram gerados perfis verticais de temperatura, salinidade e densidade para 4 seções transversais à costa do Rio de Janeiro. As seções definidas se estendem desde a costa até a isóbata de 200 m, sendo compostas por 10 níveis verticais do modelo, e são denominadas CF (42°W),

Maricá (42,5°W), BG (43°W) e Sepetiba (43,5°W) (Figura 25). Tais seções foram definidas com o intuito de mapear a distribuição vertical sazonal da ACAS sobre a PCSERJ.

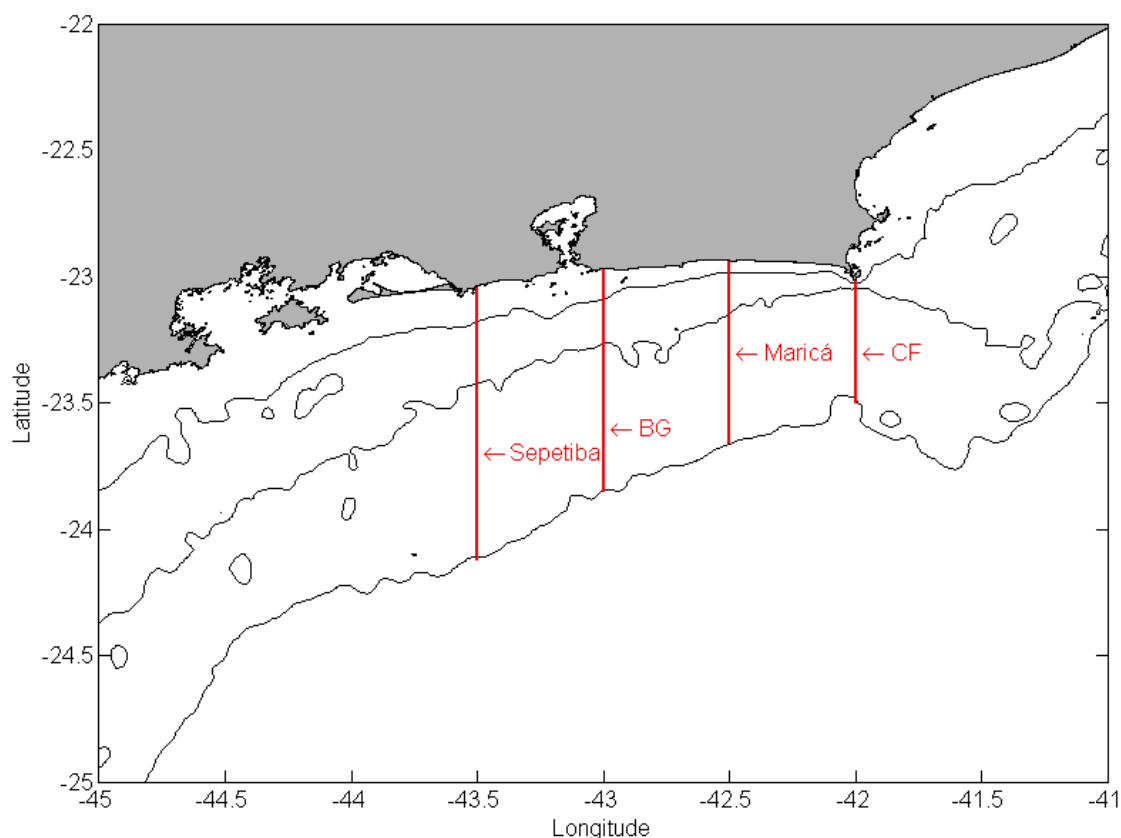


Figura 25: Representação gráfica da disposição das seções analisadas na análise sazonal.

As análises dos campos horizontais e verticais tinham como finalidade comparar os resultados obtidos com a climatologia observada pelos autores supracitados. Diagramas TS também foram construídos com o intuito de observar a variação sazonal da mistura das massas de água na região e identificar as massas d'águas presentes na região.

Além disso, a definição de CASTRO (1996), para a compartimentação da PCSE em PCI, PCM e PCE foi aplicada para a área de estudo conforme descrito no item 4.1.4. Neste caso, as mesmas seções verticais foram utilizadas.

b) Análise Dinâmica

Na Análise Dinâmica, foram avaliados o escoamento da ACAS na PCSERJ e a ζ_R desta massa d'água na região. Para tal, campos horizontais do Transporte de Volume (TV) médio da ACAS na região da PCSERJ foram calculados para os períodos estabelecidos na Tabela 3. A ACAS foi isolada conforme os limites de temperatura, salinidade e densidade sigma. O TV foi obtido através da seguinte formulação:

$$Tv = \int_0^L \int_{Base\ da\ ACAS}^{Topo\ da\ ACAS} v(x, z) \cdot dz dx \quad (5)$$

Onde Tv representa o Transporte de Volume, L é o limite da dimensão horizontal, o *Topo da ACAS* é o limite superior desta massa d'água e *Base da ACAS* representa o limite inferior desta massa d'água. v representa a componente da velocidade. x é a dimensão horizontal e z é a dimensão vertical.

A partir da análise do TV integrado na coluna d'água, evidenciou-se a necessidade de avaliar o comportamento da ζ_R da ACAS na região. Para tal, a fórmula descrita na equação (2) do tópico 4.1.2 foi utilizada para o cálculo. Além da análise do campo sazonal da ζ_R , foi calculado a ζ_R integrada na PCSERJ e analisada a sua variação sazonal. Salienta-se que para o cálculo da ζ_R foram utilizados os valores das componentes zonais e meridionais da velocidade apenas para a ACAS, isolados através da mesma metodologia utilizada para o cálculo do TV.

5.4.2. Análise Observacional

Esta análise contou com a utilização conjunta dos *in situ* coletados pelas boias meteorooceanográficas, medições remotas de TSM e resultados de modelos gerados no Projeto *MyOcean* com o intuito de avaliar a advecção da ACAS entre a região da PCSE compreendida entre CF e a BG. As boias meteorooceanográficas utilizadas nesta análise, apesar de coletarem dados *in situ* de forma contínua e sistemática, não contém ainda informações coletadas por um longo período temporal. Dessa forma, os dados das boias restringiram esta análise para os três últimos meses de 2014, no caso, outubro, novembro e dezembro. Este é o único período de coincidência entre as coleta de dados

in situ, as medições remotas de TSM e o resultado do modelo utilizado. Segundo a Tabela 3 estes meses compõem o período de análise da primavera.

Os dados das boias obtidos eram brutos e sem qualquer tratamento prévio. Selecionando a janela temporal a ser analisada, obteve-se 2039 informações de dados da boia SIODOC e 2199 informações da boia LIOc, ambas em superfície. Se não houvesse falhas na coleta de dados, haveriam 2208 informações de dados para a série temporal em cada boia. Dessa forma, tornou-se necessário aplicar um tratamento aos dados.

Inicialmente, foram retirados os dados espúrios da série de ambas as boias e aplicado um filtro de mediana. Como os resultados do modelo estão em médias diárias e será realizada uma comparação, o filtro aplicado foi de 24h. Também foi realizada a interpolação cúbica dos dados para cobrir as lacunas de informações. A interpolação aplicada é uma análise numérica de um polinômio de terceira ordem, cuja função é interpolar matematicamente um dado numérico e obter uma função contínua e suavizada. O tratamento dos dados descrito anteriormente está de acordo com FREITAS; MILTON (2013).

A análise da comparação temporal dos dados coletados pelas boias e o resultado do modelo computacional foi realizada para os pontos de grade mais próximos das boias (Figura 22 e Figura 24). Similarmente para a TSM-MUR, os pontos de grade das medições remotas de temperatura mais próximas das boias foram utilizados na comparação temporal. Foram gerados coeficientes de correlação entre as boias e entre as mesmas e o modelo e a TSM-MUR. Através desta análise objetivou-se determinar o quão próximo as variáveis co-variam no tempo e no espaço. Esta análise varia de -1 à 1, sendo 1 indicativo de que variam de forma semelhante e estão em fase e -1 que variam de forma semelhante e não estão em fase, já valores próximo a zero não variam de forma semelhante. Adicionalmente, foi calculado o índice de concordância de WILLMOTT *et al.* (2011) entre as boias e o modelo. Tal índice varia de zero a 1, sendo o zero indicativo de nenhuma concordância e 1 uma concordância perfeita.

Outro método de investigação utilizado foi a determinação de seções com o intuito de monitorar o escoamento da ACAS na PCSERJ apenas para este período específico através dos resultados obtidos da modelagem (Figura 26). As séries temporais do TV da ACAS foram calculadas para quatro seções meridionais e duas seções zonais. Neste caso, o cálculo do TV foi realizado para a componente de velocidade normal à seção em questão. Também foi obtido o resultado do TV resultante da ACAS para cada mês em todas as seções.

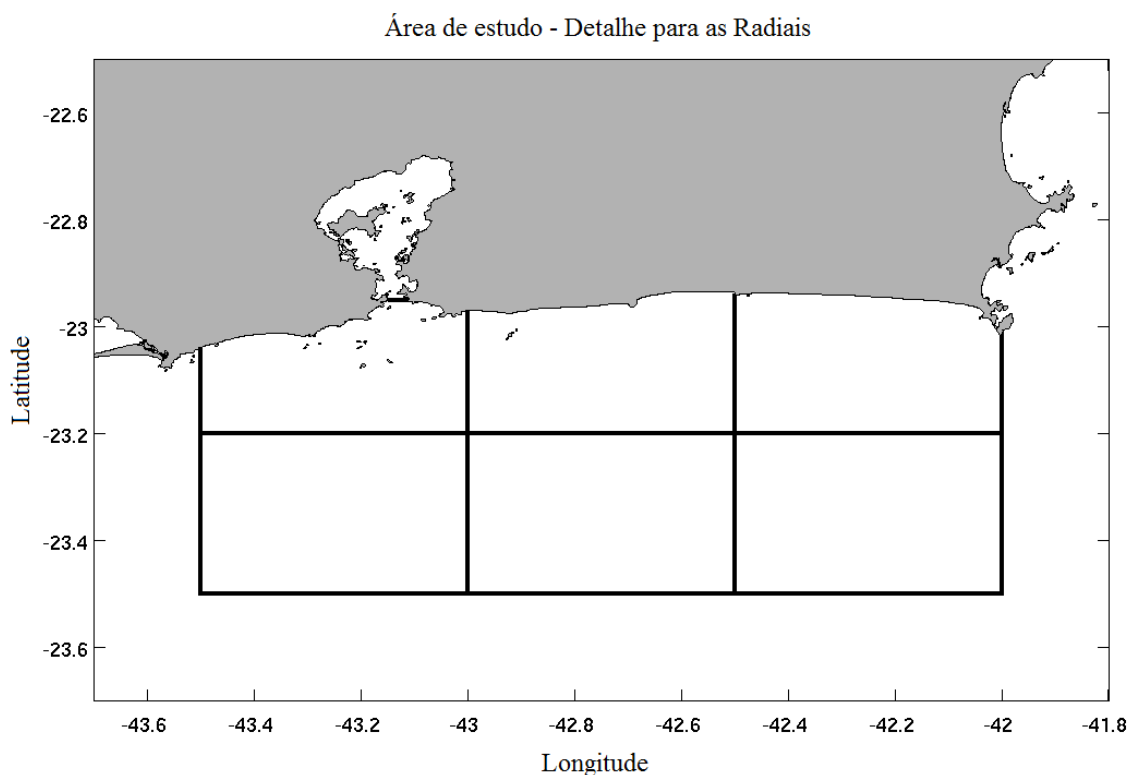


Figura 26: Representação gráfica da disposição das seções analisadas na análise mensal.

6. Resultados e discussões

Este capítulo é subdividido de acordo com metodologia definida para as análises descritas nos tópicos 5.4.1 e 5.4.2. Sendo assim, o subtópico 6.1 e o subtópico 6.2 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos nas análises sazonais para o ano de 2014 e nas análises da advecção da ACAS na PCSERJ para a primavera. O presente capítulo também aborda a discussão relacionada aos resultados obtidos neste trabalho.

6.1. Sazonalidade da ACAS na PCSERJ

Conforme definido na seção 5.4.1, a análise sazonal da ACAS será apresentada de acordo com a classificação realizada.

a) Análise Hidrográfica

Todos os resultados deste tópico foram gerados a partir dos resultados oriundos do experimento numérico descrito na seção 5.1.1 abordado no capítulo anterior. A primeira análise realizada foi a elaboração de diagramas TS sazonais com o intuito de avaliar e observar as variações do padrão de mistura na PCSERJ assim como também inferir se há ou não a ocorrência da ACAS bem definida.

Na Figura 27 podemos observar que, em todas as estações do ano, a representação das massas d'água nos diagramas TS ocorre através de um formato triangular. Segundo CASTRO; MIRANDA (1998), o formato triangular no diagrama TS indica que há interação entre três massas d'água existentes. No caso da região de estudo, os três tipos de água são a ACAS, a AT e a AC. Entretanto, ainda é possível observar que existe uma mistura de água mais intensa no período de verão, enquanto que no inverno esta mistura ocorre com menor intensidade. Neste período, a incidência de FFs é maior na região, o que pode provocar um aumento na mistura da coluna d'água, homogeneizando a mesma e reduzindo a estratificação vertical. Segundo CERDA; CASTRO (2014) e CASTRO (2014), contraste observado para verão e inverno nos diagramas TS pode estar relacionado com a intrusão da ACAS na PCSE na primavera e verão e a retração desta no outono e inverno.

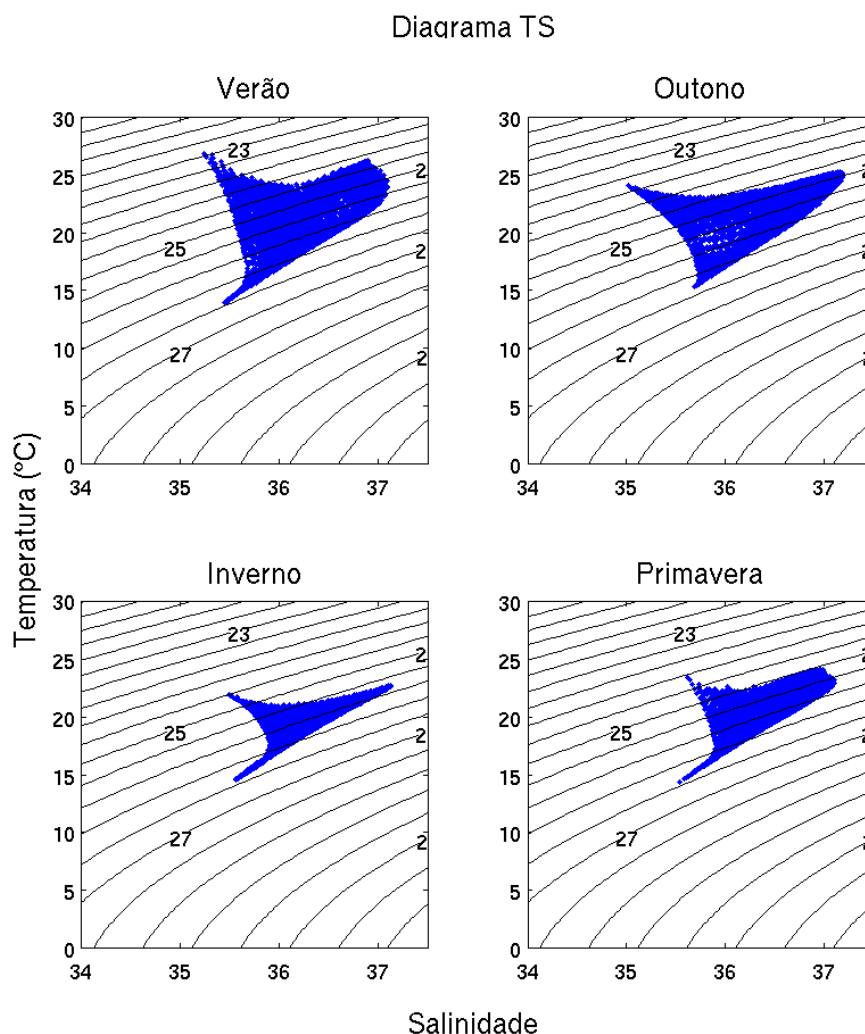


Figura 27: Diagramas TS obtidos para a análise sazonal realizada para o ano de 2014 com os resultados do modelo computacional

As análises dos campos sazonais superficiais (Figura 28) evidenciaram maior gradiente horizontal da temperatura superficial da região do oceano adjacente em direção à costa no período de verão. Este fenômeno também foi observado para o período de verão no estudo de CASTRO; MIRANDA (1998). É possível que o maior gradiente no período de verão ocorra pela proximidade da CB com a PCSERJ neste período (PAVIGLIONE; MIRANDA, 1985). Ainda referente a esta profundidade, o período de inverno apresentou as menores temperaturas superficiais e um campo horizontal térmico mais homogêneo. Esta homogeneidade térmica superficial também foi observada para este período em CASTRO; MIRANDA (1998) e em CERDA; CASTRO (2014) e pode estar relacionada com a maior incidência de FFs na região durante este período e consequente maior mistura entre as águas. Além disso, há menor

incidência de radiação solar neste período. A isoterma de 20°C, que delimita o topo da ACAS, apenas foi observada no inverno e próximo a CF. A isoterma de 20°C de cada estação do ano está destacada na Figura 29. Como foi observado na figura Figura 28, a isoterma de 20°C apenas foi observada no inverno. Entretanto, no trabalho de CERDA; CASTRO (2014), os autores observaram a isoterma de 20°C apenas para a primavera.

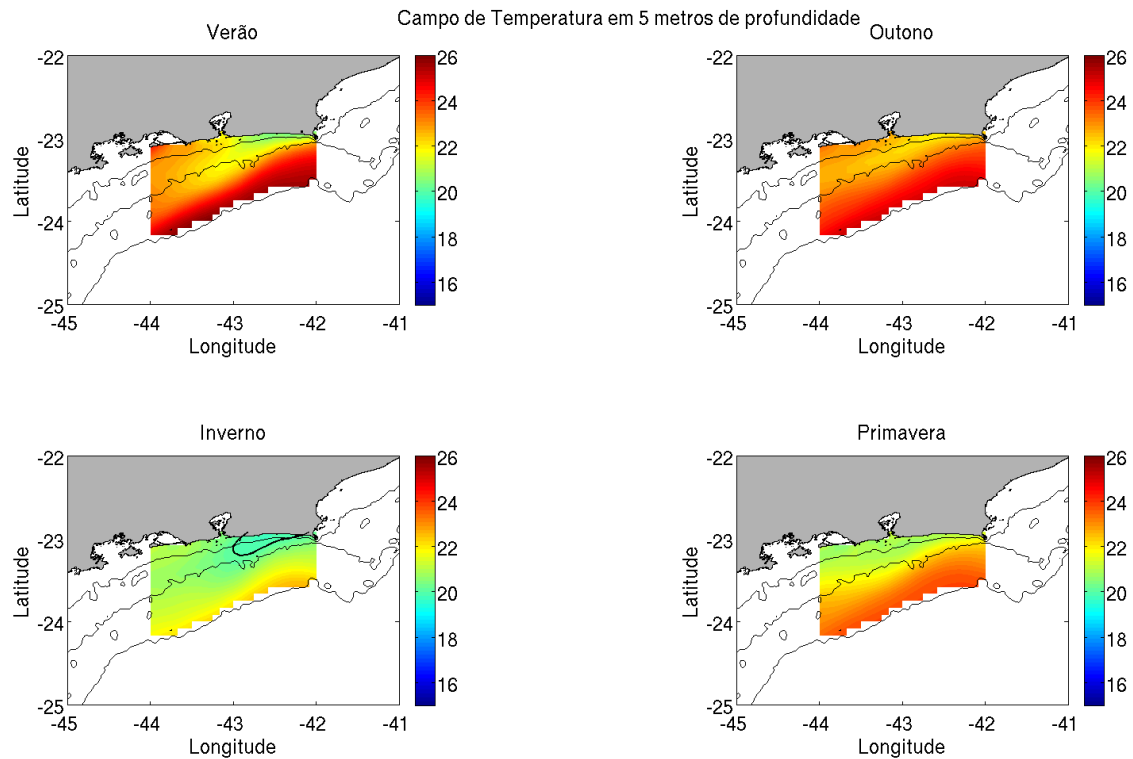


Figura 28: Campo superficial de temperatura (5 m de profundidade) para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a temperatura de 20°C.

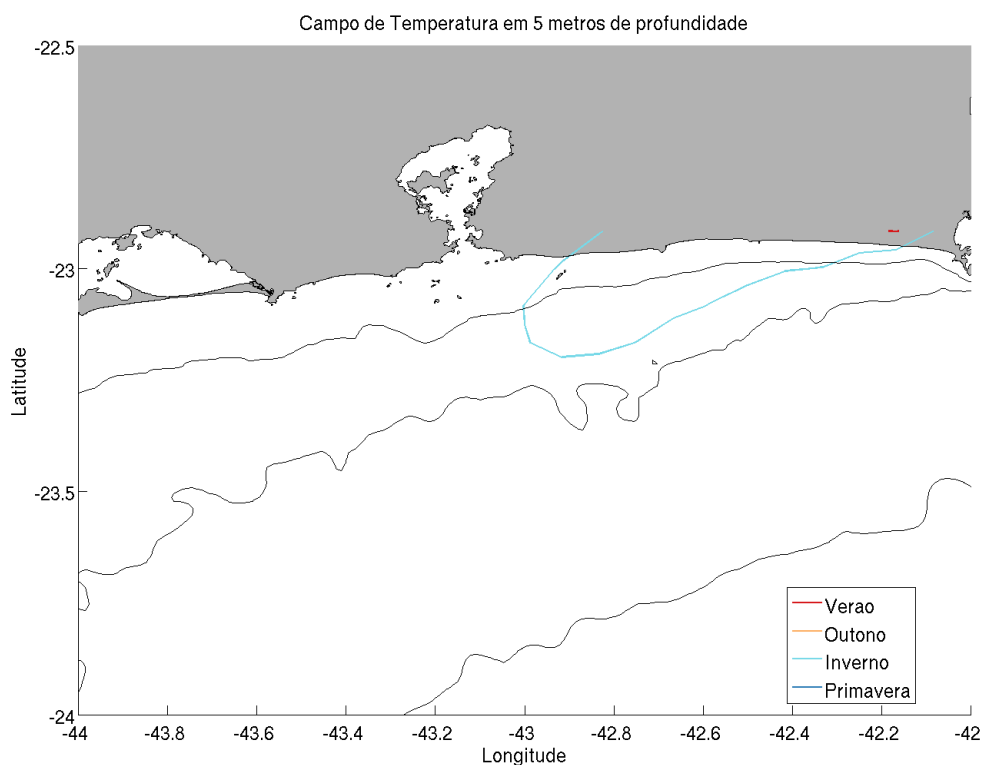


Figura 29: Isoterma de 20°C, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de temperatura superficial para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

Os campos horizontais de salinidade superficial (Figura 30) evidenciaram a presença da isohalina de 36, característica de topo da ACAS, em todas as estações do ano com variação sazonal do seu posicionamento. Pode-se observar a variação sazonal da isohalina de 36 em detalhe na Figura 31. CERDA; CASTRO (2014) assim como CASTRO; MIRANDA (1998) também observaram esta variação sazonal do posicionamento da isohalina superficial de 36. No verão e outono esta isohalina atinge a linha de costa próximo à cidade de CF e se situa próximo à isóbata de 100 metros na PC, servindo como um divisor de águas menos salinas próximo à costa e águas mais salinas próximo ao oceano adjacente. No inverno, a isohalina atinge linha de costa na região entre CF e a BG, e também tende a se situar próximo à isóbata de 100 metros. Neste período, observa-se o mínimo de temperatura superficial próximo à CF concomitantemente à presença de águas com índices halinos semelhantes à da ACAS. Durante a primavera, a isohalina atinge a linha de costa à oeste da BG, o que indica que a região entre a BG e CF possui águas superficiais salinas. Segundo CASTRO; MIRANDA (1998), tal isohalina está mais próxima à costa no período de inverno e mais afastada, no período de verão, o que corrobora os resultados obtidos.

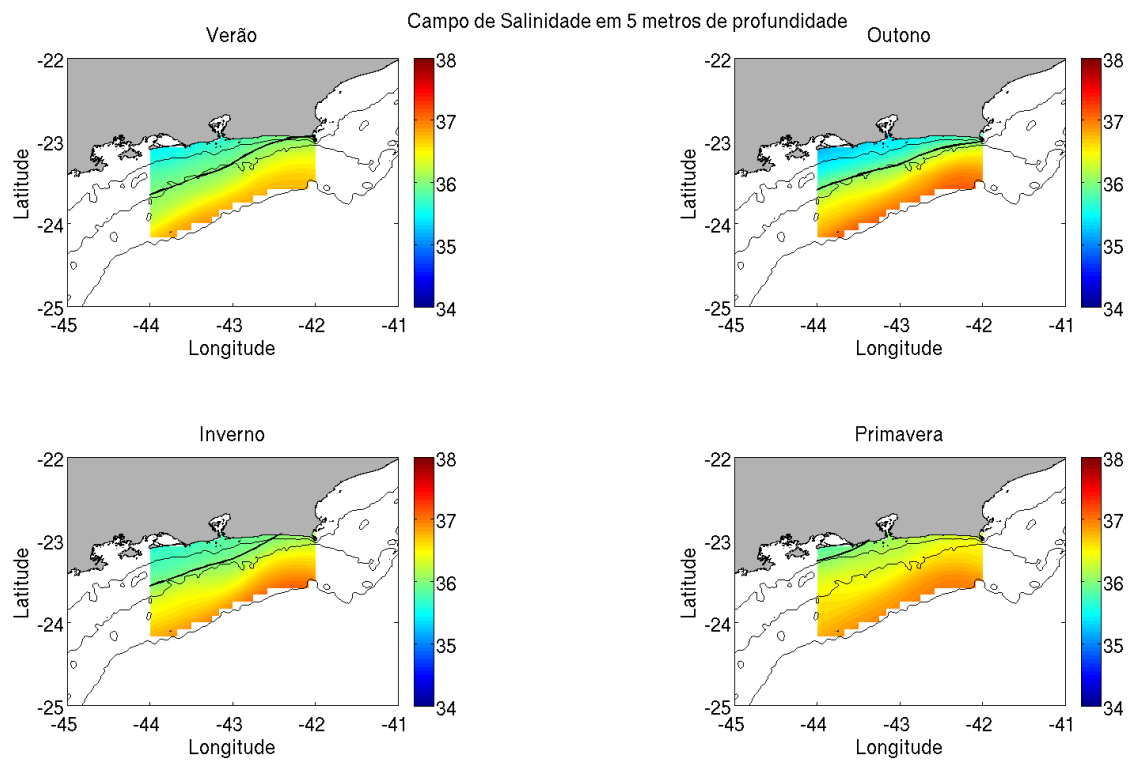


Figura 30: Campo superficial de salinidade (5 m de profundidade) para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a salinidade de 36.

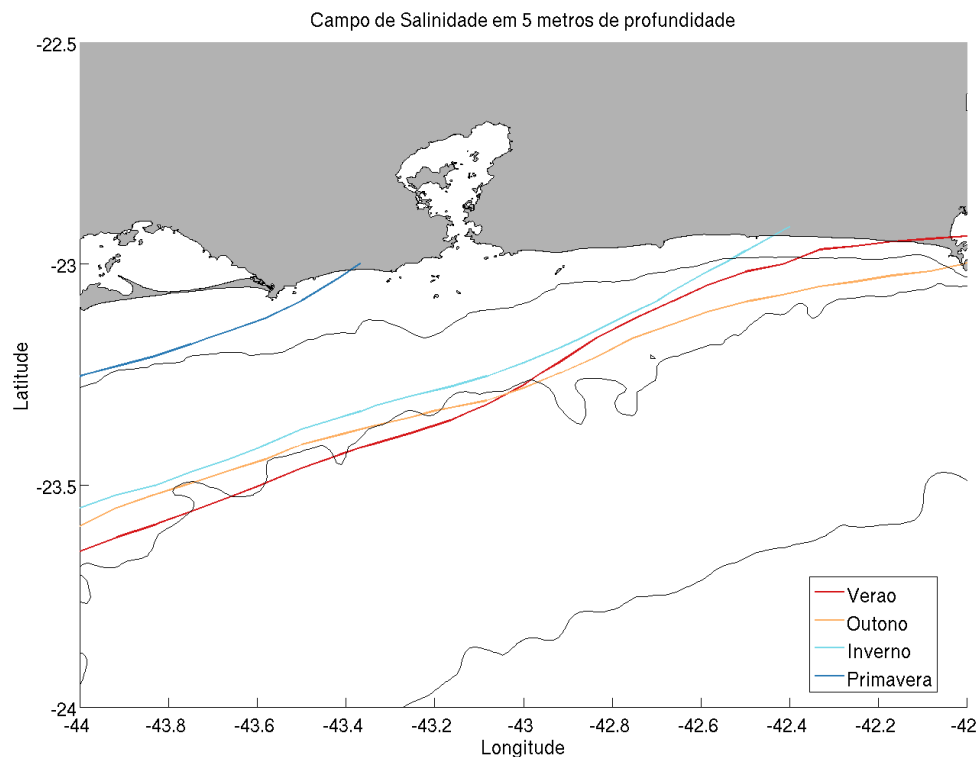


Figura 31: Isohalina de 36, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de salinidade superficial para as estações do ano. O verão está representado em vermelho,

o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

Considerando que, em superfície, observamos a isoterma de 20°C da ACAS apenas no período de inverno, e a isohalina de 36 em todos os períodos, é possível concluir que o campo de densidade superficial (Figura 32) indica a ocorrência da ACAS na camada superficial apenas no período de inverno. O que também é observado na Figura 33. De fato, na análise sazonal da densidade, as águas superficiais são menos densas no período de verão e outono quando comparadas ao inverno e primavera.

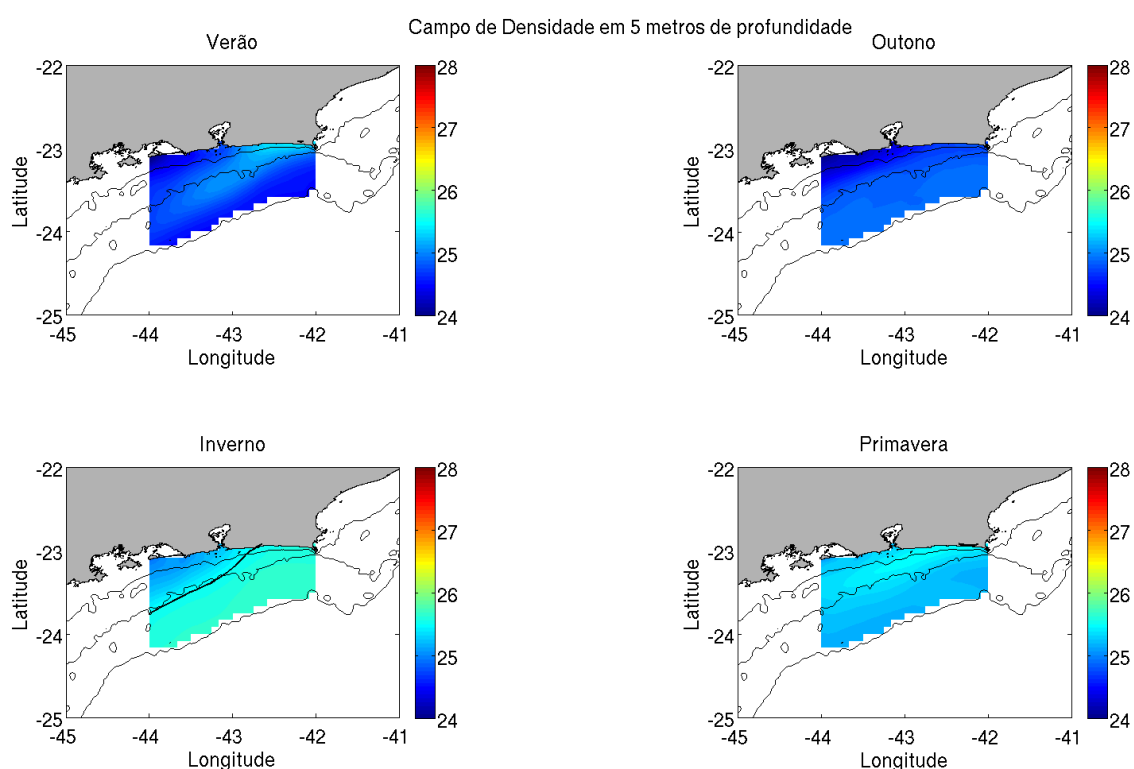


Figura 32: Campo superficial de densidade (5 m de profundidade) para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a densidade de 25,5 kg/m³.

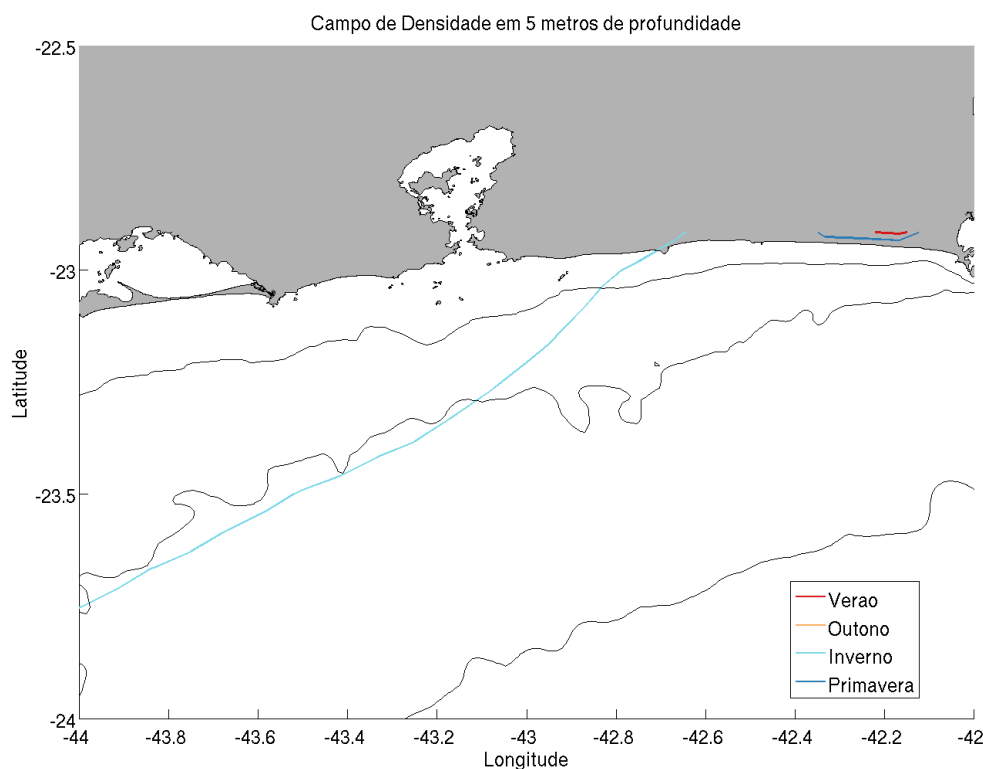


Figura 33: Isopícnal de 25,5 kg/m³, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de densidade superficial para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

Na profundidade de 10 metros, apenas o outono não apresentou a isoterma de 20°C (Figura 34), o que corrobora os resultados obtidos por CERDA; CASTRO (2014) para esta profundidade. Na Figura 35 é possível observar com maior detalhamento as isotermas de 20°C para as estações do ano. Tanto no período de verão quanto no inverno, a região de água fria demarcada pela isoterma se estende desde a região de CF até a região ao largo da BG. CERDA; CASTRO (2014) também obtiveram resultados semelhantes para estes períodos. Entretanto, na primavera estes autores observaram índices térmicos inferiores à 20°C na região de CF, o que não foi observado nos resultados obtidos. Neste período, a isoterma evidencia água fria ao largo da BG, mas não na região de CF.

Esta água fria ao largo da BG no inverno pode estar relacionada com águas frias oriundas de latitudes mais altas, ou seja, de regiões mais ao sul do Brasil que são influenciadas pela CM. SILVA JR *et al.* (1996) observaram, através de imagens de satélite (*Advanced Very High Resolution Radiometer – AVHRR*) de alta resolução (1,1 km), que águas frias características da CM podem atingir a latitude de 24°S no período

de inverno de forma mais significativa, atingindo latitudes mais baixas já em processo de dissipação.

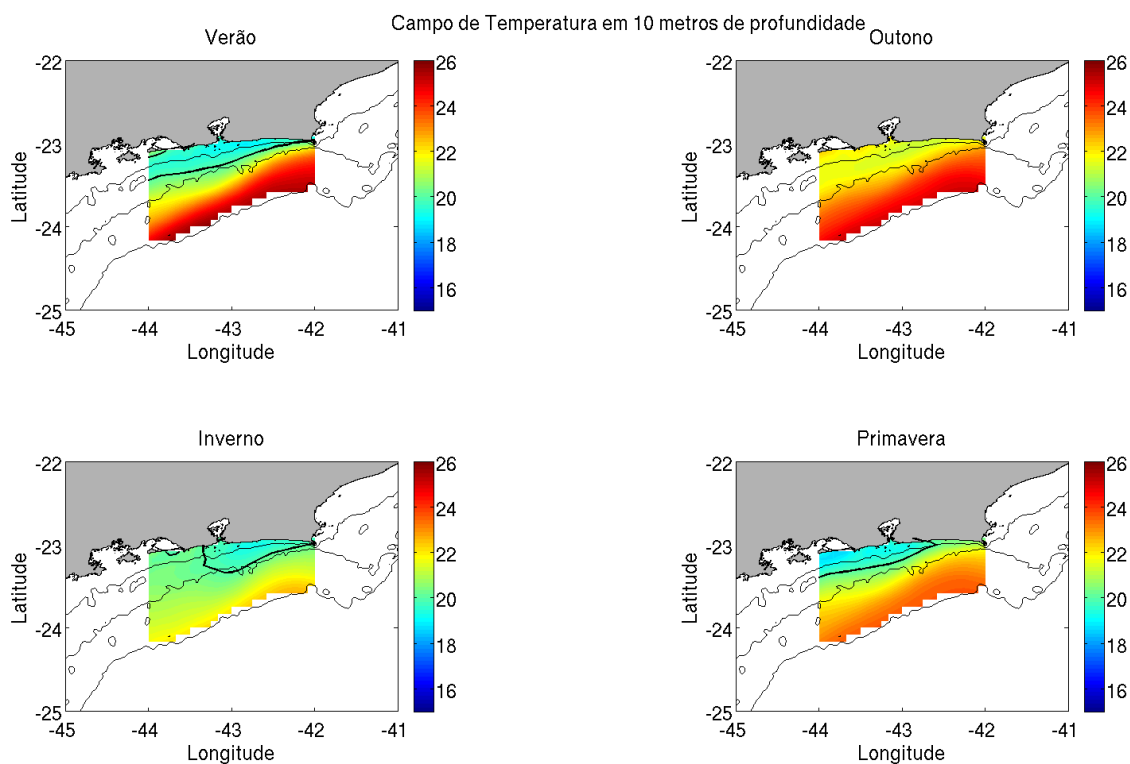


Figura 34: Campo de temperatura para a profundidade de 10 m para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a temperatura de 20°C.

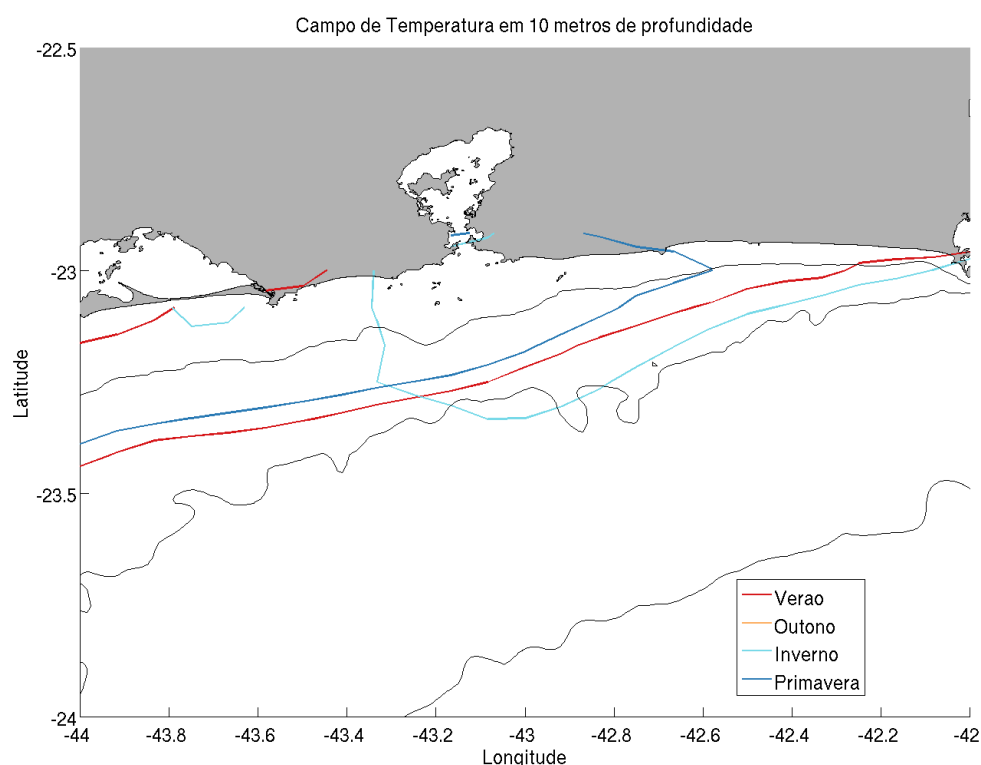


Figura 35: Isotherma de 20°C, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de temperatura para a profundidade de 10 metros para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

O campo de salinidade na profundidade de 10 metros é bem semelhante ao que foi observado para a camada superficial, evidenciando uma água menos salina na região costeira para todos os períodos (Figura 36 e Figura 37). Na primavera, a região mais a leste da PCSERJ apresenta águas mais salinas em comparação com a porção mais a oeste. CERDA; CASTRO (2014) observaram que para o verão, outono e inverno a isohalina de 36 não sofre deslocamento significativo. Porém, no período da primavera esta isohalina está mais próxima à costa.

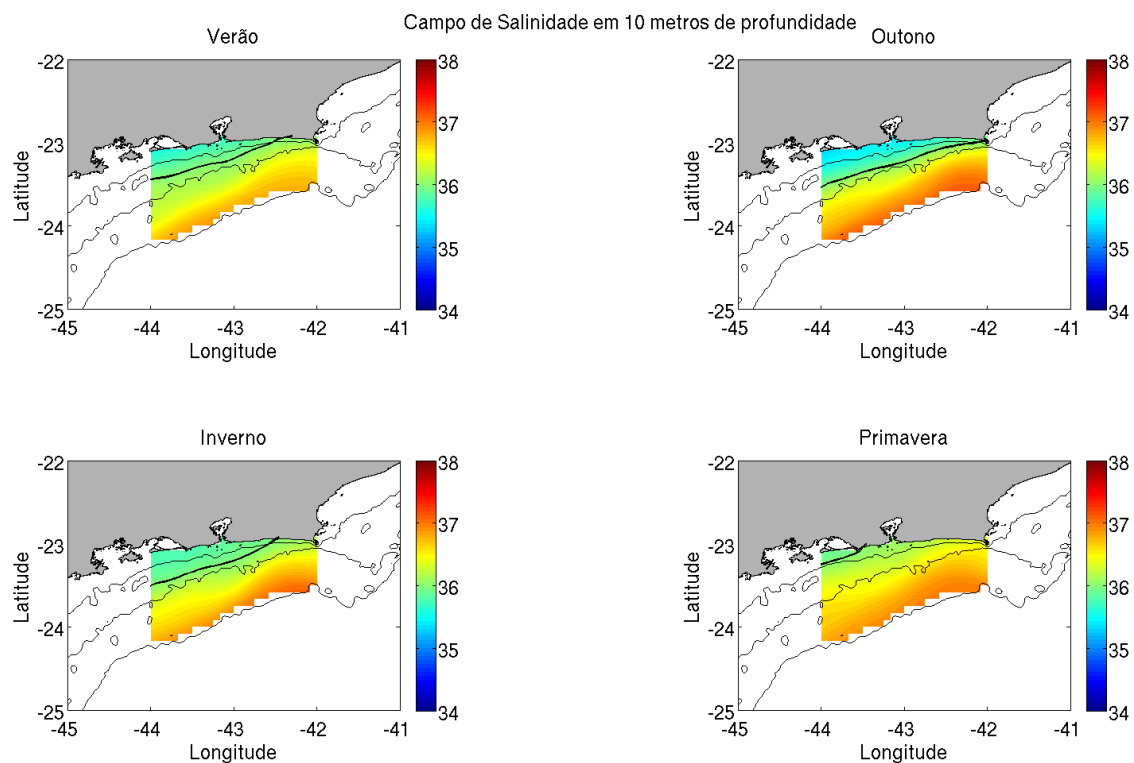


Figura 36: Campo de salinidade para a profundidade de 10 m para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a salinidade de 36.

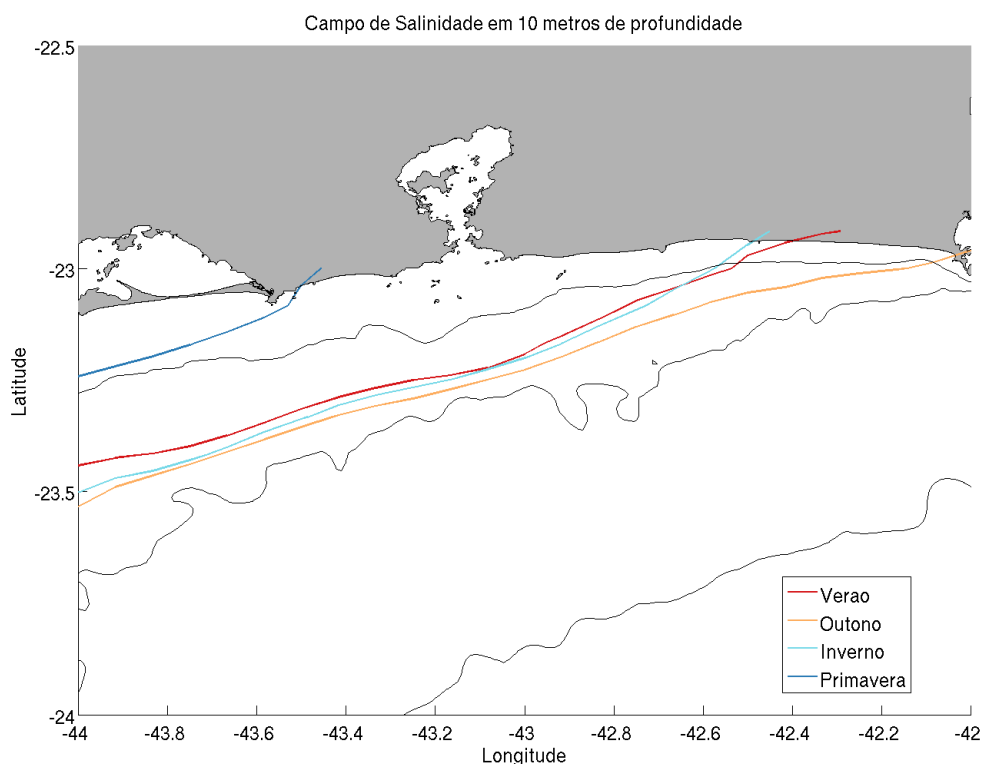


Figura 37: Isohalina de 36, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de salinidade para a profundidade de 10 metros para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

Nesta profundidade, o campo de densidade (Figura 38 e Figura 39) indicou que o outono possui águas menos densas comparadas às outras estações do ano, e não indica a presença da ACAS através da isopical característica dela. O período de verão apresenta o maior gradiente de densidade para a PC. A linha de densidade de envoltório da ACAS na região costeira é observada desde CF à BG como uma pluma de água densa fluindo para oeste em direção a longitudes a oeste de 44°W , o que resulta na disponibilidade de águas de densidades superiores a $25,5 \text{ kg/m}^3$ ao largo da BG. Este mesmo padrão é observado no período de primavera, no qual a água costeira é mais densa comparada ao oceano adjacente. Já no inverno, a linha de densidade de $25,5 \text{ kg/m}^3$, que evidencia índices de densidade da ACAS, indica que há um fluxo de águas menos densas próximo à costa em direção à poção leste do domínio até próximo à desembocadura da BG. Na região próxima a CF, entretanto, águas mais densas seriam predominantes.

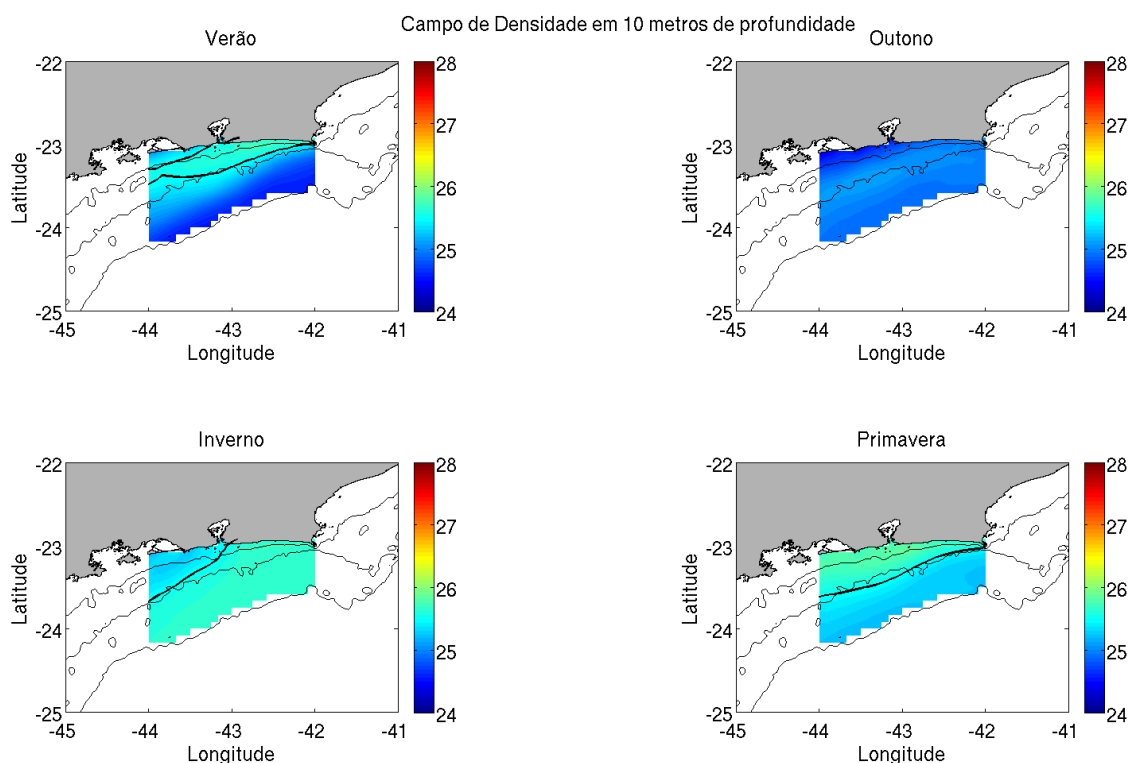


Figura 38: Campo de densidade para a profundidade de 10 m para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a densidade de $25,5 \text{ kg/m}^3$.

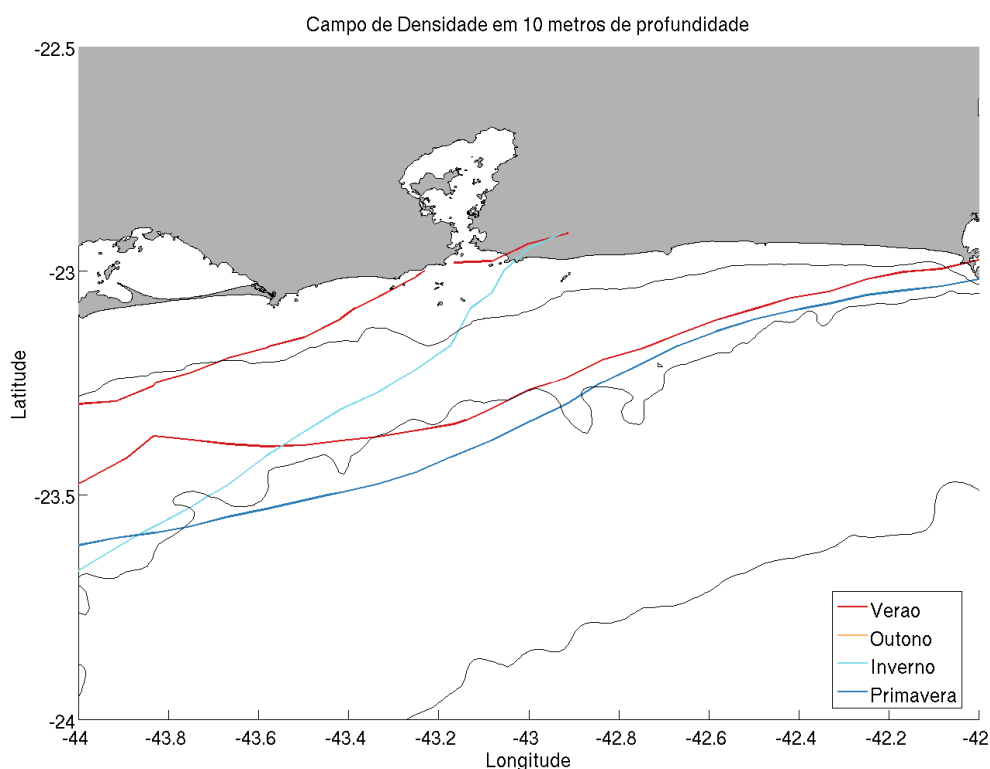


Figura 39: Isopícnal de $25,5 \text{ kg/m}^3$, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de densidade para a profundidade de 10 metros para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

Na profundidade de 25 metros, a isoterma de 20°C compõe os campos de temperatura de todas as estações do ano (Figura 40 e Figura 41). As águas com temperaturas inferiores a 20°C são observadas na região mais costeira. Já águas de temperaturas superiores a 22°C são encontradas na região mais externa da PC, próximo à isobata de 100 metros. Possivelmente, próximo a esta isobata, a CB exerce maior influência, funcionando como uma barreira hidrodinâmica e isolando essas águas frias na região mais próxima à costa, e por isto o gradiente térmico é mais acentuado no verão, visto que a CB sofre intensificação neste período. Já no inverno, a CB é mais fraca, o que resulta em um gradiente térmico menos intenso. CERDA; CASTRO (2014) também observaram um gradiente mais acentuado no verão. Porém, segundo os autores, o período com menor gradiente térmico é o outono. O inverno e a primavera estão de acordo em ambos os trabalhos. De forma geral, a isoterma de 20°C está disposta próximo à isobata de 100 metros em todos os períodos.

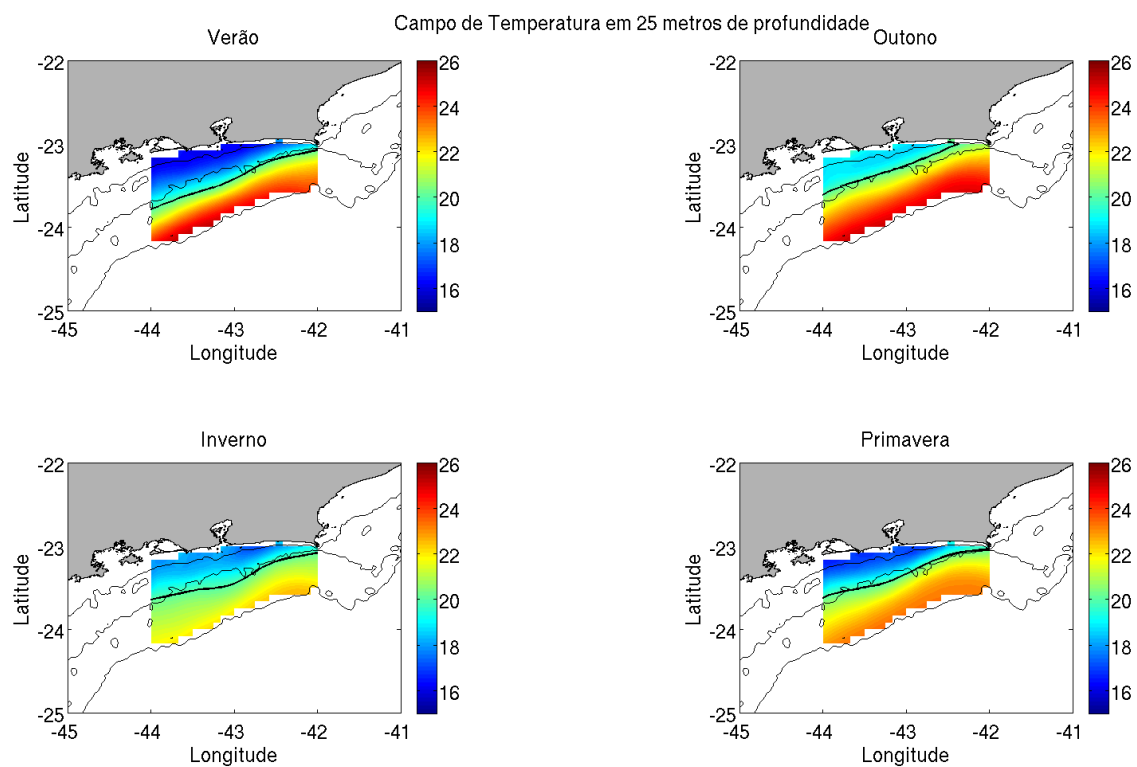


Figura 40: Campo de temperatura para a profundidade de 25 m para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a temperatura de 20°C.

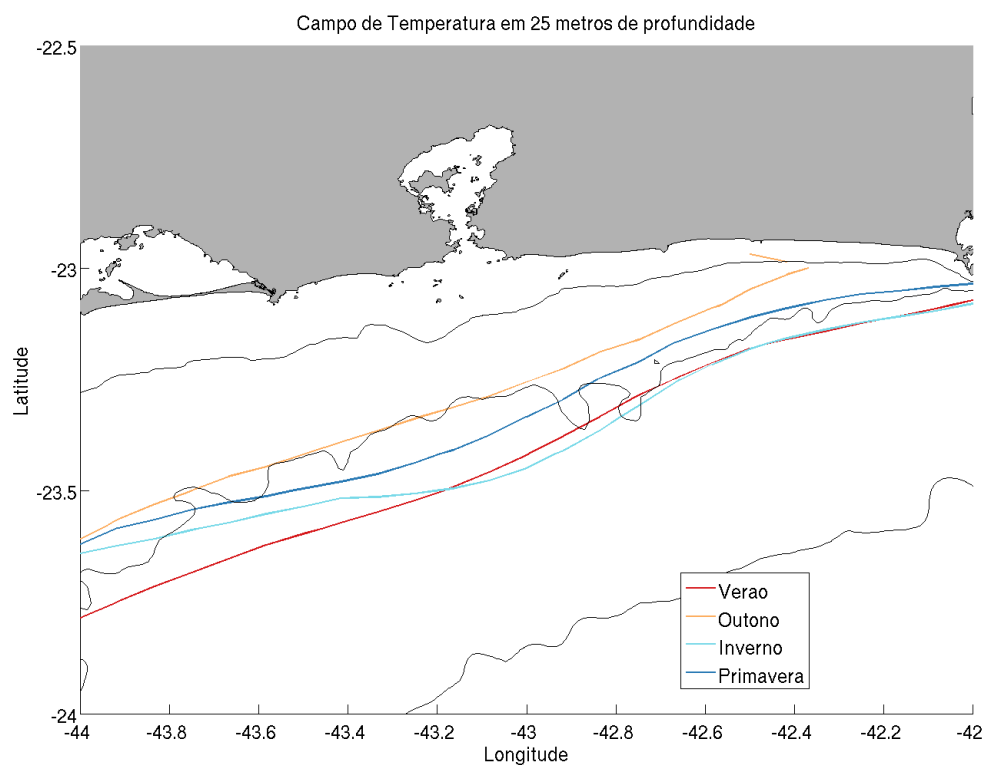


Figura 41: Isoterma de 20°C, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de temperatura para a profundidade de 25 metros para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

Em todas as estações do ano o comportamento do campo de salinidade foi semelhante, a isohalina de 36 atinge a costa na região entre CF e BG, o que indica a presença de águas menos salinas à oeste da BG e águas mais salinas na porção à leste e na região mais externa da PC (Figura 42 e Figura 43). A isohalina de 36 ocorre entre a isóbata de 50 metros e a isóbata de 100 metros. A análise dos campos de salinidade da profundidade de 25 metros realizada no estudo de CERDA; CASTRO (2014) mostraram um padrão muito parecido com o que foi descrito na profundidade de 10 metros.

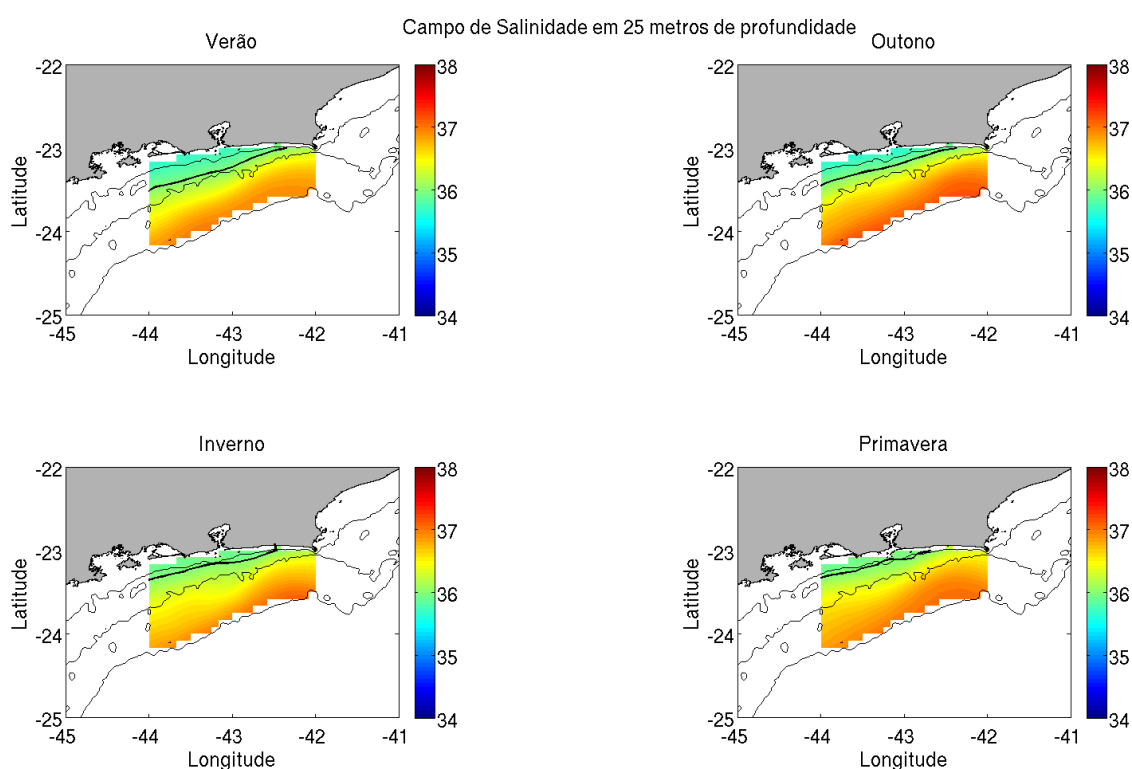


Figura 42: Campo de salinidade para a profundidade de 25 m para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a salinidade de 36.

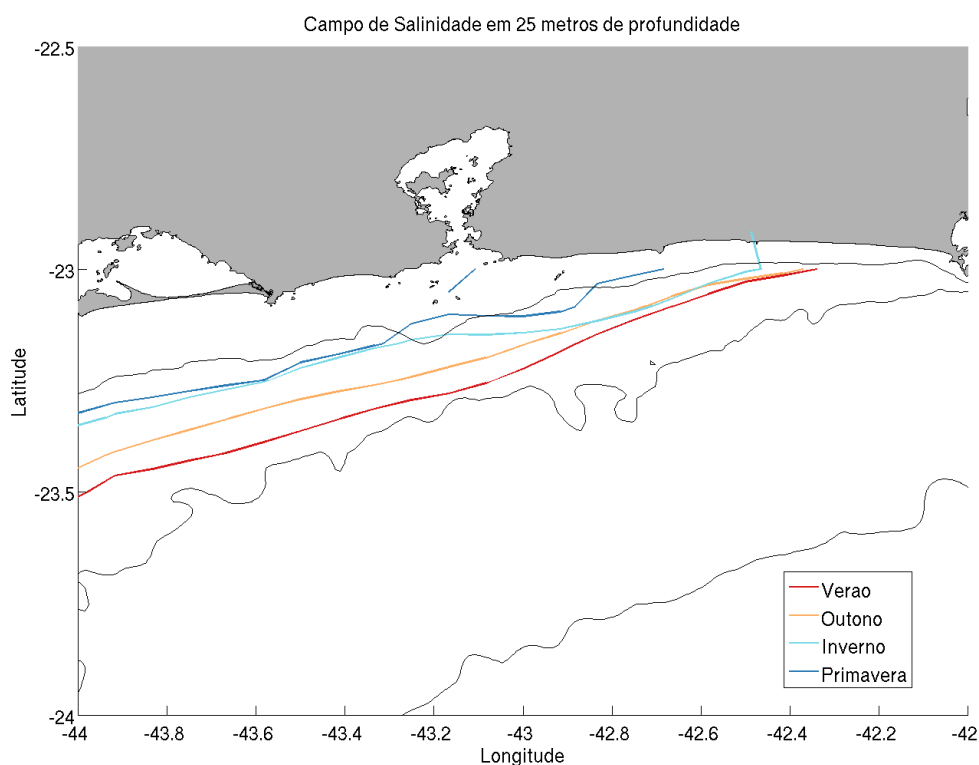


Figura 43: Isohalina de 36, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de salinidade para a profundidade de 25 metros para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

Os campos de densidade para esta profundidade indicam águas mais densas na região mais costeira (Figura 44 e Figura 45). O período do outono mostra a isopicnal de topo da ACAS encontrando a costa entre CF e a BG, com águas mais densas entre ela e a linha de costa. No inverno há um predomínio de águas com densidade superior à $25,5\text{kg/m}^3$. De forma geral, água com índices termohalinos da ACAS estaria disponível ao largo da BG em todas as estações do ano para esta profundidade.

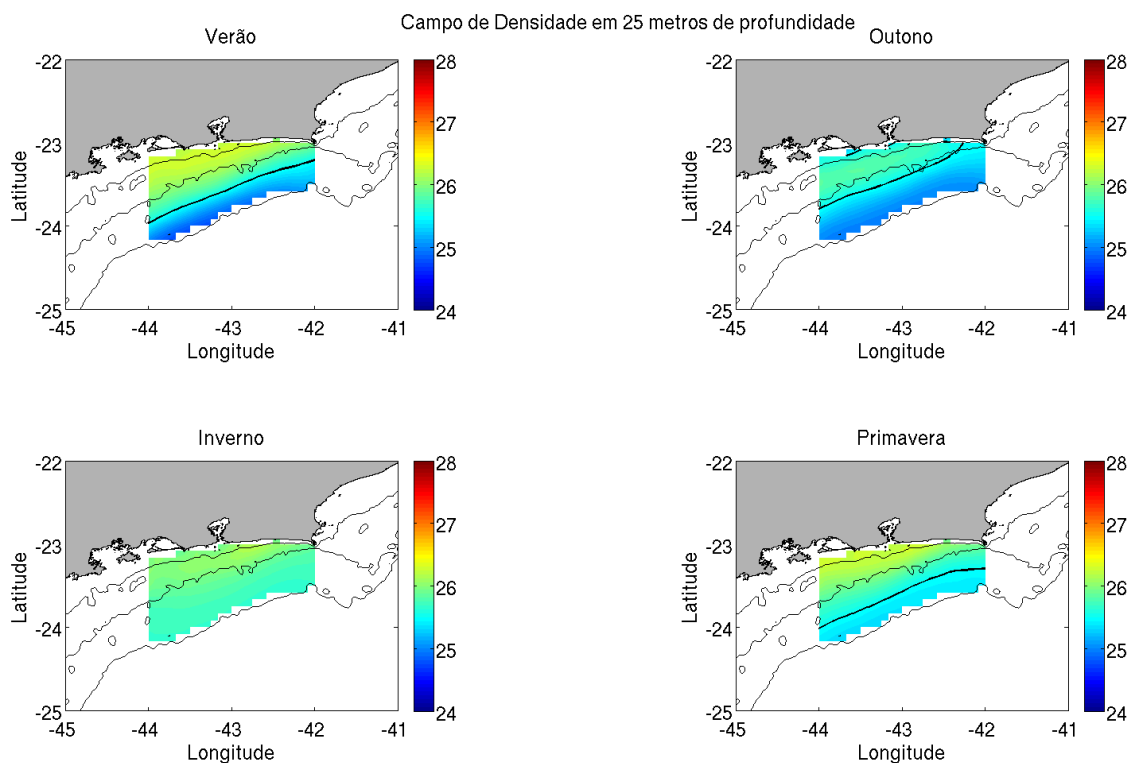


Figura 44: Campo de densidade para a profundidade de 25 m para a PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a densidade de 25,5 kg/m³.

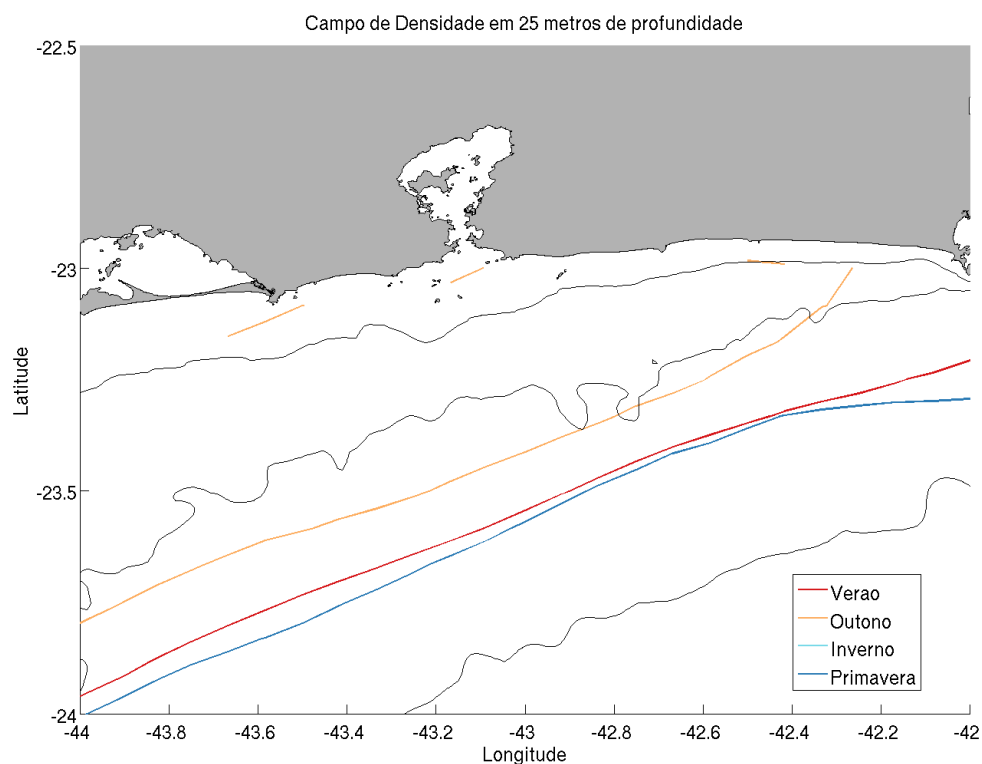


Figura 45: Isopicnal de 25,5 kg/m³, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de densidade para a profundidade de 25 metros para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

Os campos de temperatura para o fundo indicam a presença de águas com temperaturas inferiores a 20°C em toda a extensão da PC para as quatro estações, sendo que próximo à costa as temperaturas são mais quentes (Figura 46 e Figura 47). De forma geral, a temperatura da água de fundo da costa até a isobata de 200 metros são mais quentes quando comparadas ao oceano adjacente. No verão, é possível observar uma língua de água fria penetrando a PCSERJ próximo a CF, provavelmente, devido à mudança de orientação da linha de costa e ao aumento do gradiente batimétrico. Durante os outros períodos do ano essa língua não é tão bem demarcada.

CERDA; CASTRO (2014) também observaram a penetração desta água mais fria na PC próximo a CF principalmente no período de verão, mas também é observada, com menor intensidade, no inverno e primavera. O outono apresenta isothermas paralelas à linha de costa. CASTRO; MIRANDA (1998) observaram isothermas paralelas à linha de costa para o fundo tanto no verão quanto no inverno. Porém, o gradiente térmico do fundo é maior no inverno. O campo de temperatura para o fundo na PCSERJ observado nos três trabalhos é mais homogêneo no período de verão.

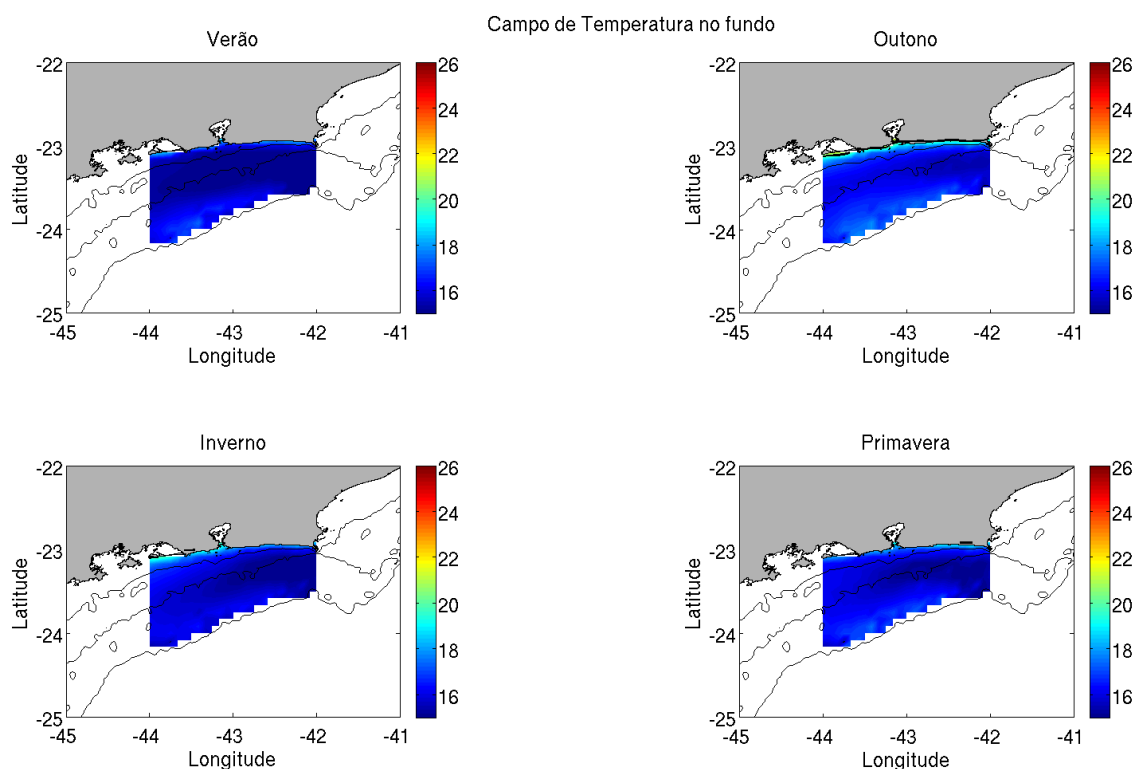


Figura 46: Campo de temperatura para o fundo da PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a temperatura de 20°C.

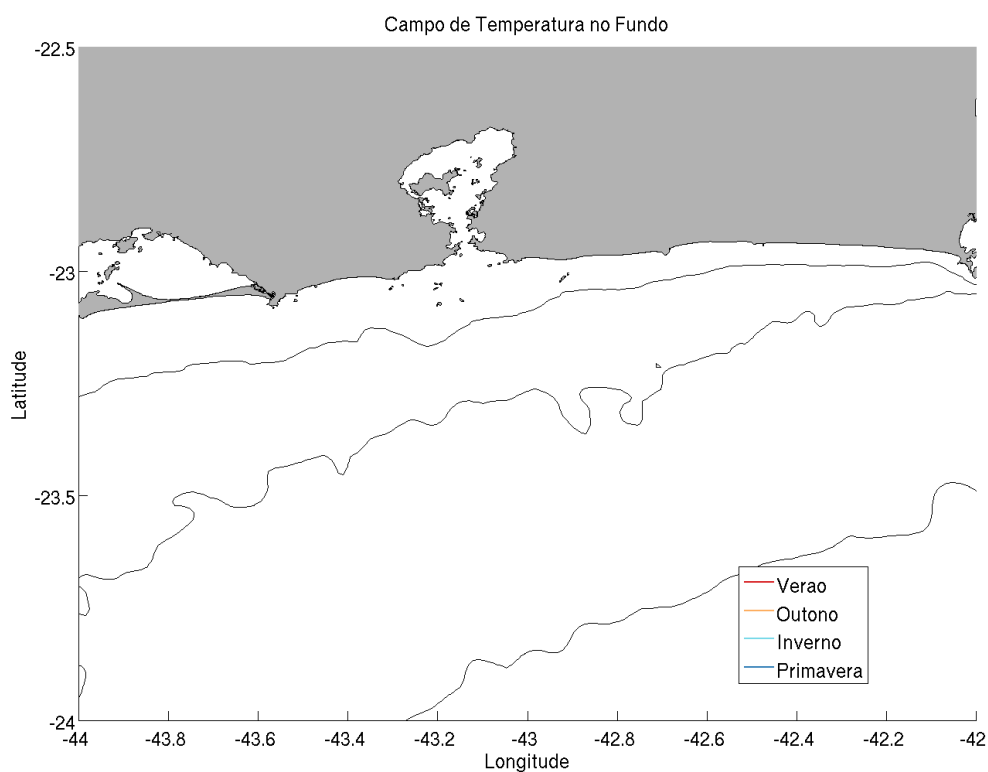


Figura 47: Isoterma de 20°C, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de temperatura para o fundo oceânico para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

A salinidade do fundo é praticamente homogênea para a região em todos os períodos (Figura 48 e Figura 49), com poucos bolsões de água mais densos próximo à isobata de 200 metros. CERDA; CASTRO (2014) também observaram campos de salinidade bem homogêneos para o fundo. As porções mais salinas ocorreram ao norte do domínio. O trabalho de CASTRO; MIRANDA (1998) corroboram os resultados obtidos para esta profundidade.

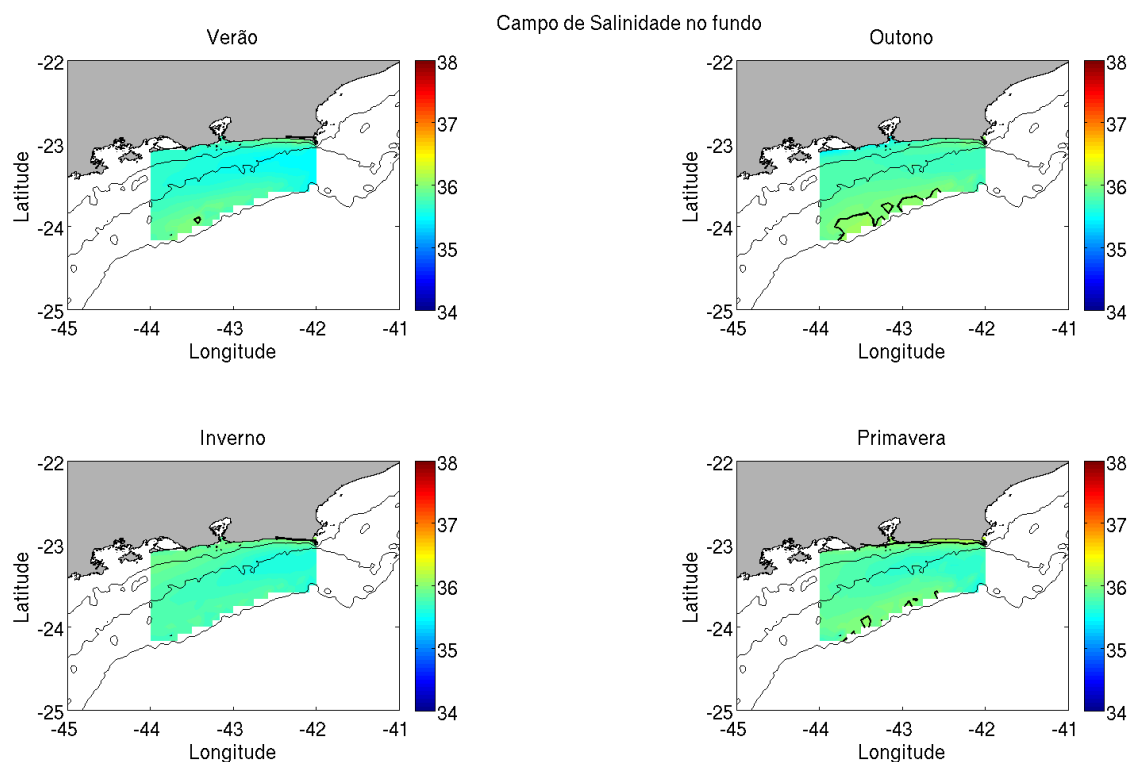


Figura 48: Campo de salinidade para o fundo da PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a salinidade de 36.

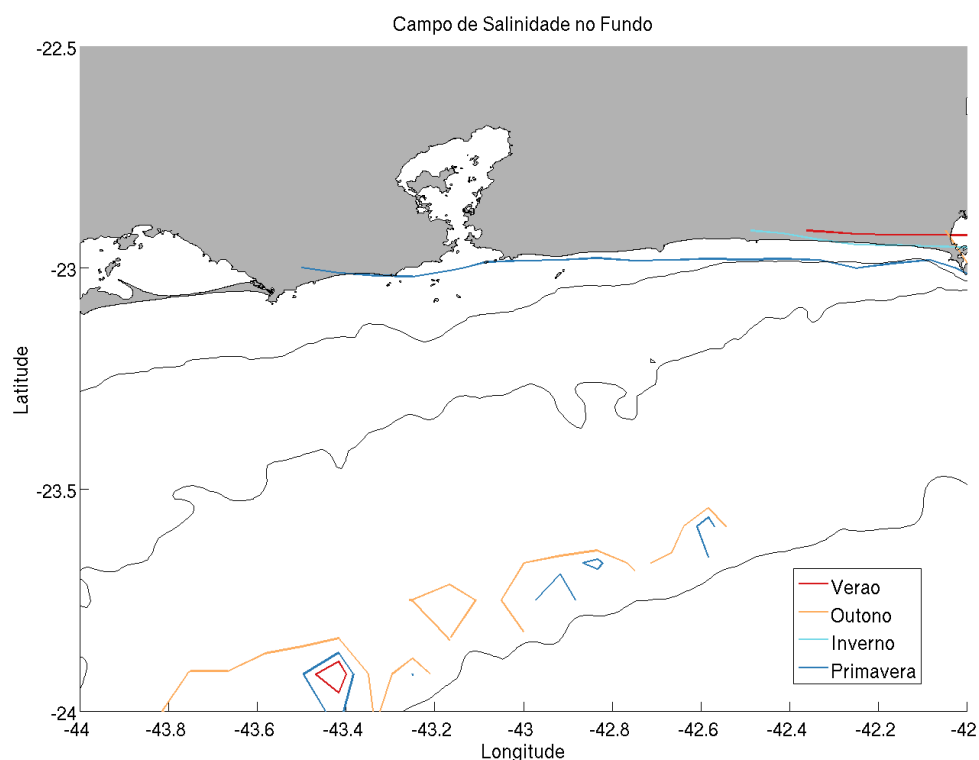


Figura 49: Isohalina de 36, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de salinidade para o fundo oceânico para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

O campo de densidade para o fundo da PCSERJ evidencia o predomínio da ACAS próximo ao assoalho oceânico em todas as estações do ano (Figura 50 e Figura 51). Este resultado corrobora o trabalho de CERDA; CASTRO (2014). No outono é possível observar a linha de densidade característica de topo da ACAS próximo à linha de costa.

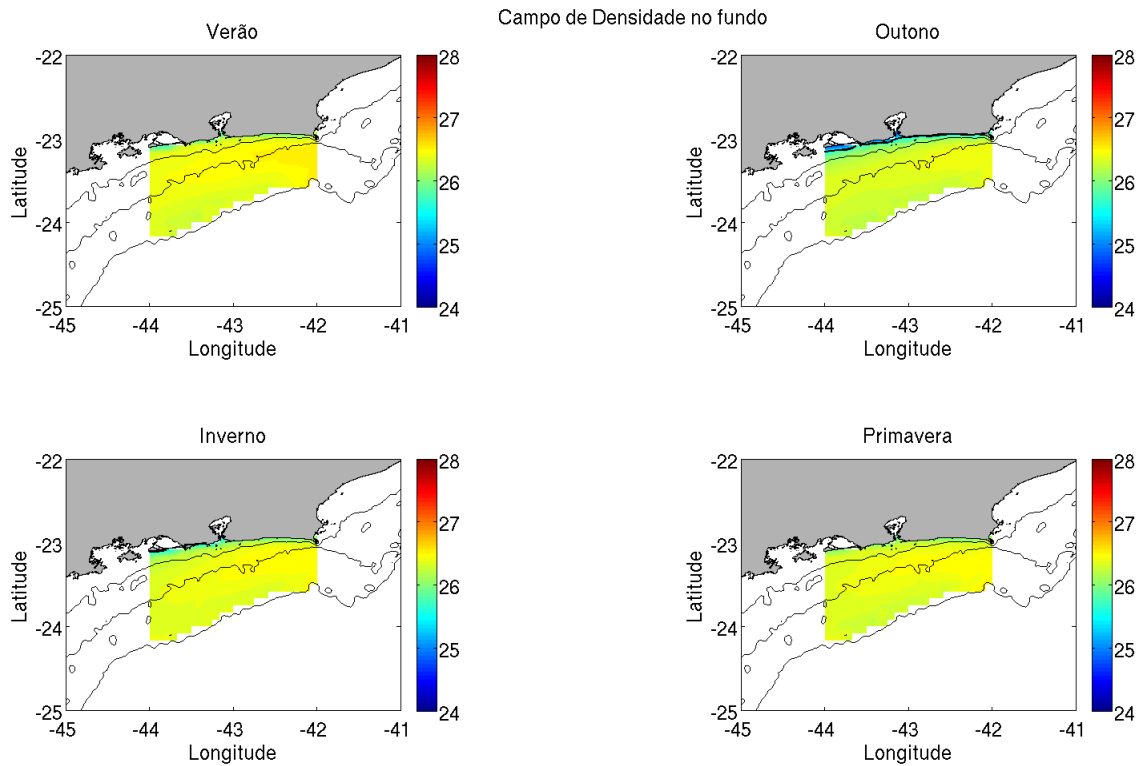


Figura 50: Campo de densidade para o fundo da PCSERJ até a isóbata de 200 m. A linha em preto demarca a densidade de $25,5 \text{ kg/m}^3$.

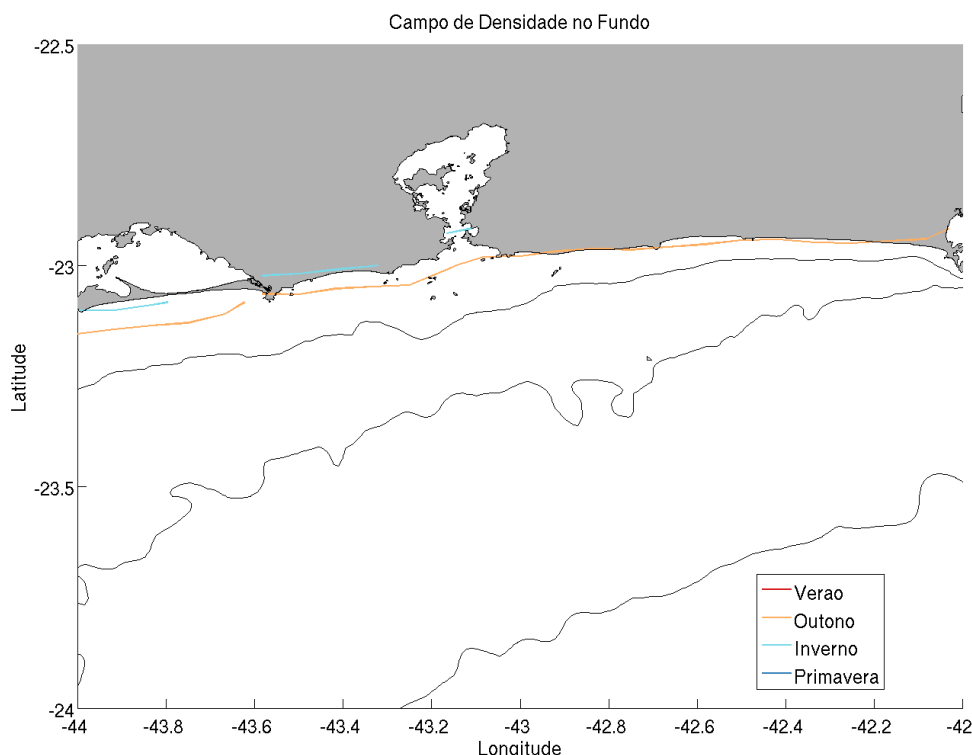


Figura 51: Isopícnal de 25,5 km³/m³, que delimita o topo da ACAS, destacada no campo de densidade para o fundo oceânico para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

As análises dos perfis verticais evidenciaram a diferença das seções principalmente com relação à batimetria (Figura 15). É possível observar que, nas quatro seções estabelecidas, a seção mais a leste (CF - Figura 52 e Figura 56) possui um gradiente mais brusco, com profundidades aumentando rapidamente à medida que se afasta da costa. Esta característica pode indicar uma maior influência de processos oceânicos na região costeira na seção de CF. O gradiente batimétrico das seções de Maricá (Figura 53 e Figura 57) e BG (Figura 54 e Figura 58) são menos acentuados, respectivamente. A seção mais a oeste (Sepetiba - Figura 55 e Figura 59) possui o menor gradiente batimétrico, ou seja, o declive da topografia de fundo é mais suave (PC mais larga).

De forma geral, águas com menores temperaturas são encontradas junto ao fundo e águas mais superficiais possuem temperaturas mais altas em todos os perfis analisados. Os perfis verticais de temperatura não indicaram variações sazonais significativas e foram bem semelhantes para todas as radiais.

Nos perfis verticais de temperatura a isoterma de 20°C foi destacada para facilitar a observação da sazonalidade desta massa d'água. Assim sendo, foi possível

observar que para a seção de CF (Figura 56), a ACAS atingiu águas mais rasas próximo à costa no período de verão e águas mais rasas entre as latitudes de 22,9°S e 23,1°S no inverno. Ainda nesta seção, o topo da ACAS estava mais raso no verão ao sul de 23,1°S. A seção Maricá (Figura 57) evidencia que o topo da ACAS estava mais raso no inverno próximo à costa e no verão ao sul da latitude de 23,2°S. A seção da BG apresentou a isoterma de topo da ACAS mais rasa no inverno. Já para seção Sepetiba, observa-se que, próximo à costa, a ACAS estava mais rasa na primavera, entre as latitudes de 23,3°S e 23,75°S, a ACAS estava mais rasa no verão e, ao sul de 23,75°S, a ACAS estava mais rasa no inverno. CASTRO; MIRANDA (1998) defendem que a ACAS está mais disponível na PCSERJ no período de verão e menos disponível no período de inverno. Nas análises realizadas, o período que apresentou temperaturas de topo da ACAS mais profundo foi o outono, e não o inverno, como era de se esperar.

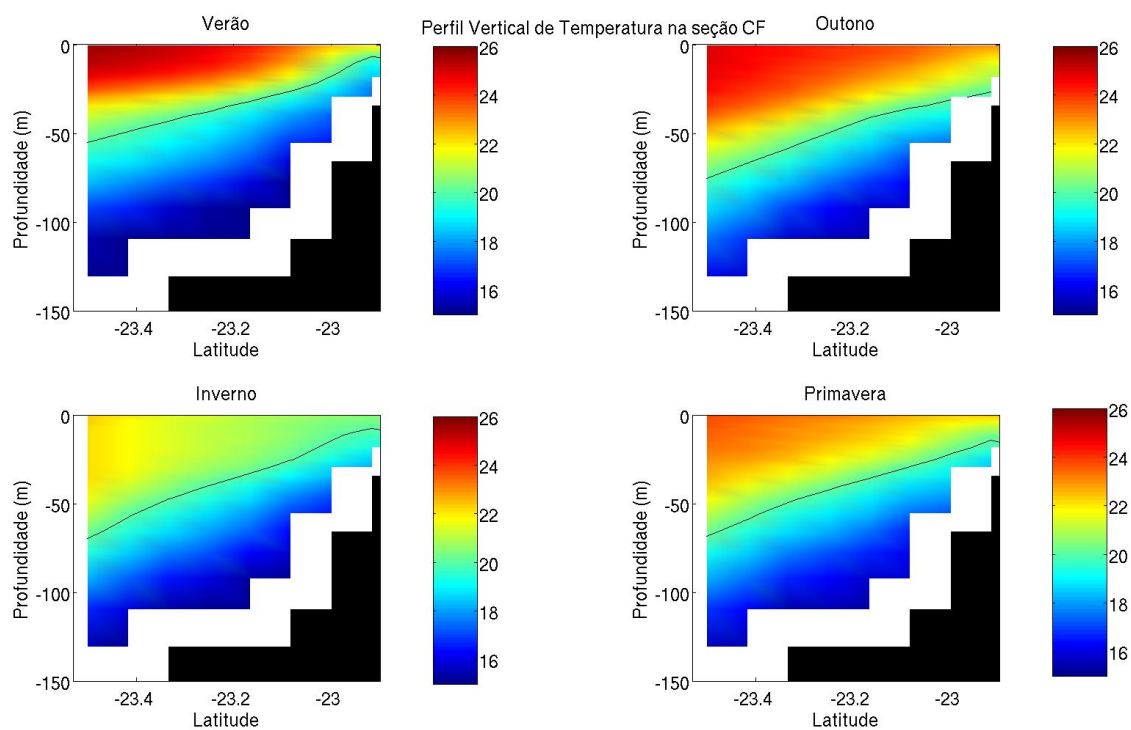


Figura 52: Perfil Vertical de temperatura na seção de CF. Em destaque em preto temos a isoterma de 20°C.

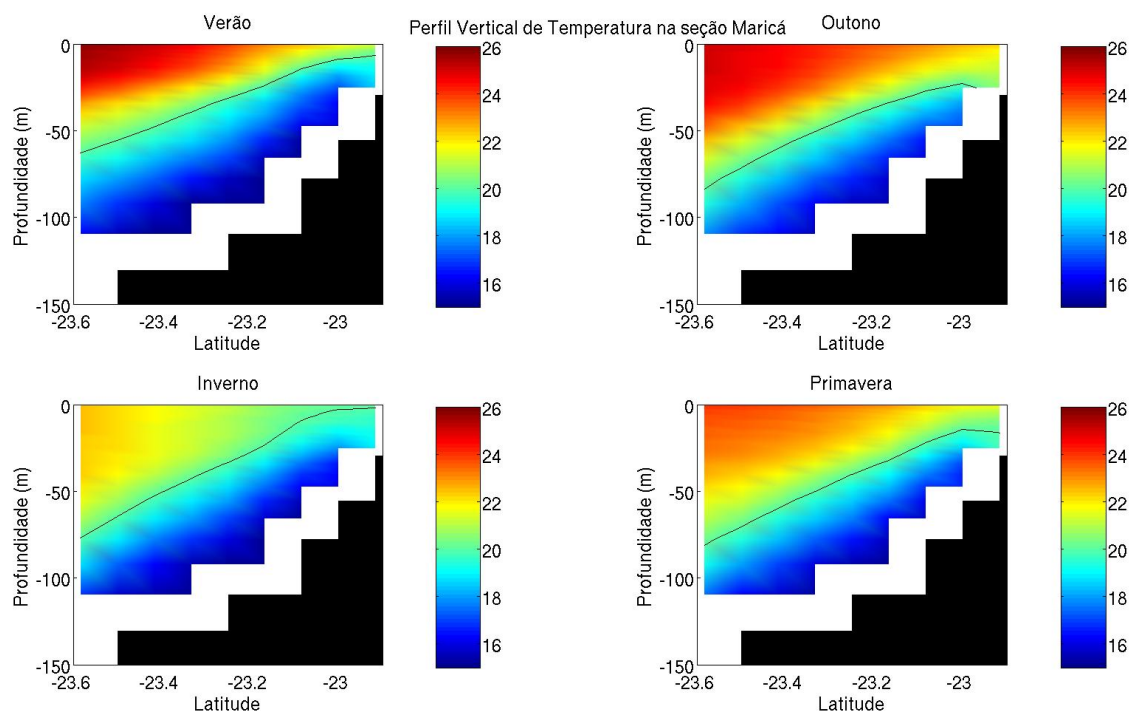


Figura 53: Perfil Vertical de temperatura na seção de Maricá. Em destaque em preto temos a isoterma de 20°C.

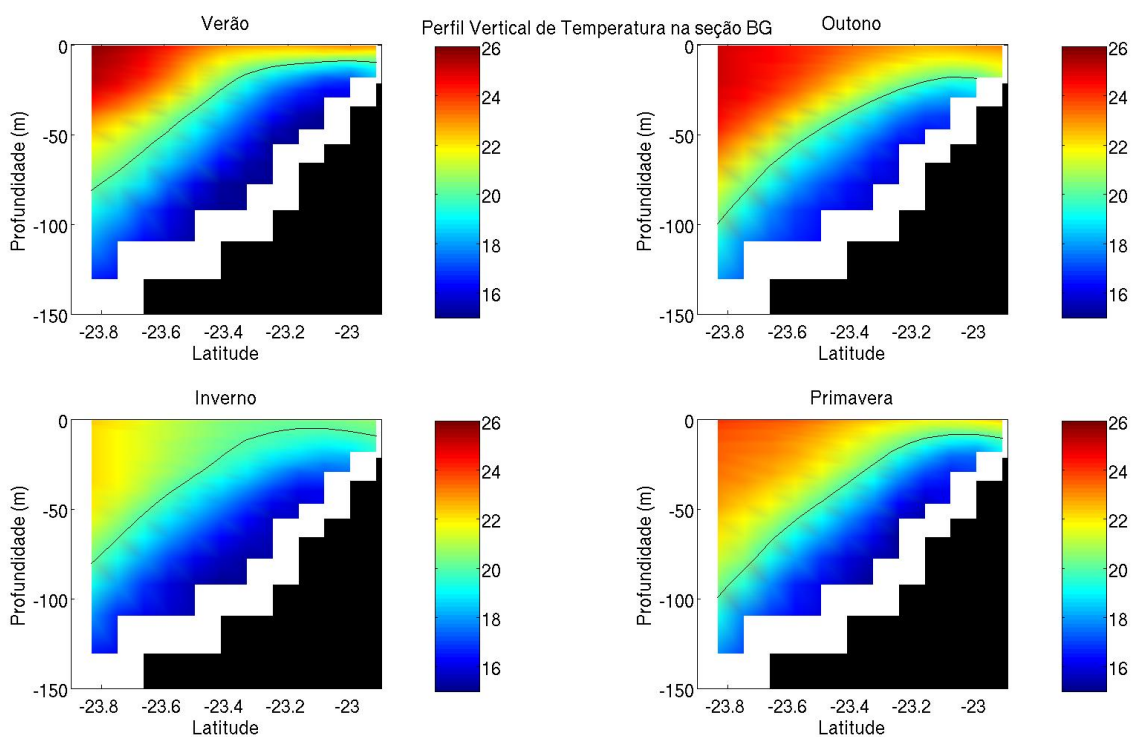


Figura 54: Perfil Vertical de temperatura na seção de BG. Em destaque em preto temos a isoterma de 20°C.

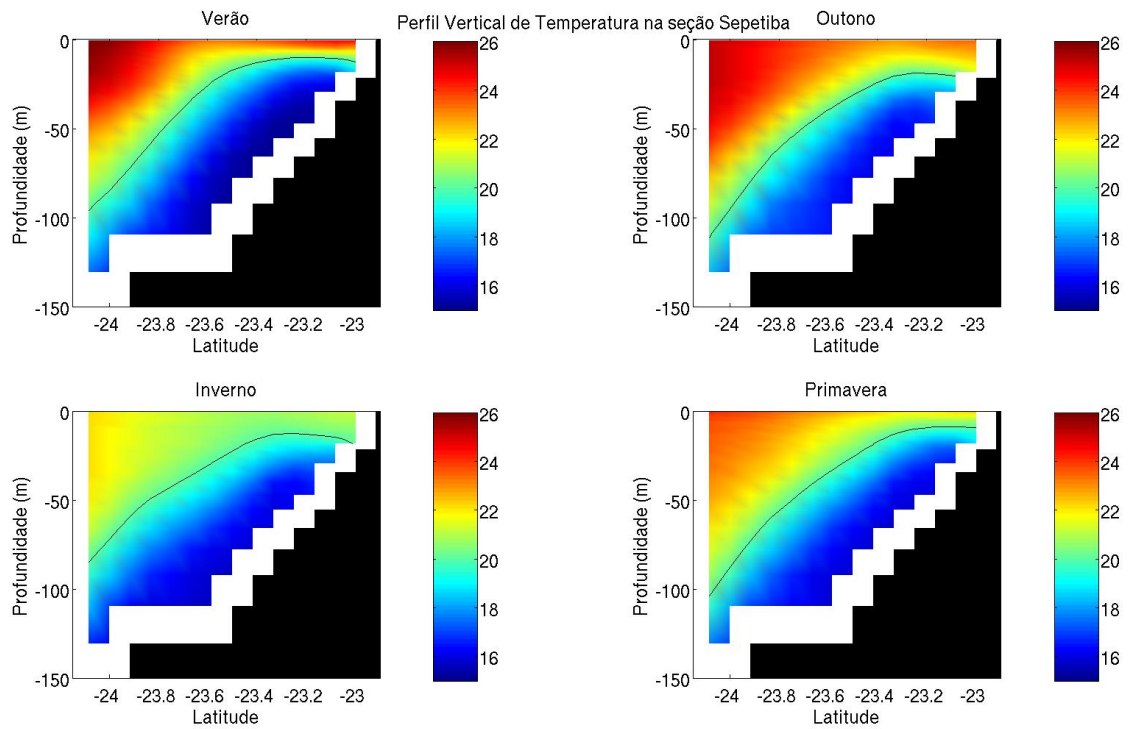


Figura 55: Perfil Vertical de temperatura na seção de Sepetiba. Em destaque em preto temos a isoterma de 20°C.

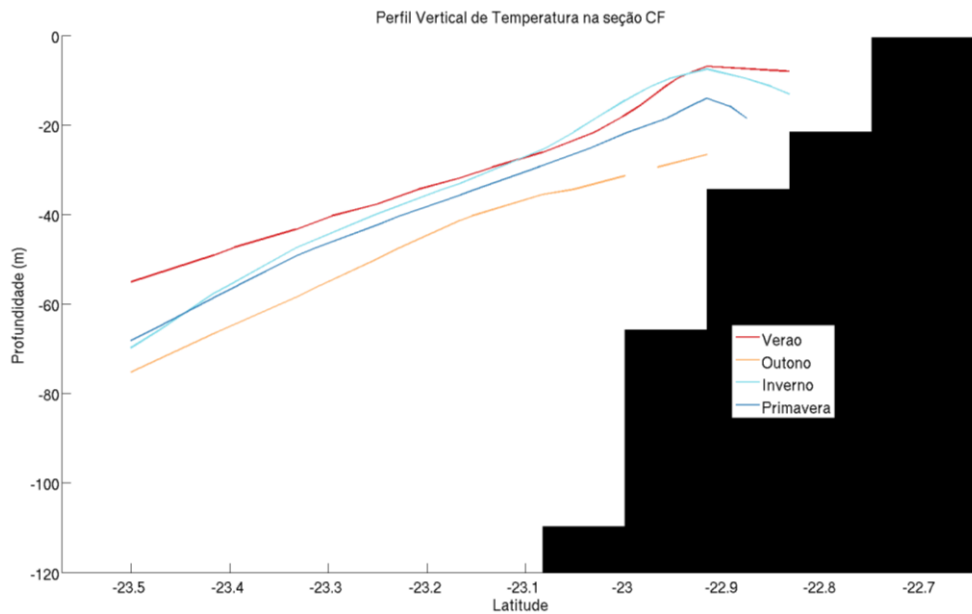


Figura 56: Isotherma de 20°C, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de temperatura para a seção de CF para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

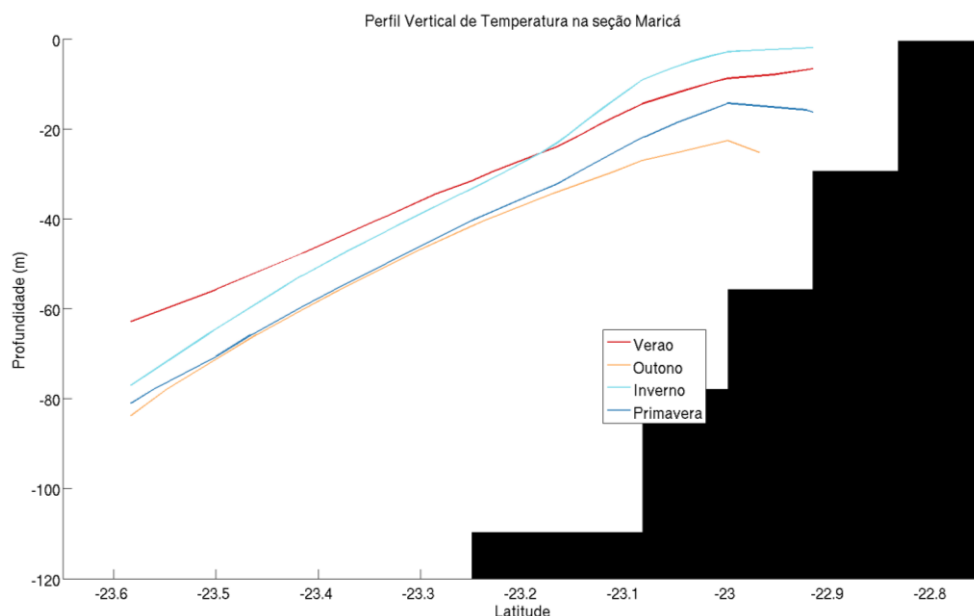


Figura 57: Isotherma de 20°C, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de temperatura para a seção de Maricá para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

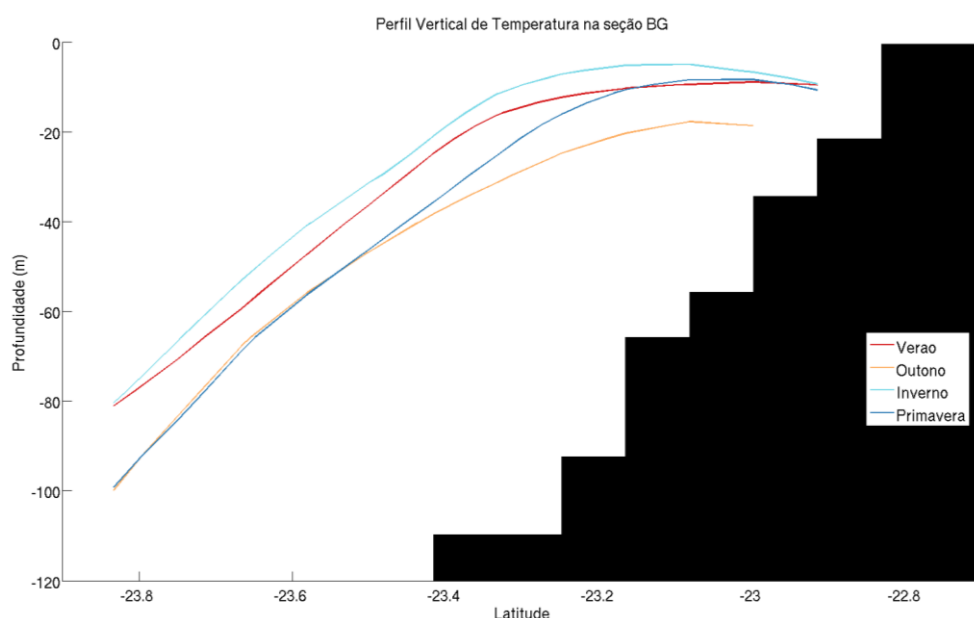


Figura 58: Isotherma de 20°C, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de temperatura para a seção da BG para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

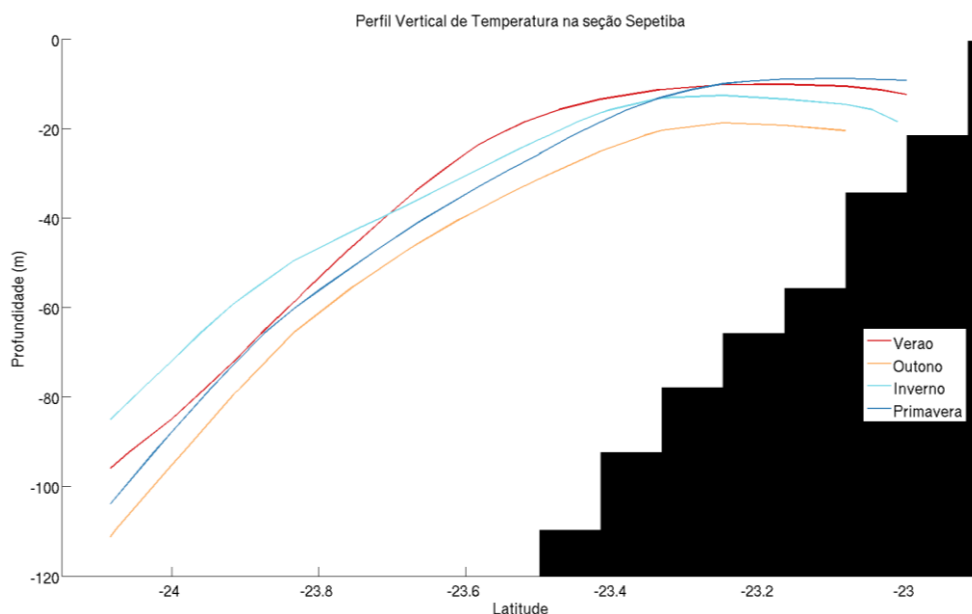


Figura 59: Isoterma de 20°C, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de temperatura para a seção de Sepetiba para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

Os perfis de salinidade para a seção de CF (Figura 60 e Figura 64) indicaram a presença de águas mais salinas na região costeira. A isohalina de 36 evidencia águas de salinidade próximas a 36,5 junto à costa nos primeiros 50 metros de profundidade da coluna d'água em todas as estações do ano. Entretanto, em camadas mais profundas junto ao fundo existem águas menos salinas. A seção de Maricá (Figura 61 e Figura 65) indicou que o perfil da isohalina de 36 ao longo da coluna d'água é bem definido no verão, outono e inverno. Na primavera é possível observar que águas mais salinas atingem a região costeira e uma camada menos salina permanece represada junto ao fundo. A seção da BG (Figura 62 e Figura 66) apresentou um comportamento bem semelhante ao que foi descrito para a seção de Maricá. Já na seção de Sepetiba (Figura 63 e Figura 67), a estrutura salina representada no perfil de salinidade indicou uma separação de águas costeiras menos salinas e águas oceânicas mais salinas.

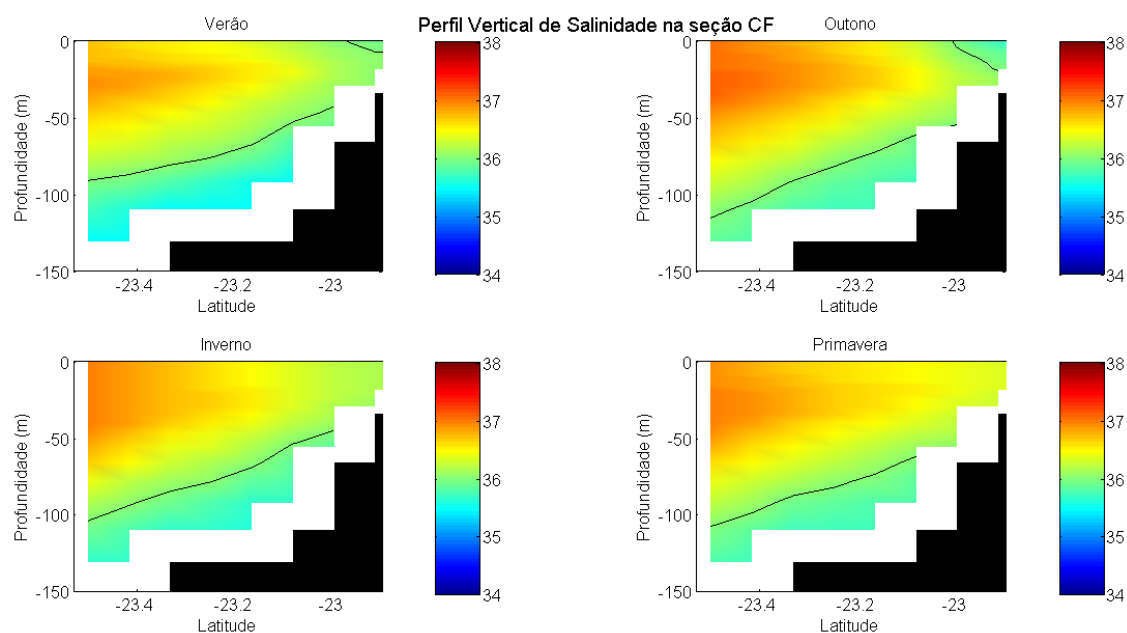


Figura 60: Perfil vertical de salinidade na seção de CF. Em destaque em preto temos a isohalina de 36.

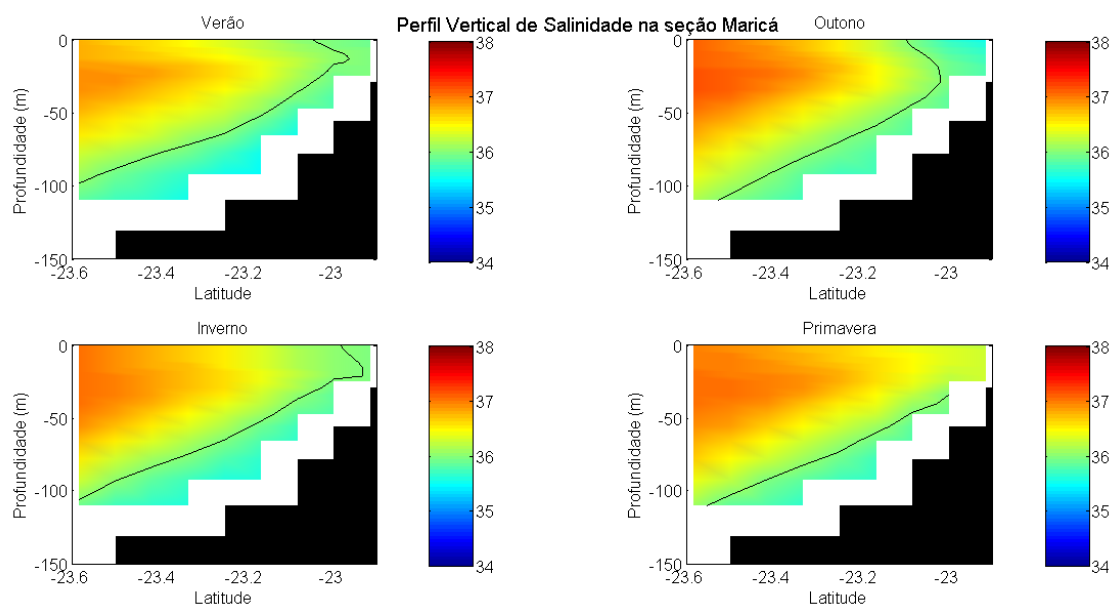


Figura 61: Perfil vertical de salinidade na seção de Maricá. Em destaque em preto temos a isohalina de 36.

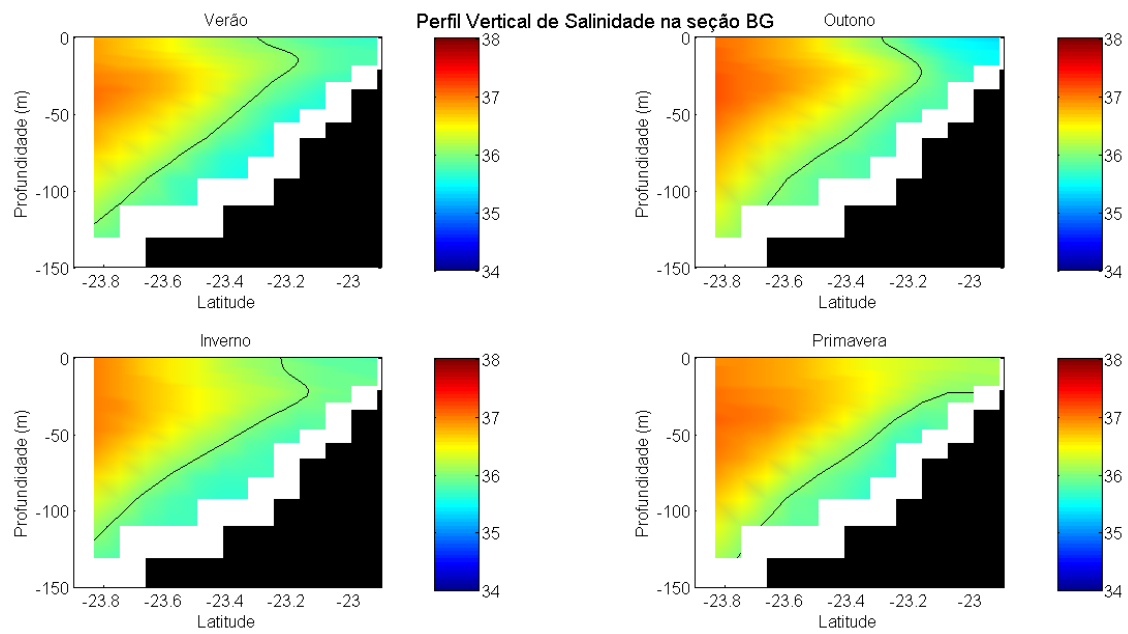


Figura 62: Perfil vertical de salinidade na seção da BG. Em destaque em preto temos a isohalina de 36.

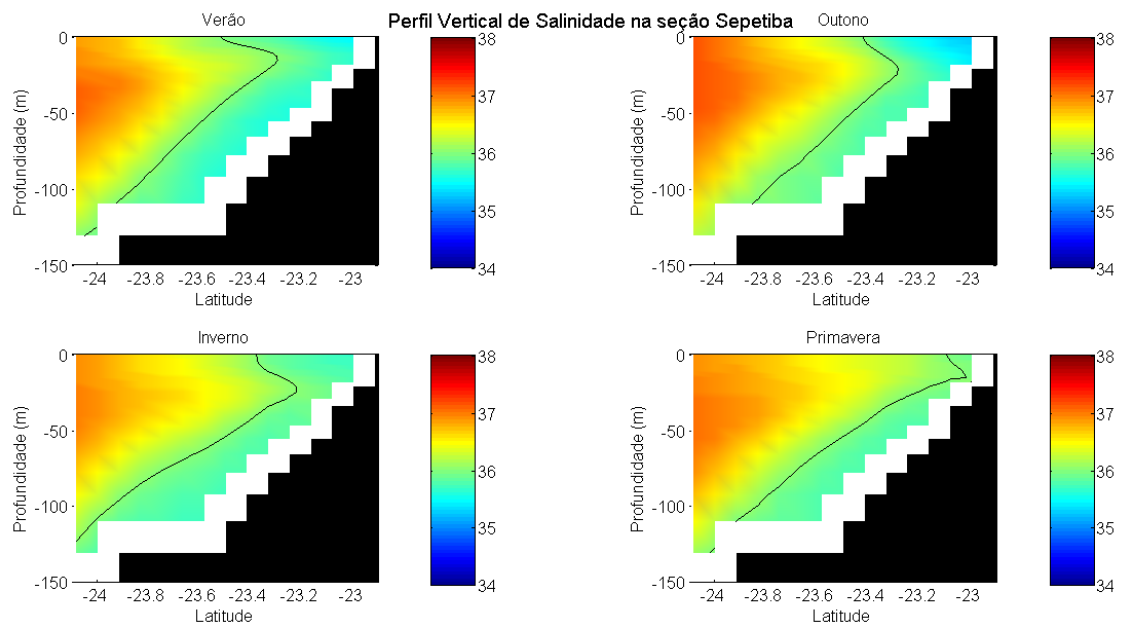


Figura 63: Perfil vertical de salinidade na seção de Sepetiba. Em destaque em preto temos a isohalina de 36.

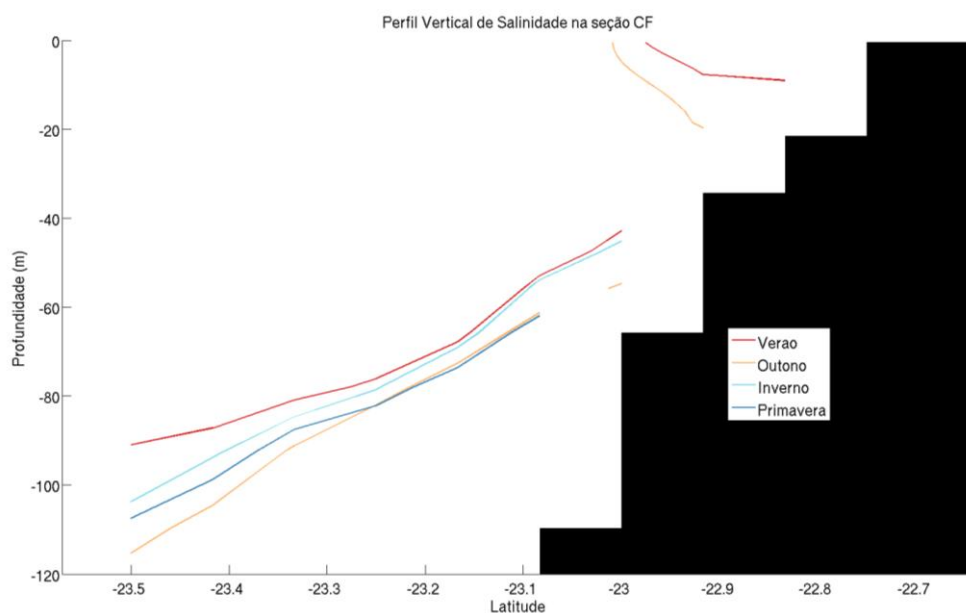


Figura 64: Isohalina de 36, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de salinidade para a seção de CF para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

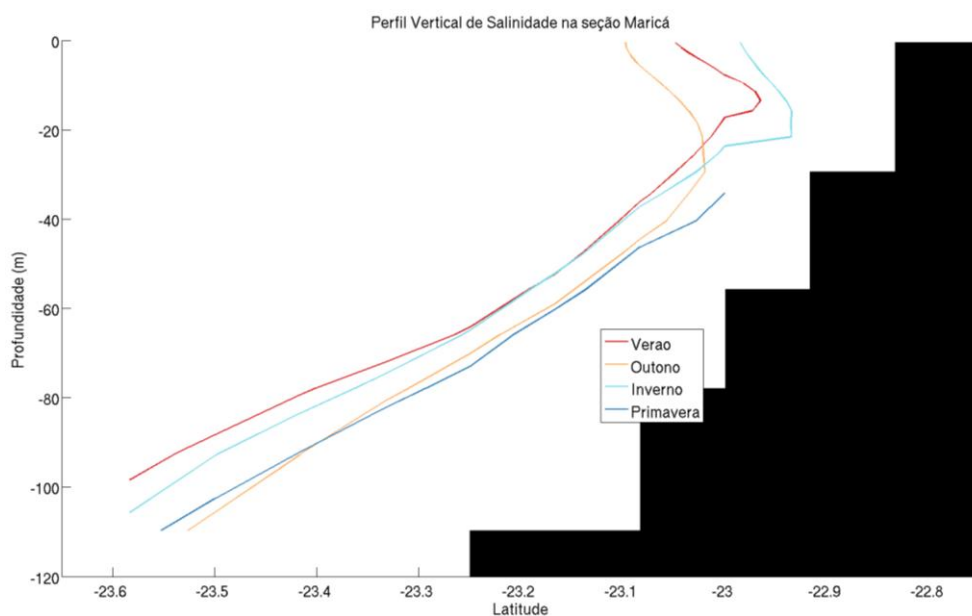


Figura 65: Isohalina de 36, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de salinidade para a seção Maricá para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

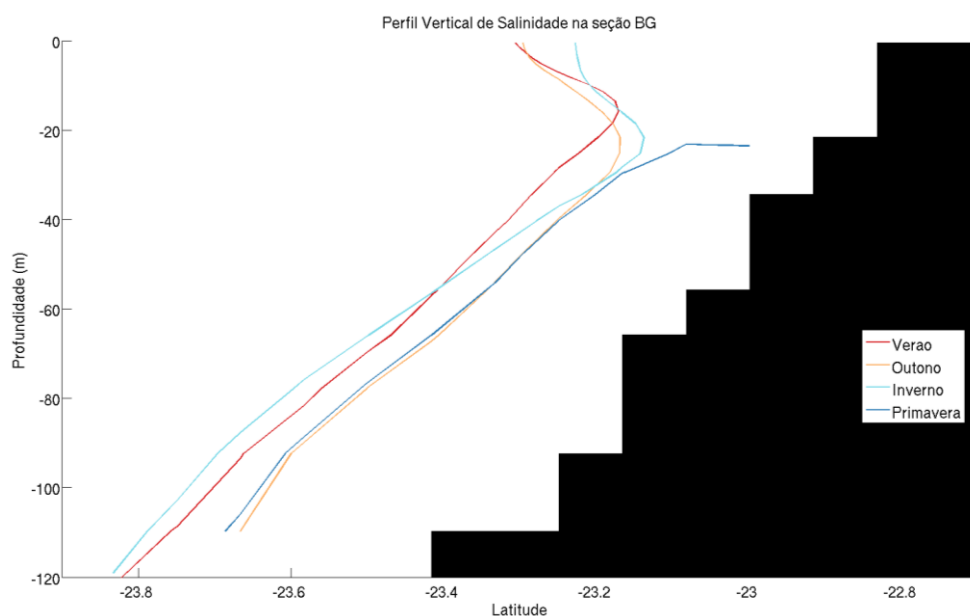


Figura 66: Isohalina de 36, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de salinidade para a seção da BG para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

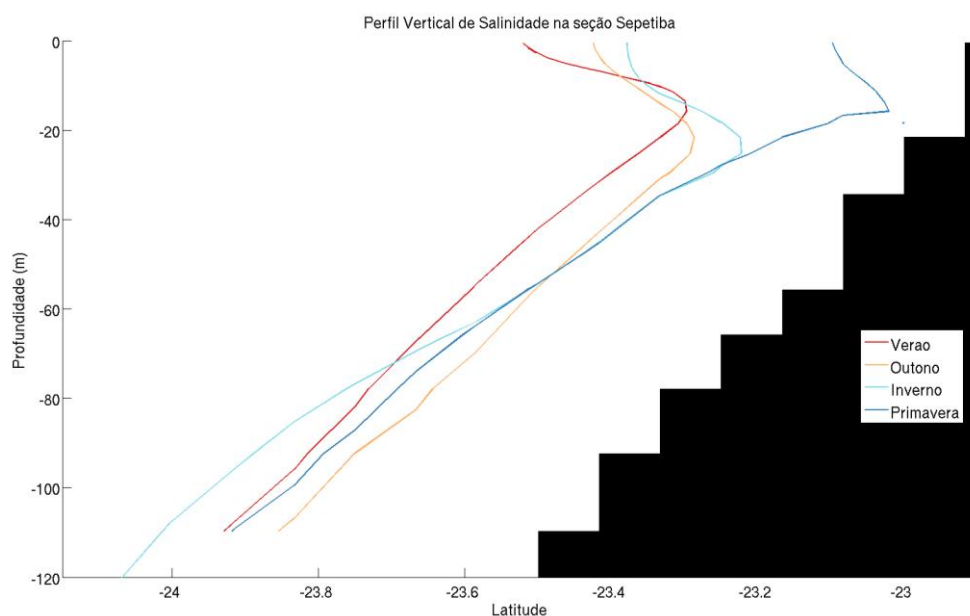


Figura 67: Isohalina de 36, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de salinidade para a seção de Sepetiba para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

Ao comparar todos os resultados de perfis de densidade para as seções predeterminadas, a seção de CF (Figura 68 e Figura 72) apresentou águas junto ao fundo com as maiores densidades observadas. Analisando os perfis das seções para o

período de inverno, a linha de densidade de $25,5 \text{ kg/m}^3$ indica que a ACAS está localizada mais afastada da costa na medida em que se desloca para o oeste. Neste período a linha de densidade apresenta um comportamento diferente quando comparado aos outros períodos, estando disposta entre a superfície e o fundo. Este comportamento pode indicar que a mistura entre as águas oceânicas e costeiras é menor. O período de outono é o que apresenta o topo da ACAS mais profundo.

Os perfis de densidade da seção de CF evidenciaram que a ACAS está sempre disponível nos primeiros 50 m da coluna d'água, estando mais profunda no período de outono. Comparativamente com os perfis desta seção, o período de verão apresenta águas superficiais menos densas. As seções de Maricá (Figura 69 e Figura 73), BG (Figura 70 e Figura 74) e Sepetiba (Figura 71 e Figura 75) apresentaram um padrão bem similar entre elas para os períodos de verão, outono e primavera. Nestas seções as águas menos densas ocuparam as camadas superficiais, porém, na primavera e verão, a ACAS foi capaz de atingir a costa. No período do outono isso não ocorre.

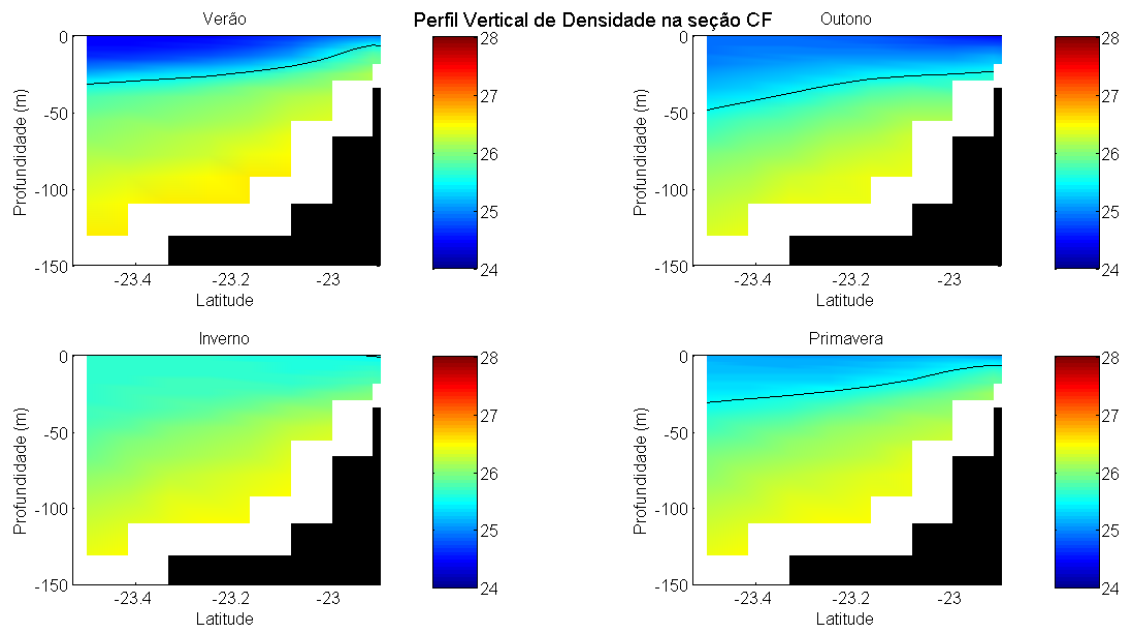


Figura 68: Perfil vertical de densidade na seção de CF. Em destaque em preto temos a linha de densidade sigma correspondente a $25,5 \text{ kg/m}^3$.

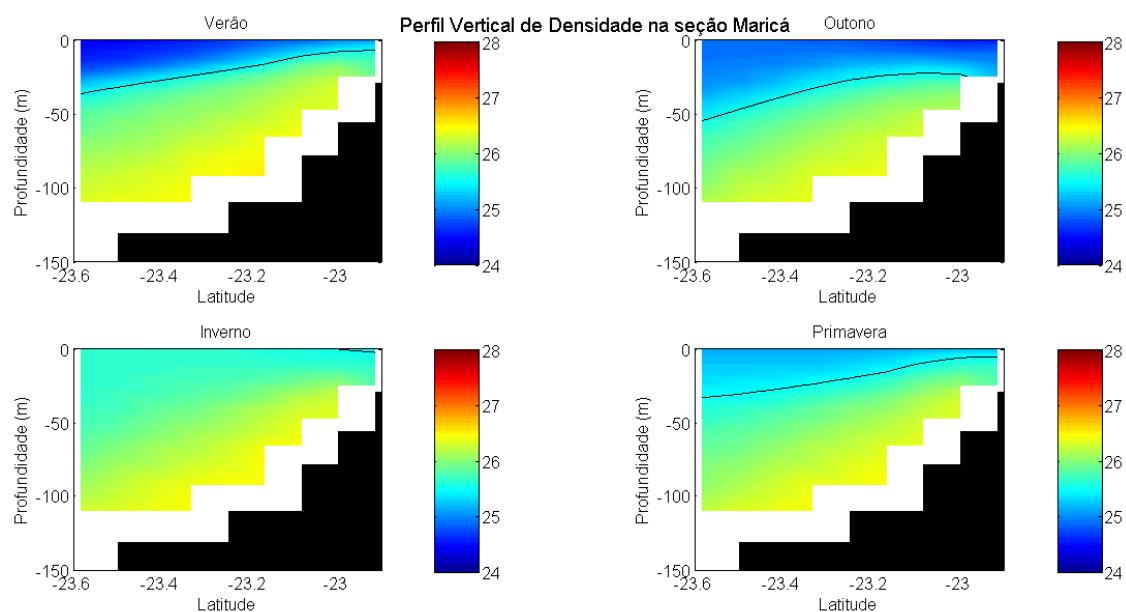


Figura 69: Perfil vertical de densidade na seção de Maricá. Em destaque em preto temos a linha de densidade sigma correspondente a 25,5 kg/m³.

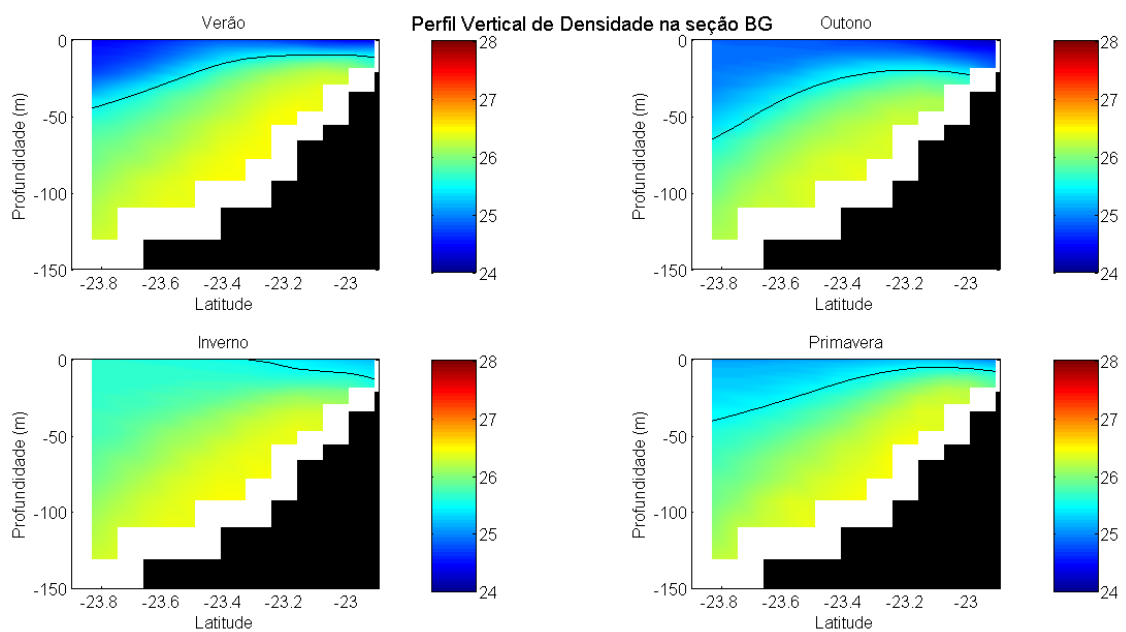


Figura 70: Perfil vertical de densidade na seção da BG. Em destaque em preto temos a linha de densidade sigma correspondente a 25,5 kg/m³.

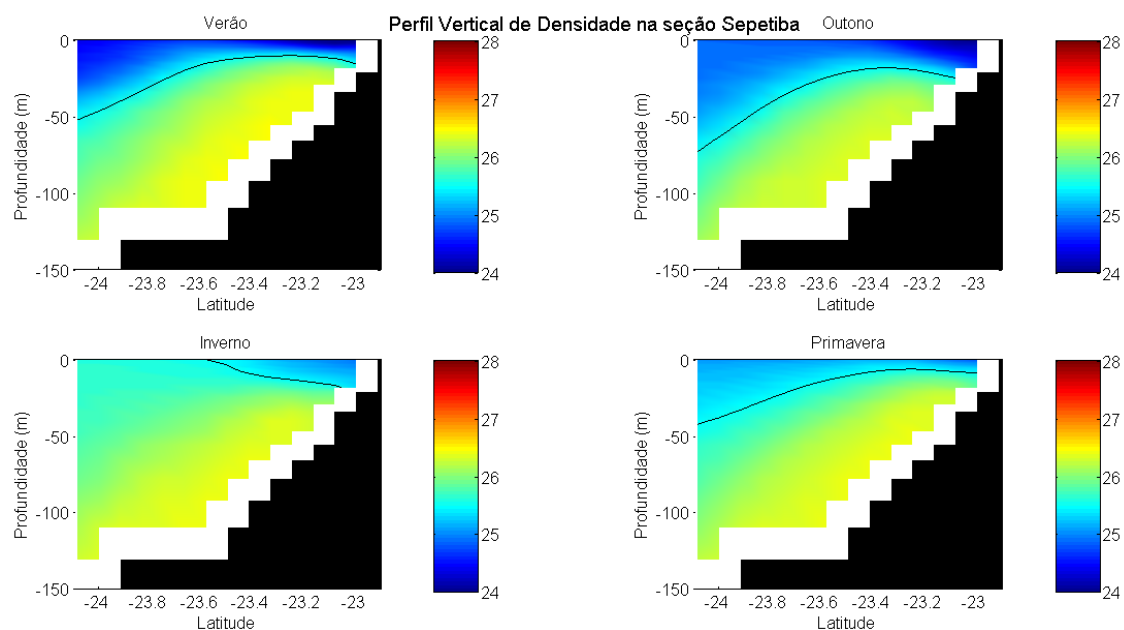


Figura 71: Perfil vertical de densidade na seção de Sepetiba. Em destaque em preto temos a linha de densidade sigma correspondente a $25,5 \text{ kg/m}^3$.

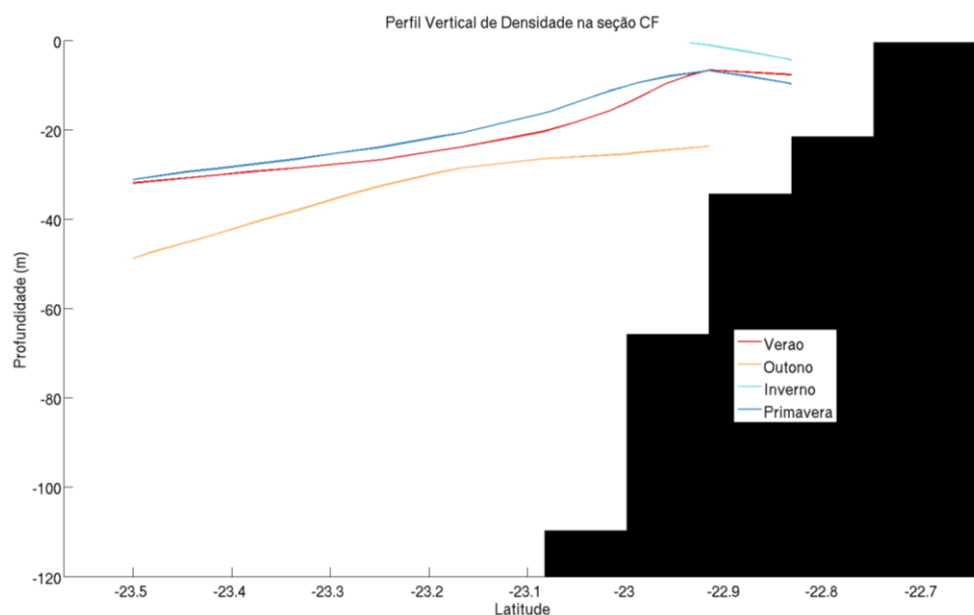


Figura 72: Isopicnal de $25,5 \text{ kg/m}^3$, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de densidade para a seção CF para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

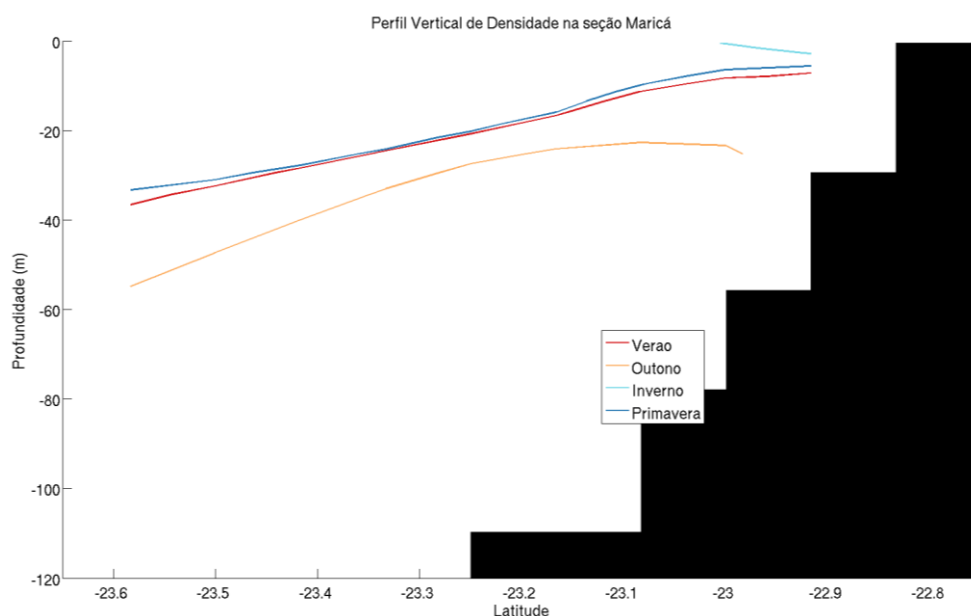


Figura 73: Isopícnal de $25,5 \text{ kg/m}^3$, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de densidade para a seção Maricá para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

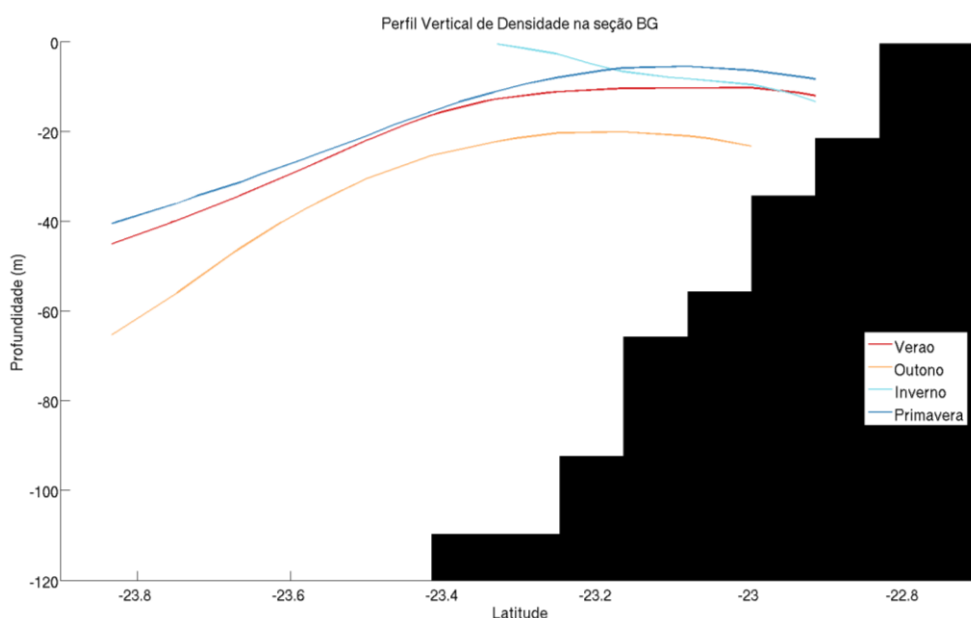


Figura 74: Isopícnal de $25,5 \text{ kg/m}^3$, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de densidade para a seção BG para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

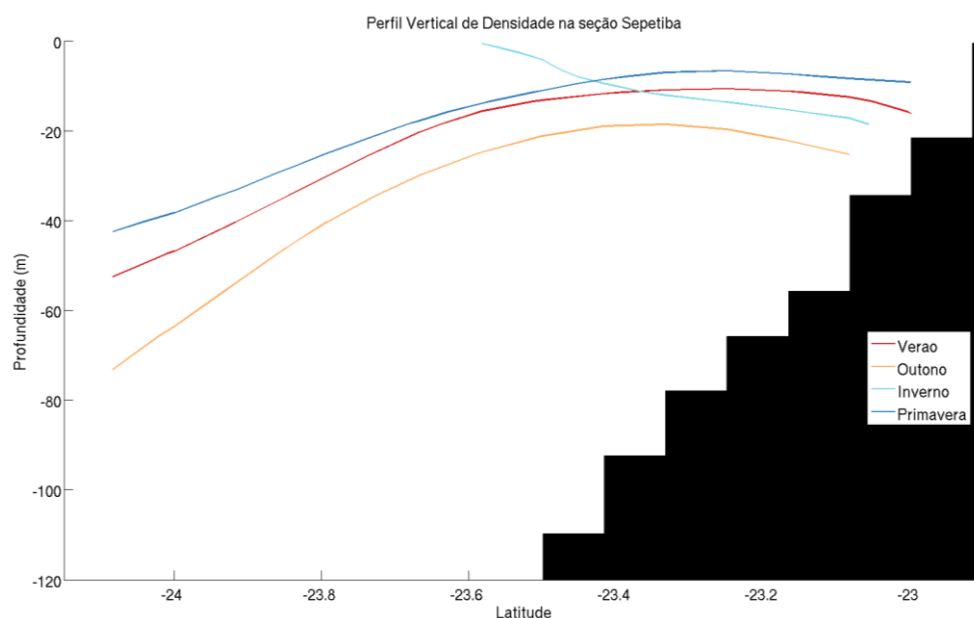


Figura 75: Isopical de 25,5 kg/m³, que delimita o topo da ACAS, destacada no perfil de densidade para a seção Sepetiba para as estações do ano. O verão está representado em vermelho, o outono está representado em laranja, o inverno está representado em azul claro e a primavera em azul marinho.

Aplicando a definição de CASTRO (1996) para as subdivisões da PCSE, foi possível obter as disposições da FTP e da FHS para cada seção e sua variação sazonal. Na Figura 76, Figura 77, Figura 78 e Figura 79, a linha em azul representa a isoterma de 18°C (FTP) e a linha tracejada em vermelho representa a isohalina de 36,4 (FHS). Toda a extensão à esquerda da linha tracejada em preto correspondente à linha tracejada em vermelho representa a PCE. A extensão à direita da linha tracejada em preto correspondente à linha em azul representa a PCI. A região compreendida entre essas duas linhas tracejadas em preto é a PCM.

Avaliando os resultados obtidos para a subdivisão da PCSERJ para os perfis verticais, observou-se um comportamento padrão em todas as seções. No período do verão a PCM é mais extensa, e, na primavera, ela é mais restrita. Além disso, quanto maior o gradiente batimétrico, mais estreita são a PCI e a PCM, e mais larga é PCE. Isto indica que feições oceânicas são dominantes sobre os processos de plataforma nestas seções, ou seja, nesta região o escoamento da CB atua de forma mais decisiva sobre a hidrodinâmica local comparativamente com as correntes de densidade e as correntes geradas pelo cisalhamento do ventos. Já em regiões com gradientes mais suaves, a PCI e a PCM são mais extensas, restringindo assim o comprimento da PCE. Nestas regiões, as correntes de densidade e as correntes geradas pelo vento desempenham um papel

determinante para a hidrodinâmica da PCI e PCM. Em outras palavras, para as seções analisadas, a PCI e a PCM tendem a ser mais extensas nas seções mais a oeste do domínio e menos extensas nas seções mais a leste e, conseqüentemente, os processos que influenciam no hidrodinâmica local são diferentes.

Segundo CASTRO (1996), o período no qual a PCM é mais extensa é o verão e o período no qual esta divisão da PCSE se dispõe de forma mais reduzida é o inverno. Como este padrão não foi observado em nenhuma das seções analisadas, sendo a seção Sepetiba a que apresentou maior semelhança com o descrito pelo autor, sugere-se que a compartimentação da PCSE proposta por CASTRO (1996) obtém melhores resultados quando aplicada em PC largas. Entretanto, isto não significa que não possa ser aplicada em regiões com gradientes batimétricos acentuados ou PC estreitas e, neste caso, devido aos processos que exercem influência sobre a hidrodinâmica local, é possível que a PCM seja observada de forma muito restrita ou até mesmo que ela não seja observada. Esta situação é observada para a seção de CF, principalmente para a primavera.

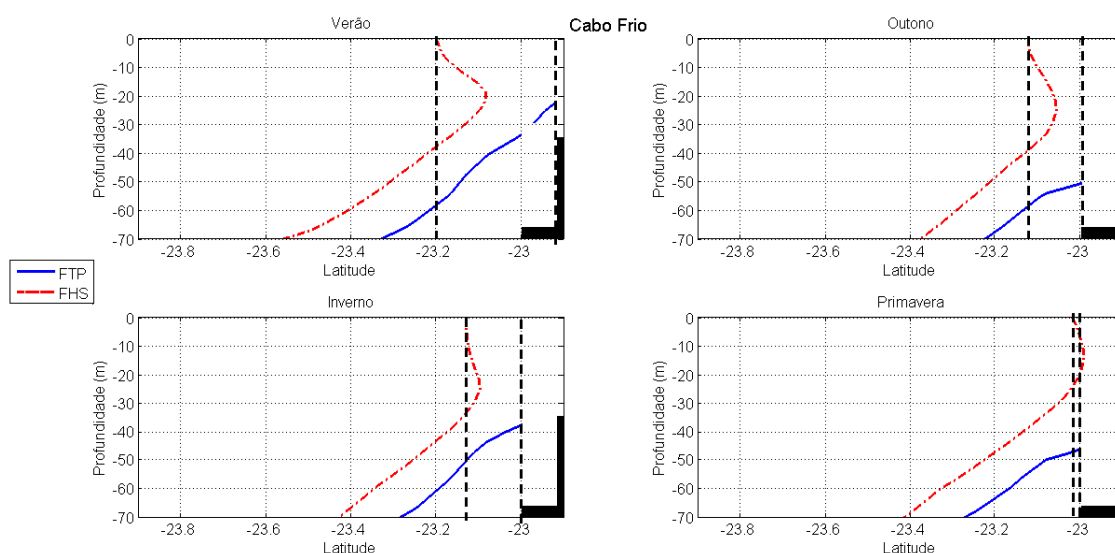


Figura 76: Perfil vertical da divisão da PCSE RJ em PCI, PCM e PCE segundo CASTRO (1996) para a seção de CF. A linha em azul representa a isoterma de 18°C e a linha tracejada em vermelho representa a isohalina de 36,4.

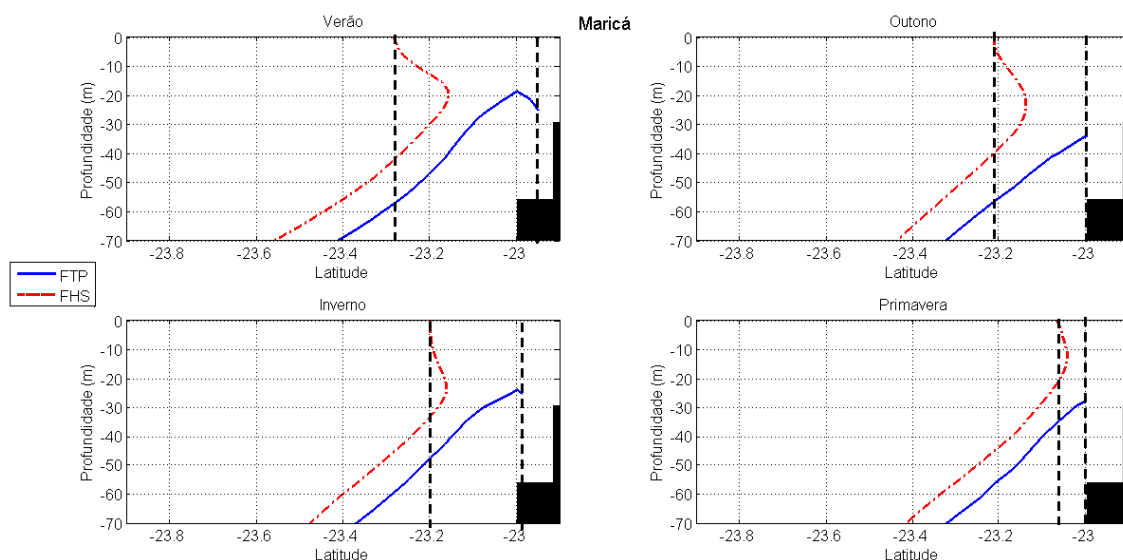


Figura 77: Perfil vertical da divisão da PCSERJ em PCI, PCM e PCE segundo CASTRO (1996) para a seção de Maricá. A linha em azul representa a isoterma de 18°C e a linha tracejada em vermelho representa a isohalina de 36,4.

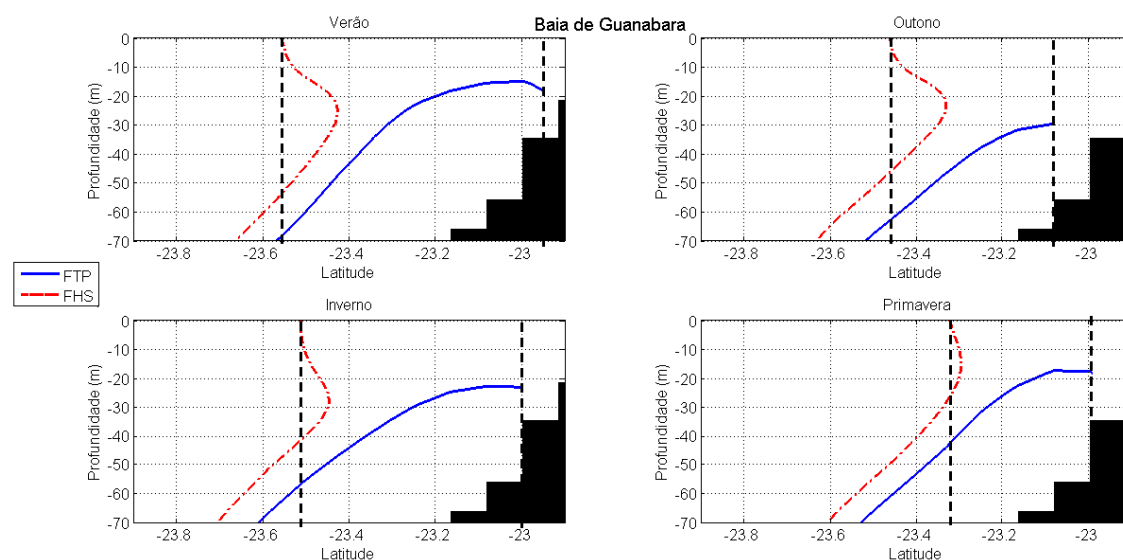


Figura 78: Perfil vertical da divisão da PCSERJ em PCI, PCM e PCE segundo CASTRO (1996) para a seção da BG. A linha em azul representa a isoterma de 18°C e a linha tracejada em vermelho representa a isohalina de 36,4.

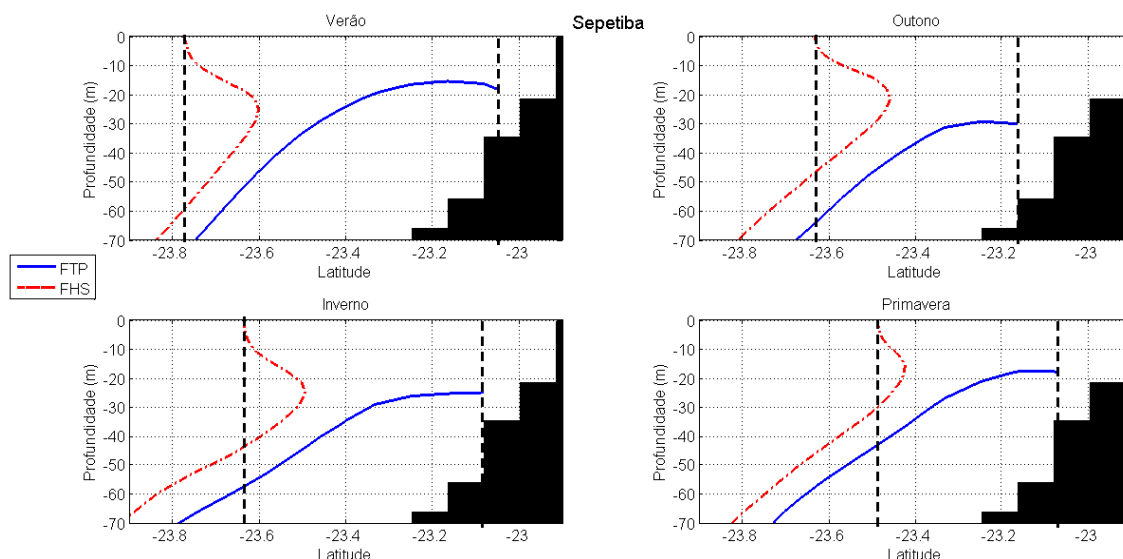


Figura 79: Perfil vertical da divisão da PCSERJ em PCI, PCM e PCE segundo CASTRO (1996) para a seção de Sepetiba. A linha em azul representa a isoterma de 18°C e a linha tracejada em vermelho representa a isohalina de 36,4.

O cálculo do campo horizontal da divisão da PCSERJ definida por CASTRO (1996) também foi realizado. O campo horizontal com a divisão está representado na Figura 80 e utiliza a mesma metodologia descrita para as análises dos perfis verticais com a FTP representada em azul e a FHS representada em vermelho. Na Figura 80 é possível observar que desde o extremo oeste do domínio analisado (45°W) até a região de CF, a FTP se localizava próximo à linha de costa. Em CF, como foi descrito anteriormente, a orientação da linha de costa muda. À leste da mudança da orientação da linha de costa, a FTP se afasta da costa. Este afastamento é mais acentuado no outono, chegando a atingir a isóbata de 200 m, e menos acentuado no verão, em que não atinge nem a isóbata de 50 m. Na primavera e no inverno, a FTP desta região se localiza próximo à isóbata de 100 m.

O posicionamento da FHS também varia sazonalmente na região de estudo. Entre o extremo oeste do domínio (45°W) e CF, a frente halina se localizou mais próxima à linha de costa na primavera, período no qual a FHS situou-se próximo à isóbata de 100 m. Ainda nesta região, o verão foi o período no qual a FHS esteve mais distante da linha de costa apesar de não atingir a isóbata de 200 m. Neste período, a FHS estava inserida na região entre a isóbata de 100 m e a de 200 m, como ocorreu também para os períodos do outono e inverno. À leste de CF, a FHS, observada em todas as estações do ano, passa a se localizar próxima à isóbata de 50 m. Com exceção do verão, é possível observar que a FHS intercepta a linha que representa a FTP, o que

impede a delimitação da PCI e da PCM segundo a classificação da PCSE proposta por CASTRO (1996) para esta região. Entretanto, estudos mais aprofundados devem ser realizados.

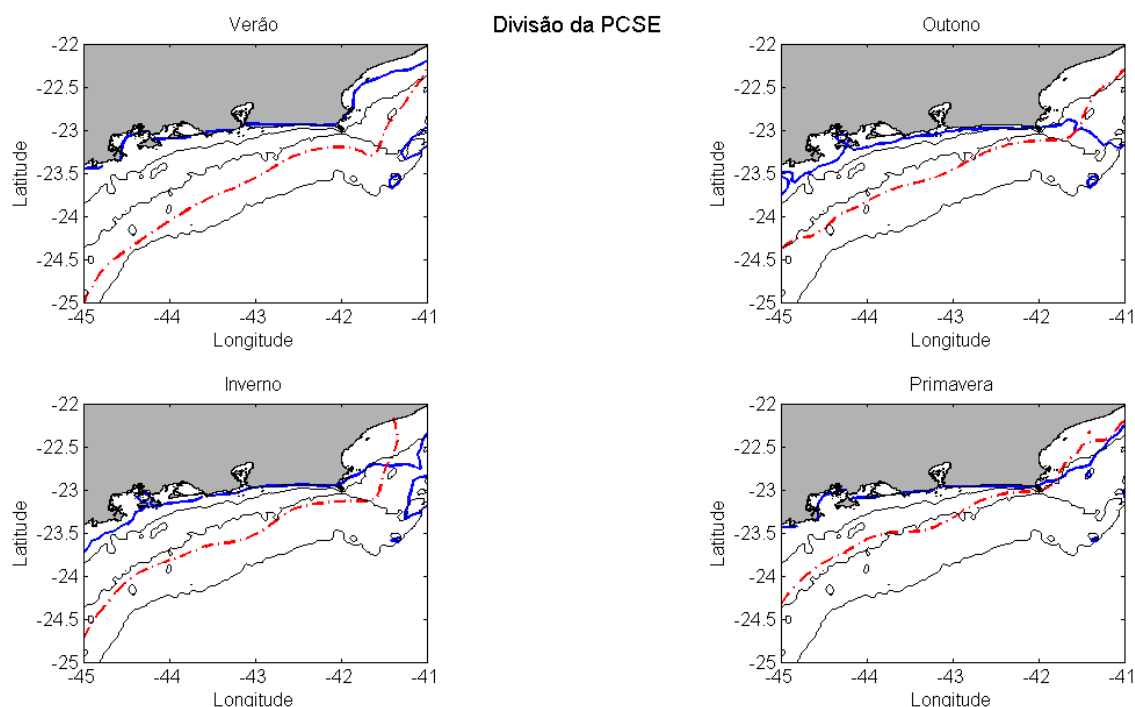


Figura 80: Perfil horizontal da divisão da PCSE em PCI, PCM e PCE segundo CASTRO (1996). A linha em azul representa a isoterma de 18°C e a linha tracejada em vermelho representa a isohalina de 36,4.

b) Análise Dinâmica

Também foi analisado o campo do transporte de volume integrado na coluna de água para a ACAS, isolada pela temperatura, salinidade e densidade definidas por MIRANDA (1985). Este resultado representa o escoamento médio desta massa d'água para cada estação do ano na região da PCSE entre as longitudes de 42°W e 44°W e a isobata de 200 metros (Figura 81). De forma geral, a ACAS tende a se aproximar da costa próximo à região de CF, e ao encontrar equilíbrio na PCSE, flui para oeste entre as isobatas de 100 m e 200 m. No verão e no inverno ocorre um meandramento do fluxo desta massa d'água próximo à BG. No outono, é possível observar dois núcleos de recirculação: um próximo à BG e outro mais à oeste da baía.

Transporte de Volume da ACAS integrado na coluna d'água

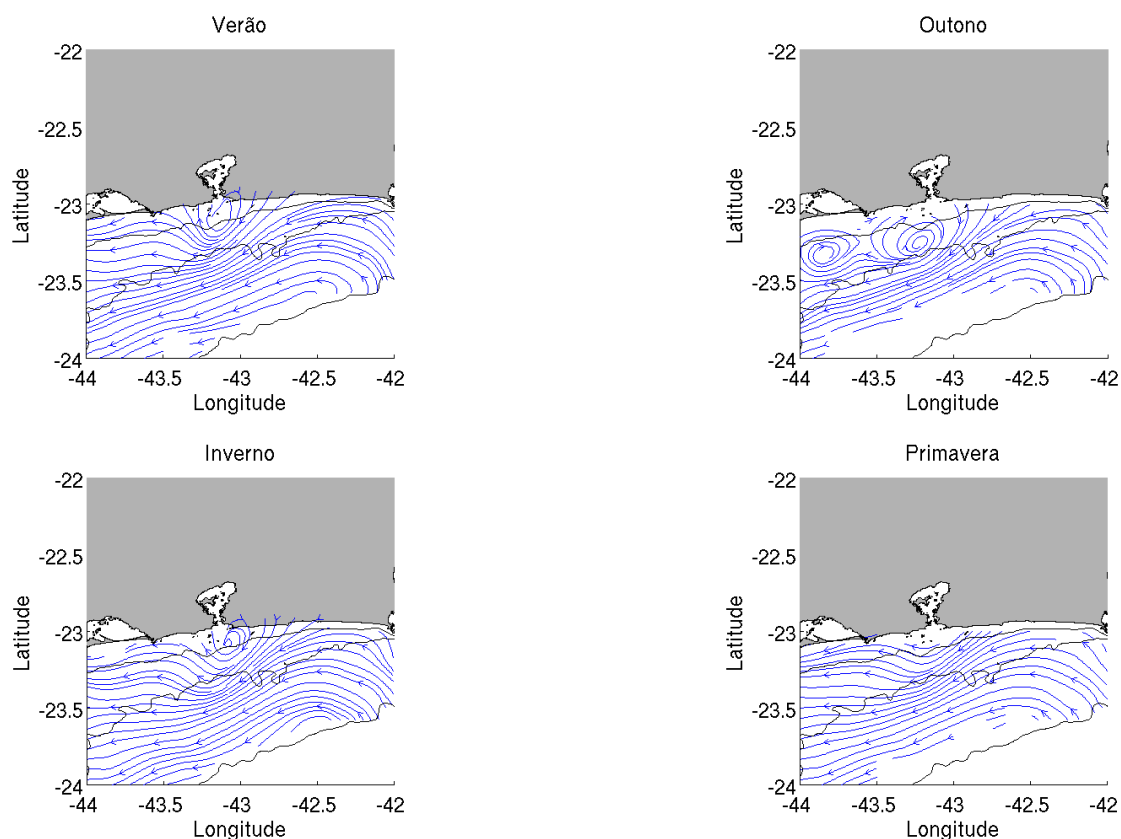


Figura 81: Campo do escoamento do transporte de volume da ACAS integrado na coluna d'água

Com a finalidade de complementar esta análise, o cálculo da ζ_R foi realizado apenas para a ACAS na PCSERJ (Figura 82). O objetivo desta análise foi identificar e analisar as regiões de ζ_R positiva e negativa para a PCSERJ. Os valores positivos (em vermelho) indicam movimento ciclônico do fluxo da ACAS enquanto que valores negativos (em azul) indicam movimento anti-ciclônico. Observa-se que há valores negativos próximos à BG no verão, outono e inverno. Este padrão sugere que, nesta região, o fluxo da ACAS tende a apresentar um movimento anti-ciclônico, ou seja, em direção ao oceano adjacente. Na Figura 81, é possível observar tal movimento no escoamento da ACAS, que passa a fluir sem a influência da vorticidade topográfica após a isóbata de 100 m. A primavera é o único período sem valores negativos para a ζ_R . Isto também é observado na Figura 50, na qual é possível notar que o escoamento da ACAS nesta região demonstra um padrão diferente do descrito para as outras estações do ano.

A análise sazonal da ζ_R integrada da ACAS para a região da PCSERJ (Tabela 4) revelou que a primavera é o período no qual esta massa d'água tende a apresentar um

movimento ciclônico mais acentuado. O período que a ACAS tende a apresentar um movimento anti-ciclônico mais intenso na região próxima à BG é o verão.

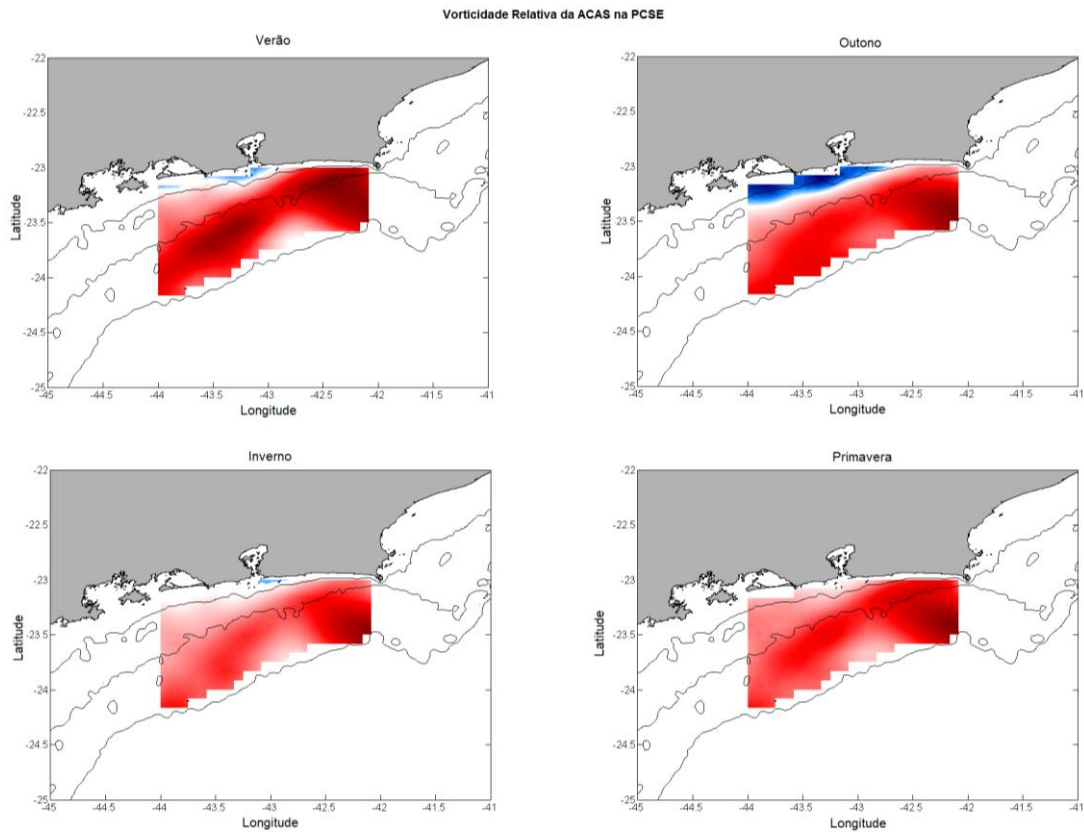


Figura 82: Representação da Vorticidade Relativa da ACAS na PCSERJ. Valores positivos estão representados em vermelho e valores negativos estão representados em azul.

Tabela 4: Resultado do cálculo da ζ_R integrado na região da PCSERJ para a ACAS em diferentes períodos do ano

Estação do Ano	Total	Positivo	Negativo
Verão	0.0015	0.0016	$-9.4517 \cdot 10^{-6}$
Outono	0.0016	0.0017	$-9.4145 \cdot 10^{-5}$
Inverno	0.0014	0.0014	$-4.7515 \cdot 10^{-6}$
Primavera	0.0021	0.0021	0

6.2. Análise observacional da Advecção da ACAS pela PCSERJ para a Primavera

A localização geográfica das duas boias e os pontos de grades mais próximos do modelo computacional e das medições remotas de TSM utilizados nesta análise estão representados na Figura 83 a seguir.

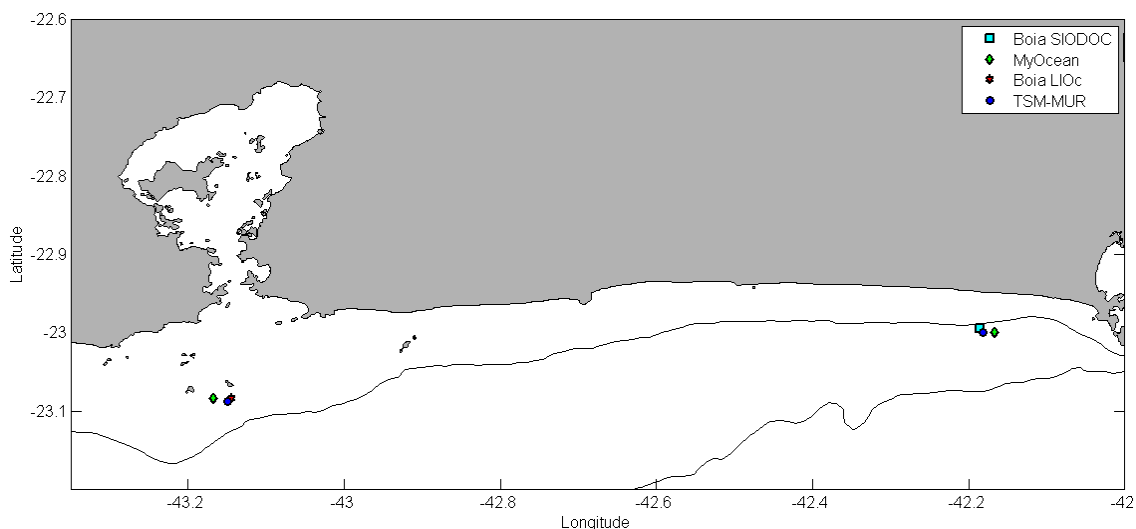


Figura 83: Localização geográfica da boia SIODOC (próximo a CF) representado pelo quadrado em azul, da boia LIOc (próximo a BG) representada pela estrela em vermelho e os pontos de grades mais próximos às boias no modelo (losangos verdes) e da TSM-MUR (círculos azuis).

Após o tratamento dos dados adquiridos, avaliou-se o padrão de comportamento da temperatura de superfície para ambas as boias analisadas (Figura 84). A boia SIODOC evidencia alguns eventos cuja temperatura é inferior a 18°C , sugerindo a ocorrência da ressurgência costeira de CF. Como já foi citado anteriormente, a isoterma de 18°C é representativa de água oceânicas (CERDA; CASTRO, 2014). A boia LIOc apresentou dois eventos cuja temperatura é inferior a 18°C , entretanto, em nenhum destes eventos foi possível estabelecer uma correlação com os eventos da boia SIODOC.

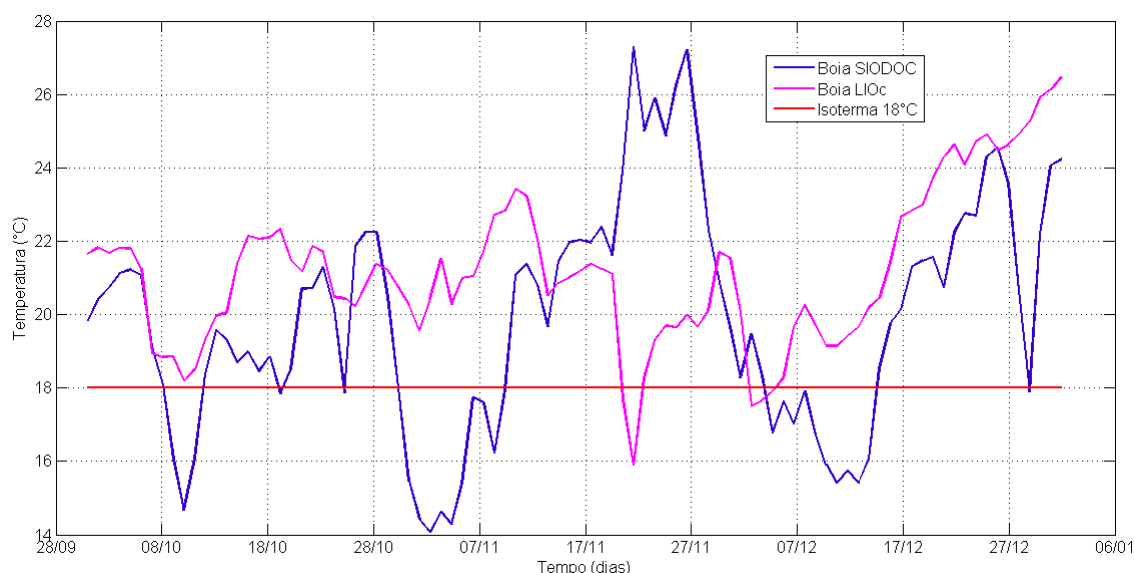


Figura 84: Temperatura de superfície coletada pela boia SIODOC (azul) e pela boia LIOc (rosa). Em vermelho destaca-se a isoterma de 18°C.

O coeficiente de correlação entre as TSMs das boias foi calculado para os três meses e indicou uma correlação baixa, de aproximadamente 0,256. A mesma análise foi realizada para os meses separadamente, indicando um coeficiente de correlação para outubro de 0,554, para novembro de -0,460 e para dezembro de 0,821. É possível que, com a proximidade do verão, haja uma maior relação entre as duas séries, o que pode indicar uma relação direta entre as águas próximas a CF sendo advectadas para a região ao largo da BG ou ainda que a presença da ACAS nos dois pontos na PCSERJ esteja relacionada a um mesmo processo oceanográfico comum às duas regiões. Sugere-se que a aproximação da CB com a PC, neste período, assim como a redução da frequência de FF desempenhem um papel fundamental neste processo.

O padrão da temperatura de superfície da TSM-MUR e o modelo para o ponto de grade mais próximo à boia SIODOC com os dados coletados por esta foi avaliado. Destaca-se que nem a TSM-MUR, nem o modelo são capazes de representar com sucesso os eventos de ressurgência costeira de CF neste período (Figura 85). Entretanto, ressalta-se que apenas a camada superficial foi analisada. A ACAS pode estar disponível na região sem, contudo, aflorar.

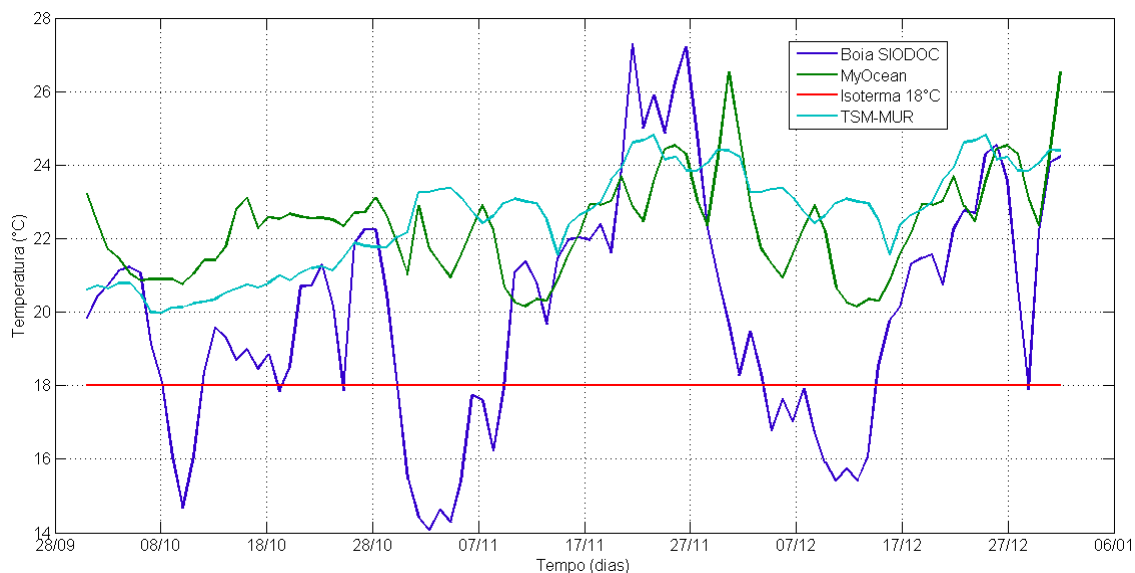


Figura 85: Temperatura de superfície na região de CF para a série temporal analisada. Os dados coletados pela boia SIODOC estão representados em azul escuro, o modelo está representado pela linha em verde e a TSM-MUR está representada pela linha em azul claro. Em vermelho destaca-se a isoterma de 18°C.

Esta mesma análise foi realizada para a boia LIOc. A Figura 86 também evidencia que a TSM-MUR e o modelo não foram capazes de representar temperaturas inferiores a 18°C. Entretanto, observa-se através dos dados coletados pela boia LIOc um evento de águas frias próximo ao dia 8/10 no qual, apesar de não atingir temperaturas inferiores a 18°C, o modelo e a TSM-MUR conseguiram captar o sinal de diminuição de temperatura. Sabe-se que a TSM-MUR não é capaz de representar temperaturas muito baixas, características de eventos de ressurgência e acaba por superestimar as baixas temperaturas superficiais.

Ao analisar o coeficiente de correlação do modelo e da TSM-MUR com os dados coletados pelas boias, é possível observar que tanto o modelo (Tabela 5) quanto a TSM-MUR (Tabela 6) apresentam um melhor desempenho em relação à tendência de variação da temperatura ao representar a região próxima de CF. O mês de dezembro possui as melhores taxas desta análise. A boia LIOc e o modelo apresentaram melhor coeficiente de correlação para o mês de outubro, e o pior em novembro. Já a boia SIODOC e o modelo apresentaram melhor correlação em dezembro e a pior em novembro. Com relação à TSM-MUR, ambas as boias apresentam melhores índices em dezembro e o pior índice para a boia SIODOC ocorre em outubro enquanto que para a boia LIOc é em novembro.



Figura 86: Temperatura de superfície na região da BG para a série temporal analisada. Os dados coletados pela boia LIOc estão representados em rosa, o modelo está representado pela linha em verde e a TSM-MUR está representada pela linha em azul claro. Em vermelho destaca-se a isoterma de 18°C.

Tabela 5: Coeficiente de correlação calculado entre as boias meteoceanográficas e o modelo.

Boias	Modelo			
	Outubro	Novembro	Dezembro	Total
SIODOC	0.4717	0.4010	0.7102	0.5265
LIOc	0.6616	-0.3817	0.6426	0.3323

Tabela 6: Coeficiente de correlação calculado entre as boias meteoceanográficas e a TSM-MUR.

Boias	TSM-MUR			
	Outubro	Novembro	Dezembro	Total
SIODOC	0.3147	0.4797	0.6105	0.3821
LIOc	0.3774	-0.5602	0.5787	0.2170

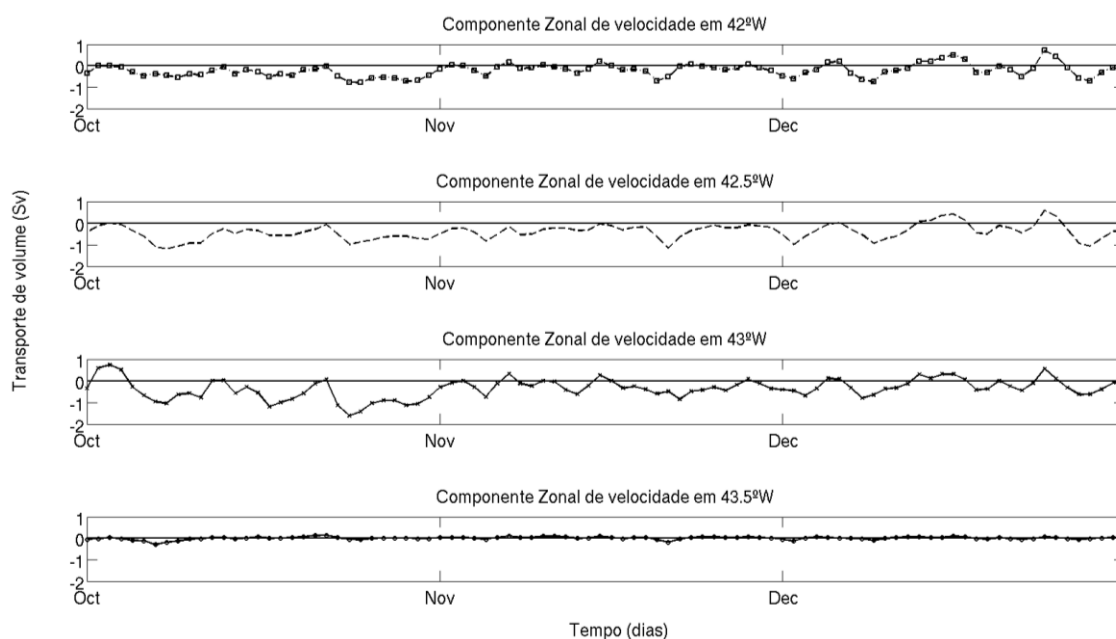
Além do coeficiente de correlação, foi calculado o índice de concordância entre o modelo e as boias meteoceanográficas (Tabela 7). Com relação a toda série temporal analisada, este índice evidenciou uma melhor concordância dos dados com a modelagem computacional para a boia LIOc. Na análise mensal, a boia LIOc apresentou melhor índice em dezembro e pior índice em novembro. Já a boia SIODOC apresentou melhor índice para novembro e o pior em outubro.

Tabela 7: Índice de concordância calculado para as boias e o modelo

Boias	Outubro	Novembro	Dezembro	Total
SIODOC	0.1255	0.5360	0.4532	0.4390
LIOc	0.6220	-0.2718	0.7513	0.4497

Além disso, a análise do TV com o intuito de compreender o padrão de escoamento médio da ACAS na região foi realizada. As séries temporais do TV da ACAS foram calculadas para quatro seções meridionais e duas seções zonais (Figura 26). Na Figura 87, é possível observar que o padrão da série temporal de escoamento da ACAS para as seções meridionais indica que o fluxo desta é predominantemente para oeste havendo, entretanto, eventos que esta massa d'água flui para leste.

Para as seções zonais (Figura 88) há evidências do escoamento da ACAS de fluir em direção à costa. É importante ressaltar que a seção zonal mais próxima da costa não atinge a isóbata de 50 m estando, portanto, em regiões mais profundas. Para a primavera o cálculo da ζ_R foi nulo, indicando que o escoamento da ACAS na região pode ter meandrado devido à diminuição da batimetria porém não adquiriu movimento anti-ciclônico.

**Figura 87:** TV da ACAS para as seções meridionais definidas no item 5.4.2.

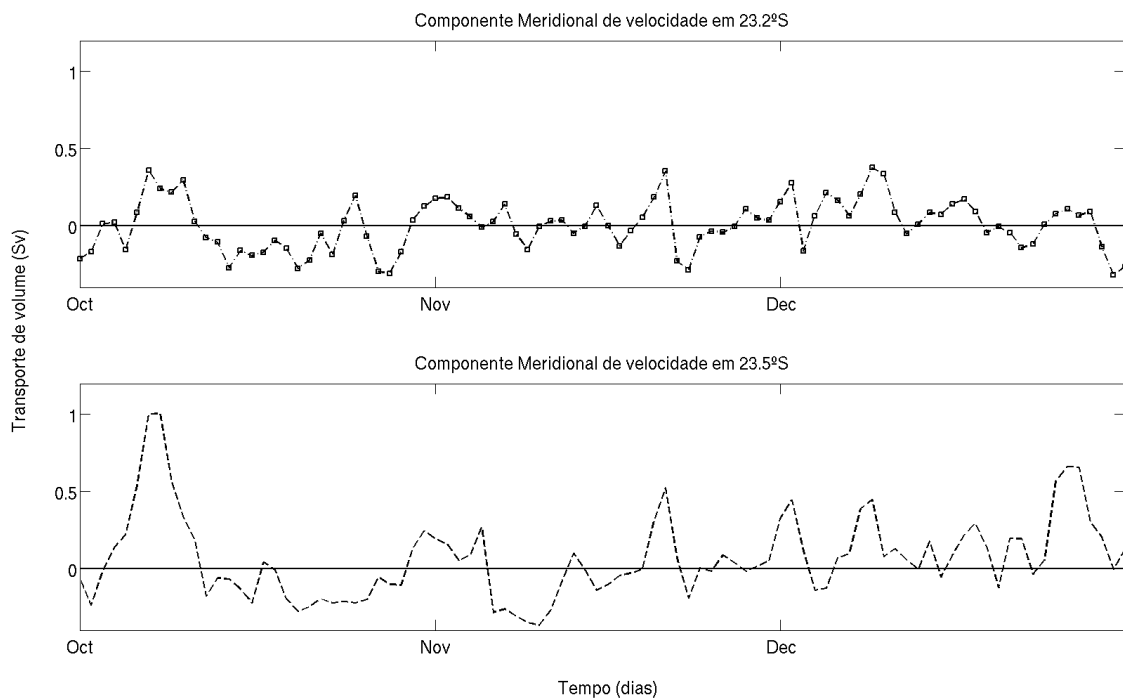


Figura 88: TV da ACAS para as seções zonais definidas no item 5.4.2.

O cálculo do TV integrado mensalmente para cada trecho de seção da Figura 26 indicou que o fluxo da ACAS para a primavera apresentou o mesmo padrão de escoamento para todos os meses, com exceção do trecho de seção zonal ao largo da BG (seção 13 – ver Anexo II) (Figura 89). Estes resultados corroboram os resultados obtidos na análise do escoamento da ACAS integrado na coluna d’água (Figura 81, período da primavera). Neste trecho, os meses de outubro e dezembro indicam fluxo da ACAS em direção ao oceano, uma vez que o escoamento meandra mas não gira. Possivelmente, a ACAS estava disponível ao largo da BG em novembro, visto que estes resultados corroboram a ausência de ζ_R negativa próximo à BG obtida para este período.

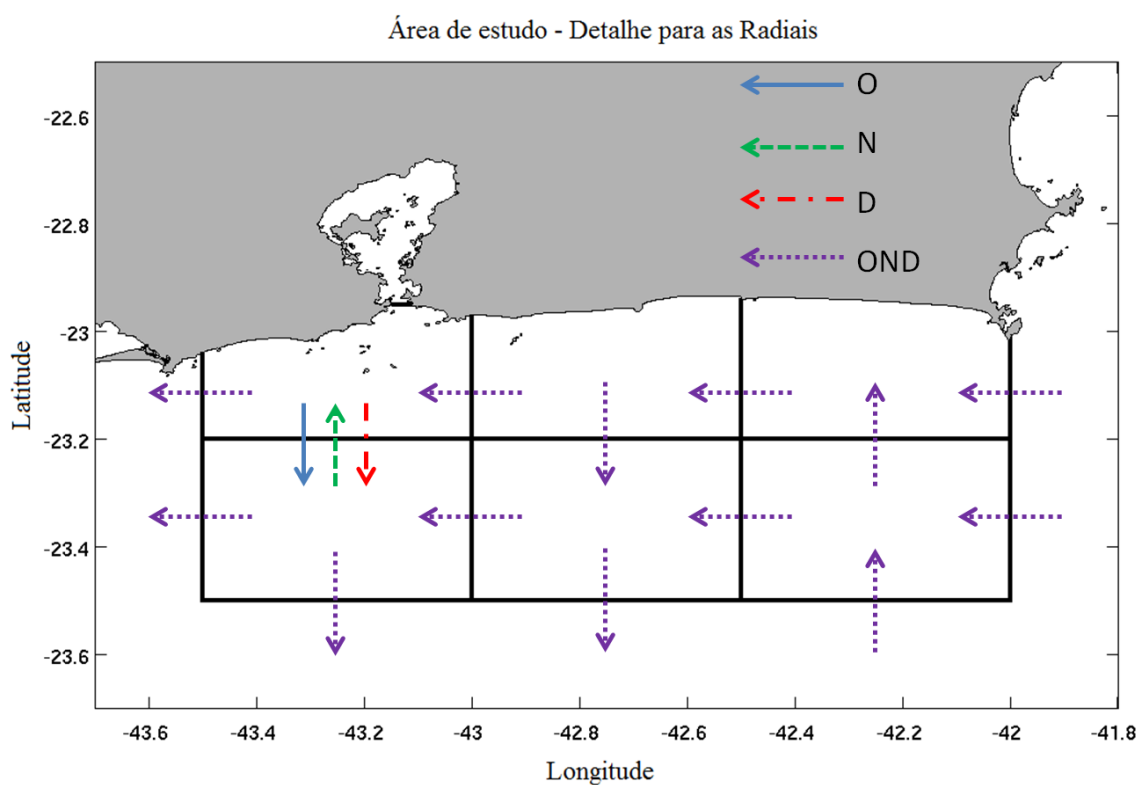


Figura 89: Escoamento da ACAS integrado para cada trecho das seções para a primavera de 2014. As setas em roxo indicam a direção do escoamento desta massa d'água para os três meses, outubro (O), novembro (N) e dezembro (D). A seta azul indica a direção do TV integrado para o trecho de seção apenas para outubro. A seta verde tracejada indica a direção do TV integrado para o trecho de seção apenas para novembro. E a seta vermelha tracejada indica a direção do TV integrado para o trecho de seção apenas para dezembro.

7. Conclusões

Neste trabalho foi proposto o estudo sobre a sazonalidade da ACAS para a PCSERJ. Para tal, resultados de modelagem computacional foram utilizados. As análises consistiram na avaliação dos campos horizontais e verticais de diversos parâmetros físicos. Através das análises realizadas, as seguintes conclusões foram levantadas:

- De forma geral, os resultados oriundos do modelo computacional conseguiram representar as principais feições oceânicas existentes na área de estudo que são descritas na literatura, como a CB, vórtices e meandros. A ressurgência costeira existente próxima à CF não foi muito bem representada. Isto pode estar relacionado com a condição de contorno atmosférica utilizada neste produto do Projeto *MyOcean*, que possivelmente não está representando a dinâmica de Ekman para o vento na região por causa da resolução do modelo atmosférico.
- Os diagramas TS gerados a partir dos resultados do modelo computacional estão de acordo com o observado por CASTRO; MIRANDA (1998) e CERDA; CASTRO (2014). Através desta análise foi possível observar uma maior mistura das massas d'água no verão, indicando maior disponibilidade da ACAS neste período.
- A análise dos campos horizontais evidenciou a variação sazonal da CB e seu deslocamento para próximo da PCSERJ no verão, e seu afastamento no inverno. Observou-se que, para determinadas profundidades, a ACAS se encontrava na região costeira, mas não no oceano adjacente. Isto indica que a CB atua como uma barreira hidrodinâmica entre os processos existentes na PC e na região oceânica. O assoalho oceânico na PCSERJ é dominado pela ACAS.
- A análise dos perfis verticais evidenciou que a isoterma característica de topo da ACAS, no caso 20°C, foi observada em menores profundidades próxima à região costeira. Nesta região, a isoterma em questão não apresentou um padrão ao atingir menores profundidades quando comparado as quatro seções. Para a seção de CF, a isoterma esteve mais rasa no verão. Já nas seções Maricá e BG, a isoterma esteve mais rasa no inverno e, na seção Sepetiba, o de topo de ACAS esteve mais raso durante a primavera. Ao considerar o parâmetro físico da densidade, no caso a isopical de 25,5kg/m³, ainda não se observa um padrão para todas as seções. Para

as seções CF e Maricá, a isopical de topo de ACAS estava mais rasa no inverno. Já para as seções BG e Sepetiba, a isopical atingiu águas mais rasas na primavera, próximo à costa, e no inverno, em regiões mais afastadas da costa.

- A análise do escoamento da ACAS indicou que essa massa d'água tende a se afastar da costa na região próxima a BG. Acredita-se que este afastamento está relacionado com a diminuição da ζ_R nesta região provocada pela batimetria. À medida em que a ACAS se desloca para oeste, a PCSERJ tende a ser mais extensa, ou seja, o gradiente batimétrico diminui, provocando a diminuição da ζ_R . Entretanto, foi observada variação sazonal da ζ_R , que pode estar relacionado com a variação sazonal da ACAS na região. De fato, PASSOS (2013) indicou que há variação sazonal da ACAS no OAS, inclusive em seções zonais ao largo do litoral brasileiro.
- Ao aplicar a compartimentação da PCSE sugerida por CASTRO (1996) para a região da PCSE entre CF e a BG, obtivemos perfis nos quais as subdivisões não corroboram o descrito pelo autor. No caso, estes perfis estão relacionados com regiões de gradientes batimétricos acentuados, o que pode indicar que para esta divisão da PCSE, a delimitação da PCM obtida pode ser muito restrita ou, até mesmo, que ela não seja observada. A PCI observada se apresentou de forma muito restrita, o que pode estar associado com a resolução do modelo computacional utilizado. Sugere-se realizar a mesma análise com um modelo computacional configurado para uma grade mais resolvida.
- Como descrito no tópico anterior e observado nas análises, alguns perfis não corroboram com o descrito pelo autor. Assim sendo, sugere-se a realização de estudos mais aprofundados para a PCSERJ com o intuito de avaliar se os índices sugeridos por CASTRO (1996) também se aplicam para esta região. É possível que nesta região seja necessário definir índices diferentes ao definido pelo autor para delimitar a FTP e a FHS.

Além disso, foi realizada a análise observacional da advecção da ACAS através da PCSERJ no período da primavera. Para este fim, foram utilizados dados de duas boias meteoceanográficas fundeadas na região de interesse, resultados da modelagem computacional além de dados de TSM de satélites. Através das análises realizadas, mencionam-se as seguintes conclusões:

- A série temporal dos dados coletados pelas boias, fundeados em CF e na Ilha Rasa, analisadas para a temperatura superficial, não apresentou uma relação direta, indicando que processos costeiros podem influenciar na advecção de águas entre as duas boias para os meses de outubro, novembro e dezembro de 2014.
- O mês de dezembro apresentou melhor coeficiente de correlação entre as boias, indicando que, com a proximidade do verão, haja uma maior relação entre as duas séries. Sugere-se que a aproximação da CB com a PC neste período, assim como a redução da frequência de FF desempenhem um papel fundamental para a advecção das águas próximas a CF para a região ao largo da BG.
- O TV indica que, para as seções meridionais, o escoamento predominante do fluxo da ACAS é para oeste. Já as seções zonais indicam um escoamento predominante desta massa d'água em direção à costa. Sugere-se que a ausência de ζ_R negativa próximo à BG, obtida para este período, não promova a rotação da ACAS, fazendo com que esta não adquira um movimento anti-ciclônico em direção ao oceano adjacente.
- Na análise mensal para os trechos de seção, o padrão de escoamento da ACAS obtido não apresentou variações, exceto para o trecho de seção zonal ao largo da BG em novembro. Acredita-se que neste período a ACAS estava disponível ao largo da BG. A boia LIOc coletou dados de temperatura inferiores a 18°C, que indica a presença desta massa d'água em superfície. Ressalta-se, contudo, que a ocorrência da ACAS no interior da BG já foi observada através de medições *in situ* (BÉRGAMO, 2006; PASSOS *et al.*, 2012).
- Apesar da ausência da ζ_R negativa para região próxima à BG nos meses da primavera, ao sofrer influência da topografia de fundo, o escoamento da ACAS adquire comportamento anti-ciclônico e, a seguir, adquire um comportamento ciclônico, devido ao aumento de ζ_R provocado pelo aumento da profundidade. Esses eventos desencadeiam um meandramento ao largo da BG, afastando a ACAS da desembocadura da baía. Possivelmente, isto justifica os resultados obtidos no cálculo do TV integrado para o trecho de seção zonal adjacente à BG, visto que os resultados indicam escoamento em direção ao oceano adjacente e podem estar representando o meandramento descrito acima.

8. Referências Bibliográficas

- ALPERT, P., OSETINSKY, I., ZIV, B., *et al.*, Seasonal definition based on classified daily synoptic systems: an example for the eastern Mediterranean. **International Journal of Climatology**, v. 24, p. 1103-1121, 2004.
- ANDRICH, P., DELECLUSE, P., LÉVY, C., *et al.*, (b) A multitasked general circulation model of the ocean, In: Science and engineering on Cray Supercomputers, Proceedings of the 4th International Symposium Minneapolis, Minnesota, Cray Research, Inc. book, 407-428, 1988.
- ANDRICH, P., G. MADEC AND D. L'HOSTIS, (a) Performance evaluation for an Ocean General Circulation Model, Vectorization and Multitasking. In: Conference Proceedings of the 1988 International Conference on Supercomputing, July 4-8, St-Malo, France, AMC press, 295-303, 1988.
- BÉRGAMO, A.L., 2006. 169p. **Características Hidrográficas, da Circulação e dos Transportes de Volume e Sal na Baía de Guanabara (RJ): Variações sazonais e Moduladas pela Maré**. Tese (Doutorado em Ciências). Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- BROWN, E. **Waves, Tides and Shallow-Water Processes** Oxford, THE OPEN UNIVERSITY, Elsevier, 2ª ed., 1989.
- CALADO, L., 2006. 159 p. **Dinâmica da interação da atividade de meso-escala da Corrente do Brasil com o fenômeno da ressurgência costeira ao largo de CF e Cabo de São Tomé, RJ**. Tese (Doutor em Ciências). Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- CALADO, L., SILVEIRA, I. C. A., GANGOPADHYAY, A., *et al.* Eddy-induced upwelling off Cape São Tomé (22°S, Brazil). **Continental Shelf Research**, v. 30, p. 1181-1188, 2010. DOI: 10.1016/j.csr.2010.03.007.
- CAMPOS, E. J. D., GONÇALVES, J. E., IKEDA, Y., Water mass characteristics and geostrophic circulation in the South Brazil Bight: Summer of 1991. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n° C9, p. 18,537-18,550, 1995.
- CAMPOS, E. J. D., PIOLA, A. R., MILLER, J. L., (a) Water mass distribution on the shelf and shelf-break upwelling in the Southeast Brazil Bight. **American Meteorological Society**, p. 446-449, 1999.

- CAMPOS, E. J. D., VELHOTE, D., SILVEIRA, I. C. A., Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. **Geophysical Research Letters**, v. 27, p.751-754, 2000.
- CAMPOS, E., BUSALACCHI, A., GARZOLI, S., LUTJEHARMS, J., MATANO, R., NOBRE, P., OLSON, D., PIOLA, A., TANAJURA, C., WAINER, I. (b) The South Atlantic and climate Proc. OCEANOBS'99: The Ocean Observing System for Climate, Vol. 1, Saint Raphael, France, Cent. Nat. Etudes Spatiales. 1999.
- CARREIRA, R.S., WAGENER, A.L.R., READMAN, J.W., *et al.*, Changes in the sedimentary organic carbon pool of a fertilized tropical estuary, Guanabara Bay, Brazil: an elemental, isotopic and molecular marker approach. **Marine Chemistry**, v 79, p. 207 – 227, 2002.
- CARREIRA, R.S., WAGENERB, A. L.R., READMANC, J.W. Sterols as markers of sewage contamination in a tropical urban estuary (Guanabara Bay, Brazil):space–time variations . **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v. 60, p. 587–598, 2004.
- CARRIÈRE, O., HERMAND, J., CALADO, L., DE PAULA, A. C.AND SILVEIRA, I. C. A., Feature-oriented acoustic tomography: Upwelling at CF (Brazil). OCEANS 2009, MTS/IEEE Biloxi - Marine Technology for Our Future: Global and Local Challenges, 2009.
- CARVALHO, G.V.de. **Influência do vento na hidrodinâmica da Baía de Guanabara (RJ)**. Monografia (Bacharelado em Oceanografia), Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- CASTELÃO, R. M., BARTH, J. A. Upwelling around CF, Brasil: The importance of wind stress curl. **Geophysical Research Letters**, v. 33, L03602, 2006.
- CASTELÃO, R. M., CAMPOS, E. J. D., MILLER, J. L. A Modelling Study of Coastal Upwelling Driven by Wind and Meanders of the Brazil Current. **Journal of Coastal Research**, v. 203, p. 662-671, 2004.
- CASTRO, B. M., 1996. 248p. **Correntes e Massas de Água na Plataforma Continental Norte de São Paulo**. Tese de Livre-Docência. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- CASTRO, B. M., LORENZZETTI, J. A., SILVEIRA, I. C. A., *et al.* Estrutura Termohalina e Circulação na Região entre Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI C. L. D. B. e MADUREIRA, L. S. P.

- (org.). O Ambiente Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil. Editora da Universidade de São Paulo, p. 11-120, edição, 2006.
- CASTRO, B. M., MIRANDA, L. B., Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf located between 4°N and 34°S. In: ROBINSON, A. R., BRINK, K. H. (ed.), The Sea, John Wiley e Sons, New York, v. 11, p. 209-251, 1998.
- CASTRO, B. M., Summer/winter stratification variability in the central part of the South Brazil Bight. **Continental Shelf Research**, v. 89, p. 15-23, 2014.
- CASTRO, M. S., BONECKER, A. C. T., VALENTIN, J. L., Seasonal variation in fish larvae at the entrance of Guanabara Bay, Brazil. **Brazilian archives of biology and technology**, v. 48, n. 1, p. 121-128, 2005.
- CATALDI, M., ASSAD, L. P. de F., TORRES-JUNIOR, A. R., ALVES, J. L. D. Estudo da influência das anomalias da TSM do Atlântico Sul Extratropical na região da Confluência Brasil Malvinas no regime hidrometeorológico de verão do sul e sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 4, p. 513 - 524, 2010.
- CEPERJ, 2014. Informações sobre a região metropolitana do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://www.ceperj.rj.gov.br/>>. Acessado em: Fevereiro, 2014.
- CERDA, C. A., CASTRO, B. M., Hydrographic climatology of South Brazil Bight shelf waters between São Sebastião (24°S) and Cabo São Tomé (22°S). **Continental Shelf Research**, v. 89, p. 5-14, 2014.
- CHIN, T. M., VAZQUEZ, J., ARMSTRONG, E., A multi-scale, high-resolution analysis of global sea surface temperature, Algorithm Theoretical Basis Document, versão, 1.3, 13 p., 2013.
- CSANADY, G. T. 1977. The coastal Jet conceptual model in the dynamics of shallow seas. In: GOLDBERG, I., O'BRIEN, N., STEELE, J. H. (ed). The Seas, John Wiley Science, New York, p. 117-144.
- DAI, A., TRENBERTH, K. E., Estimates of Freshwater Discharge from Continents: Latitudinal and Seasonal Variations. **Journal of Hydrometeorology**, v. 3, p. 660-687, 2002.
- DERECZYNSKY, C. P., OLIVEIRA, J. S. de, MACHADO, C. O., Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n° 1, p. 24-38, 2009.

- DONNERS, J., DRIJFHOUT, S. S., HAZELEGER W. Water Mass Transformation and Subduction in the South Atlantic. **Journal of Physical Oceanography**, v. 35, p. 1841- 1860, 2005.
- DRAGAUD, I. C. D. V., **A influência da temperatura da superfície do mar na simulação computacional da circulação atmosférica na região costeira do estado do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.
- EMILSSON, I., The shelf and coastal waters off southern Brazil, **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 17, p. 101-112, 1961.
- FRANCHITO, S. H., ODA, T. O., RAO, V. B., KAYANO, M. T., Interaction between Coastal Upwelling and Local Winds at CF, Brazil: An Observational Study. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 47, 2008.
- FRANCHITO, S. H., RAO, V. B. STECH, J. L., LORENZZETTI, J. A., The effect of coastal upwelling on the sea-breeze circulation at CF, Brazil: a numerical experiment. **Annales Geophysicae**, v. 16, p. 866-881, 1998.
- FREITAS, L. R. de, **Estudo da variabilidade de frentes oceânicas a partir de imagens de temperatura da superfície do mar na costa brasileira**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.
- FREITAS, L. R., KAMPEL, M., Fluxos da Interface Oceano-Atmosfera medidos nos fundeios PNBOIA. In: X Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite (OMAR-SAT), 4 p., 2013.
- GONZALEZ-RODRIGUEZ, E., VALENTIN, J. L., ANDRE, D. L., *et al.* Upwelling and down welling at Cabo Frio (Brazil): comparison of biomass and primary production responses. **Journal of Plankton Research**, v. 14, n. 2, p. 289-306, 1992.
- GORDON, A. L. South Atlantic thermocline ventilation. **Deep-Sea Research parte A**, v. 28, p.1239-1264, 1981.
- GORDON, A. L., WEISS, R. F., SMITHIE, W. M., WARNER, M. J. Thermocline and Intermediate Water Communication Between the South Atlantic and Indian Oceans. **Journal of Geophysical Research**, v. 95, n. C5, p. 7223-7240, 1992.

- GREGÓRIO, H. P., 2014. 165p. **Oscilações Subinerciais na Plataforma Continental Sudeste: Estudos Numéricos**. Tese (Doutor em Ciências), Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo,
- GRIFFIES, S.M., BÖNING, C., BRYAN, F.O., CHASSIGNET, E.P., GERDES, R., HASUMI, H., HIRST, A., TREGUIER, A., WEBB, D. Developments in ocean climate modeling **Ocean Modelling** n.2, p.123-192, 2000.
- HAIDVOGEL, D.B., ARANGO, H.G., BUDGELL, W.P., *et al.*, Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. **Journal of Computational Physics**, v. 227, n. 7, p. 3595-3624. 2008.
- JACOBS, S. S., HELLMER, H., DOAKE, C. S. M., *et al.*, Melting of ice shelves and the mass balance of Antarctica. **Journal of Glaciology**, v. 38, n. 130, p. 375-387, 1992.
- JOURDAN, P. **Caracterização do Regime de Ventos Próximo à Superfície na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. Monografia (Bacharelado em Meteorologia), Departamento de Meteorologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
- JÚNIOR, A.N.M., CRAPEZ, M.A.C., BARBOZA, C.D.N Impact of the Icaraí Sewage Outfall in Guanabara Bay, Brazil. **Brazilian Archives Of Biology And Technology**, v.49, n. 4, p. 643-650. 2006.
- KANAMITSUA, M., KUMARB, A., JUANGE, H.-M., *et al.* Ncep dynamical seasonal forecast system 2000. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 83, n. 7, p. 1019-1037, 2002.
- KJERFVE, B., RIBEIRO, C.H.A., DIAS, G.T.M, FILIPPO, A.M., QUARESMA, V. S. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. **Continental Shelf Research**, v.17, n.13. p.1609-1643. 1997.
- KOCK-LARROUY, A., MADEC, G., IUDICONE, D., *et al.*, Physical processes contributing to the water mass transformation of the Indonesian Throughflow. **Ocean Dynamics**, v. 58, p. 275-288, 2008. DOI: 10.1007/s10236-008-0154-5.
- LARGE, W. G., YEAGER, S. G., The global climatology of an interannually varying air-sea flux data set. **National Center for Atmospheric Research**, v. 33, p. 341-364, 2009. DOI: 10.1007/s00382-0080944193.

- LORENZZETTI, J., GAETA, S. The Cape Frio upwelling effect over the south brazil bight northern sector shelf waters: a study using AVHRR images. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 31 parte B7, p. 448-453, 1996.
- MADEC, G. NEMO Ocean engine, Note du Pôle de modélisation de l'Institut Pierre-Simon Laplace, n° 27, 382 p., 2014.
- MADEC, G., DELECLUSE, P., IMBARD, M., *et al.*, OPA 8.1 Ocean General Circulation Model Reference Manual, Laboratoire d'Océanographie DYnamique et de Climatologie, 91 p., 1998.
- MANO, M. F. 2007. **Assimilação de Dados em Modelo Oceanográfico da Bacia Sudoeste do Atlântico para Reproduzir e Prever Circulação Superficial e Feições de Meso-Escala**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MARIANO, L. S., CERRONE, B. N., FRAGOSO, M. da R., GOMES, N. dos S. 2012 Evidências de intrusão da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na Baía de Guanabara (RJ, Brasil). **Congresso Brasileiro de Oceanografia**, p.2221-2228 Rio de Janeiro, RJ
- MAZZINI, P. L. F., 2009. Correntes Subinerciais na Plataforma Continental Interna entre Peruíbe e São Sebastião: Observações. Dissertação de Mestrado – Instituto Oceanográfico, USP.
- MESSINGER, F., ARAKAWA, A, Numerical methods used in atmospheric models. GARP Publications Series, No. 17, WMO/ ICSU Joint Organizing Committee, 64 pp, 1976.
- MIRANDA, L.B. Forma de correlação T-S de massa d'água das regiões costeira e oceânica entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP). **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 33, n. 2, p. 105-119, 1985.
- MIRANDA, T.V.B., DOURADO,M.S., 2011 Descrição Da Camada Limite Oceânica Na Região De CF, RJ. In: **V Simpósio Brasileiro De Oceanografia**, 5th, Santos - SP
- MIYAO, S. Y., HARARI, J., Estudo preliminar da maré e das correntes de maré da região estuarina de Cananéia (25S – 48°W). **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 37, n° 2, p. 107-123, 1989.
- NOAA, 2001. Acervo de imagens de satellite. Disponível em: <<http://www.wmo-sat.info/oscar/satellites/view/336>>. Acessado em: Fevereiro, 2014.

- PALMA, E. D., MATANO, R. P., Disentangling the upwelling mechanisms of the South Brazil Bight. **Continental Shelf Research**, v. 29, p. 1525-1534, 2009.
- PASSOS, E. N., SANCHO, L. M. B. A. M. C., CARREIRO, V. B., JORGE, M. da S. A., ASSAD, L. P. de F., LANDAU, L. 2012. Evidências da ocorrência da Água Central do Atlântico Sul na Baía de Guanabara **Congresso Brasileiro de Oceanografia** p.2253-2259 Rio de Janeiro, RJ
- PASSOS, E. N., **Variabilidade sazonal da Circulação Oceânica associada à Água Central do Atlântico Sul**. Monografia (Bacharelado em Oceanografia), Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- PAVIGLIONE, A. M., MIRANDA, L. B. D., Nota sobre a variação sazonal da circulação geostrófica na borda da plataforma continental: Cabo de São Tomé (RJ) e a Baía de Guanabara (RJ). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 33, p. 55-68, 1985.
- PERIN, G., FABRIS, R., MANENTE, S, WAGENER, A.R., HAMACHER, A., SCOTTO, S. A five-year study on the heavy-metal Pollution of guanabara bay Sediments (Rio de Janeiro, Brazil) and evaluation of the metal Bioavailability by means of geochemical Speciation. **Water Research**, v. 31, n. 12, p. 3017-3028, 1997.
- PIMENTEL, L. C. G., MARTON, E., SILVA, M. S. da, *et al.*, Caracterização do regime de vento em superfície na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, nº 2, p. 121-132, 2014.
- QUARESMA, V. S., DIAS, G. T. M., BAPTISTA NETO, J. A., Caracterização da ocorrência de padrões de sonar de varredura lateral e sísmica de alta frequência (3,5 e 7,0 kHz) na porção sul da Baía de Guanabara – RJ. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 18, n.2, p. 201-214, 2000.
- RODRIGUES, R. R., LORENZZETTI, J. A., A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the Southeast Brazilian coastal upwelling. **Continental Shelf Research**, v. 21, p. 371-394, 2001.
- ROULLET, G., MADEC, G., Salt conservation, free surface and varying levels: A new formulation for ocean general circulation models. **Journal of Geophysical Research**, v. 105, n. C10, p. 23927-23942, 2000. DOI:10.1029/2000JC900089.

- SCHMITZ, W.J. The Pacific and Indian Oceans A Global Update World Ocean Circulation Technical v. II **Report Woods Hole Oceanographic Institution** 1996.
- SIGNORINI, S. R. On the circulation and the volume transport of the Brazil Current Between the Cape of São Tome and Guanabara Bay. **Deep-Sea Research**, v. 25, p. 481-490, 1978.
- SILVA, G. L., DOURADO, M. S., CANDELLA, R. N., 2006. Estudo Preliminar Da Climatologia Da Ressurgência Na Região De CF, RJ. **Resumo expandido do XI encontro nacional dos grupos PET**. Universidade Federal de Santa Catarina. Resumo expandido, 11pp.
- SILVA-JR., C. L. da, KAMPEL, M., ARAUJO, A. E. S. de, *et al.*, Observação da penetração do ramo costeiro da Corrente das Malvinas na costa Sul-Sudeste do Brasil a partir de imagens AVHRR. In: Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, p. 787-793, 1996.
- SILVEIRA, I. C. A., SCHMIDT, A. C. K., CAMPOS, E. J. D., *et al.* A Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Revista brasileira de oceanografia**, v. 48, n. 2, p. 171-183, 2000.
- SILVEIRA, I.C.A. 2007. **O Sistema Corrente do Brasil na Bacia de Campos, RJ**. Tese de Livre-Docência. Instituto de Oceanografia de São Paulo-IOUSP. 160p.
- SOARES, F. L. M., 2014. **Estudo Da Circulação Oceânica Superficial Na Costa Sudeste Do Brasil Através De Modelagem Hidrodinâmica De Longo Período**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). COPPE, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- SOUTELINO, R. G., **A origem da Corrente do Brasil**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências), Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2008.
- STECH, J., LORENZZETTI, J. A. The response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n° C6, p. 9507-9520, 1992.
- STOMMEL, H. A survey of ocean current theory. **Deep-Sea Research**, v. 4, p. 149-184, 1957.
- STRAMMA, L., ENGLAND, M. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean **Journal of Geophysical Research**, v. 104, n. C9, p. 20863-20883, 1999.

- STRAMMA, L., SCOTT, F. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean **Deep-Sea Research** v. 46, part II, p. 279-303, 1999.
- TANAKA, K., 1977, 86p. **Simulação da ressurgência comparada com dados oceanográficos e de sensores remotos em CF**. Dissertação (Mestrado em Sensores Remotos e Aplicações), Programa de Pós Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, São Paulo.
- TASCHETTO, A. S., WAINER, I. A Influência dos gases estufa no oceano Atlântico Sul: Estudo climatológico. **Revista brasileira de oceanografia**, v. 51, p. 39-54, 2003.
- THOMPSON, J. D., O'BRIEN J. S. Time-Dependent Coastal Upwelling. **Journal of Physical Oceanography**, v. 3, nº 1, p. 33-46, 1973.
- TOMCZAK, M., GODFREY, J. S. **Regional Oceanography: An Introduction**, New York, Elsevier, p. 422, 1994.
- TORRES JÚNIOR, A. R., **Resposta da ressurgência costeira de CF a forçantes locais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica), Programa de Pós Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p.143, 1995.
- VALCKER, S., The OASIS3 coupler: a European climate modelling community software, **Geoscientific Model Development**, v. 6, p. 373-388, 2013. DOI:10.5194/gmd-6-373-2013.
- VALENTIN, J. L., ANDRE, D. L., JACOB, S. A. Hydrobiology in the Cabo Frio (Brazil) upwelling: two-dimensional structure and variability during a wind cycle. **Continental Shelf Research**, v. 7, nº 1, p. 77-88, 1987.
- WILLIAMS, J. Oceanography Na Introduction to Marine Sciences Little Borown and Company, 1ª ed., 242p., 1962.
- WILLMOTT, C.J., ROBESON, S.M., MATSUURA, K. A refined index of model performance **International Journal of Climatology**, DOI: 10.1002/joc.2419. 2011.
- ZEMBA, J. C. 1991. 160p. **The structure and transport of the Brazil Current between 27° and 36° South**. Tese (Doutorado em Oceanografia física), Massachusetts Institute of Tecnology and Woods Hole Oceanographic Institution. Masachusetts. EUA.

ANEXO I

Este anexo é composto pela análise de um conjunto de dados compostos por parâmetros físicos, como temperatura e salinidade, coletados em diferentes regiões da BG e adquiridos pelo Projeto Baía de Guanabara. Este projeto realizou medições de variáveis físicas na BG de outubro de 2011 à dezembro de 2013. Ao todo, foram realizadas 66 coletas durante 29 meses. Os dados das campanhas oceanográficas realizadas estão disponíveis virtualmente no site do projeto (www.projetobaiadeguanabara.com.br).

As coletas de dados foram realizadas para 9 regiões no interior da BG (Figura 90). Entretanto, para as análises apresentadas, apenas 3 regiões de coletas foram consideradas por causa da sua proximidade com o canal principal de navegação da baía. As regiões selecionadas são as regiões 2, 6 e 9.

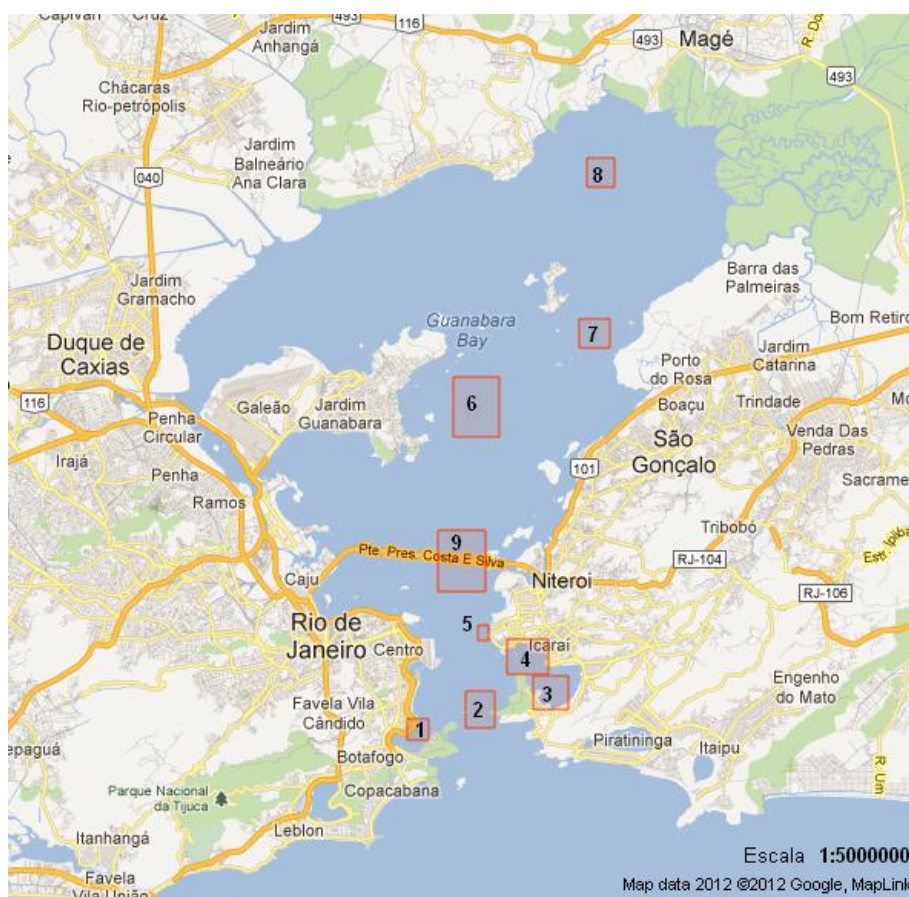


Figura 90: Esquema representativo da Baía de Guanabara e os pontos de coleta de dados. Fonte: Site do projeto (www.projetobaiadeguanabara.com.br)

As variáveis físicas analisadas para determinar a ocorrência da ACAS no interior da BG serão temperatura e salinidade. Os índices termohalinos considerados foram definidos por MIRANDA (1985) para a PCSE e que considera temperaturas características de ACAS entre 6°C e 20°C e salinidade variando de 34,6 a 36.

Inicialmente a identificação da ACAS no interior da BG foi averiguada para toda a série temporal (Figura 91). A confirmação da ocorrência foi obtida através do Diagrama TS. Além desta análise, cálculos estatísticos estimaram o percentual do volume das massas d'água presentes na região, cito: ACAS; Água Tropical (massa d'água superficial muito salina); e Água Costeira (massa d'água oriunda de mistura, pouco salina).

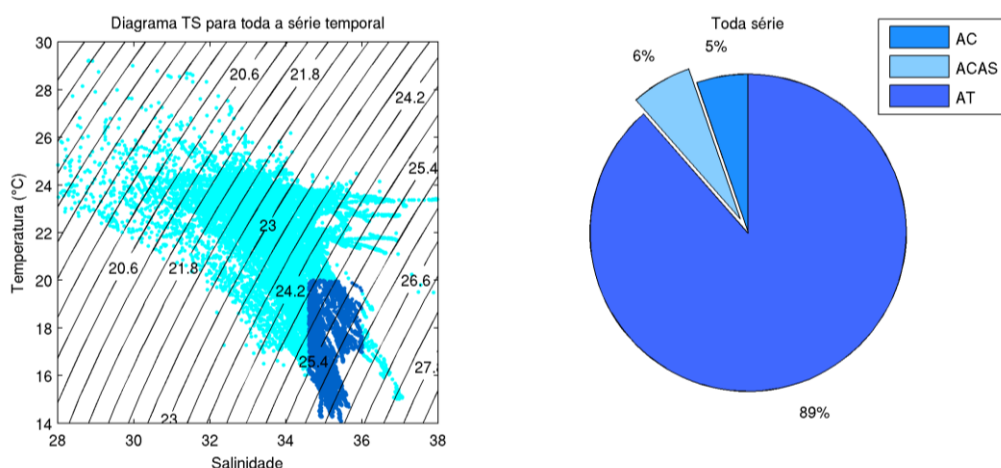


Figura 91: À esquerda está representado o Diagrama TS e à direita está a representação do percentual de ACAS identificada para toda a série temporal obtida para as regiões de coleta selecionadas.

Posteriormente, procurou-se identificar as coletas nas quais era observado o evento de ocorrência da ACAS no interior da BG. Para tal, as coletas foram ordenadas cronologicamente do início ao fim da série temporal (Tabela 8). Das 66 coletas realizadas, 25 coletas indicaram a presença da ACAS no interior da BG (Figura 92).

Na Figura 92, a faixa vermelha representa os índices de densidade de topo e base da ACAS. Em azul, temos a densidade pontual de cada dado coletado pelo projeto de acordo com a respectiva coleta. Inferiu-se que os eventos de ACAS no interior da BG ao longo das coletas realizadas ocorreram quando constatou-se a densidade na faixa compreendida entre os índices de topo e base da ACAS.

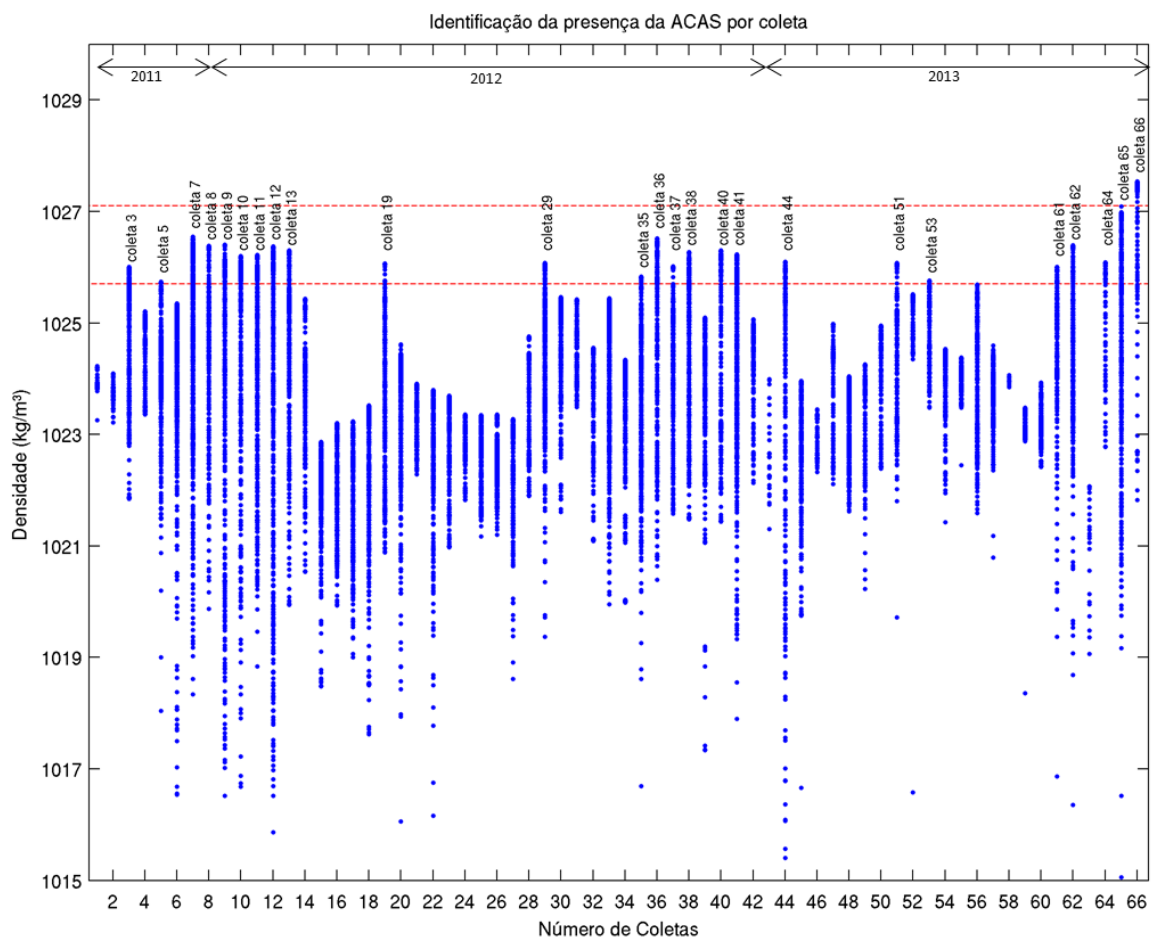


Figura 92: Identificação da ocorrência da ACAS ao longo das coletas realizadas

Tabela 8: A tabela abaixo relaciona as coletas numeradas cronologicamente e as datas nas quais as coletas ocorreram.

Coleta	Data	Coleta	Data	Coleta	Data
1	24/08/2011	23	20/06/2012	45	24/04/2013 e 25/04/2013
2	08/09/2011 e 09/09/2011	24	19/07/2012	46	09/05/2013
3	21/09/2011 e 22/09/2011	25	25/07/2012 e 26/07/2012	47	15/05/2013
4	28/09/2011	26	01/08/2012 e 02/08/2012	48	22/05/2013 e 23/05/2013
5	05/10/2011 e 06/10/2011	27	08/08/2012	49	05/06/2013
6	19/10/2011 e 20/10/2011	28	15/08/2012 e 16/08/2012	50	13/06/2013
7	07/12/2011 e 08/12/2011	29	22/08/2012 e 23/08/2012	51	03/07/2013 e 04/07/2013
8	14/12/2011	30	29/08/2012	52	10/07/2013
9	12/01/2012	31	05/09/2012 e 06/09/2012	53	31/07/2013
10	18/01/2012	32	13/09/2012	54	21/08/2013 e 22/08/2013
11	25/01/2012 e 26/01/2012	33	19/09/2012 e 20/09/2012	55	29/08/2013
12	01/02/2012 e 02/02/2012	34	27/09/2012	56	11/09/2013 e 12/09/2013
13	08/02/2012 e 09/02/2012	35	03/10/2012 e 04/10/2012	57	18/09/2013 e 19/09/2013
14	07/03/2012	36	10/10/2012	58	26/09/2013
15	25/04/2012 e 26/04/2012	37	17/10/2012	59	02/10/2013 e 03/10/2013
16	02/05/2012	38	24/10/2012	60	09/10/2013 e 10/10/2013
17	09/05/2012	39	01/11/2012	61	18/10/2013
18	16/05/2012	40	07/11/2012	62	22/10/2013
19	24/05/2012	41	21/11/2012 e 22/11/2012	63	29/10/2013
20	30/05/2012	42	28/11/2012	64	05/11/2013
21	06/06/2012	43	05/12/2012	65	05/12/2013 e 06/12/2013
22	14/06/2012	44	09/01/2013	66	10/12/2013

ANEXO II

Este anexo tem a finalidade de complementar os resultados apresentados no capítulo 6 deste documento para a análise da advecção da ACAS na PCSERJ no período da primavera. A Figura 93 exibe a classificação numérica de cada trecho de seção e sua disposição geográfica. Os valores de TV estimados através de cada seção são apresentados na Tabela 9.

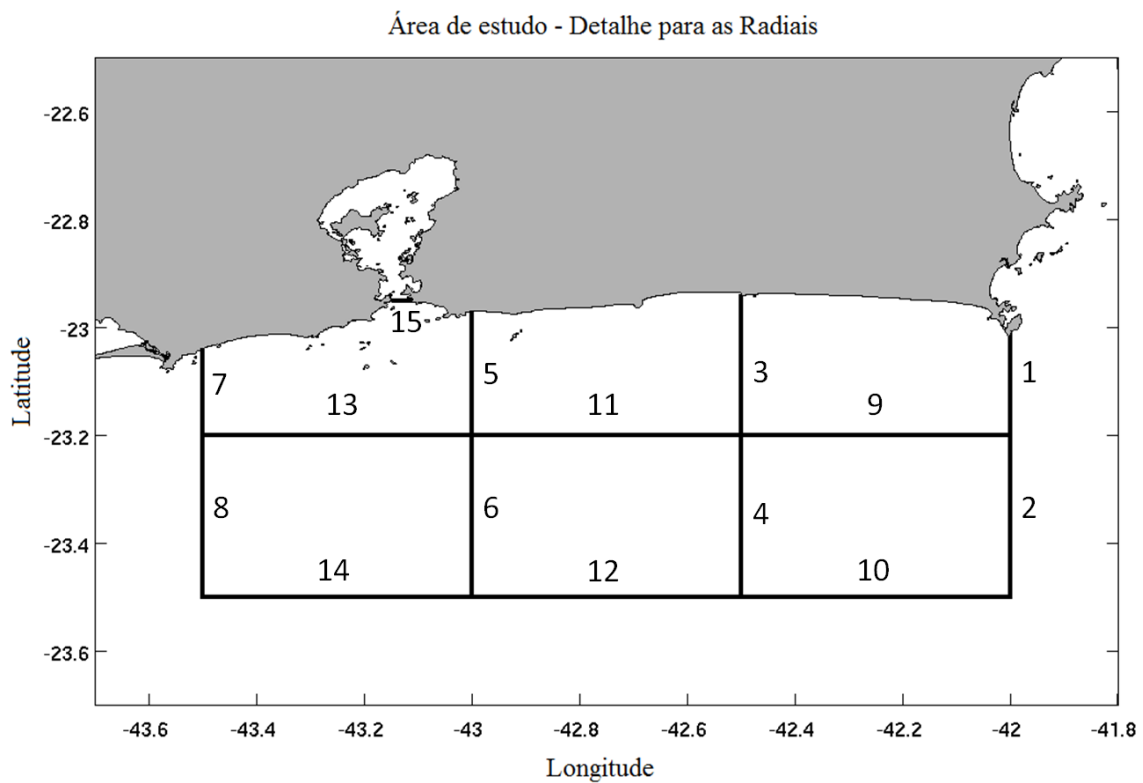


Figura 93: Representação da numeração da seção e a sua localização

Tabela 9: TV integrado para cada trecho de seção apresentado na Figura 93 para os meses de primavera abordados no capítulo 6.

	Seção	Mês		
		Outubro	Novembro	Dezembro
Seções Meridionais	1	-0,1165	-0,0103	-0,0202
	2	-0,2752	-0,1235	-0,1177
	3	-0,2509	-0,1477	-0,1388
	4	-0,3395	-0,2111	-0,1904
	5	-0,0754	-0,0311	-0,0276
	6	-0,3664	-0,2322	-0,1826
	7	-0,1052	-0,0558	-0,0451
	8	-0,1731	-0,0750	-0,0624
Seções Zonais	9	-0,1550	-0,1615	-0,1454
	10	-0,2166	-0,2145	-0,2289
	11	-0,1801	-0,1602	-0,1208
	12	-0,1369	-0,1266	-0,0712
	13	-0,0487	0,0117	-0,0023
	14	-0,2537	-0,1778	-0,1258
	15	$-8,860 \cdot 10^{-5}$	$6,732 \cdot 10^{-5}$	$9,363 \cdot 10^{-4}$