Alexandre De Caroli

Correntes e temperaturas na quebra da plataforma continental de Cabo

Frio: observações

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Física.

Orientador: Prof. Dr. Belmiro Mendes de Castro Filho

São Paulo

2013

Universidade de São Paulo

Instituto Oceanográfico

Correntes e temperaturas na quebra da plataforma continental de Cabo Frio: observações

Alexandre De Caroli

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Física.

Julgada em ____/____/____

Prof. Dr. Belmiro Mendes de Castro Filho

Conceito

Prof(a). Dr(a).

Conceito

Prof(a). Dr(a).

Conceito

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	xvii
AGRADECIMENTOS	xx
RESUMO	xxi
ABSTRACT	xxii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Características Gerais da Região de Estudo	1
1.2 Propriedades termohalinas	5
1.2.1 Caracterização geral	5
1.2.2 Intrusões e afloramentos da Água Central do Atlântico Sul	5
1.3 Características hidrodinâmicas	11
1.3.1 Corrente do Brasil	11
1.3.2 Ventos médios e sinóticos	15
1.3.3 Forçantes remotas	20
1.3.4 Marés	21
2 OBJETIVOS	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Levantamento	26
3.2 Conjunto de dados	27
3.3 Edição dos dados	28
3.3.1 Processamento inicial e remoção de dados errôneos	28
3.3.2 Filtragem dos dados	30
3.3.3 Primeiros momentos estatísticos das correntes e ventos	31

3.3.4	Análises no domínio da frequência	33
3.3.5	Correlação cruzada no domínio do tempo.....	34
3.3.6	Análise harmônica.....	34
4	RESULTADOS	35
4.1	Correntes médias	35
4.1.1	Período 1	35
4.1.2	Período 3	46
4.1.3	Período 4	57
4.1.4	Período 5	67
4.1.5	Resumo do comportamento médio das correntes.....	77
4.2	Ventos médios e sinóticos	78
4.2.1	Período 1	78
4.2.2	Período 3	80
4.2.3	Período 4	82
4.2.4	Período 5	84
4.3	Correlação entre correntes e ventos	86
4.4	Temperatura junto ao fundo	89
4.4.1	Período 1	89
4.4.2	Período 3	91
4.4.3	Período 4	91
4.4.4	Período 5	92
4.5	Correlações entre correntes e temperatura junto ao fundo	93
4.6	Variabilidade sazonal	96
4.6.1	Características gerais dos ventos.....	96
4.6.2	Características gerais das correntes.....	98

4.6.3	Correlações entre correntes e ventos	105
4.6.4	Características gerais da temperatura junto ao fundo.....	107
4.6.5	Correlações entre correntes e temperatura junto ao fundo	109
4.7	Marés	111
5	DISCUSSÃO.....	114
5.1	Comportamento geral das correntes	114
5.2	Correlações entre as correntes e os ventos e a temperatura de fundo	117
5.3	Variabilidade sazonal	119
5.3.1	Ventos.....	119
5.3.2	Correntes	121
5.3.3	Temperatura próxima ao fundo	125
5.4	Marés	126
6	CONCLUSÕES.....	128
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1: Seção vertical de uma margem continental esquemática, no contexto fisiográfico, detalhando os compartimentos definidos pela Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, e comumente utilizados em oceanografia. Esquema adaptado de Palma (1984). 2
- Figura 1.2: Mapa de localização da região de estudo limitado ao norte pelo extremo norte da Plataforma Continental da Bacia de Campos e ao sul, pelo limite sul da Plataforma Continental Sudeste, inseridas na margem continental sul-sudeste do Brasil. Em vermelho destaca-se a estação de coleta de dados, ao largo de Cabo Frio. As isóbatas de 20, 100, 200, 500, 1000 e 3000 m também foram desenhadas em preto. Os valores de profundidade foram extraídos do banco global ETOPO1 (Amante e Eakins, 2011). 4
- Figura 1.3: Distribuição climatológica de temperatura na superfície (esquerda), 50 m de profundidade (meio) e fundo (direita), durante o verão (painéis superiores) e inverno (painéis inferiores), na plataforma continental da margem sudeste do Brasil, elaborada por Amor (2004). As temperaturas estão simbolizadas pelas cores, com isotermas sobrepostas em preto, desenhadas de 1 em 1°C. As linhas tracejadas representam as isóbatas de 50, 100, 200, 500 e 1.000 m. 7
- Figura 1.4: Seções verticais de temperatura na plataforma continental de Cabo Frio, elaboradas por Amor (2004). Rad. 10 (11) simbolizam radiais imediatamente ao sul (norte) de Cabo Frio. Os painéis superiores (inferiores) indicam a distribuição no verão (inverno). As temperaturas estão simbolizadas pelas cores, com isotermas sobrepostas em preto, traçadas de em intervalo de 1°C. 8
- Figura 1.5: Seções verticais dos percentuais de Água Costeira (AC), Água Tropical (AT) e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) sobre a Plataforma Continental de Cabo Frio, na Bacia de Campos, Rio de Janeiro. Os eixos das abcissas representam a distância, em km, em relação à isóbata de 30 m, e o das ordenadas a profundidade em metros. Os percentuais são apresentados em cores, conforme escala na parte direita da figura. Painéis superiores (inferiores) indicam os resultados para o verão (inverno) de 2009. Extraído de Foloni Neto (2010). 10
- Figura 1.6: Mapa da temperatura superficial obtida por imagem de satélite na margem sudeste do Brasil, destacando a presença dos meandramentos da CB na quebra da plataforma

continental, fluindo para a Bacia de Santos, ao sul de Cabo Frio. Extraído de Campos et al. (1995).	12
Figura 1.7: Correntes baroclínicas modeladas (m/s, painel B) em seção que se estende ao largo de Cabo Frio (RJ, painel A). Valores negativos (positivos) indicam velocidades que fluem para sudoeste (nordeste). Extraído de Silveira et al. (2004).....	13
Figura 1.8: Transporte de volume por unidade de largura das seções (m^2/s), calculados para seções transversais à direção da plataforma e quebra da plataforma continental de Cabo Frio, para os períodos de janeiro (painel superior) e julho (painel inferior) de 1971. Extraído de Paviglione e Miranda (1985).	14
Figura 1.9: Ventos médios sazonais obtidos através do NCEP/DOE Reanalysis (Kanamitsu et al., 2002) sobre a região sudeste do Atlântico Sul, para as quatro estações do ano. As intensidades (em m/s) são representadas pelas cores e a direção, para onde o vento sopra, pelos vetores. O tamanho dos vetores também está associado às intensidades dos ventos. Verão (superior esquerda), outono (superior direita), inverno (inferior esquerda) e primavera (inferior direita).	16
Figura 1.10: Modelo conceitual de uma frente fria na plataforma sudeste do Brasil, avançando na direção SW-NE, desenvolvido por Stech (1989). Os vetores indicam a direção e intensidade das correntes (escala de 5 m/s no canto superior esquerdo). Extraído de Stech e Lorenzetti (1992).	17
Figura 1.11: Correntes superficiais, obtidas por simulações numéricas, forçadas pelos ventos médios de verão (A) e pela passagem de uma frente fria (B), sobre a plataforma continental sudeste do Brasil. A isóbata de 200 m (aproximadamente a quebra da plataforma continental) está representada pela linha azul. Extraído de Rezende (2003).	19
Figura 1.12: Mapa da distribuição das amplitudes e fases, relativas ao meridiano de Greenwich, das componentes de maré: (A) M_2 e (B) O_1 , para a região adjacente a Cabo Frio, obtidas através de simulações numéricas. Extraído de Pereira e Castro (2007).....	22
Figura 3.1: Localização geográfica do fundeio, na isóbata de 108 m (traçada em verde), ao largo de Cabo Frio. Em vermelho tracejado a direção média aproximada da isóbata (43°). 25	
Figura 3.2: Conjunto de dados amostrados válidos. As linhas pretas contínuas representam os dados de intensidade e direção das correntes, as linhas tracejadas vermelhas os de temperatura e a linha tracejada azul os dados de vento.	28

Figura 4.1: “Stickplot” das correntes amostradas durante o Período 1 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 3 h. A média vertical das séries é plotada em vermelho, na parte inferior do gráfico. A direção vertical aponta para 43°, na direção NE, (direção da isóbata). A escala pode ser vista no canto superior esquerdo do gráfico.	38
Figura 4.2: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes observadas: próximo à superfície (18 m, painel superior), à meia água (63 m, painel central) e próximo ao fundo (108 m, painel inferior). O vetor médio está indicado no centro de cada histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.	40
Figura 4.3: Diagrama vetorial progressivo das correntes, com escala em km, observadas: próximo à superfície (18 m, painel superior), à meia água (63 m, painel central) e próximo ao fundo (108 m, painel inferior). A linha tracejada indica a direção da isóbata. Note que o último painel possui escala diferente.	42
Figura 4.4: “Stickplot” das correntes sub-inerciais, calculadas para o Período 1 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 3 h. A média vertical das séries é plotada em vermelho, na parte inferior do gráfico. A direção vertical aponta para 43°, na direção NE, (direção da isóbata). A escala pode ser vista no canto superior esquerdo do gráfico.	43
Figura 4.5: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes sub-inerciais calculadas: próximo à superfície (18 m, painel superior), à meia água (63 m, painel central) e próximo ao fundo (108 m, painel inferior). O vetor médio está indicado no centro de cada histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.	44
Figura 4.6: Densidade espectral ($\text{cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$) das componentes normal (linha preta contínua) e paralela (linha cinza contínua) à isóbata, da banda sub-inercial nas profundidades de 18 m (painel superior) e 108 m (painel inferior). As linhas tracejadas, com suas respectivas cores, indicam o intervalo de confiança de 95%. A frequência inercial pode ser vista por uma linha vertical em 0,6 cpd.	45
Figura 4.7: Densidade espectral ($\text{cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$) das componentes normal (linha preta contínua) e paralela (linha cinza contínua) à isóbata da banda suprainercial nas profundidades de 18 m (painel superior) e 108 m (painel inferior). As linhas tracejadas, com suas respectivas cores, indicam o intervalo de confiança de 95%. A frequência inercial pode ser vista por uma linha vertical em 0,6 cpd.	46

- Figura 4.8: “Stickplot” das correntes amostradas durante o Período 3 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 3 h. A média vertical das séries é plotada em vermelho, na parte inferior do gráfico. A direção vertical aponta para 43°, na direção NE, (direção da isóbata). A escala pode ser vista no canto superior esquerdo do gráfico. 49
- Figura 4.9: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes observadas: próximo à superfície (28 m, painel superior), à meia água (58 m, painel central) e próximo ao fundo (108 m, painel inferior). O vetor médio está indicado no centro de cada histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata. 50
- Figura 4.10: Diagrama vetorial progressivo das correntes, com escala em km, observadas: próximo à superfície (28 m, painel superior), à meia água (58 m, painel central) e próximo ao fundo (108 m, painel inferior). A linha tracejada indica a direção da isóbata. Note que o último painel possui escala diferente. 52
- Figura 4.11: “Stickplot” das correntes subinerciais, calculadas para o Período 3 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 3 h. A média vertical das séries é plotada em vermelho, na parte inferior do gráfico. A direção vertical aponta para 43°, na direção NE, (direção da isóbata). A escala pode ser vista no canto superior esquerdo do gráfico. 53
- Figura 4.12: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes sub-inerciais calculadas: próximo à superfície (28 m, painel superior), à meia água (58 m, painel central) e próxima ao fundo (108 m, painel inferior). O vetor médio está indicado no centro de cada histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata. 54
- Figura 4.13: Densidade espectral ($\text{cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$) das componentes normal (linha preta contínua) e paralela (linha cinza contínua) à isóbata da banda sub-inercial nas profundidades de 28 m (painel superior) e 108 m (painel inferior). As linhas tracejadas, com suas respectivas cores, indicam o intervalo de confiança de 95%. A frequência inercial pode ser vista por uma linha vertical em 0,6 cpd. 55
- Figura 4.14: Densidade espectral ($\text{cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$) das componentes normal (linha preta contínua) e paralela (linha cinza contínua) à isóbata da banda supra-inercial nas profundidades de 28 m (painel superior) e 108 m (painel inferior). As linhas tracejadas, com suas respectivas cores, indicam o intervalo de confiança de 95%. A frequência inercial pode ser vista por uma linha vertical em 0,6 cpd. 56

- Figura 4.15: “Stickplot” das correntes amostradas durante o Período 4 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 3 h. A média vertical das séries é plotada em vermelho, na parte inferior do gráfico. A direção vertical aponta para 43° , na direção NE, (direção da isóbata). A escala pode ser vista no canto superior esquerdo do gráfico. 59
- Figura 4.16: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes observadas: próximo à superfície (19 m, painel superior), à meia água (59 m, painel central) e próximo ao fundo (109 m, painel inferior). O vetor médio está indicado no centro de cada histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata. 61
- Figura 4.17: Diagrama vetorial progressivo das correntes, com escala em km, observadas: próximo à superfície (19 m, painel superior), à meia água (59 m, painel central) e próximo ao fundo (109 m, painel inferior). A linha tracejada indica a direção da isóbata. Note que o último painel possui escala diferente. 63
- Figura 4.18: “Stickplot” das correntes sub-inerciais, calculadas para o Período 4 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 3 h. A média vertical das séries é plotada em vermelho, na parte inferior do gráfico. A direção vertical aponta para 43° , na direção NE, (direção da isóbata). A escala pode ser vista no canto superior esquerdo do gráfico. 64
- Figura 4.19: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes subinerciais calculadas: próximo à superfície (19 m, painel superior), à meia água (59 m, painel central) e próximo ao fundo (109 m, painel inferior). O vetor médio está indicado no centro de cada histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata. 65
- Figura 4.20: Densidade espectral ($\text{cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$) das componentes normal (linha preta contínua) e paralela (linha cinza contínua) à isóbata da banda sub-inercial nas profundidades de 19 m (painel superior) e 109 m (painel inferior). As linhas tracejadas, com suas respectivas cores, indicam o intervalo de confiança de 95%. A frequência inercial pode ser vista por uma linha vertical em 0,6 cpd. 66
- Figura 4.21: Densidade espectral ($\text{cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$) das componentes normal (linha preta contínua) e paralela (linha cinza contínua) à isóbata da banda supra-inercial nas profundidades de 19 m (painel superior) e 109 m (painel inferior). As linhas tracejadas, com suas respectivas cores, indicam o intervalo de confiança de 95%. A frequência inercial pode ser vista por uma linha vertical em 0,6 cpd. 67

Figura 4.22: “Stickplot” das correntes amostradas durante o Período 5 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 3 h. A média vertical das séries é plotada em vermelho, na parte inferior do gráfico. A direção vertical aponta para 43°, na direção NE, (direção da isóbata). A escala pode ser vista no canto superior esquerdo do gráfico.	70
Figura 4.23: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes observadas: próximo à superfície (19 m, painel superior), à meia água (59 m, painel central) e próximo ao fundo (109 m, painel inferior). O vetor médio está indicado no centro de cada histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.	71
Figura 4.24: Diagrama vetorial progressivo das correntes, com escala em km, observadas: próximo à superfície (19 m, painel superior), à meia água (59 m, painel central) e próximo ao fundo (109 m, painel inferior). A linha tracejada indica a direção da isóbata. Note que o último painel possui escala diferente.	73
Figura 4.25: “Stickplot” das correntes sub-inerciais, calculadas para o Período 5 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 3 h. A média vertical das séries é plotada em vermelho, na parte inferior do gráfico. A direção vertical aponta para 43°, na direção NE, (direção da isóbata). A escala pode ser vista no canto superior esquerdo do gráfico.	74
Figura 4.26: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes sub-inerciais calculadas: próximo à superfície (19 m, painel superior), à meia água (59 m, painel central) e próximo ao fundo (109 m, painel inferior). O vetor médio está indicado no centro de cada histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.	75
Figura 4.27: Densidade espectral ($\text{cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$) das componentes normal (linha preta contínua) e paralela (linha cinza contínua) à isóbata da banda sub-inercial nas profundidades de 19 m (painel superior) e 109 m (painel inferior). As linhas tracejadas, com suas respectivas cores, indicam o intervalo de confiança de 95%. A frequência inercial pode ser vista por uma linha vertical em 0,6 cpd.	76
Figura 4.28: Densidade espectral ($\text{cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$) das componentes normal (linha preta contínua) e paralela (linha cinza contínua) à isóbata da banda suprainercial nas profundidades de 19 m (painel superior) e 109 m (painel inferior). As linhas tracejadas, com suas respectivas cores, indicam o intervalo de confiança de 95%. A frequência inercial pode ser vista por uma linha vertical em 0,6 cpd.	77

- Figura 4.29: Gráfico da série temporal dos ventos superficiais amostrados durante o Período 1, extraído do banco global NCEP/DOE Reanalysis (Kanamitsu et al., 2002), nas proximidades do fundeio. Os dados são obtidos com intervalo de 6 h. A direção vertical aponta para o norte geográfico, sendo os “palitos” referentes à direção para onde o vento sopra (convenção oceanográfica). As linhas verticais destacam os momentos da passagem de frentes frias sobre a cidade de Cabo Frio, extraído do Boletim Climanálise, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 79
- Figura 4.30: Intensidade, direção e frequência de ocorrência dos ventos superficiais calculadas para o Período 1 de amostragem. As direções indicam a direção para onde o vento sopra (convenção oceanográfica). O vetor médio está indicado no centro do histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata. 80
- Figura 4.31: Gráfico da série temporal dos ventos superficiais amostrados durante o Período 3, extraído do banco global NCEP/DOE Reanalysis (Kanamitsu et al., 2002), nas proximidades do fundeio. Os dados são obtidos com intervalo de 6 h. A direção vertical aponta para o norte geográfico, sendo os “palitos” referentes à direção para onde o vento sopra (convenção oceanográfica). As linhas verticais destacam os momentos da passagem de frentes frias sobre a cidade de Cabo Frio, extraído do Boletim Climanálise, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 81
- Figura 4.32: Intensidade, direção e frequência de ocorrência dos ventos superficiais calculadas para o Período 3 de amostragem. As direções indicam a direção para onde o vento sopra (convenção oceanográfica). O vetor médio está indicado no centro do histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata. 82
- Figura 4.33: Gráfico da série temporal dos ventos superficiais amostrados durante o Período 4, extraído do banco global NCEP/DOE Reanalysis (Kanamitsu et al., 2002), nas proximidades do fundeio. Os dados são obtidos com intervalo de 6 h. A direção vertical aponta para o norte geográfico, sendo os “palitos” referentes à direção para onde o vento sopra (convenção oceanográfica). As linhas verticais destacam os momentos da passagem de frentes frias sobre a cidade de Cabo Frio, extraído do Boletim Climanálise, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 83
- Figura 4.34: Intensidade, direção e frequência de ocorrência dos ventos superficiais calculadas para o Período 4 de amostragem. As direções indicam a direção para onde o vento

sopra (convenção oceanográfica). O vetor médio está indicado no centro do histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.	84
Figura 4.35: Gráfico da série temporal dos ventos superficiais amostrados durante o Período 4, extraído do banco global NCEP/DOE Reanalysis (Kanamitsu et al., 2002), nas proximidades do fundeio. Os dados são obtidos com intervalo de 6 h. A direção vertical aponta para o norte geográfico, sendo os “palitos” referentes à direção para onde o vento sopra (convenção oceanográfica). As linhas verticais destacam os momentos da passagem de frentes frias sobre a cidade de Cabo Frio, extraído do Boletim Climanálise, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).	85
Figura 4.36: Intensidade, direção e frequência de ocorrência dos ventos superficiais calculadas para o Período 5 de amostragem. As direções indicam a direção para onde o vento sopra (convenção oceanográfica). O vetor médio está indicado no centro do histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.	86
Figura 4.37: Correlação cruzada entre as componentes de velocidade das correntes e dos ventos nos níveis superficial (linha preta), intermediário (linha vermelha) e próximo ao fundo (linha azul). Os quatro painéis da esquerda (direita) se referem ao Período 1 (3) de amostragem. As siglas no canto superior esquerdo indicam as séries correlacionadas. U e Uw: corrente e vento perpendiculares á isóbata, respectivamente; V e Vw: corrente e vento paralelos à isóbata, respectivamente. O intervalo de confiança adotado foi de 95% (linhas tracejadas). Valores positivos de <i>lag</i> indicam liderança das correntes.....	87
Figura 4.38: Correlação cruzada entre as componentes de velocidade das correntes e dos ventos nos níveis superficial (linha preta), intermediário (linha vermelha) e próximo ao fundo (linha azul). Os quatro painéis da esquerda (direita) se referem ao Período 4 (5) de amostragem. As siglas no canto superior esquerdo indicam as séries correlacionadas. U e Uw: corrente e vento perpendiculares á isóbata, respectivamente; V e Vw: corrente e vento paralelos à isóbata, respectivamente. O intervalo de confiança adotado foi de 95% (linhas tracejadas). Valores positivos de <i>lag</i> indicam liderança das correntes.....	88
Figura 4.39: Série temporal de temperatura (em °C) junto ao fundo durante o Período 1 de amostragem. Os dados foram plotadas a cada 1 h. Os pontos vermelhos são referentes aos intervalos onde as correntes próximas ao fundo têm direção normal à direção da isóbata, com sentido para a costa. A isolinha de 18°C, referente ao índice termal da Água Central do	

Atlântico Sul, é traçada em azul pontilhado. No eixo das abscissas são destacados o primeiro dia de cada mês (representado pela letra inicial do respectivo mês e número do ano). 90

Figura 4.40: Série temporal de temperatura (em °C) junto ao fundo durante o Período 3 de amostragem. Os dados foram plotadas a cada 1 h. Os pontos vermelhos são referentes aos intervalos onde as correntes próximas ao fundo têm direção normal à direção da isóbata, com sentido para a costa. A isolinha de 18°C, referente ao índice termal da Água Central do Atlântico Sul, é traçada em azul pontilhado. No eixo das abscissas são destacados o primeiro dia de cada mês (representado pela letra inicial do respectivo mês e número do ano). 91

Figura 4.41: Série temporal de temperatura (em °C) junto ao fundo durante o Período 4 de amostragem. Os dados foram plotadas a cada 1 h. Os pontos vermelhos são referentes aos intervalos onde as correntes próximas ao fundo têm direção normal à direção da isóbata, com sentido para a costa. A isolinha de 18°C, referente ao índice termal da Água Central do Atlântico Sul, é traçada em azul pontilhado. No eixo das abscissas são destacados o primeiro dia de cada mês (representado pela letra inicial do respectivo mês e número do ano). As três linhas tracejadas verticais marcam a passagem de frentes frias sobre a cidade de Cabo Frio, extraído do Boletim Climanálise, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 92

Figura 4.42: Série temporal de temperatura (em °C) junto ao fundo durante o Período 5 de amostragem. Os dados foram plotadas a cada 1 h. Os pontos vermelhos são referentes aos intervalos onde as correntes próximas ao fundo têm direção normal à direção da isóbata, com sentido para a costa. A isolinha de 18°C, referente ao índice termal da Água Central do Atlântico Sul, é traçada em azul pontilhado. No eixo das abscissas são destacados o primeiro dia de cada mês (representado pela letra inicial do respectivo mês e número do ano). 93

Figura 4.43: Correlação cruzada entre as componentes de velocidade das correntes nos níveis superficial (linha preta), intermediário (linha vermelha) e próximo ao fundo (linha azul) e a temperatura junto ao fundo. As siglas no canto superior esquerdo indicam as séries correlacionadas. U: corrente perpendicular à isóbata; V: corrente paralela à isóbata; T: temperatura junto ao fundo. Os quatro painéis superiores se referem aos Períodos 1 (os 2 da esquerda) e 3 (os 2 da direita). Os quatro painéis inferiores se referem aos Períodos 4 (os 2 da esquerda) e 5 (os 2 da direita). O intervalo de confiança adotado foi de 95% (linhas tracejadas). Valores positivos de *lag* indicam liderança das correntes..... 94

Figura 4.44: Intensidade, direção e frequência de ocorrência dos ventos superficiais, extraídos do banco global NCEP/DOE Reanalysis (Kanamitsu et al., 2002), nas proximidades do fundeio para: verão (painel superior esquerdo), outono (painel superior direito), inverno (painel inferior esquerdo) e primavera (painel inferior direito). Em cada painel, a média das respectivas observações é indicada pelo vetor preto no centro do gráfico. A linha tracejada indica a direção da isóbata. As direções, tanto das observações quanto do vetor médio, indicam a direção para onde o vento soprou (convenção oceanográfica). 97

Figura 4.45: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes próximas à superfície: verão (painel superior esquerdo), outono (painel superior direito), inverno (painel inferior esquerdo) e primavera (painel inferior direito). Em cada painel, a média das respectivas observações é indicada pelo vetor preto no centro do gráfico. A linha tracejada indica a direção da isóbata. 99

Figura 4.46: Principais características das correntes superficiais durante verão (painel superior esquerdo), outono (painel superior direito), inverno (painel inferior esquerdo) e primavera (painel inferior direito). Os dados de cada estação estão plotados em pontos vermelhos. As linhas pretas contínuas, que formam a cruz, representam os eixos principal e secundário de máxima variância. A linha pontilhada representa a orientação da isóbata. A seta azul representa a velocidade média de cada conjunto de dados. Todos os dados plotados em vermelho, além do vetor médio em azul estão referenciados pela escala horizontal vermelha de 20 cm/s, a partir do ponto central do fundeio. Os eixos de máxima variância estão escalados pela linha horizontal preta contínua, no canto superior, referente a 500 cm²/s². 101

Figura 4.47: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes próximas ao fundo: verão (painel superior esquerdo), outono (painel superior direito), inverno (painel inferior esquerdo) e primavera (painel inferior direito). Em cada painel, a média das respectivas observações é indicada pelo vetor preto no centro do gráfico. A linha tracejada indica a direção da isóbata. 102

Figura 4.48: Principais características das correntes próximas ao fundo durante verão (painel superior esquerdo), outono (painel superior direito), inverno (painel inferior esquerdo) e primavera (painel inferior direito). Os dados de cada estação estão plotados em pontos vermelhos. As linhas pretas contínuas, que formam a cruz, representam os eixos principal e

secundário de máxima variância. A linha pontilhada representa a orientação da isóbata. A seta azul representa a velocidade média de cada conjunto de dados. Todos os dados plotados em vermelho, além do vetor médio em azul estão referenciados pela escala horizontal vermelha de 20 cm/s, a partir do ponto central do fundeio. Os eixos de máxima variância estão escalados pela linha horizontal preta contínua, no canto superior, referente a 500 cm²/s².

..... 104

Figura 4.49: *Boxplots* das observações de temperatura obtidas junto ao fundo (em °C) para cada estação do ano. A linha horizontal pontilhada azul indica o valor de 18°C. No interior das caixas são representadas a mediana (linha horizontal no centro da caixa), quartis superior (25%) e inferior (75%, lados superior e inferior das caixas, respectivamente) e os *whiskers* com limite vertical adotado em 1,5 dos respectivos quartis. No interior de cada caixa é plotado o valor médio da temperatura (quadrado preto) e os círculos vermelhos representam os *outliers*. 108

Figura 4.50: Elipses de maré das componentes semi-diurnas M₂ e S₂ (painéis superiores, à esquerda e direita, respectivamente) e diurna O₁ e K₁ (painéis inferiores, à esquerda e direita, respectivamente), para os níveis próximos à superfície (18 m, elipse preta), meia água (58 m, elipse vermelha) e próximo ao fundo (108 m, elipse azul), durante o Período 1 de amostragem. Todas elipses estão escaladas pela mesma circunferência de 1 cm/s, indicada no topo de cada painel. 112

Figura 5.1: Variação vertical da média da variância (em cm²/s²) de todos os períodos de amostragem, para as componentes normal (U, em azul) e paralela (V, em vermelho) à direção da isóbata. No painel direito, é desenhada a variação porcentual da variância em ambas componentes. 115

Figura 5.2: Número de ocorrências de frentes frias e respectivos percentuais para o período entre 07/10/2009 e 07/12/2012 sobre a cidade de Cabo Frio (RJ), conforme observado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e divulgado no Boletim mensal Climanálises. 120

Figura 5.3: Máximos significativos de correlação entre as componentes das correntes normal (painel esquerdo) e paralela (painel direito) à direção da isóbata e a componente paralela do vento. As letras indicam a estação do ano (P=Primavera, V=Verão, O=Outono e I=Inverno) e estão centradas no máximo de correlação (eixo das ordenadas) e em seu respectivo *lag*, em

dias (eixo das abscissas). As cores das letras indicam o nível vertical, sendo preto, superficial, vermelho intermediário e azul próximo ao fundo. Todos os máximos estão dentro do intervalo de confiança de 95%..... 124

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Informações referentes aos fundeios instalados e reinstalados durante o período de levantamento hidrodinâmico. As coordenadas (X e Y, relativas às fichas de bordo) estão descritas em metros, referenciadas em UTM na Zona 24K. As profundidades (Prof.), em metros, se referem aos níveis em que o ADP foi instalado.	26
Tabela 4.1: Primeiros momentos estatísticos dos dados de correntes nos níveis verticais medidos: mínimo (Mín) e máximo (Máx) da componente normal à isóbata (u, cm/s) e paralela à isóbata (v, cm/s), média (Méd, cm/s), desvio padrão (DP, cm/s) e variância (Var, cm/s), e direção de máxima variância (MVar, em graus relativos ao norte geográfico, aumentando no sentido horário). Período de amostragem 1.	35
Tabela 4.2: Primeiros momentos estatísticos dos dados de correntes nos níveis verticais medidos: mínimo (Mín) e máximo (Máx) da componente normal à isóbata (u, cm/s) e paralela à isóbata (v, cm/s), média (Méd, cm/s), desvio padrão (DP, cm/s) e variância (Var, cm/s), e direção de máxima variância (MVar, em graus relativos ao norte geográfico, aumentando no sentido horário). Período de amostragem 3.	47
Tabela 4.3: Primeiros momentos estatísticos dos dados de correntes nos níveis verticais medidos: mínimo (Mín) e máximo (Máx) da componente normal à isóbata (u, cm/s) e paralela à isóbata (v, cm/s), média (Méd, cm/s), desvio padrão (DP, cm/s) e variância (Var, cm/s), e direção de máxima variância (MVar, em graus relativos ao norte geográfico, aumentando no sentido horário). Período de amostragem 4.	57
Tabela 4.4: Primeiros momentos estatísticos dos dados de correntes nos níveis verticais medidos: mínimo (Mín) e máximo (Máx) da componente normal à isóbata (u, cm/s) e paralela à isóbata (v, cm/s), média (Méd, cm/s), desvio padrão (DP, cm/s) e variância (Var, cm/s), e direção de máxima variância (MVar, em graus relativos ao norte geográfico, aumentando no sentido horário). Período de amostragem 5.	68
Tabela 4.5: Média dos principais máximos ou mínimos e respectivos lags, obtidos pela correlação cruzada entre temperatura próxima ao fundo e as componentes da corrente próximas ao fundo, na banda sub-inercial, para todos os períodos de amostragem. Para os valores entre parênteses, o valor médio foi calculado excluindo-se os Períodos 1 e 4 de amostragem.	95

Tabela 4.6: Resumo da análise dos eixos de máxima variância para as correntes superficiais, durante as quatro estações do ano. θ_{max} representa a direção do eixo de máxima variância (em graus, relativo ao norte geográfico, e aumentando em sentido horário), V_{max} e U_{max} as variâncias dos eixos principal e secundário, respectivamente, em cm^2/s^2 , e a razão entre estes dois eixos (adimensional). 100

Tabela 4.7: Resumo da análise dos eixos de máxima variância para as correntes próximas ao fundo, durante as quatro estações do ano. θ_{max} representa a direção do eixo de máxima variância (em graus, relativo ao norte geográfico, e aumentando em sentido horário), V_{max} e U_{max} as variâncias dos eixos principal e secundário, respectivamente, em cm^2/s^2 , e a razão entre estes dois eixos (adimensional). 103

Tabela 4.8: Séries temporais subdivididas sazonalmente para cálculo de correlação cruzada com o vento. As colunas representam, da esquerda para direita, a estação do ano, a data de início da série subdividida, a de fim, o comprimento final da série subdividida, e o respectivo período de amostragem. 105

Tabela 4.9: Máximos e mínimos de correlação cruzada entre as componentes normal (U) e paralela (V) das correntes superficiais e dos ventos (U_w e V_w , respectivamente), durante os períodos de amostragem (última coluna) subdivididos para cada estação do ano (primeira coluna). Valores negativo dos *lags* (em horas) indicam que os ventos lideram as correntes. Apenas os máximos e mínimos maiores, em módulo, ou iguais a 0,5 e com 95% de confiança estão apresentados. Valores com *lags* superiores a 48 h foram eliminados. 106

Tabela 4.10: Máximos e mínimos de correlação cruzada entre as componentes normal (U) e paralela (V) das correntes superficiais e a temperatura junto ao fundo, durante os períodos de amostragem (última coluna) subdivididos para cada estação do ano (primeira coluna). Valores positivos dos *lags* indicam que as correntes lideram as variações da temperatura. Apenas os máximos, em módulo, maiores ou iguais a 0,5 e com 95% de confiança estão descritos. 109

Tabela 4.11: Amplitude das componentes M_2 e O_1 , e seu erro associado, para a temperatura da água (em $^{\circ}\text{C}$) próxima ao fundo, durante todos os períodos de amostragem. 112

Tabela 5.1: Resumo da análise dos eixos de máxima variância para os ventos superficiais, durante as quatro estações do ano. θ_{max} representa a direção do eixo de máxima variância (em graus, relativo ao norte geográfico, e aumentando em sentido horário), V_{max} e U_{max} as

variâncias dos eixos principal e secundário, respectivamente, em m^2/s^2 , e a razão entre estes dois eixos (adimensional).	119
Tabela 5.2: Velocidades máximas (V_{max} , em m/s) já observadas para a Corrente do Brasil, em latitudes variando $\pm 5^\circ$ da latitude média do fundeio ($23^\circ 20' \text{S}$). Destacam-se, em negrito, as observações realizadas mais próximas à posição do fundeio. Adaptado de Silveira et al. (2000).	121
Tabela 5.3: Importância relativa (em porcentagem) das principais componentes de maré semi-diurna (M_2) e diurna (O_1) nas intensidades médias das correntes totais, separadas para cada estação do ano, nos níveis superficial, intermediário e próximo ao fundo. Abaixo de cada estação e nível, são descritos o percentual que representa o desvio padrão das mesmas correntes, para as médias.	126
Tabela 5.4: Importância relativa (em porcentagem) das principais componentes de maré semi-diurna (M_2) e diurna (O_1) nas correntes totais, separadas para cada estação do ano, nos níveis superficial, intermediário e próximo ao fundo.	127

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por todo o suporte que sempre me deram ao longo da minha vida, e no decorrer deste intenso período de estudos. Agradeço à minha esposa pelo apoio, compreensão e dedicação a mim prestada, mesmo nos momentos mais difíceis. Agradeço aos meus irmãos por todo apoio, suporte e prontidão a qualquer hora, dia ou fuso-horário. Amo todos vocês.

Agradeço ao meu professor e orientador Prof. Dr. Belmiro Mendes de Castro Filho, por todo conhecimento transmitido ao longo de todo este Mestrado, durante as aulas, e agora na construção de toda a Dissertação. Agradeço muito aos meus parceiros da HidroMares Dra. Adriene, que teve papel muito importante neste trabalho, Gabriel, amigo de toda hora, e ao mais novo colega Eduardo.

Agradeço aos Professores do IOUSP: Ison Silveira, Marcelo Dottori, Paulo Polito e Joseph Harari por todos ensinamentos passados no decorrer deste Mestrado, além de minha graduação. A todos os meus amigos e colegas do IOUSP, que me acompanharam na graduação ou no Mestrado. Em especial à Turma V, e aos amigos da IV e III.

Agradeço a minha filha Luisa: a maior motivação e alegria da minha vida. Te amo.

RESUMO

Analizamos aproximadamente três anos de dados correntográficos, em toda a coluna d'água, e de temperatura junto ao fundo, a fim de avaliar o comportamento hidrodinâmico e termal nas proximidades da Quebra da Plataforma Continental (QPC) de Cabo Frio (CF, Rio de Janeiro, Brasil - 23° 20'S). A Corrente do Brasil (CB) força movimentos apontando para sudoeste, paralelos à isóbata, em todos os níveis verticais, com variação sazonal das intensidades: médias máximas para o verão (58,7 cm/s) e primavera (41,4 cm/s) e mínimas para inverno (31,0 cm/s) e outono (22,8 cm/s). Foram obtidos máximos significativos de correlação entre as correntes paralelas à isóbata, em toda a coluna d'água, e o vento na mesma direção, com defasagem na resposta das correntes da ordem do período inercial local (31 h). Também foram obtidos máximos significativos de correlação entre as correntes de fundo normais à isóbata, e a componente paralela do vento, concordantes com mecanismos de intrusões de Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na plataforma continental, as quais antecedem a conhecida ressurgência costeira de CF. Sazonalmente, os resultados concordaram principalmente com as variações de posicionamento da frente da CB na QPC e, secundariamente, com a variabilidade dos ventos. Os dados de temperatura indicaram presença quase permanente da ACAS no fundo, e os máximos de correlação obtidos com as correntes paralelas à isóbata indicam que águas mais quentes, oriundas do núcleo da CB (Água Tropical), se aproximam do fundo da QPC, principalmente durante o verão. As correntes de maré se mostraram fracas em todo o período avaliado, com importância decrescendo da superfície para o fundo (20 e 10% da variância, respectivamente).

Palavras-chave: hidrodinâmica; quebra de plataforma continental; Cabo Frio; Corrente do Brasil; sazonalidade; vento local; correlação cruzada; observações.

ABSTRACT

Current data throughout the water column and temperatures at the bottom from about three years have been analyzed in order to evaluate the hydrodynamic and thermal behavior near the Cabo Frio (CF) continental shelf break (23° 20'S - Rio de Janeiro, Brazil). The Brazil Current (BC) forces movements pointing to SW, isobath-aligned, on all vertical levels. The speed varies seasonally, with surface mean currents maximum on summer (58.7 cm/s) and spring (41.4 cm/s), and minimum on winter (31.0 cm/s) and autumn (22.8 cm/s). Significant maximum correlation was found between subinertial winds and driven-wind currents, both isobath-aligned, with a delay next to the local inertial period (31 hours). Significant maximum correlation were also obtained between bottom cross-isobath currents and the isobath-aligned component of the wind, consistent with the South Atlantic Central Water (SACW) transport towards the continental shelf, which antedates the well-known coastal CF upwelling. Seasonally, the results agreed mainly with the positioning variations of the BC to the shelf break and, secondly, with the local winds variability. The temperature values below the 18°C (SACW thermohaline index) was almost permanent on the bottom of the shelf break, and the maximum correlation obtained with current along the isobath indicates that the warmer water of the BC nucleus (Tropical Water) approaches to the bottom of the shelf break, especially during the summer. Tidal currents were weak during the entire sampling period, decreasing the relative strength from the surface to the bottom (20% and 10% of the variance, respectively).

Keywords: hydrodynamic; continental shelf break; Cabo Frio; Brazil Current; seasonality; local winds; cross correlation; in situ data.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Características Gerais da Região de Estudo

A região de estudo está localizada na Quebra da Plataforma Continental (QPC) ao largo da cidade de Cabo Frio (CF), no estado do Rio de Janeiro, na latitude de 23° 20'S, na isóbata de 110 m.

Segundo a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM), a QPC é definida como a zona de transição entre a plataforma continental (PC), com gradientes topográficos suaves (de menos que 1:1000), e o talude continental, com declive acentuado (maior que 1:40), que se estende até o chamado sopé continental (Figura 1.1, DHN, 1995). A posição desta quebra varia de região para região e, segundo Fairbridge (1966), a profundidade média global é de 130 m. Shepard (1973) definiu o limite máximo de profundidade de 550 m.

Huthnance (1995) enumerou os principais processos físicos atuantes na QPC, sendo eles: as ondas confinadas na plataforma continental; as correntes de talude e de contorno oeste, além de suas relações com meandros, vórtices e instabilidades; o transporte de Ekman; as marés; tempestades; correntes inerciais; as frentes e as ondas internas.

Figura 1.1: Seção vertical de uma margem continental esquemática, no contexto fisiográfico, detalhando os compartimentos definidos pela Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, e comumente utilizados em oceanografia. Esquema adaptado de Palma (1984).

Além da transição fisiográfica comum a toda QPC, a de Cabo Frio está inserida na zona limítrofe entre duas importantes bacias sedimentares da margem sudeste do Brasil: a Bacia de Santos e a Bacia de Campos, com marcantes diferenças dinâmicas.

A Bacia de Santos, ao sul da área de estudo, se estende do Cabo de Santa Marta (28°40'S), em Santa Catarina, até o Alto do Cabo Frio (23°S). Possui direção média sudoeste-nordeste, cobrindo ainda a costa dos estados de São Paulo e Paraná. No interior da Bacia encontra-se a amplamente estudada Plataforma Continental Sudeste do Brasil (PCSE). A Figura 1.2 explicita a localização da PCSE na margem sudeste do Brasil, com largura máxima de cerca de 230 km ao largo da cidade de Santos (SP), e mínima de 50 km, ao largo de Cabo Frio (Zembruski, 1979). As profundidades da QPC variam entre 120 e 180 m.

Segundo classificação de Loder et al. (1998), a PCSE é uma “Plataforma Larga com Corrente de Contorno Oeste na Quebra da Plataforma Continental”. A hidrodinâmica de plataformas desse tipo é complexa devido à diversidade das forçantes. Ao largo, a corrente

de contorno oeste é a Corrente do Brasil (CB). Comparativamente com outras correntes de limite oeste a CB é rasa, sendo que aproximadamente metade de seu fluxo ocorre sobre a plataforma (Tomczak e Godfrey, 1994). Evans e Signorini (1985) obtiveram tais evidências para a PC de CF.

Segundo Castro (1996), dependendo da combinação entre a largura e a topografia da PC e a intensidade, direção e persistência da tensão de cisalhamento do vento, as correntes geradas pelos ventos podem ser as mais energéticas na PCSE.

Ao norte da Bacia de Santos, encontra-se a Bacia de Campos, sendo sua plataforma chamada de Plataforma Continental da Bacia de Campos (PCBC). Também é limitada latitudinalmente pelo Alto de Cabo Frio, ao sul, e pelo Alto de Vitória (20,5°S) ao norte, cobrindo a costa norte do Estado do Rio de Janeiro e a sul do Estado de Espírito Santo (Figura 1.2). Diferentemente da PCSE, tem largura mais homogênea, com média de 100 km, máxima de 118 km, ao largo da cidade de Macaé (RJ) e mínima de 85 km, em frente a Cabo Frio (RJ) (Brehme, 1984). Suas profundidades de quebra variam entre 80 m (porção norte) e 130 m na parte sul (Silveira, 2007), nas proximidades de CF. Tal qual a PCSE, a quebra tem orientação quase paralela à linha de costa, sendo em geral SW-NE.

Figura 1.2: Mapa de localização da região de estudo limitado ao norte pelo extremo norte da Plataforma Continental da Bacia de Campos e ao sul, pelo limite sul da Plataforma Continental Sudeste, inseridas na margem continental sul-sudeste do Brasil. Em vermelho destaca-se a estação de coleta de dados, ao largo de Cabo Frio. As isóbatas de 20, 100, 200, 500, 1000 e 3000 m também foram desenhadas em preto. Os valores de profundidade foram extraídos do banco global ETOPO1 (Amante e Eakins, 2011).

Além dos limites geográficos e fisiográficos, segundo Rocha et al. (1975), a PC de CF delimita a transição entre o ambiente tropical (ao norte) e o subtropical (ao sul). Esta transição é apontada por diversos autores como a causa da diferença entre a dinâmica sedimentar de ambas regiões (Mahiques et al., 2004).

Segundo Castro et al. (submetido) assim como para a PCSE, a tensão do cisalhamento do vento pode gerar as correntes mais energéticas da PCBC. Estas correntes

são, em geral, paralelas às isóbatas para manter o balanço geostrófico na direção normal à topografia.

1.2 Propriedades termohalinas

1.2.1 Caracterização geral

Da mesma forma que em praticamente toda a PC brasileira, sobre a PC de CF a estrutura termohalina é definida pela mistura de três massas de água: a Água Costeira (AC), que ocupa a franja costeira, apresentando tipicamente baixas salinidades devido às descargas estuarinas, a Água Tropical (AT), caracterizada pela alta salinidade (usualmente $S > 36$), e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), cuja presença é indicada por baixas temperaturas (usualmente $T < 18^{\circ}\text{C}$), conforme Castro e Miranda (1998).

AT e ACAS, de origem oceânica, são transportadas pela CB e situam-se quase permanentemente na parte mais externa da PC, em continuidade à estrutura existente no talude continental (Emilsson, 1961; Miranda, 1982). Enquanto a AT localiza-se na parte superior da coluna d'água, dentro da plataforma externa, e é delimitada pela Frente Halina Superficial, a ACAS localiza-se na parte inferior da coluna d'água, sendo delimitada pela Frente Térmica Profunda (Castro, 1996).

1.2.2 Intrusões e afloramentos da Água Central do Atlântico Sul

Devido à pequena largura da PC de CF, águas carreadas pela CB invadem a plataforma (Castro e Miranda, 1998; Amor, 2004; Foloni Neto, 2010), causando variações termohalinas de grande importância na dinâmica local. Devido à variabilidade das intrusões de águas oceânicas em direção à costa (AT e ACAS), e à extensão e características da AC (particularmente a baixa salinidade), a PC apresenta maiores ou menores volumes de cada uma destas três massas de água. Tais variabilidades definem o formato das superfícies isotérmicas, isohalinas e, conseqüentemente, isopicnais, nos diversos níveis verticais (Castro et al., submetido). As intrusões de ACAS se caracterizam como processo de maior

importância para o enriquecimento de nutrientes na costa entre as latitudes de 20°S e 30°S da margem brasileira (Lohrenz e Castro, 2006).

Desde o trabalho clássico de Böhnecke (1936) foram evidenciadas na costa de CF, no verão, águas com mínimos de temperatura superficial ($<23^{\circ}\text{C}$) e salinidades menores que 36,5, sugerindo influência, na costa, de águas de camadas mais profundas e advindas de regiões oceânicas (ACAS). Do estudo pioneiro de Allard (1955), sabe-se que a presença perene do vento de NE é o fator que cria uma predominância destes mínimos, anormais para a latitude local. Tal presença é interrompida pela passagem de sistemas meteorológicos frontais, os quais invertem o vento para SW, S e sudeste (SE), como amplamente investigado por Allard (1955), Silva (1977), Gonzalez-Rodrigues et al. (1992) e Dourado (1994), tendo por conseguinte variabilidade sazonal (Ikeda et al., 1974; Miranda, 1982 e Tanaka, 1986). Mais recentemente, Franchito et al. (2008), através de análises de longas séries da temperatura superficial e de vento confirmou os estudos anteriores, constatando que não há ressurgência costeira em Cabo Frio caso não exista a presença de ventos de E-NE soprando por períodos de vários dias, reafirmando o caráter intermitente do processo.

Apesar do demonstrado por Franchito et al. (2008), o afloramento em Cabo Frio deve ser precedido pelas intrusões das águas oceânicas desde a região do talude. Para tal, Calado et al. (2010) mostraram a importância que as instabilidades de meso escala podem ter no processo de ressurgência costeira, diminuindo o trabalho que a tensão de cisalhamento do vento precisa realizar para o fenômeno ser observado. Por outro lado, Amor (2004) comprovou que a presença de estrutura vorticais ciclônicas da CB que se estendem até o fundo nas proximidades da isóbata de 200 m (evidenciadas por Signorini, 1978) podem dificultar tais intrusões.

Amor (2004) realizou extenso estudo climatológico das propriedades termohalinas para a região compreendida entre a Ilha de São Sebastião, ao sul da região de estudo (24°S) e o Cabo de São Tomé, gerando mapas em vários níveis verticais e seções verticais normais à direção da costa, ao longo de toda plataforma continental. Tais distribuições englobam a região de interesse e destaca aqui a variabilidade sazonal e as evidências de afloramento superficial da ACAS próximo à costa (Figura 1.3 e Figura 1.4).

Figura 1.3: Distribuição climatológica de temperatura na superfície (esquerda), 50 m de profundidade (meio) e fundo (direita), durante o verão (painéis superiores) e inverno (painéis inferiores), na plataforma continental da margem sudeste do Brasil, elaborada por Amor (2004). As temperaturas estão simbolizadas pelas cores, com isotermas sobrepostas em preto, desenhadas de 1 em 1°C. As linhas tracejadas representam as isóbatas de 50, 100, 200, 500 e 1.000 m.

Figura 1.4: Seções verticais de temperatura na plataforma continental de Cabo Frio, elaboradas por Amor (2004). Rad. 10 (11) simbolizam radiais imediatamente ao sul (norte) de Cabo Frio. Os painéis superiores (inferiores) indicam a distribuição no verão (inverno). As temperaturas estão simbolizadas pelas cores, com isotermas sobrepostas em preto, traçadas de em intervalo de 1°C.

Durante ambas estações do ano, as temperaturas próximas à costa de CF são menores quando comparadas do que aquelas obtidas ao largo, próximo à superfície, com isotermas aproximadamente paralelas à costa. O gradiente térmico horizontal na direção perpendicular à costa intensifica-se a partir da costa no nível de 50 m, enquanto, próximo ao fundo, sua distribuição é comparativamente mais homogênea. Tal fato comprova a trajetória

e conexão das águas oceânicas (ACAS), partindo pelo fundo desde o talude e QPC, até aflorar na região costeira, resultando no processo de ressurgência.

Os mapas evidenciam ainda que durante o inverno a intrusão da ACAS em direção à costa é menor que durante o verão. Tal variabilidade sazonal havia já sido discutida anteriormente por Miranda (1982) e Matsuura (1985). Devido à ausência de rios importantes na região de CF, Amor(2004) e Foloni Neto (2010) encontraram baixos percentuais de AC na região.

Carreada pela CB, a presença de AT na plataforma de CF também apresenta, por conseguinte, variação sazonal. Foloni Neto (2010), através de dados provenientes de perfis hidrográficos realizados durante verão e inverno em 2009 na região, construiu seções verticais perpendiculares à costa (Figura 1.5). Os percentuais de ACAS (AT) foram calculados através de índices termohalinos definidos por Maamaatuaiahutapu et al. (1994) e Tomczak (1999) (Mémery et al. 2000; Rezende et al. 2007; Silveira, 2007). Os percentuais de AC seguiram os índices encontrados por Amor (2004) e Castro et al. (2006). Aqui vale mencionar que os cruzeiros hidrográficos analisados por Foloni Neto (2010) não coincidiram com ocorrência de ressurgência costeira em CF, apesar das evidências de intrusões da ACAS no fundo da PC.

Figura 1.5: Seções verticais dos percentuais de Água Costeira (AC), Água Tropical (AT) e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) sobre a Plataforma Continental de Cabo Frio, na Bacia de Campos, Rio de Janeiro. Os eixos das abcissas representam a distância, em km, em relação à isóbata de 30 m, e o das ordenadas a profundidade em metros. Os percentuais são apresentados em cores, conforme escala na parte direita da figura. Painéis superiores (inferiores) indicam os resultados para o verão (inverno) de 2009. Extraído de Foloni Neto (2010).

Observa-se (Figura 1.5) que durante o verão a AT avançou na PC, principalmente nos níveis superiores da coluna d'água, até cerca de 40 km da costa. Tal avanço ocasiona, nas proximidades do fundo, quase a interceptação do núcleo de AT com o fundo. Durante o inverno a AT recuou para as proximidades do talude, resultando na dominância volumétrica de ACAS inclusive na QPC. Os níveis superiores da coluna d'água durante o inverno foram dominados pela mistura das três principais massas d'água. Pontualmente, Amor (2004) também observou, nos dados de inverno, a intersecção do núcleo sub superficial de salinidade máxima, típico de AT, com o fundo da PC de CF. Tais fenômenos, além de comprovarem a

variabilidade sazonal, conforme descrito desde Paviglione e Miranda (1985), e dos ventos conforme sugerido por Calado (2006) e Silveira (2007), dentre outros.

Por fim, tais fenômenos corroboram com a generalização da subdivisão sugerida por Castro (1996) para os compartimentos da PCSE, para a PC de CF, sendo constatada uma existência bem delimitada da PCI, PCM e PCE.

1.3 Características hidrodinâmicas

Conforme descrito, a QPC adjacente a Cabo Frio está localizada em uma posição limítrofe para várias características geomorfológicas e dinâmicas. São elas:

- i. Zona de transição da PC e do talude continental;
- ii. Limite latitudinal entre as Bacias de Santos (ao sul) e de Campos (ao norte);
- iii. Quebra de orientação da costa e do gradiente topográfico, e;
- iv. Limite entre região tropical (ao norte) e subtropical (ao sul).

Tais características influenciam aspectos variados na hidrodinâmica, tais como estrutura vertical, intensidade e direção das correntes.

1.3.1 Corrente do Brasil

No talude continental a circulação é dominada pelo Sistema Corrente do Brasil-Corrente de Contorno Intermediária (CB-CCI), a qual é formada pela CB, pela Corrente de Contorno Intermediária (CCI) e pela interação entre estas duas correntes (Silveira et al. 2004).

Mascarenhas et al. (1971) observaram estruturas vorticais na região ao largo de Cabo Frio, tanto ciclônicas quanto anticiclônicas, atentando-se para um padrão como o de um trem de ondas de vorticidade, o qual resulta em meandramentos da CB fluindo para sul.

Campos et al. (1995) atribuíram os meandramentos da CB à mudança de orientação das isóbatas. Por inércia, a CB, que flui do norte ao longo da QPC, é impulsionada até coordenadas de maiores profundidades na região de inflexão abrupta da linha da QPC ao largo de CF. Por consequência as colunas de água advectadas pela CB sofrem estiramentos

verticais e meandrando já na Bacia de Santos. A partir de análises da temperatura superficial do mar, pode-se rastrear a CB, evidenciando o mecanismo proposto pelos autores (Figura 1.6). Estas ondas possuem comprimento de onda de 220 a 300 km. Elas se propagam com baixa velocidade de fase, com comportamento quase-estacionário (Silveira et al., 2004).

Figura 1.6: Mapa da temperatura superficial obtida por imagem de satélite na margem sudeste do Brasil, destacando a presença dos meandramentos da CB na quebra da plataforma continental, fluindo para a Bacia de Santos, ao sul de Cabo Frio. Extraído de Campos et al. (1995).

O Sistema CB-CCI, que faz parte do Giro Subtropical do Atlântico Sul, próximo à região de CF desenvolve intensa atividade de meso-escala, incluindo grandes perturbações no fluxo dominante (Silveira et al., 2004). Ambas correntes desse sistema formam a parte oeste do giro (Figura 1.7). A CB é rasa, com águas de altas temperaturas e salinidades e flui paralela à costa do Brasil entre as latitudes de 20°S e 28°S, tendo a AT na camada de mistura e ACAS na picnoclina (Silveira et al., 2001). A partir de perfis de temperatura e salinidade, com base na teoria geostrófica, diversos autores inferiram que o transporte da CB varia entre 5 e 13 Sv, dependendo da latitude (Garfield, 1990; Campos et al., 1995 e Silveira et al., 2001).

Abaixo de 500 m a direção do fluxo é inversa (para N-NE), associada à CCI, que transporta Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Circumpolar Superior (ACS) (Boebel et al., 1999).

Figura 1.7: Correntes baroclínicas modeladas (m/s, painel B) em seção que se estende ao largo de Cabo Frio (RJ, painel A). Valores negativos (positivos) indicam velocidades que fluem para sudoeste (nordeste). Extraído de Silveira et al. (2004).

Paviglione e Miranda (1985) caracterizaram o comportamento sazonal da CB na região, calculando correntes geostróficas através da aplicação do método proposto por Montgomery (1937) em dados de cruzeiros hidrográficos realizados no ano de 1971. Os autores observaram variabilidade da posição do núcleo da CB, estando mais próximo (distante) da QPC durante o verão (inverno) (Figura 1.8). Outra observação que merece ser destacada é a de não continuidade de fluxo entre as seções paralelas, evidenciando a ocorrência dos meandros e vórtices na região.

Figura 1.8: Transporte de volume por unidade de largura das seções (m^2/s), calculados para seções transversais à direção da plataforma e quebra da plataforma continental de Cabo Frio, para os períodos de janeiro (painel superior) e julho (painel inferior) de 1971. Extraído de Paviglione e Miranda (1985).

1.3.2 Ventos médios e sinóticos

Durante os períodos de afastamento da CB da QPC, nas partes mais internas da PC, as correntes são principalmente forçadas pela ação dos ventos sinóticos e, em menor escala, pela propagação de ondas de maré (Castro, 1996; Castro e Miranda, 1998; Castelão et al., 2004). Mais recentemente, Palma et al. (2008) e Castro et al. (submetido), confirmaram que a tensão de cisalhamento do vento sazonal é a forçante que domina as correntes sazonais médias na PCSE.

Os ventos dominantes fazem parte da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Este giro anticiclônico traz ventos de SE-NE para a região entre as latitudes 15°S e 25°S, com intensidades médias de 4 m/s (Stech e Lorenzetti, 1992). A posição e a intensidade da ASAS varia sazonalmente, afetando diretamente os ventos médios. Durante o verão, os ventos médios sopram preferencialmente de nordeste, enquanto durante o inverno, há uma tendência para os ventos médios virem de leste (Figura 1.9). As intensidades decaem, de maneira geral, com o aumento da latitude, em todas as estações do ano. Na região da PC de Cabo Frio, a média climatológica calculada apresenta maiores intensidades, em ordem decrescente, durante o verão, primavera, inverno e, por último, outono.

Figura 1.9: Ventos médios sazonais obtidos através do NCEP/DOE Reanalysis (Kanamitsu et al., 2002) sobre a região sudeste do Atlântico Sul, para as quatro estações do ano. As intensidades (em m/s) são representadas pelas cores e a direção, para onde o vento sopra, pelos vetores. O tamanho dos vetores também está associado às intensidades dos ventos. Verão (superior esquerda), outono (superior direita), inverno (inferior esquerda) e primavera (inferior direita).

Ventos soprando de sul são geralmente associados com a passagem de sistemas meteorológicos frontais, ou frentes frias, atuantes na escala sinótica atmosférica. As frentes frias são formadas ao sul da PCSE (Satyamurty e Mattos, 1989) e viajam em direção ao norte, com trajetória alinhada principalmente ao eixo SW-NE (Rodrigues et al., 2004). Stech (1989) desenvolveu um modelo conceitual de frente fria que afeta a circulação costeira da região sudeste do Brasil. O vento no setor quente da frente tem velocidade média de 5 m/s e gira de NE para NW com a aproximação da frente. No setor frio o vento tem velocidade média de 8 m/s, girando de SW para NE depois de aproximadamente um dia da passagem da frente, a

qual se desloca aproximadamente 500 km por dia. Tal modelo pode ser observado na Figura 1.10.

Figura 1.10: Modelo conceitual de uma frente fria na plataforma sudeste do Brasil, avançando na direção SW-NE, desenvolvido por Stech (1989). Os vetores indicam a direção e intensidade das correntes (escala de 5 m/s no canto superior esquerdo). Extraído de Stech e Lorenzetti (1992).

As frentes frias atingem a latitude de 20°S com baixa energia, onde começam, de maneira geral, a se dissipar. No entanto (Kousky, 1979) verificou que podem alcançar, durante o inverno, menores latitudes. Segundo Ochipinti (1963) e Castro (1996), as frentes frias são as principais perturbações que assolam a costa sudeste do Brasil, na escala sinótica. Suas ocorrências também apresentam variabilidade sazonal, com máxima ocorrência no inverno e primeiros meses da primavera e mínima durante o verão (Oliveira, 1986).

A resposta hidrodinâmica (correntes) à tensão de cisalhamento do vento tem sido alvo de diversos estudos na região da CF, devido principalmente aos trabalhos conduzidos

para investigar o processo ressurgência costeira. Pouco mais ao largo da PCI de CF, podemos destacar as investigações observacionais de Rahy (2006) e Santos (2009) e numéricas de Castro (1985), Stech (1989), Lorenzzetti e Tanaka (1990), Rezende (2003) e Coelho (2008).

Castro (1985) avaliou, através de modelo matemático numérico, as respostas das correntes na PCSE durante a passagem de uma frente fria no inverno. As correntes responderam barotropicamente, com energia confinada principalmente entre a costa e 70-120 km de distância. As correntes responderam ao vento impulsivo em cerca de 30 h na região de CF, culminando em um balanço friccional, na direção paralela à costa (entre tensão de cisalhamento de vento e atrito de fundo), e geostrófico na direção perpendicular.

Através de experimentos matemático-numéricos barotrópicos, conduzidos para o inverno, Stech (1989) avaliou a resposta das correntes na PCSE ao vento, observando uma tendência das correntes fluírem paralelamente à costa e às isóbatas, com intensidade média de 7 cm/s. Quando da passagem de frentes frias, destaca-se a formação de vórtices transientes (ou temporários) a leste de CF.

Lorenzzetti e Tanaka (1990), através de experimentos de modelo matemático-numérico, observaram variações na estrutura de correntes na PC de Cabo Frio durante a passagem de frentes frias, possivelmente afetando o padrão básico para ocorrência da ressurgência costeira.

Rezende (2003) simulou, através de modelo matemático-numérico, para toda PCSE, a resposta das correntes à ação dos ventos médios de E-NE durante o verão. Na PC os ventos médios forçam correntes que fluem para SW (Figura 1.11A), com baixo cisalhamento vertical. O autor também realizou experimentos para investigar a resposta das correntes durante a passagem de frentes frias (ventos de W, SW e S). Principalmente na PCI e na PCM o giro dos ventos é capaz de inverter as correntes, que fluem então para E-NE (Figura 1.11B) mantendo a estrutura barotrópica. Na PCE e QPC as correntes permanecem fluindo majoritariamente para SW, todavia com menores intensidades.

Figura 1.11: Correntes superficiais, obtidas por simulações numéricas, forçadas pelos ventos médios de verão (A) e pela passagem de uma frente fria (B), sobre a plataforma continental sudeste do Brasil. A isóbata de 200 m (aproximadamente a quebra da plataforma continental) está representada pela linha azul. Extraído de Rezende (2003).

Rahy (2006) utilizou dados provenientes de fundeios na PCI, PCM e PCE de CF (em seção quase norte-sul, na região ao sul da PCBC) para avaliar a resposta das correntes aos ventos da região. Nos dois primeiros compartimentos mais costeiros a componente

paralela à costa apresentou significativa concordância com o vento, ao contrário da PCE. Nas proximidades da QPC, a avaliação das correntes evidenciou alta influência da CB, com predominância de fluxos na direção SW. A componente paralela à costa na PCE apresentou comportamento baroclínico, com pelo menos dois modos dinâmicos significativos, evidenciados por inversão das correntes nos níveis mais profundos.

Santos (2009), através de dados obtidos por correntógrafos e perfiladores acústicos nas isóbatas de 50, 100 e 200 m, observou, tal qual Rahy (2006), baixa correlação e coerência entre as correntes e a tensão do cisalhamento do vento local, no entanto para todos os compartimentos da PC. Tais observações são contrárias às coletadas na parte mais central da PCSE (Kvinge, 1967; Fontes, 1995 e Castro, 1996) e indicam a possibilidade de forçantes remotas à CF.

1.3.3 Forçantes remotas

Castro (1985) e Castro e Lee (1995) analisaram as oscilações subinerciais observadas em estações maregráficas e meteorológicas costeiras, concluindo que a PCSE atua como um guia de ondas para Ondas de Plataforma Continental (OPC), propostas por Robinson (1964) e desenvolvida posteriormente por Gill e Schumann (1974). As OPC são responsáveis pela variabilidade submaregráfica do nível do mar em $O(0,1 \text{ m})$ e das correntes em $O(0,01 \text{ m/s})$.

Stech e Lorenzzetti (1992) também observaram, em resultados de experimentos numéricos, que a resposta das correntes subinerciais quando da passagem de frentes frias se assemelharam às perturbações típicas de OPC

Rahy (2006) analisando dados correntográficos coletados na PCI, simultaneamente ao largo de Ubatuba e de Cabo Frio, verificou oscilações coerentes entre as regiões, com período de cerca de 5 dias. Tais oscilações se propagavam de sul para norte, deixando a costa à esquerda, assemelhando-se à propagação de OPC.

Mais recentemente Dottori e Castro (2009) obtiveram resultados semelhantes aos de Castro e Lee (1995) para a plataforma adjacente ao estado de São Paulo. Através de observações e modelagem, a porção mais interna da PC é essencialmente barotrópica e

configura estrutura espacial similar à esperada quando da presença de ondas costeiras confinadas.

Conforme a revisão de Brink (1991), outros estudos elencaram algumas outras possíveis formas, que não a perturbação meteorológica, de se excitarem OPC, tais como: descargas estuarinas, correntes de contorno e cisalhamento lateral de correntes. No entanto, a geração de OPC por vento transiente quase-paralelo à costa na PCSE tem sido observada tanto em dados de oscilação do nível do mar (Castro, 1985; Castro e Lee, 1995) quanto em dados de correntes (Rahy, 2006; Dottori e Castro, 2009) para a PCSE.

Tal fenômeno foi utilizado por Santos (2009) para justificar a baixa correlação e coerência das correntes observadas e o vento local na PC de Cabo Frio. Castro et al. (submetido) também obtiveram baixos valores de correlação entre correntes e ventos na mesma região, corroborando com a hipótese de que as OPCs propagam na PC de CF, tendo sido formadas em regiões remotas da PCSE (mais ao sul).

1.3.4 Marés

Na PC de CF a componente semi-diurna lunar (M_2) da maré é a dominante nas oscilações do nível do mar, seguida pelas componentes S_2 , O_1 e K_1 (FEMAR, 2000; Egbert e Erofeeva, 2002; Pereira e Castro, 2007). Segundo Pereira e Castro (2007), as componentes de maré M_2 e O_1 possuem amplitudes aproximadas de 0,3 m e 0,1 m, e fases, relativas ao meridiano de Greenwich dentro do intervalo de 164° - 170° e 126° - 127° , respectivamente (Figura 1.12).

Figura 1.12: Mapa da distribuição das amplitudes e fases, relativas ao meridiano de Greenwich, das componentes de maré: (A) M_2 e (B) O_1 , para a região adjacente a Cabo Frio, obtidas através de simulações numéricas. Extraído de Pereira e Castro (2007).

As correntes de maré são geralmente fracas, tendo intensidades de 10% em relação às impulsionadas pelos ventos na PCI. Ruffato (2011) observou, através de dados correntográficos, que a maré é do tipo mista, com rotação das elipses geralmente anti-horária, com predominância semi-diurna. O mesmo autor observou ainda energia significativa na componente M_3 . Embora pequenas, as correntes de maré podem ser importantes direção perpendicular à costa, devido à parte co-oscilante deste fenômeno na região de Cabo Frio (Castro e Miranda, 1998).

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como enfoque principal o estudo da hidrodinâmica na proximidade da QPC adjacente a CF, extremo limite norte da PCSE e sul da PCBC, situada em águas territoriais do Estado do Rio de Janeiro, através de observações coletadas *in situ*. Os principais aspectos que motivam o aprofundamento no estudo da hidrodinâmica local são:

- i. É uma das regiões com atrativo de investimentos no setor de óleo e gás do Brasil (Milani et al. 2001; Santos Silvestre e Tavares Dalcol, 2008), por apresentar campos que ainda hoje sofrem intensa exploração;
- ii. Diversos fenômenos oceanográficos, tanto na PC quanto no talude continental adjacentes, caracterizam a região como única em toda a margem sudeste do Brasil;
- iii. Apesar de apresentar evidente importância econômico-social, peculiares fenômenos oceanográficos e se situar em região de transição para diversos aspectos dinâmicos, os quais ocasionam alta complexidade, possui escassez de estudos hidrodinâmicos observacionais;
- iv. Por fim, depois de cerca de 30 anos, a definição dada por Paviglione e Miranda (1985) para a região como “caracteristicamente complexa” ainda representa uma motivação para seu estudo.

A hipótese deste trabalho é que nas proximidades da isóbata de 110 m, ao largo de Cabo Frio, as correntes são forçadas tanto pelo fluxo básico e pela variabilidade de mesoescala da Corrente do Brasil, quanto pelos ventos sazonal e sinótico e, ainda, pelas marés. Isso porque essa região fica no limite entre a parte externa da plataforma continental e o talude continental, sendo por isso mesmo influenciada pela dinâmica local e remota da plataforma continental das Bacias de Campos e de Santos e, também, pelos processos oceânicos associados à Corrente do Brasil.

Para comprovar a hipótese, o objetivo geral deste trabalho é estudar as observações correntográficas e de temperatura, obtidas ao largo de Cabo Frio, nas proximidades da isóbata

de 110 m, em diversas bandas temporais e a associar as variabilidades mais energéticas com as respectivas forçantes. Os objetivos específicos identificados são:

- i. descrever a evolução temporal, o comportamento médio e o mais frequente das correntes e da temperatura junto ao fundo durante o período observado;
- ii. verificar e quantificar a dependência linear das correntes à tensão de cisalhamento superficial do vento local e sua variabilidade sazonal;
- iii. verificar e quantificar a dependência linear da temperatura da água na camada de fundo às correntes em toda a coluna d'água e sua variabilidade sazonal;
- iv. relacionar a variabilidade sazonal no comportamento das correntes e da temperatura junto ao fundo à conhecida variabilidade da CB;
- v. avaliar e quantificar a resposta das correntes e da temperatura junto ao fundo às marés.

Na análise, serão utilizados dados correntográficos coletados continuamente durante aproximadamente 3 anos na região, pelo Laboratório de Hidrodinâmica Costeira (LHiCo), do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP), como parte do projeto *Peregrino Environmental Monitoring and Calcareous Algae Project* (PEMCA), financiado pela companhia *STATOIL* e objeto de convênio entre a empresa e o IOUSP.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O programa ambiental do PEMCA teve como um de seus objetivos observar as correntes nas proximidades do Campo Peregrino, de exploração de óleo pesado, na Bacia de Campos, região adjacente a Cabo Frio, durante um período maior do que 3 anos. O Campo Peregrino está situado nas proximidades da QPC, onde se localiza um extenso banco de algas calcárias.

O LHiCo, com o auxílio do Laboratório de Instrumentação Oceanográfica do IOUSP (LIO), estabeleceu um sistema de fundeio nas proximidades da isóbata de 110 m (Figura 3.1), com um perfilador acústico de correntes (ADP) instalado próximo ao leito oceânico, voltado para a superfície. Tal ADP, durante o levantamento, mediu a intensidade e direção das correntes ao longo de toda a coluna de água, além de dados de temperatura nas proximidades do fundo.

Figura 3.1: Localização geográfica do fundeio, na isóbata de 108 m (traçada em verde), ao largo de Cabo Frio. Em vermelho tracejado a direção média aproximada da isóbata (43°).

3.1 Levantamento

Ao todo, durante 3 anos de levantamento, foram realizados 4 cruzeiros oceanográficos, além do cruzeiro de instalação, para manutenção dos equipamentos e resgate dos dados. Os equipamentos foram fundeados nas proximidades da QPC local e, ao longo do período, foram necessárias algumas alterações de configuração e de equipamentos. As informações dos cruzeiros de instalação e manutenção do fundeio, bem como as coordenadas geográficas e profundidade medida pelo ADP, se encontram sumarizadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Informações referentes aos fundeios instalados e reinstalados durante o período de levantamento hidrodinâmico. As coordenadas (X e Y, relativas às fichas de bordo) estão descritas em metros, referenciadas em UTM na Zona 24K. As profundidades (Prof.), em metros, se referem aos níveis em que o ADP foi instalado.

Cruzeiro	Informações		X (m)	Y (m)	Prof.
Instalação	Período	07/10/2009 – 06/09/2010	271651	7417815	108 m
	ADP	SonTek 250 kHz			
Manutenção 1	Período	01/05/2010 – 05/06/2010	274199	7421750	104 m
	ADP	RDCP Aanderaa 600 kHz			
Manutenção 2	Período	25/01/2011 – 15/08/2011	273039	7421166	113 m
	ADP	ADCP Nortek 470 kHz			
Manutenção 3	Período	19/11/2011 – 26/04/2012	273251	7420948	114 m
	ADP	ADCP Nortek 470 kHz			
Manutenção 4	Período	02/07/2012 – 07/12/2012	273251	7420948	115 m
	ADP	ADCP Nortek 470 kHz			

O equipamento fundeado no primeiro cruzeiro (SonTek ADP 250 kHz S/N C380), foi configurado para realizar a medição das correntes em células verticais de 5 m, com intervalo de amostragem de 30 minutos, operando em modo *burst* (com 3 perfis por *burst*). Durante o cruzeiro Manutenção 1 foi apenas adicionado ao sistema de coleta outro ADP (RDCP 600 kHz, S/N 321) no fundo. Este equipamento, desenvolvido pela norueguesa Aanderaa Inc., possui grande versatilidade e teve como objetivo a perfilagem das correntes com alta resolução no fundo. No entanto o equipamento apresentou defeito durante o período de observação, e os dados foram descartados nesta análise.

Por fim, para os outros 3 períodos de coleta (Nortek ADCP 470 kHz S/N CNA 6091), as medições foram uniformizadas, com células verticais de 10 m, intervalo de amostragem de 10 minutos, sem modo *burst*.

Todos os ADPs possuíam sensor de temperatura acoplado, os quais coletaram dados com mesmo intervalo de amostragem, nas proximidades do fundo.

3.2 Conjunto de dados

Tendo em vista as configurações feitas nos ADPs, obtiveram-se 3 anos de dados de intensidade e direção das correntes ao longo da coluna de água e de temperatura junto ao fundo. Conforme descrito, houve intervalos com ausência de observações, além de um período onde o equipamento não funcionou corretamente.

Para complementar o conjunto de dados hidrodinâmicos, obtiveram-se dados de vento oriundos de reanálises globais, disponíveis *online* para *download*. O banco global escolhido foi o *NCEP/DOE II Reanalysis*, que possui malha espacial regular com espaçamento de 2,5° e resolução temporal de 6 horas (Kanamitsu et al., 2002).

A Figura 3.2 resume os períodos amostrados, bem como as profundidades de localização das células verticais dos ADPs.

Figura 3.2: Conjunto de dados amostrados válidos. As linhas pretas contínuas representam os dados de intensidade e direção das correntes, as linhas tracejadas vermelhas os de temperatura e a linha tracejada azul os dados de vento.

3.3 Edição dos dados

3.3.1 Processamento inicial e remoção de dados errôneos

Os ADPs possuem memória interna e são capazes de armazenar as séries temporais de diversos parâmetros, além dos dados correntográficos em si. Tais parâmetros auxiliam no tratamento de dados, checando a confiabilidade dos mesmos, para que resultados mais elaborados possam ser corretamente avaliados. Para o processamento de todo o conjunto de dados brutos, foram consultados, primeiramente, o manual técnico referente a cada equipamento (Sontek, 2000; Aanderaa, 2010). Além dos manuais, toda a checagem dos dados seguiu procedimentos e rotinas descritos em Emery e Thomson (2004) e NDBC (2009).

Após remoção dos períodos iniciais e finais das séries de corrente e temperatura, referentes às instalações e manutenções dos equipamentos, o primeiro passo foi transformar os valores de intensidade e direção das correntes para componentes zonal (direção oeste-leste, com valores positivos apontando para leste) e meridional (direção sul-norte, com valores positivos apontando para norte). A partir das séries escalares das duas componentes das correntes e de temperatura, iniciou-se o processamento básico de remoção de dados inválidos.

O primeiro passo foi avaliar os parâmetros indicadores de mau funcionamento do equipamento. São eles: baixa resposta acústica, atenuação vertical do sinal acústico não natural, inclinação do ADP e reflexão acústica do *side lobe* ou da superfície. Cada amostragem (célula vertical ou o intervalo de observação) que apresentava tais parâmetros fora do aceitável descrito em seu respectivo manual foi considerada inválida. Este processamento foi aplicado apenas para as componentes das correntes, sendo a medição de temperatura independente dos parâmetros de funcionamento listados.

Em seguida, foram feitas as remoções dos dados considerados errôneos (*spikes*). Tais dados foram avaliados conforme sua respectiva série temporal, definindo-se um intervalo aceitável, o qual foi calculado a partir do valor médio da série ± 3 vezes o desvio padrão da série, conforme Emery e Thomson (2004), garantindo dados dentro do nível de significância de 99%, assumindo a distribuição gaussiana natural das observações. Posteriormente, foi plotada cada série temporal e, visualmente, os dados foram avaliados caso existisse alguma anomalia aparente. De maneira geral este último processo descrito não resultou em remoção de dados.

A fim de garantir um tratamento padrão para todas as séries e, partindo-se da premissa de que os fenômenos de menor escala temporal local são maiores do que 6 h, além de fora do objeto de estudo, os dados foram sub amostrados a cada 1 h. Não foi feita a média a fim de se evitar atenuação dos picos de máximos e mínimos das séries.

Finalmente, após os tratamentos descritos e, conseguinte, remoção de algumas amostragens, as observações removidas (ou *gaps*) foram reinterpoladas. Stech (1989), realizando procedimento similar a dados das duas componentes (zonal e meridional) do vento

testou várias técnicas de interpolações polinomiais. O procedimento para avaliação foi feito através da introdução, artificial, de falhas às séries originais e posterior comparação entre a série original e a, artificialmente falha, interpolada. A interpolação linear foi a que apresentou os melhores resultados, sendo suposto pelo autor de que as interpolações de ordem mais altas não funcionaram adequadamente, devido ao grande conteúdo de altas frequências presentes nos dados. Desta maneira, os *gaps* com intervalos menores do que 6 h foram interpolados linearmente. Tal procedimento tem sido aplicado em processamento de dados correntográficos (Mazzini, 2009; Santos, 2009) e foi também realizado para as séries de temperatura.

Como há intervalos com ausência de dados por períodos maiores do que 6 h (Tabela 3.1 e Figura 3.2), inicialmente as séries interrompidas foram analisadas separadamente. As análises que não necessitavam de continuidade temporal, no entanto, puderam ser conduzidas com o conjunto completo de dados, ou até compartimentadas temporalmente, por exemplo pelas estações do ano.

Após estes passos básicos, às componentes da corrente foi aplicada a declinação magnética, visto que os equipamentos operam com bússola magnética. O ângulo para aplicação da declinação magnética local, respectivamente para cada período observado, foi extraído de <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/declination.shtml>.

Por fim, para dar prosseguimento às análises, as componentes zonal e meridional foram rotacionadas para se alinharem à isóbata local (Figura 3.1). Relativamente ao norte geográfico os vetores foram rotacionados 43° no sentido anti-horário, resultando nas componentes paralela à isóbata (v), com valores positivos apontando para NE e perpendicular à isóbata (u), com valores positivos apontando para SE. Tal procedimento calca-se na hipótese de que os fluxos, no local, têm tendência a seguir a direção principal das isóbatas devido ao condicionamento geostrófico em águas rasas.

3.3.2 Filtragem dos dados

O parâmetro de Coriolis local (f_θ), definido a partir da latitude do fundeio (θ) é:

$$f_0 = 2\Omega \sin \theta_0 \quad (3.1);$$

onde, Ω , a velocidade angular de rotação da Terra é dada por:

$$\Omega = 2\pi \frac{rad}{dia} = 0,73 \times 10^{-4} s^{-1} \quad (3.2).$$

A frequência inercial local, calculada a partir da latitude de 23° 20'S é de 0,78 ciclos por dia (cpd, período inercial de 30,6 h). A banda do espectro de frequências menores (maiores) que a inercial é chamada de sub- (supra-) inercial. Com base neste parâmetro, tanto as componentes da corrente, quanto do vento, além da série de temperatura, foram filtradas quando necessário, a fim de obtermos a parcela exclusivamente subinercial. Para isto, foi utilizado um filtro passa-baixa do tipo Lanczos Quadrático (Walters e Heston, 1982), com frequência (período) de corte de 0,6 cpd (40 h). Este filtro, com esta frequência de corte, além de preservar as frequências subinerciais da latitude local, é bastante eficiente na remoção do sinal de maré (Moreira, 1997).

3.3.3 Primeiros momentos estatísticos das correntes e ventos

Para as propriedades vetoriais (correntes e ventos) foram calculados os primeiros momentos estatísticos de cada componente. Para as correntes, em cm/s, as componentes são as referenciadas pela direção local da isóbata, enquanto que para o vento, em m/s, pelo norte geográfico. Os parâmetros estatísticos utilizados são: máximos, mínimos, média e desvio padrão em cm/s e m/s e variância, em cm²/s² e m²/s², para as correntes e ventos respectivamente.

A média (< >) calculada para cada componente (u e v) de cada conjunto de série, é a média aritmética, expressa por (exemplificada somente para u):

$$\langle u \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (u_i) \quad (3.3).$$

onde i é a i -ésima observação, variando de 1 a N , que é o número total de observações da série. A variância (Var) é calculada por:

$$Var_u = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (u_i - \langle u \rangle)^2 \quad (3.4),$$

sendo o desvio padrão calculado pela raiz quadrada positiva da mesma.

Foi calculada, também, para as séries vetoriais o ângulo de máxima variância ($\theta_{m\acute{a}x}$), além das variâncias em seus eixos principal ($Vmax$) e secundário ($Umax$), seguindo metodologia descrita em Emery e Thomson (2004).

A técnica consiste na busca do eixo onde as flutuações de velocidade observadas são maximizadas. Inicialmente foram removidas, para cada componente (zonal e meridional) das correntes ou ventos, a média da respectiva série.

$$u' = u - \langle u \rangle \text{ e } v' = v - \langle v \rangle \quad (3.5).$$

Em seguida, removeu-se qualquer tendência linear das séries, através do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), obtendo-se, inicialmente, os coeficientes angular e linear de uma reta, a qual é ajustada para a série observada, e em seguida subtraída. Tal método permite a obtenção dos coeficientes, minimizando a média dos erros ao quadrado (Emery e Thomson, 2004). Finalmente, a partir destas variáveis manipuladas, ângulo de máxima variância é expresso por:

$$\theta_{\max} = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{2\langle u' v' \rangle}{\langle u'^2 \rangle - \langle v'^2 \rangle} \right] \quad (3.6),$$

variando de -90° a $+90^\circ$. As variâncias principais (ou variância nos eixos principal e secundário, $V_{\max}$ e $U_{\max}$ respectivamente) são calculados a partir das mesmas variáveis manipuladas (u' e v'):

$$\left. \begin{matrix} V_{\max} \\ U_{\max} \end{matrix} \right\} = \frac{1}{2} \left\{ (\langle u'^2 \rangle + \langle v'^2 \rangle) \pm [(\langle u'^2 \rangle - \langle v'^2 \rangle) + 4(\langle u' v' \rangle^2)]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (3.7).$$

$V_{\max}$ representa a variância ao longo do eixo principal, de maior variância, com sentido de $\theta_{\max}$, enquanto $U_{\max}$, do eixo secundário, normal a $\theta_{\max}$, ambas em cm^2/s^2 .

3.3.4 Análises no domínio da frequência

A partir da filtragem das séries temporais para as bandas supra- e subinerciais, algumas análises requereram o cálculo do espectro de potência. Para tal, seguindo metodologia descrita em Frigo e Johnson (1998), foi utilizada a Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform – FFT*). Para o cálculo do espectro nas séries temporais que, por alguma razão, apresentaram buracos os quais não puderam ser interpolados, os dados faltantes foram preenchidos com a média da série.

Para obtenção do intervalo de confiança e verificação dos picos significativos de energia (ou potência), as séries, antes do procedimento de FFT, foram manipuladas seguindo metodologia de Welch: subdivisão em cinco séries, remoção individual da tendência linear de cada série e posterior cálculo da transformada. A média das cinco transformadas geram a linha de potência x frequência, e somando-se esta linha a 2 vezes o desvio padrão das cinco transformadas, tem-se o intervalo de confiança de 95%.

3.3.5 Correlação cruzada no domínio do tempo

Para medir o grau de dependência linear entre duas séries temporais distintas (u e v) (ventos, correntes, temperatura, etc.), foi aplicada às séries de tempo processadas e filtradas, a correlação cruzada com defasagem temporal (ou covariância cruzada).

Para cada defasagem (ou lag) obtém-se um índice de correlação linear entre as duas séries, sendo o lag relativo ao deslocamento temporal de uma série em relação a outra. O cálculo seguiu procedimentos descrito em Box et al. (1994).

Cada índice (C_{uv}), no respectivo lag τ é calculado pela expressão:

$$C_{uv}^{\tau} = \frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} (u_i - \langle u \rangle)(v_{i+k} - \langle v \rangle) \quad (3.8),$$

onde i corresponde à i -ésima observação da série u , k corresponde a k -ésima observação da série v , ambos variando de 1 a N , que é o número total de observações das séries.

3.3.6 Análise harmônica

A fim de avaliar a variabilidade das correntes e temperatura de fundo, na banda do espectro maregráfico, as séries temporais sofreram análise harmônica, discretizando os períodos das forçantes astronômicas já bem conhecidos, para obter as amplitudes e fases das principais componentes da maré. A metodologia seguiu procedimentos descritos em Pawlowicz et al. (2002), através do pacote de rotinas *t-tide*, atualizado em sua última versão 1.3 beta, disponível no website: http://www2.ocgy.ubc.ca/~rich/#T_Tide.

4 RESULTADOS

Nesta seção são descritos os resultados obtidos com a análise do conjunto de dados. A seção foi subdividida entre as três principais variáveis: correntes, ventos e temperatura de fundo, sendo descritas as condições médias e nas bandas sazonal e de maré, além da resposta das águas aos ventos sinóticos. As temperaturas de fundo são avaliadas a fim de se investigar a intrusão de ACAS durante o período observado.

4.1 Correntes médias

4.1.1 Período 1

A Tabela 4.1 apresenta os primeiros momentos estatísticos para as correntes coletadas entre 07/10/2009 e 06/09/2010. As velocidades médias perpendiculares à isóbata apontam majoritariamente para o largo em todos os níveis amostrados ($u > 0$), diminuindo em magnitude da superfície para o fundo. A menor estratificação vertical para esta componente é encontrada entre 48 e 98 m. A componente paralela à isóbata aponta, também em toda coluna de água, para SW ($v < 0$), com magnitudes maiores que a componente u em todos os níveis, diminuindo da superfície (aproximadamente 25,0 cm/s) até o fundo (6,5 cm/s). Assim, o fluxo médio aponta para o quadrante S-W em toda a coluna de água, acompanhando a direção da isóbata, com um pequeno desvio para o largo. A direção de máxima variância confirma a orientação da corrente principal paralela à isóbata, com média vertical de 37°, variando de 20,8° na superfície, girando em sentido horário até o fundo (63,2°).

Tabela 4.1: Primeiros momentos estatísticos dos dados de correntes nos níveis verticais medidos: mínimo (Mín) e máximo (Máx) da componente normal à isóbata (u , cm/s) e paralela à isóbata (v , cm/s), média (Méd, cm/s), desvio padrão (DP, cm/s) e variância (Var, cm/s), e direção de máxima variância (MVar, em graus relativos ao norte geográfico, aumentando no sentido horário). Período de amostragem 1.

Prof. (m)	Componente u					Componente v					MVar (°)
	Mín	Máx	Méd	DP	Var	Mín	Máx	Méd	DP	Var	
18	-57,81	68,00	10,20	16,87	284,65	-104,61	61,55	-24,31	27,43	752,59	20,83

23	-61,83	67,33	9,38	18,99	360,56	-130,55	63,03	-31,80	34,23	1171,79	26,29
28	-57,60	67,75	8,26	18,29	334,62	-125,40	65,80	-31,57	33,31	1109,45	26,35
33	-60,77	67,47	7,38	17,72	313,92	-126,43	62,71	-30,82	32,35	1046,27	26,74
38	-60,66	66,01	6,88	16,99	288,77	-121,98	61,60	-29,53	31,71	1005,22	27,47
43	-55,30	60,80	6,42	16,39	268,61	-120,06	65,88	-27,97	31,32	981,08	28,06
48	-54,08	61,35	6,06	15,98	255,46	-119,71	69,89	-26,23	31,12	968,52	28,81
53	-50,94	64,09	5,94	15,48	239,64	-120,44	70,20	-24,55	30,66	940,24	29,67
58	-45,47	63,74	5,76	14,91	222,41	-115,35	67,80	-22,56	30,50	930,31	30,85
63	-44,90	62,08	5,50	14,44	208,37	-114,31	70,80	-21,04	30,23	913,95	31,79
68	-43,81	60,65	5,29	14,02	196,54	-110,81	69,44	-19,56	29,78	886,67	33,14
73	-40,70	51,76	5,24	13,69	187,41	-108,71	72,55	-17,96	29,48	869,01	34,92
78	-42,11	50,80	5,30	13,42	180,04	-96,17	71,71	-16,16	29,19	852,31	37,56
83	-44,02	49,77	5,41	13,12	172,04	-92,26	71,18	-14,20	29,23	854,38	41,61
88	-39,66	49,19	5,47	12,96	167,93	-83,21	70,39	-12,55	28,89	834,64	45,97
93	-37,87	59,44	5,35	12,84	164,84	-81,29	67,03	-11,07	28,05	786,56	50,19
98	-36,89	56,59	5,23	12,93	167,24	-77,71	62,33	-9,67	26,57	705,94	54,75
103	-33,34	61,56	4,59	12,61	158,94	-69,25	59,79	-8,30	23,73	563,23	59,08
108	-37,65	48,49	3,34	11,63	135,26	-59,18	50,57	-6,57	19,68	387,48	63,18

A Figura 4.1 mostra um as correntes, plotadas a cada 3 h, declinadas para a direção da isóbata (43°). Nos primeiros cinco meses de coleta (outubro/2009 a fevereiro/2010) pode-se observar que as correntes fluíram majoritariamente na direção da isóbata, com intensidades que variaram de 40 a 80 cm/s na superfície e de 20 a 30 cm/s próximo ao fundo. Houve apenas um período de inversão marcante das correntes em toda a coluna d'água, no final de novembro/início de dezembro de 2009. As correntes giraram no sentido horário, por um período de aproximadamente 10 dias, resultando em correntes com sentido NE, também alinhadas à isóbata, com baixas intensidades (tipicamente 20 cm/s). Outras inversões podem

ser observadas no intervalo, porém somente nos níveis intermediários e mais profundos (maior que 50 m), com baixas intensidades.

A partir da segunda quinzena de março, até junho de 2010 a variabilidade direcional das correntes foi maior, variando de 3 a 5 inversões das correntes por mês, com predominância de baixas intensidades (ordem de 10 a 30 cm/s) e ausência de direção média predominante. As inversões foram majoritariamente em sentido anti-horário, resultando em correntes apontando para a direção NE. Tais inversões ocorreram em toda a coluna d'água, apresentando cisalhamento vertical das correntes menos frequente que no primeiro intervalo.

Nos últimos meses as correntes voltaram a apresentar comportamento semelhante ao primeiro semestre do período, com predominância na direção aproximada à isóbata e aumento da intensidade das correntes superficiais, gerando o cisalhamento vertical da grandeza. Este último intervalo apresentou cerca de 4 inversões do fluxo em toda a coluna d'água mais evidentes, portanto com maior frequência que os primeiros meses (1 inversão significativa). Estas inversões ocorreram em toda a coluna d'água e o cisalhamento vertical é menos evidente que no primeiro intervalo de dados.

De maneira geral as correntes se comportaram homogeneamente em toda a coluna d'água, principalmente sem cisalhamento vertical das direções. As intensidades tenderam a diminuir da superfície para o fundo, principalmente nos meses com poucas inversões e maiores intensidades (primeiros cinco meses de observação). O cisalhamento vertical foi menor nos períodos das inversões mais frequentes.

Figura 4.1: “Stickplot” das correntes amostradas durante o Período 1 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 3 h. A média vertical das séries é plotada em vermelho, na parte inferior do gráfico. A direção vertical aponta para 43°, na direção NE, (direção da isóbata). A escala pode ser vista no canto superior esquerdo do gráfico.

Os histogramas direcionais são apresentados na Figura 4.2 destacando as correntes próximas à superfície (18 m), a meia água (63 m) e próximo ao fundo (108 m), nos painéis: superior, central e inferior, respectivamente. No centro do gráfico é mostrado o vetor velocidade média. O gráfico confirmou a grande variância, mas as correntes médias apontaram para SW em todas as profundidades, com a intensidade diminuindo em direção ao fundo, de 26,4 cm/s até 7,4 cm/s, aproximadamente. Próximo ao fundo as correntes apresentaram-se polarizadas na direção paralela à isóbata, com maior número de observações apontando para SW.

Os diagramas vetoriais progressivos (Figura 4.3) confirmam a predominância do fluxo com direção NE-SW, nos três níveis destacados, além da diminuição da intensidade com o aumento da profundidade. Os pseudo-deslocamentos representados possuem variação

temporal evidente. Superficialmente, enquanto os 5 primeiros meses possuem pseudo-deslocamento em torno de 1.200 km/mês, os últimos 6 meses possuem média de 350 km/mês. O comportamento é similar para o nível intermediário, com menores valores absolutos (800 km/mês no primeiro intervalo e 300 km/mês no segundo). Para o fundo, o período inteiro possui pseudo-deslocamento médio de 220 km/mês.

Figura 4.2: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes observadas: próximo à superfície (18 m, painel superior), à meia água (63 m, painel central) e próximo

ao fundo (108 m, painel inferior). O vetor médio está indicado no centro de cada histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.

Figura 4.3: Diagrama vetorial progressivo das correntes, com escala em km, observadas: próximo à superfície (18 m, painel superior), à meia água (63 m, painel central) e próximo ao fundo (108 m, painel inferior). A linha tracejada indica a direção da isóbata. Note que o último painel possui escala diferente.

As correntes suprainerciais foram filtradas utilizando-se um filtro passa-baixa do tipo Lanczos Quadrático (Walters e Heston, 1982), com frequência de corte de 0,6 cpd (40 h), em ambas componentes, para se obter as séries temporais sub-inerciais. O procedimento de filtragem descrito na Seção 3.3.2 preservou de 80-95% da variabilidade da componente paralela à isóbata e 60-75% da perpendicular.

A Figura 4.4 mostra as correntes sub-inerciais, plotadas a cada 3 h. Comparadas com as correntes brutas (Figura 4.1) é evidente que as figuras são similares, reforçando que a principal variabilidade é devida a movimentos sub-inerciais. As frequentes inversões no fluxo em toda a coluna d'água se mantiveram, indicando que representam variabilidades com período maior que o inercial.

Os histogramas direcionais das correntes sub-inerciais calculadas podem ser vistos na Figura 4.5. Naturalmente há uma redução na variância em comparação aos dados brutos, mas o padrão de distribuição se mantém. Próximo à superfície e à meia água, a direção predominante segue estritamente a direção da isóbata, enquanto próximo ao fundo as correntes que apontam para NE são deslocadas para o largo em cerca de 20°.

Figura 4.4: “Stickplot” das correntes sub-inerciais, calculadas para o Período 1 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 3 h. A média vertical das séries é plotada em vermelho, na parte inferior do gráfico. A direção vertical aponta para 43°, na direção NE, (direção da isóbata). A escala pode ser vista no canto superior esquerdo do gráfico.

Figura 4.5: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes sub-inerciais calculadas: próximo à superfície (18 m, painel superior), à meia água (63 m, painel central)

e próximo ao fundo (108 m, painel inferior). O vetor médio está indicado no centro de cada histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.

A Figura 4.6 e a Figura 4.7 apresentam a densidade espectral para as correntes amostradas: próximas à superfície (18 m) e próximas ao fundo (108 m) para as bandas sub-inerciais e supra-inerciais, respectivamente. Principalmente para a componente paralela, a banda sub-inercial possui máximos locais em 0,25 cpd (4 dias) na superfície e 0,2 (5 dias), 0,3 (3,3 dias) e 0,5 cpd (2 dias) junto ao fundo.

Figura 4.6: Densidade espectral ($\text{cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$) das componentes normal (linha preta contínua) e paralela (linha cinza contínua) à isóbata, da banda sub-inercial nas profundidades de 18 m (painel superior) e 108 m (painel inferior). As linhas tracejadas, com suas respectivas cores,

indicam o intervalo de confiança de 95%. A frequência inercial pode ser vista por uma linha vertical em 0,6 cpd.

Para a banda supra-inercial (Figura 4.7), o nível de energia é similar para todas as profundidades, diminuindo discretamente para o fundo. Diversos máximos podem ser encontrados, com destaque para o mais proeminente centrado na escala semi-diurna (2 cpd).

Figura 4.7: Densidade espectral ($\text{cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$) das componentes normal (linha preta contínua) e paralela (linha cinza contínua) à isóbata da banda suprainercial nas profundidades de 18 m (painel superior) e 108 m (painel inferior). As linhas tracejadas, com suas respectivas cores, indicam o intervalo de confiança de 95%. A frequência inercial pode ser vista por uma linha vertical em 0,6 cpd.

4.1.2 Período 3

A Tabela 4.2 apresenta os primeiros momentos estatísticos para as correntes coletadas entre 26/01/2011 e 16/08/2011. As velocidades médias normais à isóbata possuem direção apontando para a costa em toda a coluna de água ($u < 0$), exceto próximo ao fundo (98

e 108 m). Sua magnitude decresce, em módulo, em direção ao fundo. A média da componente paralela à isóbata acompanhou a mesma assinatura, com os valores próximos ao fundo ($v > 0$) diferentes do restante da coluna de água ($v < 0$). Todavia, o fluxo permanece apontando para o quadrante S-W, acompanhando a direção da isóbata. A direção de máxima variância, no período, não acompanhou a direção média da isóbata, mas manteve-se no mesmo quadrante. Com amplitude de 30° , novamente girou, em sentido horário, de próximo à superfície (2^a célula, com $60,6^\circ$) até o fundo ($89,6^\circ$).

Tabela 4.2: Primeiros momentos estatísticos dos dados de correntes nos níveis verticais medidos: mínimo (Mín) e máximo (Máx) da componente normal à isóbata (u , cm/s) e paralela à isóbata (v , cm/s), média (Méd, cm/s), desvio padrão (DP, cm/s) e variância (Var, cm/s), e direção de máxima variância (MVar, em graus relativos ao norte geográfico, aumentando no sentido horário). Período de amostragem 3.

Prof. (m)	Componente u					Componente v					MVar (°)
	Mín	Máx	Méd	DP	Var	Mín	Máx	Méd	DP	Var	
18	-87,22	66,24	-16,42	23,85	568,67	-151,47	70,22	-42,24	39,65	1572,15	69,58
28	-56,67	57,66	-7,91	14,91	222,16	-105,67	55,80	-32,22	28,86	832,88	60,59
38	-53,70	48,54	-7,94	14,33	205,21	-105,37	52,25	-28,03	27,44	753,20	61,37
48	-53,79	43,71	-7,36	13,64	186,01	-107,65	57,32	-23,63	25,93	672,20	61,69
58	-46,62	39,77	-6,43	12,76	162,94	-97,81	52,62	-18,91	23,82	567,48	62,08
68	-43,17	44,25	-5,43	11,76	138,33	-84,03	51,27	-14,35	22,12	489,20	61,61
78	-43,39	47,43	-4,01	12,05	145,29	-83,73	56,98	-10,14	21,99	483,63	63,77
88	-43,27	52,23	-2,35	13,71	187,89	-71,68	64,16	-6,00	22,27	495,82	69,26
98	-38,14	61,34	0,33	17,09	292,22	-68,10	67,85	-1,76	21,78	474,50	78,79
108	-36,56	61,81	2,37	17,77	315,94	-57,42	53,74	1,67	16,96	287,52	89,61

A Figura 4.8 mostra as correntes, plotadas a cada 3 h. Como indicado pela análise estatística, o cisalhamento vertical é fraco, com intensidades diminuindo em direção ao fundo. Similarmente ao Período 1, janeiro e fevereiro de 2012 apresentam fluxo predominante com sentido SW, com apenas duas inversões marcantes, em fevereiro de 2012.

A intensidade das correntes aumentam da superfície para o fundo nos fluxos invertidos, com pequeno aumento da componente leste.

Durante os outros meses as inversões são intercaladas por períodos onde as correntes ganham intensidade na direção da isóbata (SW) e o cisalhamento vertical, principalmente direcional, novamente diminui. Salvo os meses de março e abril de 2012, tanto as inversões quanto os fluxos na direção da isóbata são homogêneos em toda a coluna d'água. Durante os mencionados meses, as correntes da camada intermediária até o fundo têm predominância da direção NE, com intensidades da ordem de 25 cm/s. As correntes superficiais tendem a se manter alinhadas à isóbata, com as maiores intensidades (tipicamente de 50 cm/s).

Resumidamente, as correntes de maior intensidade fluem para SW, mas em alguns períodos a direção varia consideravelmente, podendo inverter o fluxo, mas com intensidades relativamente baixas. O cisalhamento vertical é mais evidente nos períodos onde a intensidade das correntes enfraquecem em toda a coluna d'água.

A Figura 4.9 apresenta os histogramas direcionais das correntes brutas para o Período 3. Principalmente na superfície até os níveis intermediários a variância das correntes é baixa, e as velocidades médias fluem para SW, com maior intensidade próximo à superfície (35 cm/s). Para as correntes próximas ao fundo a direção predominante alinha-se no eixo W-E, com máximo no número de observações apontando para a costa. A velocidade média é de 3 cm/s. As correntes mais intensas observadas apontam para o largo, com um baixo número de ocorrências.

Os diagramas vetoriais progressivos (Figura 4.10) confirmam a direção preponderante observada para as correntes nos três níveis, evidenciando também que as correntes próximas ao fundo têm sentido contrário àquelas que estão próximas à superfície. O pseudo-deslocamento é de 1.000 km/mês para a superfície, decaindo em 33% para o nível intermediário.

Figura 4.8: “Stickplot” das correntes amostradas durante o Período 3 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 3 h. A média vertical das séries é plotada em vermelho, na parte inferior do gráfico. A direção vertical aponta para 43° , na direção NE, (direção da isóbata). A escala pode ser vista no canto superior esquerdo do gráfico.

Figura 4.9: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes observadas: próximo à superfície (28 m, painel superior), à meia água (58 m, painel central) e próximo

ao fundo (108 m, painel inferior). O vetor médio está indicado no centro de cada histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.

Figura 4.10: Diagrama vetorial progressivo das correntes, com escala em km, observadas: próximo à superfície (28 m, painel superior), à meia água (58 m, painel central) e próximo ao fundo (108 m, painel inferior). A linha tracejada indica a direção da isóbata. Note que o último painel possui escala diferente.

As análises estatísticas na banda sub-inercial neste período de amostragem demonstram, novamente, que a componente paralela à isóbata possui maior variabilidade (variando de 86-91% da variabilidade total) do que a componente normal (63-85%).

Observando as correntes na banda sub-inercial (Figura 4.11), fica evidente que as intensidades são próximas às das correntes totais, com predominância de movimentos apontando para o quadrante S-W, exceto em períodos onde a intensidade diminui e a direção inverte, principalmente junto ao fundo e nos níveis intermediários, durante os meses de março e abril. A permanência destas inversões das correntes, mesmo após os dados terem sido filtrados, indicam que a forçante que ocasiona as inversões possuem frequência menor que a inercial.

Comparando os histogramas direcionais para as correntes subinerciais (Figura 4.12) com os histogramas para as correntes totais (Figura 4.9), nota-se que a variância diminui com a filtragem, mas as intensidades permanecem similares.

Figura 4.11: “Stickplot” das correntes subinerciais, calculadas para o Período 3 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 3 h. A média vertical das séries é plotada em vermelho, na parte inferior do gráfico. A direção vertical aponta para 43°, na direção NE, (direção da isóbata). A escala pode ser vista no canto superior esquerdo do gráfico.

Figura 4.12: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes sub-inerciais calculadas: próximo à superfície (28 m, painel superior), à meia água (58 m, painel central)

e próxima ao fundo (108 m, painel inferior). O vetor médio está indicado no centro de cada histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.

As Figura 4.13 e Figura 4.14 apresentam a densidade espectral para as correntes amostradas: próxima à superfície (28 m) e próxima ao fundo (108 m) para as bandas sub-inercial e supra-inercial, respectivamente. Para o espectro das correntes próxima à superfície, a componente paralela possui maior energia em toda banda sub-inercial. Para as correntes próximas ao fundo, os espectros na banda sub-inercial para ambas as componentes são semelhantes. Além disso, não há picos de energia evidentes e, de maneira geral, a energia decresce da superfície para o fundo.

Figura 4.13: Densidade espectral ($\text{cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$) das componentes normal (linha preta contínua) e paralela (linha cinza contínua) à isóbata da banda sub-inercial nas profundidades de 28 m (painel superior) e 108 m (painel inferior). As linhas tracejadas, com suas respectivas

cores, indicam o intervalo de confiança de 95%. A frequência inercial pode ser vista por uma linha vertical em 0,6 cpd.

Para a banda supra-inercial (Figura 4.14), os níveis de energia são similares para todas as profundidades. Os picos semi-diurnos são destaque em toda a coluna de água, sendo maiores para a componente paralela na superfície ($5,0 \text{ cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$) do que para a componente normal na superfície e do que para ambas componentes junto ao fundo (ordem de $1,0 \text{ cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$).

Figura 4.14: Densidade espectral ($\text{cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$) das componentes normal (linha preta contínua) e paralela (linha cinza contínua) à isóbata da banda supra-inercial nas profundidades de 28 m (painel superior) e 108 m (painel inferior). As linhas tracejadas, com suas respectivas cores, indicam o intervalo de confiança de 95%. A frequência inercial pode ser vista por uma linha vertical em 0,6 cpd.

4.1.3 Período 4

A Tabela 4.3 apresenta os primeiros momentos estatísticos para as correntes coletadas entre 19/11/2011 e 26/04/2012. As intensidades médias normais à isóbata são pequenas ao longo de toda a coluna de água, com valores menores que 1,0 cm/s, exceto próximo à superfície onde alcança 4,0 cm/s. As intensidades médias da componente paralela à isóbata apontam para SW em todas as profundidades amostradas ($v < 0$), decaindo, em módulo, da superfície (61,3 cm/s) para o fundo (9,3 cm/s).

A distribuição vertical dos ângulos de máxima variância é semelhante aos outros períodos. Este ângulo é de $57,7^\circ$ na superfície; $46,6^\circ$ à 59 m e $70,5^\circ$ junto ao fundo. Apesar da predominância do fluxo para SW, a variância da componente paralela à isóbata é alta em toda a coluna d'água: $1157,7 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ na superfície e $305,5 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ junto ao fundo, quando comparada à componente normal à isóbata: $340,0 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ (superfície) e $161,7 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ (junto ao fundo).

Tabela 4.3: Primeiros momentos estatísticos dos dados de correntes nos níveis verticais medidos: mínimo (Mín) e máximo (Máx) da componente normal à isóbata (u, cm/s) e paralela à isóbata (v, cm/s), média (Méd, cm/s), desvio padrão (DP, cm/s) e variância (Var, cm/s), e direção de máxima variância (MVar, em graus relativos ao norte geográfico, aumentando no sentido horário). Período de amostragem 4.

Prof. (m)	Componente u					Componente v					MVar (°)
	Mín	Máx	Méd	DP	Var	Mín	Máx	Méd	DP	Var	
19	-64,69	60,21	-3,68	18,44	340,00	-143,53	42,96	-61,34	34,03	1157,71	57,66
29	-41,24	49,85	0,29	13,91	193,57	-126,84	38,33	-47,89	27,02	730,33	49,62
39	-39,81	48,67	-0,65	12,93	167,16	-103,57	34,47	-42,74	25,08	629,12	47,98
49	-35,10	41,76	-0,94	11,82	139,70	-98,50	32,33	-37,17	23,38	546,78	47,05
59	-36,10	40,91	-0,71	11,16	124,48	-90,84	33,50	-31,91	21,68	469,93	46,57
69	-30,76	44,68	-0,42	10,39	107,95	-87,72	38,64	-27,05	20,40	416,07	46,85
79	-32,25	49,32	-0,16	10,18	103,71	-82,04	40,65	-22,86	19,67	387,02	49,97
89	-36,10	35,96	0,12	10,71	114,74	-70,74	49,82	-18,77	19,78	391,33	56,06
99	-38,56	43,79	-0,06	11,72	137,37	-60,54	48,93	-14,84	19,17	367,47	63,54

109	-34,73	51,79	0,07	12,72	161,75	-58,71	46,65	-9,29	17,48	305,51	70,54
-----	--------	-------	------	-------	--------	--------	-------	-------	-------	--------	-------

A Figura 4.15 mostra as correntes plotadas a cada 3 h. Como indicado pelas análises estatísticas as correntes predominantes apontam para SW, aproximadamente na direção da isóbata, com cisalhamento vertical evidente nas intensidades. O número de inversões das correntes é baixo em todo período, mas principalmente entre os meses de dezembro de 2011 e março de 2012, com apenas um evento, que não atinge a superfície, no final do mês de janeiro. A partir de março as inversões das correntes são mais frequentes, principalmente nas proximidades do fundo, porém as correntes que fluem invertidas têm menores intensidades que nos outros dois períodos já descritos. As intensidades tanto na superfície (ordem de 50 cm/s), quanto no fundo (ordem de 20 cm/s) são menores que nos meses imediatamente anteriores: 70 cm/s na superfície e 30 cm/s no fundo.

A Figura 4.16 apresenta os histogramas direcionais das correntes brutas para o Período 4, nos níveis superficial (19 m), intermediário (59 m) e no fundo (109 m). Em todas as profundidades as velocidades médias apontam para SW, estritamente alinhadas à isóbata e ao maior número de observações.

Os diagramas vetoriais progressivos (Figura 4.17) confirmam que a maior parte das correntes observadas estão alinhadas à direção da isóbata. Tal alinhamento implica em grandes pseudo-deslocamentos, principalmente na superfície (1.600 km/mês). Os valores desses pseudo-deslocamento decaem com a profundidade, para 50% em 59 m e mais 70% para o nível mais profundo. Este último nível apresenta, ainda, pequeno deslocamento na direção oeste.

Figura 4.15: “Stickplot” das correntes amostradas durante o Período 4 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 3 h. A média vertical das séries é plotada em vermelho, na parte

inferior do gráfico. A direção vertical aponta para 43° , na direção NE, (direção da isóbata). A escala pode ser vista no canto superior esquerdo do gráfico.

Figura 4.16: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes observadas: próximo à superfície (19 m, painel superior), à meia água (59 m, painel central) e próximo

ao fundo (109 m, painel inferior). O vetor médio está indicado no centro de cada histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.

Figura 4.17: Diagrama vetorial progressivo das correntes, com escala em km, observadas: próximo à superfície (19 m, painel superior), à meia água (59 m, painel central) e próximo ao fundo (109 m, painel inferior). A linha tracejada indica a direção da isóbata. Note que o último painel possui escala diferente.

A análise estatística demonstra, também neste período, que a componente paralela à isóbata na banda sub-inercial explica mais variância da corrente total (85-91%) do que a componente normal (66-77%). A série temporal das correntes filtradas (Figura 4.18) confirma que as correntes sub-inerciais são similares às totais (Figura 4.15).

Os histogramas direcionais para as correntes sub-inerciais (Figura 4.19) mostram que o número de observações não alinhadas à isóbata decresce em relação aos histogramas das correntes totais (Figura 4.16). As intensidades se mantêm. Nas proximidades do fundo destaca-se um número significativo de observações de correntes que apontam para leste, com intensidades da ordem de 15 cm/s. Entretanto, também neste período o número de observações de correntes paralelas à isóbata, com predominância para SW e intensidades no intervalo entre 20 e 30 cm/s é máximo, quando comparado às outras direções.

Figura 4.18: “Stickplot” das correntes sub-inerciais, calculadas para o Período 4 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 3 h. A média vertical das séries é plotada em vermelho, na parte inferior do gráfico. A direção vertical aponta para 43°, na direção NE, (direção da isóbata). A escala pode ser vista no canto superior esquerdo do gráfico.

Figura 4.19: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes subinerciais calculadas: próximo à superfície (19 m, painel superior), à meia água (59 m, painel central)

e próximo ao fundo (109 m, painel inferior). O vetor médio está indicado no centro de cada histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.

As densidades espectrais evidenciadas nas Figura 4.20 e Figura 4.21 foram calculadas para as correntes sub-inerciais e supra-inerciais, respectivamente, para as profundidades de 19 m e 109 m. As energias da componente da corrente paralela à isóbata é maior que a normal à isóbata em ambos os níveis avaliados.

Figura 4.20: Densidade espectral ($\text{cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$) das componentes normal (linha preta contínua) e paralela (linha cinza contínua) à isóbata da banda sub-inercial nas profundidades de 19 m (painel superior) e 109 m (painel inferior). As linhas tracejadas, com suas respectivas cores, indicam o intervalo de confiança de 95%. A frequência inercial pode ser vista por uma linha vertical em 0,6 cpd.

Para a banda supra-inercial (Figura 4.21), o nível de energia é similar para as duas profundidades investigadas. O pico semi-diurno de energia é evidente em ambos níveis de profundidade, para as duas componentes da corrente, com pequeno acréscimo para a paralela à isóbata (ordem de $2,0 \text{ cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$).

Figura 4.21: Densidade espectral ($\text{cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$) das componentes normal (linha preta contínua) e paralela (linha cinza contínua) à isóbata da banda supra-inercial nas profundidades de 19 m (painel superior) e 109 m (painel inferior). As linhas tracejadas, com suas respectivas cores, indicam o intervalo de confiança de 95%. A frequência inercial pode ser vista por uma linha vertical em 0,6 cpd.

4.1.4 Período 5

A Tabela 4.4 apresenta os primeiros momentos estatísticos para as correntes coletadas entre 02/07/2012 e 07/12/2012. As velocidades médias normais à isóbata variam de 3,1 cm/s (próximas ao fundo) até 9,1 cm/s (a 49 m), apontando para a costa ($u < 0$) em todos os níveis. A velocidade média da componente paralela à isóbata aponta para SW em todas as profundidades amostradas ($v < 0$), com maiores intensidades que a componente

normal em todos os níveis, diminuindo da superfície (41,1 cm/s) até o fundo (7,2 cm/s). Assim o fluxo médio aponta para o quadrante S-W em toda a coluna de água. Comparada a todos os outros períodos, de maneira geral, os valores médios, máximos e mínimos, além do desvio padrão e variância são menores neste conjunto de dados.

O ângulo de máxima variância possui pequena variação vertical, principalmente nos níveis intermediários (de 29 a 79 m), onde fica entre 60,0° e 68,5°. Na superfície esse ângulo é de 50,5° e, no fundo, de 81,3°.

Tabela 4.4: Primeiros momentos estatísticos dos dados de correntes nos níveis verticais medidos: mínimo (Mín) e máximo (Máx) da componente normal à isóbata (u, cm/s) e paralela à isóbata (v, cm/s), média (Méd, cm/s), desvio padrão (DP, cm/s) e variância (Var, cm/s), e direção de máxima variância (MVar, em graus relativos ao norte geográfico, aumentando no sentido horário). Período de amostragem 5.

Prof. (m)	Componente u					Componente v					MVar (°)
	Mín	Máx	Méd	DP	Var	Mín	Máx	Méd	DP	Var	
19	-62,44	39,52	-8,33	14,47	209,46	-126,08	70,46	-41,10	37,32	1393,12	50,47
29	-46,33	43,88	-8,95	13,99	195,61	-113,90	64,01	-38,08	31,18	972,50	60,03
39	-47,09	37,85	-9,84	13,59	184,60	-106,97	54,23	-35,74	28,56	815,67	61,20
49	-46,78	37,98	-9,18	12,76	162,76	-97,42	53,24	-32,41	25,69	659,95	61,48
59	-46,41	30,65	-8,42	11,64	135,40	-90,83	45,46	-28,07	23,10	533,52	61,25
69	-43,30	39,50	-7,64	11,00	121,03	-86,29	50,24	-24,09	21,20	449,55	61,03
79	-47,12	38,68	-6,83	11,60	134,58	-76,63	53,42	-20,48	20,77	431,40	63,68
89	-51,95	46,78	-6,09	13,05	170,38	-73,76	54,28	-17,23	20,77	431,25	68,46
99	-52,79	54,80	-4,97	15,03	225,77	-61,72	53,07	-13,06	20,09	403,45	75,47
109	-50,35	53,47	-3,10	15,81	250,01	-55,02	50,31	-7,15	18,22	331,90	81,35

A série temporal das correntes para o Período 5 (Figura 4.22), de maneira geral, não diferem daquelas para os outros períodos analisados. Até início de agosto/2012 as correntes não possuem direção predominante, com fluxos variando entre SW e NE em intervalos de poucas semanas, além apresentarem pequenas intensidades. A partir de agosto o fluxo para

SW torna-se predominante, com menor número de inversões e intensidades das correntes decaindo da superfície (ordem de 60 cm/s) até o fundo (ordem de 20 cm/s).

As inversões ocorrem em toda a coluna d'água durante todo o período de amostragem, com menor cisalhamento vertical das correntes quando comparado aos outros períodos analisados.

Os histogramas direcionais apresentados na Figura 4.23 foram plotados para as correntes brutas, nos níveis superficial (19 m), intermediário (59 m) e próximo ao fundo (109 m). O maior número de observações ocorre quase alinhado à isóbata, com pequeno desvio para oeste, em todas as profundidades avaliadas. As intensidades médias variam de 41,9 cm/s, na superfície, até 7,8 cm/s, próxima ao fundo.

Os diagramas vetoriais progressivos (Figura 4.24) confirmam o alinhamento predominante observado, com pseudo-trajetórias lineares e pequeno desvio para oeste em todos os níveis, mas principalmente junto ao fundo. O pseudo-deslocamento varia menos verticalmente que no Período 4 (Figura 4.17), sendo maior na superfície (1.200 km/mês), com decréscimo de 33% para o nível intermediário. Junto ao fundo o pseudo-deslocamento médio é de 240 km/mês.

Figura 4.22: “Stickplot” das correntes amostradas durante o Período 5 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 3 h. A média vertical das séries é plotada em vermelho, na parte inferior do gráfico. A direção vertical aponta para 43° , na direção NE, (direção da isóbata). A escala pode ser vista no canto superior esquerdo do gráfico.

Figura 4.23: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes observadas: próximo à superfície (19 m, painel superior), à meia água (59 m, painel central) e próximo

ao fundo (109 m, painel inferior). O vetor médio está indicado no centro de cada histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.

Figura 4.24: Diagrama vetorial progressivo das correntes, com escala em km, observadas: próximo à superfície (19 m, painel superior), à meia água (59 m, painel central) e próximo ao fundo (109 m, painel inferior). A linha tracejada indica a direção da isóbata. Note que o último painel possui escala diferente.

As análises estatísticas da banda subinercial demonstram, novamente, que a componente paralela à isóbata explica a maior variabilidade porcentual (86-91%) da variância da corrente total, em comparação à componente normal (69-86%). A Figura 4.25 confirma que as correntes subinerciais possuem similaridade com as totais (Figura 4.22), e também fluem, predominantemente, para o quadrante S-W. As frequentes inversões em toda a coluna d'água, principalmente no mês de julho, permaneceram após a filtragem.

Os histogramas direcionais para as correntes sub-inerciais (Figura 4.26) confirmam a grande variabilidade explicada pelas correntes desta banda, sendo similares na distribuição das direções e das intensidades aos histogramas direcionais das correntes totais (Figura 4.23).

Figura 4.25: “Stickplot” das correntes sub-inerciais, calculadas para o Período 5 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 3 h. A média vertical das séries é plotada em vermelho, na parte inferior do gráfico. A direção vertical aponta para 43°, na direção NE, (direção da isóbata). A escala pode ser vista no canto superior esquerdo do gráfico.

Figura 4.26: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes sub-inerciais calculadas: próximo à superfície (19 m, painel superior), à meia água (59 m, painel central)

e próximo ao fundo (109 m, painel inferior). O vetor médio está indicado no centro de cada histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.

Para as profundidades de 19 m e 109 m foram calculadas as densidades espectrais para as bandas sub-inercial (Figura 4.27) e supra-inercial (Figura 4.28). Para ambas as componentes da corrente os compartimentos energéticos das correntes sub-inerciais próximo ao fundo são similares. Próximo à superfície a energia é maior na componente paralela à isóbata. No entanto, nenhum pico de energia é evidente. Além disso, a energia decresce em direção ao fundo.

Figura 4.27: Densidade espectral ($\text{cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$) das componentes normal (linha preta contínua) e paralela (linha cinza contínua) à isóbata da banda sub-inercial nas profundidades de 19 m (painel superior) e 109 m (painel inferior). As linhas tracejadas, com suas respectivas

cores, indicam o intervalo de confiança de 95%. A frequência inercial pode ser vista por uma linha vertical em 0,6 cpd.

Para a banda suprainercial (Figura 4.28), os níveis de energia são similares para ambas as profundidades. O pico de energia semi-diurno é evidente principalmente próximo ao fundo. Para a componente paralela à isóbata na superfície, e ambas no fundo, o pico semi-diurno possui energia de aproximadamente $2,0 \text{ cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$.

Figura 4.28: Densidade espectral ($\text{cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$) das componentes normal (linha preta contínua) e paralela (linha cinza contínua) à isóbata da banda suprainercial nas profundidades de 19 m (painel superior) e 109 m (painel inferior). As linhas tracejadas, com suas respectivas cores, indicam o intervalo de confiança de 95%. A frequência inercial pode ser vista por uma linha vertical em 0,6 cpd.

4.1.5 Resumo do comportamento médio das correntes

As análises das componentes paralela e perpendicular à isóbata das correntes indicaram que:

- i. o fluxo predominante aponta para SW em todos os níveis;
- ii. o fluxo predominante é mais intenso próximo à superfície, decrescendo em direção ao fundo;
- iii. podem ser observadas inversões do fluxo em todos os níveis, com duração de 5 a 10 dias;
- iv. as inversões do fluxo nos níveis intermediários e próximo ao fundo são mais frequentes, e têm menor duração, do que próximo à superfície;
- v. enquanto as correntes superficiais podem alcançar 150 cm/s, com valores médios em torno de 50 cm/s, as próximas ao fundo possuem magnitude média variando entre 5 e 10 cm/s;
- vi. em geral, as correntes mais intensas estão associadas aos fluxos persistentes que fluem na direção da isóbata e que apontam para SW;
- vii. os pseudo-deslocamentos variam entre 1.000 a 1.600 km/mês próximo à superfície e diminuem em 50% em níveis intermediários e mais 70% próximo ao fundo;
- viii. a energia cinética está concentrada na banda sub-inercial, principalmente na componente paralela às isóbatas;
- ix. na banda supra-inercial, o pico de energia semi-diurno é evidente, principalmente próximo ao fundo, com densidade de energia de aproximadamente $1,0 \text{ cm}^2/(\text{s}^2\text{cpd})$.

4.2 Ventos médios e sinóticos

4.2.1 Período 1

A Figura 4.29 apresenta vento superficial nas proximidades do ponto de fundeio durante o Período 1. São também destacadas as passagens de frentes frias na cidade de Cabo Frio, observadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e descritas no Boletim Climanálise.

Nos primeiros cinco meses os ventos sopram com persistência de NE, com intensidades variando ao redor de 7,0 m/s. Neste período são evidenciadas três inversões

significativas, durante outubro, início de novembro, e a mais intensa, no início de dezembro. Esta última é resultante da passagem de duas frentes frias consecutivas (04 e 13 de dezembro) por CF.

A partir de março/2010, a direção dos ventos varia mais, sendo frequentes as inversões, ocasionadas principalmente pelas passagens de frentes frias. Tais inversões resultam em ventos soprando do quadrante sul, com intensidades de aproximadamente 10,0 m/s.

O histograma direcional (Figura 4.30) comprova a maior frequência dos ventos que sopram de NE, com intensidades de 4 a 8 m/s. As maiores intensidades observadas para o período se estendem até 20 m/s, resultante de ventos oriundos do quadrante S-W.

Figura 4.29: Gráfico da série temporal dos ventos superficiais amostrados durante o Período 1, extraído do banco global NCEP/DOE Reanalysis (Kanamitsu et al., 2002), nas proximidades do fundeio. Os dados são obtidos com intervalo de 6 h. A direção vertical aponta para o norte geográfico, sendo os “palitos” referentes à direção para onde o vento sopra (convenção oceanográfica). As linhas verticais destacam os momentos da passagem de frentes frias sobre a cidade de Cabo Frio, extraído do Boletim Climanálise, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Figura 4.30: Intensidade, direção e frequência de ocorrência dos ventos superficiais calculadas para o Período 1 de amostragem. As direções indicam a direção para onde o vento sopra (convenção oceanográfica). O vetor médio está indicado no centro do histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.

4.2.2 Período 3

Para o Período 3 (entre 26/01/2011 e 16/08/2011), o gráfico do vento superficial nas proximidades do ponto de fundeio é apresentado na Figura 4.31. De maneira geral o vento apresenta maior variabilidade que no período anterior de análise, com predominância dos ventos de NE somente durante o primeiro mês de amostragem, com intensidades variando em torno de 8,0 m/s.

A partir de março/2011 as inversões são frequentes. As intensidades dos ventos provenientes do quadrante sul são menores ou iguais às intensidades dos ventos de NE. A partir de maio/2011 as frentes frias começam a passar por CF, aumentando para cerca de 3 a 4 passagens por mês e resultando em ventos mais intensos (variando de 5 a 10 m/s) soprando de S-SW.

A grande variabilidade dos ventos pode ser observada também através do histograma direcional na Figura 4.32. Os ventos predominantes sopram para SW sobre a

isolinha de intensidades de 8 m/s. O vento médio para o período (3,0 m/s) sopra para o mesmo quadrante, com deslocamento para oeste em relação ao maior número de observações. Este deslocamento se deve ao maior número de observações de ventos soprando para E, NE e NW, quando comparado ao número de observações soprando para o quadrante S-E.

Figura 4.31: Gráfico da série temporal dos ventos superficiais amostrados durante o Período 3, extraído do banco global NCEP/DOE Reanalysis (Kanamitsu et al., 2002), nas proximidades do fundeio. Os dados são obtidos com intervalo de 6 h. A direção vertical aponta para o norte geográfico, sendo os “palitos” referentes à direção para onde o vento sopra (convenção oceanográfica). As linhas verticais destacam os momentos da passagem de frentes frias sobre a cidade de Cabo Frio, extraído do Boletim Climanálise, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Figura 4.32: Intensidade, direção e frequência de ocorrência dos ventos superficiais calculadas para o Período 3 de amostragem. As direções indicam a direção para onde o vento sopra (convenção oceanográfica). O vetor médio está indicado no centro do histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.

4.2.3 Período 4

Para o Período 4 a série temporal dos ventos superficiais pode ser observada na Figura 4.32. O ventos de NE são dominantes, cobrindo cerca de 3,5 meses (início de dezembro a metade de março) sem nenhuma inversão significativa e com intensidade média de 8,2 m/s. No último mês de observação (abril/2012) os ventos não possuem direção dominante, porém os provenientes de NE são os mais frequentes, com intensidades variando em torno de 7 m/s.

Figura 4.33: Gráfico da série temporal dos ventos superficiais amostrados durante o Período 4, extraído do banco global NCEP/DOE Reanalysis (Kanamitsu et al., 2002), nas proximidades do fundeio. Os dados são obtidos com intervalo de 6 h. A direção vertical aponta para o norte geográfico, sendo os “palitos” referentes à direção para onde o vento sopra (convenção oceanográfica). As linhas verticais destacam os momentos da passagem de frentes frias sobre a cidade de Cabo Frio, extraído do Boletim Climanálise, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A Figura 4.34 representa o histograma direcional do vento para o período. Devido ao pequeno número inversões observadas na série temporal (Figura 4.33), a intensidade média alcançou 5,1 m/s, apontando para $212,7^\circ$. A direção com maior número de observações é a mesma do vento médio e centra-se na isolinha de intensidade de 8 m/s. Os ventos mais intensos provenientes do quadrante S-W são menores que os ventos observados nos outros períodos analisados (Figura 4.30 e Figura 4.32), alcançando no máximo 12 m/s.

Figura 4.34: Intensidade, direção e frequência de ocorrência dos ventos superficiais calculadas para o Período 4 de amostragem. As direções indicam a direção para onde o vento sopra (convenção oceanográfica). O vetor médio está indicado no centro do histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.

4.2.4 Período 5

O último intervalo, denominado Período 5, cobriu o segundo semestre de 2012, iniciando-se em 02/07/2012 e finalizando-se em 07/12/2012. A Figura 4.35 representa a evolução temporal da série, com predominância dos ventos provenientes de NE com altos valores de intensidades (mais frequentes variando entre 6,2 e 10,6 m/s). As inversões são frequentes, mesmo quando ausentes frentes frias sobre CF. Em relação a estas passagens, apenas 7 foram observadas para todo período, concentradas 3 no início da série (julho/2012), 2 em setembro e mais 1 em cada um dos dois meses subsequentes.

O histograma direcional (Figura 4.36) confirma a predominância dos ventos de NE, porém o maior número de observações representado percentualmente é menos concentrado (alcança até 7% na barra de cores) que para os outros períodos analisados, devido às

frequentes inversões observadas na série temporal (Figura 4.35). A direção média é alinhada à isóbata (231,4°) com intensidade próxima de 5,0 m/s.

Figura 4.35: Gráfico da série temporal dos ventos superficiais amostrados durante o Período 4, extraído do banco global NCEP/DOE Reanalysis (Kanamitsu et al., 2002), nas proximidades do fundeio. Os dados são obtidos com intervalo de 6 h. A direção vertical aponta para o norte geográfico, sendo os “palitos” referentes à direção para onde o vento sopra (convenção oceanográfica). As linhas verticais destacam os momentos da passagem de frentes frias sobre a cidade de Cabo Frio, extraído do Boletim Climanálise, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Figura 4.36: Intensidade, direção e frequência de ocorrência dos ventos superficiais calculadas para o Período 5 de amostragem. As direções indicam a direção para onde o vento sopra (convenção oceanográfica). O vetor médio está indicado no centro do histograma. A linha tracejada indica a direção da isóbata.

4.3 Correlação entre correntes e ventos

A fim de avaliar a resposta das correntes à forçante vento local, foram feitas análises de correlação na banda sub-inercial, com *lag*, variando entre ± 8 dias, para as duas componentes dos ventos e das correntes, nos níveis superficial, intermediário e de fundo, para todos os períodos de amostragem. *Lags* negativos indicam liderança do vento.

Figura 4.37: Correlação cruzada entre as componentes de velocidade das correntes e dos ventos nos níveis superficial (linha preta), intermediário (linha vermelha) e próximo ao fundo (linha azul). Os quatro painéis da esquerda (direita) se referem ao Período 1 (3) de amostragem. As siglas no canto superior esquerdo indicam as séries correlacionadas. U e U_w : corrente e vento perpendiculares à isóbata, respectivamente; V e V_w : corrente e vento paralelos à isóbata, respectivamente. O intervalo de confiança adotado foi de 95% (linhas tracejadas). Valores positivos de *lag* indicam liderança das correntes.

Figura 4.38: Correlação cruzada entre as componentes de velocidade das correntes e dos ventos nos níveis superficial (linha preta), intermediário (linha vermelha) e próximo ao fundo (linha azul). Os quatro painéis da esquerda (direita) se referem ao Período 4 (5) de amostragem. As siglas no canto superior esquerdo indicam as séries correlacionadas. U e U_w : corrente e vento perpendiculares à isóbata, respectivamente; V e V_w : corrente e vento paralelos à isóbata, respectivamente. O intervalo de confiança adotado foi de 95% (linhas tracejadas). Valores positivos de *lag* indicam liderança das correntes.

Podemos observar, para todos os períodos amostrados, maior correlação entre ambas as componentes das correntes e dos ventos paralelos à isóbata. Além disso, de maneira geral, os máximos foram obtidos para *lags* negativos, indicando a liderança dos ventos sobre as correntes.

Os maiores valores de correlação foram obtidos para o Período 5 (segundo semestre de 2012), entre as correntes de todos os níveis e a componente paralela do vento. O máximo absoluto (0,77; com lag de -12 h) foi calculado para a componente paralela à isóbata da corrente superficial. Valores imediatamente menores foram estimados para as componentes normal e paralela das correntes de fundo (0,61; com defasagem de -17 e -24 h, respectivamente). Para o nível intermediário, foram calculados dois máximos de 0,57 para as componentes normal (-10 h) e paralela à isóbata (-16 h).

Dentre os principais resultados, podemos destacar também os máximos de correlação obtidos entre o vento paralelo e as correntes normais. Para todos os períodos, os maiores valores foram obtidos para as correntes próximas ao fundo. Em ordem cronológica de períodos de amostragem esses máximos foram: -0,45 (em -10 h), 0,55 (-30 h), 0,45 (-10 h) e o máximo de 0,61 (-17 h), respectivamente.

4.4 Temperatura junto ao fundo

Os equipamentos fundeados possuíam sensor de temperatura, o qual realizou amostragens da variável, próximo ao fundo, durante todos os períodos de amostragem. Nesta seção serão descritos os resultados obtidos.

4.4.1 Período 1

A variação da temperatura de fundo, durante o Período 1, apresentou variância de $4,0^{\circ}\text{C}^2$ ao longo dos cerca de 11 meses de amostragem (Figura 4.39). Com média de $16,5^{\circ}\text{C}$ as temperaturas foram, em 77% do tempo, inferiores ao valor de referência da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), de 18°C . As temperaturas mínimas alcançaram 10°C no início de

julho de 2010, após acentuada queda de mais de 8°C em 4 dias; as máximas alcançaram 23°C no final de novembro/início de dezembro de 2009, resultado de um aumento de $8,5^{\circ}\text{C}$, em 4 dias. Esse último período foi seguido queda mais brusca de temperatura (11°C), com duração de cerca de 3 semanas. No decorrer desta queda, por 10 dias a temperatura se manteve quase estável em 16°C .

A fim de relacionarmos as variações de temperatura com as correntes próximas ao fundo, foram destacados na Figura 4.39 os intervalos onde o vetor destas correntes apontava perpendicularmente à isóbata, com sentido para a costa. Durante os eventos de variabilidade da temperatura pode-se observar, de maneira geral, que as quedas estão associadas a movimentos das correntes de fundo em direção à costa. Tal constatação pode ser evidenciada nas duas principais quedas de temperatura anteriormente descritas (novembro-dezembro/2009 e julho/2010), além do início de fevereiro/2010/final de outubro/2009, dentre outras. No período entre metade de maio e meados de julho de 2010, a temperatura se manteve constante em torno da média observada, com correntes de fundo fluindo para a costa.

Figura 4.39: Série temporal de temperatura (em $^{\circ}\text{C}$) junto ao fundo durante o Período 1 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 1 h. Os pontos vermelhos são referentes aos intervalos onde as correntes próximas ao fundo têm direção normal à direção da isóbata, com sentido para a costa. A isolinha de 18°C , referente ao índice termal da Água Central do Atlântico Sul, é traçada em azul pontilhado. No eixo das abscissas são destacados o primeiro dia de cada mês (representado pela letra inicial do respectivo mês e número do ano).

4.4.2 Período 3

A variação da temperatura de fundo para o Período 3 (Figura 4.40) apresentou menor variabilidade (variância de $2,4^{\circ}\text{C}^2$) que o período anterior e valor médio de $16,4^{\circ}\text{C}$. Durante todo o período, mais de 80% das observações foram inferiores a 18°C .

O máximo ocorreu no final de julho ($21,1^{\circ}\text{C}$), seguido por acentuada queda, impulsionada pelas correntes de fundo normais à isóbata, até o mínimo absoluto de $12,2^{\circ}\text{C}$. Outros períodos de queda brusca de temperatura (início e metade de maio e final de junho) não foram simultâneos às correntes apontando em direção à costa.

Figura 4.40: Série temporal de temperatura (em $^{\circ}\text{C}$) junto ao fundo durante o Período 3 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 1 h. Os pontos vermelhos são referentes aos intervalos onde as correntes próximas ao fundo têm direção normal à direção da isóbata, com sentido para a costa. A isolinha de 18°C , referente ao índice termal da Água Central do Atlântico Sul, é traçada em azul pontilhado. No eixo das abscissas são destacados o primeiro dia de cada mês (representado pela letra inicial do respectivo mês e número do ano).

4.4.3 Período 4

A temperatura de fundo para o Período 4 de amostragem (Figura 4.41) oscilou em torno da média de $17,2^{\circ}\text{C}$ com variância de $5,0^{\circ}\text{C}^2$, permanecendo por 63% do período abaixo de 18°C . Houveram diversas quedas significativas de temperatura, podendo ser destacadas

duas de grande amplitude (final de maio/2012 e final de janeiro, início de fevereiro/2012, ambas diminuindo 8°C), que estiveram associadas a correntes apontando para a costa. Outros decréscimos de temperatura podem ser observados, em meados de dezembro/2011, início de janeiro/2012 e final de abril de 2012. Além disso, destacam-se três períodos onde as temperaturas oscilam em torno de 18°C e as correntes de fundo apontam para a costa: final de novembro/2011, final de fevereiro/2012 e meados de abril/2012. Dentre estas três oscilações, a primeira e a última coincidem com a passagem de frentes frias sobre a cidade de Cabo Frio.

Figura 4.41: Série temporal de temperatura (em $^{\circ}\text{C}$) junto ao fundo durante o Período 4 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 1 h. Os pontos vermelhos são referentes aos intervalos onde as correntes próximas ao fundo têm direção normal à direção da isóbata, com sentido para a costa. A isolinha de 18°C , referente ao índice termal da Água Central do Atlântico Sul, é traçada em azul pontilhado. No eixo das abscissas são destacados o primeiro dia de cada mês (representado pela letra inicial do respectivo mês e número do ano). As três linhas tracejadas verticais marcam a passagem de frentes frias sobre a cidade de Cabo Frio, extraído do Boletim Climanálise, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

4.4.4 Período 5

A evolução da temperatura junto ao fundo para o Período 5 pode ser observada na Figura 4.42. A variabilidade da série, similarmente ao período anterior, é grande, com média de $16,9^{\circ}\text{C}$, variância de $4,27^{\circ}\text{C}^2$, máximo de $21,8^{\circ}\text{C}$ (10/11/2012) e mínimo de $12,3^{\circ}\text{C}$ (31/08/2012). A temperatura permaneceu abaixo de 18°C por 70% do tempo. De maneira

geral, as correntes de fundo que apontam para a costa estão preferencialmente presentes nos períodos de queda de temperatura durante todo o período de amostragem.

Figura 4.42: Série temporal de temperatura (em °C) junto ao fundo durante o Período 5 de amostragem. Os dados foram plotados a cada 1 h. Os pontos vermelhos são referentes aos intervalos onde as correntes próximas ao fundo têm direção normal à direção da isóbata, com sentido para a costa. A isolinha de 18°C, referente ao índice termal da Água Central do Atlântico Sul, é traçada em azul pontilhado. No eixo das abscissas são destacados o primeiro dia de cada mês (representado pela letra inicial do respectivo mês e número do ano).

4.5 Correlações entre correntes e temperatura junto ao fundo

A fim de avaliar a relação entre a temperatura junto ao fundo e as correntes amostradas no mesmo período, foram calculadas as correlações cruzadas, com *lag* variando de ± 8 dias, entre a série escalar sub-inercial de temperatura e as duas componentes das correntes sub-inerciais, nos níveis superficial, intermediário e de fundo, para todos os períodos de amostragem (Figura 4.43). Os níveis, para cada período, são os mesmos selecionados para o cálculo das correlações entre as correntes e os ventos (Seção 4.3). *Lags* positivos indicam liderança das correntes.

Figura 4.43: Correlação cruzada entre as componentes de velocidade das correntes nos níveis superficial (linha preta), intermediário (linha vermelha) e próximo ao fundo (linha azul) e a temperatura junto ao fundo. As siglas no canto superior esquerdo indicam as séries correlacionadas. U: corrente perpendicular à isóbata; V: corrente paralela à isóbata; T: temperatura junto ao fundo. Os quatro painéis superiores se referem aos Períodos 1 (os 2 da esquerda) e 3 (os 2 da direita). Os quatro painéis inferiores se referem aos Períodos 4 (os 2 da esquerda) e 5 (os 2 da direita). O intervalo de confiança adotado foi de 95% (linhas tracejadas). Valores positivos de *lag* indicam liderança das correntes.

Com exceção da correlação entre a componente perpendicular da corrente e a temperatura no Período 1 de amostragem (U_xT), todos os períodos apresentaram, entre 0 e 2 dias de *lag* positivos, mínimos pronunciados, indicando a liderança esperada das correntes sobre a variação da temperatura de fundo. Para este quadro, de maior ocorrência dos picos de correlação, a Tabela 4.5 resume a média, entre todos os períodos, dos principais picos obtidos, e seus respectivos *lags*. Os valores de correlação e lag, entre a componente normal da corrente e temperatura (U_xT), para os níveis superficial e intermediário, tanto para o Período 1, quanto para o 4, não foram utilizadas nas médias, por não possuírem valores significativos (Figura 4.43).

Tabela 4.5: Média dos principais máximos ou mínimos e respectivos lags, obtidos pela correlação cruzada entre temperatura próxima ao fundo e as componentes da corrente próximas ao fundo, na banda sub-inercial, para todos os períodos de amostragem. Para os valores entre parênteses, o valor médio foi calculado excluindo-se os Períodos 1 e 4 de amostragem.

Nível	Corrente Normal		Corrente Paralela	
	Correlação	Lag (h)	Correlação	Lag (h)
Superficial	(-0,33)	(29)	-0,56	34,5
Intermediário	(-0,47)	(37,5)	-0,62	31,75
Fundo	-0,45	30	-0,64	24,75

Pode-se observar que, em módulo e média, as temperaturas apresentaram maiores correlações com as correntes próximas ao fundo paralelas à direção da isóbata. Os valores médios, para esta componente de corrente, decrescem em direção à superfície. Para a componente normal da corrente, o maior valor obtido, em módulo, foi para o nível intermediário, seguido pelo de fundo.

Isoladamente, o maior pico de correlação foi observado no Período 1, entre a corrente paralela à isóbata do nível intermediário e a temperatura de fundo, com -0,71 no lag de +29 h, seguido de -0,68 em +27 h, para o nível mais profundo, durante o mesmo período e com a mesma componente da corrente. A mesma correlação foi obtida para o Período 4 de amostragem, no mesmo nível e para a mesma componente.

Para a componente normal à isóbata, os máximos (em módulo) de correlação foram somente obtidos para o nível mais profundo das correntes, enquanto que para a componente paralela à isóbata, todos os níveis apresentaram máximos ou mínimos acentuados, e semelhantes entre si.

4.6 Variabilidade sazonal

A variabilidade sazonal, tanto das correntes, quanto da temperatura, ambas associadas aos ventos locais, foram investigadas a partir da divisão temporal dos conjuntos de dados, nas diferentes estações do ano, definidas como:

- i. Verão: 22 de dezembro a 20 de março,
- ii. Outono: 21 de março a 20 de junho,
- iii. Inverno: 21 de junho a 22 de setembro, e
- iv. Primavera: 23 de setembro a 21 de dezembro.

4.6.1 Características gerais dos ventos

Inicialmente, apresentamos os histogramas direcionais para o vento superficial (Figura 4.44), compartimentados sazonalmente, para todo período de 07/10/2009 até 07/12/2012.

No verão, há muitas observações com ventos soprando de NE com intensidades entre 8 e 12 m/s. Dentre as estações, o verão apresentou a menor variabilidade na direção dos ventos, resultando na maior média (5,35 m/s soprando de 40°). No inverno também há muitas observações soprando de NE, embora com intensidade e predominância menores do que no verão. As direções observadas no outono e na primavera são mais dispersas do que nas estações extremas, verão e inverno. Na primavera a intensidade média é maior (3,98 m/s), soprando de 35°, que no outono (média de 1,84 m/s, soprando de 68°). Apesar da menor média, o outono é a estação com ventos mais intensos soprando de NE, com observações

alcançando 20 m/s. Os ventos provenientes de sul, associados às passagens de frentes frias são mais frequentes e intensos no outono, seguido do inverno, primavera e verão.

Figura 4.44: Intensidade, direção e frequência de ocorrência dos ventos superficiais, extraídos do banco global NCEP/DOE Reanalysis (Kanamitsu et al., 2002), nas proximidades do fundeio para: verão (painel superior esquerdo), outono (painel superior direito), inverno (painel inferior esquerdo) e primavera (painel inferior direito). Em cada painel, a média das respectivas observações é indicada pelo vetor preto no centro do gráfico. A linha tracejada indica a direção da isóbata. As direções, tanto das observações quanto do vetor médio, indicam a direção para onde o vento soprou (convenção oceanográfica).

4.6.2 Características gerais das correntes

A Figura 4.45 apresenta os histogramas direcionais sazonais para as correntes totais, nos níveis mais próximos à superfície. Em todas as estações a velocidade média aponta para SW, com mínimo de intensidade observado durante o outono (22,8 cm/s) e máximo durante o verão (58,7 cm/s), de acordo com o resultado obtido para os ventos. No entanto, enquanto o vetor médio do vento superficial é maior para o inverno, seguido da primavera, as correntes superficiais possuem valores de intensidade média de 31,0 cm/s e 41,4 cm/s, respectivamente para essas estações.

Os maiores percentuais das observações correntográficas superficiais foram obtidos durante o outono (6%) com intensidades entre 0 e 30 cm/s, seguidos do verão e primavera (5%), ambas com intensidades entre 30 e 60 cm/s e inverno (4%), com intensidades próximas a 30 cm/s. A menor ocorrência de correntes apontando para o quadrante N-E ocorreu durante o verão, com intensidades máximas não ultrapassando 60 cm/s. Nesta mesma estação foram observadas as maiores intensidades apontando para SW (maior que 150 cm/s).

Apesar das correntes apresentarem variação sazonal, o fluxo médio para SW, paralelo à isóbata, persiste em todas as estações, com pequeno desvio apontando para a costa (para o largo) durante o verão, outono e inverno (primavera).

Figura 4.45: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes próximas à superfície: verão (painel superior esquerdo), outono (painel superior direito), inverno (painel inferior esquerdo) e primavera (painel inferior direito). Em cada painel, a média das respectivas observações é indicada pelo vetor preto no centro do gráfico. A linha tracejada indica a direção da isóbata.

A Figura 4.46 resume as principais características das correntes próximas a superfície para cada estação do ano. Para tal, foram calculadas as variâncias nos eixos principal e secundário de θ_{max} , obedecendo metodologia descrita em Emery e Thomson (2004). A Tabela 4.6 enumera os resultados obtidos. De maneira geral, podemos destacar que, enquanto o verão e outono são similares entre si, são relativamente diferentes dos resultados obtidos no inverno e primavera, os quais também são similares entre si.

No verão, enquanto o vetor médio é bem alinhado à direção da isóbata, o eixo principal de máxima variância possui desvio para a costa de cerca de 25° . Dentre todas as estações o verão apresentou maior variância no eixo secundário e, conseqüente, menor razão entre as duas variâncias. O resultado para as correntes no outono foi bastante similar, com diminuição das variâncias de ambos eixos, mínimo absoluto da variância do eixo principal e maior alinhamento à direção da isóbata que durante o verão.

No inverno foi obtida a máxima variância do eixo principal e mínima no eixo secundário, resultando na máxima razão entre as variâncias de ambos os eixos, e evidenciando fluxo bem alinhado à direção do eixo principal. Na primavera foi obtido o ângulo de máxima variância mais bem alinhado à direção da isóbata, além de resultados similares aos obtidos no inverno.

Tabela 4.6: Resumo da análise dos eixos de máxima variância para as correntes superficiais, durante as quatro estações do ano. θ_{max} representa a direção do eixo de máxima variância (em graus, relativo ao norte geográfico, e aumentando em sentido horário), V_{max} e U_{max} as variâncias dos eixos principal e secundário, respectivamente, em cm^2/s^2 , e a razão entre estes dois eixos (adimensional).

Estação	$\theta_{max}(^\circ)$	$V_{max}(\text{cm}^2/\text{s}^2)$	$U_{max}(\text{cm}^2/\text{s}^2)$	razão V_{max}/U_{max}
Verão	69,43	971,93	417,02	2,33
Outono	63,37	936,60	302,11	3,10
Inverno	56,06	1360,77	285,43	4,77
Primavera	43,63	1018,76	292,55	3,48

Figura 4.46: Principais características das correntes superficiais durante verão (painel superior esquerdo), outono (painel superior direito), inverno (painel inferior esquerdo) e primavera (painel inferior direito). Os dados de cada estação estão plotados em pontos vermelhos. As linhas pretas contínuas, que formam a cruz, representam os eixos principal e secundário de máxima variância. A linha pontilhada representa a orientação da isóbata. A seta azul representa a velocidade média de cada conjunto de dados. Todos os dados plotados em vermelho, além do vetor médio em azul estão referenciados pela escala horizontal vermelha de 20 cm/s, a partir do ponto central do fundeio. Os eixos de máxima variância estão escalados pela linha horizontal preta contínua, no canto superior, referente a 500 cm²/s².

A partir dos histogramas direcionais (Figura 4.47), podemos observar que as correntes de fundo, de maneira geral possuem menor variabilidade que as de superfície, apontando majoritariamente para SW em todas as estações. As correntes médias variam de 3,8 cm/s no outono até 16,2 cm/s no verão. Durante o outono, a direção das correntes de fundo tem maior variabilidade do que nas outras estações.

Figura 4.47: Intensidade, direção e frequência de ocorrência das correntes próximas ao fundo: verão (painel superior esquerdo), outono (painel superior direito), inverno (painel inferior esquerdo) e primavera (painel inferior direito). Em cada painel, a média das respectivas

observações é indicada pelo vetor preto no centro do gráfico. A linha tracejada indica a direção da isóbata.

A Tabela 4.7 e a Figura 4.48 resumem as principais características das correntes junto ao fundo durante todas as estações do ano. Confirmando os resultados obtidos pelos histogramas direcionais (Figura 4.47), a variância das correntes nos eixos principal e secundário, em todas estações, diminuiu em média 47% e 59% respectivamente, em comparação às variâncias calculadas em ambos os eixos, para as correntes superficiais. As direções de máxima variância também variaram em relação às correntes superficiais, alinhando-se à direção da isóbata no verão (rotação no sentido anti-horário de 11°), e aumentando o desvio para a costa na primavera (17°), no inverno ($13,5^\circ$), e no outono (7° , todos os 3 últimos no sentido horário).

Em relação às razões entre as variâncias dos eixos principal e secundário, todas as estações, com exceção da primavera, tiveram valores mais altos, quando comparado à superfície (comparar e Tabela 4.6 e Tabela 4.7), com máximo novamente no inverno. Diferente das correntes de superfície, para as correntes próximas ao fundo, enquanto os resultados do inverno se assemelham aos do outono, os do verão se assemelham com os da primavera.

Tabela 4.7: Resumo da análise dos eixos de máxima variância para as correntes próximas ao fundo, durante as quatro estações do ano. θ_{max} representa a direção do eixo de máxima variância (em graus, relativo ao norte geográfico, e aumentando em sentido horário), V_{max} e U_{max} as variâncias dos eixos principal e secundário, respectivamente, em cm^2/s^2 , e a razão entre estes dois eixos (adimensional).

Estação	$\theta_{max}(^\circ)$	$V_{max}(\text{cm}^2/\text{s}^2)$	$U_{max}(\text{cm}^2/\text{s}^2)$	razão V_{max}/U_{max}
Verão	58,55	434,60	124,06	3,50
Outono	70,63	559,06	103,30	5,41
Inverno	69,56	785,02	121,82	6,44
Primavera	61,02	502,18	165,40	3,04

Figura 4.48: Principais características das correntes próximas ao fundo durante verão (painel superior esquerdo), outono (painel superior direito), inverno (painel inferior esquerdo) e primavera (painel inferior direito). Os dados de cada estação estão plotados em pontos vermelhos. As linhas pretas contínuas, que formam a cruz, representam os eixos principal e secundário de máxima variância. A linha pontilhada representa a orientação da isóbata. A seta azul representa a velocidade média de cada conjunto de dados. Todos os dados plotados em vermelho, além do vetor médio em azul estão referenciados pela escala horizontal

vermelha de 20 cm/s, a partir do ponto central do fundeio. Os eixos de máxima variância estão escalados pela linha horizontal preta contínua, no canto superior, referente a 500 cm²/s².

4.6.3 Correlações entre correntes e ventos

As séries temporais dos períodos de amostragem foram subdivididas de acordo com as estações do ano (Seção 4.6.1), resultando nas seguintes séries apresentadas na Tabela 4.8:

Tabela 4.8: Séries temporais subdivididas sazonalmente para cálculo de correlação cruzada com o vento. As colunas representam, da esquerda para direita, a estação do ano, a data de início da série subdividida, a de fim, o comprimento final da série subdividida, e o respectivo período de amostragem.

Estação	Início	Final	Dados	Período
Verão	21/12/09	20/03/10	2160	1
	26/01/11	20/03/11	1296	3
	21/12/11	20/03/12	2184	4
Outono	21/03/10	20/06/10	2208	1
	21/03/11	20/06/11	2208	3
	21/03/12	25/04/12	858	4
Inverno	21/06/10	05/09/10	1848	1
	21/06/11	16/08/11	1364	3
	02/07/12	22/09/12	1992	5
Primavera	07/10/09	20/12/09	1785	1
	20/11/11	20/12/11	730	4
	23/09/12	07/12/12	1804	5

De maneira geral, cada período de amostragem cobre três estações do ano distintas, resultando em 12 séries temporais com aproximadamente 3 meses de dados horários. As séries temporais de vento foram criadas para os mesmos períodos da Tabela 4.8. Considerando-se somente os máximos ou mínimos maiores, em módulo, que 0,5 dentro do intervalo de confiança de 95%, os principais resultados de correlação obtidas encontra-se resumidos na Tabela 4.9.

Tabela 4.9: Máximos e mínimos de correlação cruzada entre as componentes normal (U) e paralela (V) das correntes superficiais e dos ventos (Uw e Vw, respectivamente), durante os períodos de amostragem (última coluna) subdivididos para cada estação do ano (primeira coluna). Valores negativo dos *lags* (em horas) indicam que os ventos lideram as correntes. Apenas os máximos e mínimos maiores, em módulo, ou iguais a 0,5 e com 95% de confiança estão apresentados. Valores com lags superiores a 48 h foram eliminados.

	Componentes	Nível	Correlação	Lag (h)	Período
Verão	VxUw	S	-0,54	18	3
	VxVw		0,74	-16	3
	VxVw	F	0,50	-22	1
Outono	UxVw	S	-0,53	-8	1
	UxVw		0,63	-7	3
	VxUw		-0,75	2	4
	VxVw		0,67	-16	3
	VxVw		0,68	-12	4
	VxUw	F	-0,54	-14	4
Inverno	UxUw	S	0,50	-5	5
	UxVw		0,71	-5	3
	UxVw		0,55	20	5
	VxVw		0,63	-24	1
	VxVw		0,80	-14	3
	VxVw		0,76	-8	5
	UxVw	M	0,50	-10	3
	UxVw		0,55	-8	5
	VxUw		-0,54	-5	1
	VxVw		0,65	-28	1
	VxVw		0,58	-7	5
	UxUw	F	-0,63	16	1
	UxVw		0,55	-14	1
	UxVw		0,64	-28	3
	UxVw		0,60	-8	5
	VxUw		-0,61	-9	1
	VxVw		0,68	-31	1
	VxVw		0,55	-30	3
	VxVw		0,63	-17	5
Primaver	UxVw	S	0,62	24	4
	VxUw		-0,61	6	5
	VxVw		0,57	-5	4
	VxVw		0,80	-14	5

	UxVw	M	0,70	6	4
	UxVw		0,51	-23	5
	VxVw		0,55	-14	5
	UxVw	F	0,64	0	4
	UxVw		0,57	-16	5
	VxVw		0,53	-27	5

De maneira geral, as correntes superficiais paralelas à isóbata apresentaram maior correlação com o vento na mesma direção (VxVw) do que com o vento normal (VxUw). No primeiro caso as correlações são positivas e os *lags* negativos, indicando coincidência de sentido e liderança do vento em cerca de 14 h. No segundo caso, as correlações são negativas e os *lags* variam bastante. Para as correntes superficiais normais as maiores correlações também estão associadas à componente paralela à isóbata do vento (UxVw), com valores positivos e *lags* que apresentam grande variação sazonal. Entretanto, de forma geral, as correntes superficiais apresentam maiores correlações entre as suas componentes paralelas à isóbata e a componente de mesma direção do vento.

Correlações máximas entre as correntes próximas ao fundo e o vento são, em geral, menores do que aquelas entre as correntes superficiais e o vento. Ainda nesse nível profundo, os resultados da Tabela 4.9 indicam maior correlação entre corrente e vento para as estações de inverno e outono, sendo os valores para VxVw (0,68 e -31 h) e UxVw (0,64 e -28 h) os maiores e praticamente equivalentes entre si.

Nas quatro estações do ano os níveis intermediários (M, na Tabela 4.9) são os que apresentaram menores correlações, com ausência de máximos significativos nas estações de verão e de outono.

4.6.4 Características gerais da temperatura junto ao fundo

Em geral, as temperaturas próximas ao fundo são menores que 18°C, indicando a presença perene da ACAS na QPC durante todo o período de amostragem (Figura 4.39, Figura 4.40, Figura 4.41 e Figura 4.42). A fim de verificarmos a variabilidade sazonal da

variável junto ao fundo, foram construídos *boxplots* de todo o conjunto de dados, separados apenas por estação (Figura 4.49), não necessariamente mantendo-se a ordem cronológica (ou seja, todos os períodos de amostragem estão presentes nos resultados).

A variação sazonal da temperatura, tanto média quanto mediana, formam uma onda, com máximo no verão (17,4 e 17,7°C, respectivamente) e mínimo no outono (15,7 e 15,6°C). No outono ocorre a mínima variabilidade, com desvio padrão de 1,7°C e 96% dos dados apresentando temperaturas abaixo de 18°C. A maior variabilidade foi obtida para a primavera, com desvio padrão de 2,3°C, e quartis inferior e superior variando de 15,2°C até 18,3°C. O mínimo absoluto foi obtido para o inverno (10,8°C) e o máximo absoluto para o outono (22,5°C). Valores maiores ou iguais a 22°C, os quais podem indicar presença de Água Tropical (AT) no fundo da QPC, foram observados em menos de 1% dos dados para todas as estações, estando ausentes durante o inverno e com apenas 0,1% do total de observações durante o verão.

Figura 4.49: *Boxplots* das observações de temperatura obtidas junto ao fundo (em °C) para cada estação do ano. A linha horizontal pontilhada azul indica o valor de 18°C. No interior das caixas são representadas a mediana (linha horizontal no centro da caixa), quartis superior (25%) e inferior (75%, lados superior e inferior das caixas, respectivamente) e os *whiskers* com limite vertical adotado em 1,5 dos respectivos quartis. No interior de cada caixa é

plotado o valor médio da temperatura (quadrado preto) e os círculos vermelhos representam os *outliers*.

4.6.5 Correlações entre correntes e temperatura junto ao fundo

Embora a variabilidade sazonal da temperatura seja, de maneira geral, baixa, foram calculadas as correlações cruzadas entre as mesmas, e as correntes no níveis superficial, meia-água e junto ao fundo, separadamente para cada estação. Os conjuntos de dados foram subdivididos nos mesmos períodos descritos para as correlações sazonais entre correntes e ventos (Tabela 4.8).

Os principais resultados podem ser observados na Tabela 4.9. Os *lags* positivos indicam liderança das correntes. Todos os máximos de correlação ocorreram para *lags* positivos (liderança das correntes), com correlação negativa.

Tabela 4.10: Máximos e mínimos de correlação cruzada entre as componentes normal (U) e paralela (V) das correntes superficiais e a temperatura junto ao fundo, durante os períodos de amostragem (última coluna) subdivididos para cada estação do ano (primeira coluna). Valores positivos dos *lags* indicam que as correntes lideram as variações da temperatura. Apenas os máximos, em módulo, maiores ou iguais a 0,5 e com 95% de confiança estão descritos.

	Componentes	Nível	Correlação	Lag (h)	Período
Verão	UxT	S	-0,58	52	3
	VxT		-0,52	39	1
	VxT		-0,70	52	3
	UxT	M	-0,52	42	3
	VxT		-0,66	26	1
	UxT	F	-0,55	44	3
	VxT		-0,64	24	1
	VxT		-0,63	35	3
	VxT		-0,59	21	5
Outono	VxT	S	-0,51	35	4
	UxT	M	-0,51	120	1
	VxT		-0,56	34	3
	VxT		-0,52	25	4
	VxT	F	-0,51	31	3
I	VxT	S	-0,61	39	1

	VxT		-0,57	24	3
	VxT	M	-0,74	28	1
	VxT		-0,71	22	3
	UxT	F	-0,57	33	5
	VxT		-0,67	27	1
	VxT		-0,66	27	3
	VxT		-0,67	24	5
Primavera	UxT	S	0,52	56	1
	VxT		-0,65	26	1
	VxT		-0,69	40	4
	VxT		-0,60	43	5
	UxT	M	-0,55	35	5
	VxT		-0,76	25	1
	VxT		-0,79	38	4
	VxT		-0,61	31	5
	UxT	F	-0,57	45	4
	UxT		-0,57	38	5
	VxT		-0,80	24	1
	VxT		-0,72	32	4
	*VxT		0,53	-51	4
	VxT		-0,65	26	5

*Este foi o único valor de correlação positiva com *lag* negativo de todos os períodos amostrados, sendo descartado das análises.

De maneira geral, as correntes de fundo, paralelas à isóbata, apresentaram as maiores correlações com a temperatura (VxT). As correlações são negativas com *lags* positivos, indicando liderança das correntes sobre a variação da temperatura, com média de 28 h. Para as correntes próximas a superfície, as correlações com a temperatura de fundo são menores que as próximas ao fundo, com *lags*, em média, maiores (37 h).

Sazonalmente, o número de máximos de correlação significativa e maiores que 0,5 (em módulo) tem variação acentuada, com máximo na primavera (37,1% dos picos), caindo para o verão (25,7%) e depois inverno (22,9%) e, finalmente, alcançando o mínimo em outono (14,3%). A curva acompanha rigorosamente a obtida para a variabilidade da temperatura (Figura 4.49).

4.7 Marés

A fim de avaliar a variabilidade maregráfica das correntes no local do fundeio, foram calculadas, através de análises harmônicas das componentes das correntes, as elipses barotrópicas de maré. As elipses foram calculadas para todos os períodos de amostragem e revelaram, como esperado, resultados similares. A Figura 4.50 apresenta as elipses barotrópicas das quatro principais componentes harmônicas M_2 , S_2 , O_1 e K_1 , nos níveis superficial, meia água e fundo, para o período mais longo e representativo existente: o Período 1 de amostragem.

As correntes de maré são relativamente fracas e as elipses apresentam, de maneira geral, baixa variação vertical. Para as componentes semi-diurna, a M_2 apresentou maior energia, com média vertical para o eixo principal de 2,6 cm/s, e alinhamento quase N-S (com pequeno desvio em direção à isóbata). Para as componentes diurnas, a O_1 se destacou, com média vertical de 2,0 cm/s para o eixo principal e alinhamento quase normal à isóbata (direção E-W, aproximadamente). Excetuando-se o nível intermediário, o cisalhamento de excentricidade, inclinação e amplitude das elipses também foi baixo para a componente.

Figura 4.50: Elipses de maré das componentes semi-diurnas M_2 e S_2 (painéis superiores, à esquerda e direita, respectivamente) e diurna O_1 e K_1 (painéis inferiores, à esquerda e direita, respectivamente), para os níveis próximos à superfície (18 m, elipse preta), meia água (58 m, elipse vermelha) e próximo ao fundo (108 m, elipse azul), durante o Período 1 de amostragem. Todas elipses estão escaladas pela mesma circunferência de 1 cm/s, indicada no topo de cada painel.

Como na região já foi observada a presença de marés internas (Pereira e Castro, 2007; Pereira et al., 2007), as temperaturas próxima ao fundo observadas também foram analisadas harmonicamente, a fim de verificar a amplitude no sinal das componentes de maré. Como demonstrado na Tabela 4.11, a variabilidade da temperatura nas frequências da maré é significativamente baixa, com erros associados ao cálculo da amplitude, por vezes, maior que a amplitude.

Tabela 4.11: Amplitude das componentes M_2 e O_1 , e seu erro associado, para a temperatura da água (em $^{\circ}\text{C}$) próxima ao fundo, durante todos os períodos de amostragem.

Período	Componente	Amplitude ($^{\circ}\text{C}$)	Erro da Amplitude ($^{\circ}\text{C}$)
1	M_2	0,045	0,030
	O_1	0,018	0,025
3	M_2	0,037	0,023
	O_1	0,022	0,029
4	M_2	0,022	0,028
	O_1	0,013	0,030
5	M_2	0,035	0,036

	01	0,030	0,057
--	----	-------	-------

5 DISCUSSÃO

5.1 *Comportamento geral das correntes*

Foram analisados conjuntos de pouco mais de 3 anos de dados correntográficos e de temperatura junto ao fundo, nas proximidades da Quebra da Plataforma Continental de Cabo Frio (isóbata aproximada de 110 m). De maneira geral, os principais movimentos são paralelos à direção da isóbata, com maior variabilidade para as correntes próximas à superfície; essa variabilidade decresce em direção ao fundo de forma não linear. A Figura 5.1 apresenta a variação vertical da variância da corrente, calculada através da obtenção da média das variâncias obtidas individualmente em todos os períodos de amostragem (Tabela 4.1, Tabela 4.2, Tabela 4.3 e Tabela 4.4).

Partindo da superfície, com cerca de $1.200 \text{ cm}^2/\text{s}^2$, e representando cerca de 80% da variância no nível, os valores para a componente paralela decaem rapidamente, com maior gradiente vertical para os primeiros 10 m ($30,8 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ por metro), e relativa homogeneidade nos níveis intermediários (gradiente decrescendo com a profundidade, de 11,1 até $0,0 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ por metro). Para os últimos 20 m, o gradiente vertical da variância para a componente paralela volta a crescer, atingindo $16,0 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ por metro entre os dois últimos níveis (atingindo variância final de $328 \text{ cm}^2/\text{s}^2$). A variância da componente normal da corrente mantém-se praticamente homogênea verticalmente, aumentando nos últimos 20 m, onde contribui com cerca de 40% da variabilidade.

Tendo em vista que a Figura 5.1 reflete o resultado médio de todos os períodos (cerca de 3 anos de dados), conclui-se que, de maneira geral, as correntes nas proximidades da QPC de CF possuem significativa variabilidade vertical na componente paralela à isóbata, a qual diminui a energia em direção ao fundo. A componente normal à isóbata mantém-se quase homogênea, ganhando importância, principalmente relativa, junto ao fundo.

Figura 5.1: Variação vertical da média da variância (em cm^2/s^2) de todos os períodos de amostragem, para as componentes normal (U, em azul) e paralela (V, em vermelho) à direção da isóbata. No painel direito, é desenhada a variação percentual da variância em ambas componentes.

De todos os períodos de amostragem, o mais longo, sem intervalos, foi o Período 1, (outubro de 2009 a setembro de 2010). É evidente que nos primeiros seis meses de dados (até março de 2010) as correntes fluem com grandes intensidades (cerca de 60 cm/s) em toda a coluna d'água, essencialmente seguindo a direção aproximada da isóbata (Figura 4.1). Tais resultados podem ser evidência de maior presença da CB sobre a PC no meses de primavera e verão, corroborando com Paviglione e Miranda (1985). Lorenzzetti et al. (2009) também observaram maior ocorrência da frente da CB durante o verão sobre a PC de CF, e deslocamento para o largo o inverno. Evans e Signorini (1985), a partir de medidas observacionais da CB em frente à QPC de CF (embora mais ao sul, sobre a isóbata de 200 m), obtiveram velocidades da ordem de 50 cm/s, fluindo na mesma direção. Segundo Stramma et al. (1990) parte do transporte da CB pode ocorrer justamente sobre a PC, nas latitudes maiores que 15°S .

Durante os outros períodos de amostragem, mesmo com maior quantidade de inversões (final de novembro/início de dezembro de 2010 e em fevereiro de 2012), as correntes giraram ciclonicamente em toda a coluna d'água. Este fato também reforça a evidência de que a CB estava presente na QPC nos meses de primavera e verão amostrados. Segundo Campos (1995) a CB, por conservação de vorticidade potencial, deve meandrar ciclonicamente e se comportar como uma onda de Rossby topográfica ao sul de Cabo Frio, na Bacia de Santos. Tais rotações ciclônicas foram também observadas, tanto por dados hidrográficos (Signorini, 1978), por imagens termais da superfície do mar (Lorenzzetti e Stech, 1994; Mello Filho, 2006) quanto em resultados de modelos numéricos (Cirano, 1995; Coelho, 2008). Como a região de formação destas oscilações está a poucos quilômetros ao sul do local de fundeio, possivelmente as inversões aqui observadas têm influência desse processo. Santos (2009), através de observações na PC mais ao sul de Cabo Frio, também obteve resultados similares.

Em contrapartida, durante os períodos em que as correntes apresentaram menores intensidades as principais inversões foram anti-ciclônicas. Estes resultados sugerem afastamento da CB, concordando com as estações do ano quando a CB já foi observada mais ao largo (Paviglione e Miranda, 1985; Lorenzzetti et al. 2009). Santos (2009) atribuiu à ação do vento sinótico as inversões observadas em seus dados de correntes. O autor obteve o número médio de passagens de frentes frias igual ao número de inversões das correntes, em todas as profundidades observadas. Coincidentemente, o período de maior passagem de frentes frias (inverno) na costa do Rio de Janeiro é o mesmo de afastamento da CB, sugerindo que, nestes meses, o vento sinótico tem maior importância no fluxo médio da QPC de CF.

Enquanto o cálculo do espectro das correntes sub-inerciais não evidenciou nenhum máximo proeminente, a banda supra-inercial apresentou máximos acentuados para a frequência semi-diurna. A série com maior comprimento (Período 1) foi a que apresentou espectro sub-inercial com máximo mais evidente (principalmente próximo a 0,3 cpd).

5.2 Correlações entre as correntes e os ventos e a temperatura de fundo

Os resultados das correlações na banda sub-inercial entre ventos e correntes confirmaram a hipótese de que essa forçante é importante para geração das correntes na QPC. Máximos de correlação positiva foram obtidos para *lags* negativos para as componentes paralelas à isóbata dos ventos e das correntes, tanto em superfície quanto no fundo (Figura 4.38, Figura 4.39 e Tabela 4.9). Para a componente da corrente normal à isóbata, os máximos de correlação com o vento ocorreram para o nível mais próximo ao fundo com liderança dos ventos (*lags* negativos). Essas correlações são compatíveis com os modelos teóricos de correntes geradas pelo vento na PC, tanto para o vento paralelo à costa quanto para o vento perpendicular (Csanady, 1982).

Sabe-se que na região costeira de Cabo Frio ventos que sopram de E-NE com persistência de alguns dias, podem gerar o processo de ressurgência costeira (Allard, 1955; Franchito et al. 2008, dentre outros). Tal processo é decorrente do transporte superficial das águas para o largo (E-SE), gerado pela tensão de cisalhamento paralela à costa, criando uma divergência próximo à costa, que resulta em intrusões de águas oceânicas em direção à costa, também junto ao fundo, seguida por seu afloramento costeiro. Para fechar a célula vertical de circulação o afloramento costeiro deve ser precedido por intrusões das águas oceânicas desde a região do talude e QPC. Diversos autores avaliaram a importância das instabilidades de mesoescala presentes na região (Calado, 2006), bem como de estruturas vorticais ciclônicas da CB (Signorini, 1976; Amor, 2004) no processo de ressurgência costeira. No entanto, Franchito et al. (2008) comprovam através de estudos em longas séries temporais dos ventos e temperatura superficial da água na região, que a tensão de cisalhamento do vento é a forçante principal do fenômeno.

Os máximos de correlação entre as correntes normais próximas ao fundo e os ventos paralelos ($U \times V_w$) apresentaram valores positivos. Como afloramentos devem ser precedidos por intrusões em direção à costa, ao largo, os valores positivos de correlação são mais uma evidência observacional de que os ventos provenientes de NE (em nossas coordenadas, V_w negativo) forçam correntes convergentes à costa na camada de fundo (em nossas coordenadas, U negativo), com defasagem na resposta das correntes variando de 10 a 30 h, da ordem do período inercial local. Vale ressaltar que estes valores foram calculados para

todos os períodos de amostragem, incluindo épocas de passagens de frentes frias. Sabe-se que tais passagens inibem o processo de ressurgência costeira (Allard, 1955; Silva, 1977; Gonzalez-Rodrigues et al. 1992; Dourado, 1994), sugerindo que maiores valores de correlação poderiam ser encontrados para períodos onde não houvesse tais eventos meteorológicos.

As correlações entre correntes e temperaturas próximas ao fundo apresentaram valores negativos, para todos os períodos, máximos (em módulo) associados a *lags* de cerca de 1 dia, também da ordem do período inercial local, com liderança das correntes (Figura 4.43, Tabela 4.10).

As correntes sub-inerciais na QPC de CF ($\vec{v}$) podem ser separadas em duas partes: uma devida à forçante tensão de cisalhamento do vento ($\vec{v}_v$) e outra devida à CB ($\vec{v}_{CB}$):

$$\vec{v} = \vec{v}_v + \vec{v}_{CB} \quad (5.1)$$

Com os dados analisados neste trabalho não foi possível estimar as contribuições relativas das duas parcelas do segundo membro da equação à velocidade observada. Sabe-se que, sob ação dos ventos médios de E-NE e na ausência de meandros ou vórtices da CB, tanto $\vec{v}_v$ quanto $\vec{v}_{CB}$ têm direção W-SW, deixando a isóbata à direita. Assim, quando o eixo da CB estiver próximo à QPC, ainda na ausência de meandros e vórtices, as correntes para SW devem ser intensificadas. De fato, essa intensificação foi observada em nossos dados particularmente no verão, tanto em superfície quanto no fundo (Figura 4.44 a Figura 4.48), em acordo com o conhecimento prévio que na estação quente o eixo da CB encontra-se mais próximo à costa (Paviglione e Miranda, 1985; Lorenzzetti et al. 2009). Como a QPC de CF ocorre a cerca de 100 m de profundidade, essa aproximação da CB da costa disponibiliza nas proximidades da quebra volumes progressivamente maiores da quente AT, presente na camada de mistura dessa corrente. Isto é, quanto maior for a aproximação da CB da costa, maiores serão as temperaturas no fundo na QPC. Dessa forma, as correlações máximas entre as correntes paralelas à isóbata e T nas proximidades do fundo, essencialmente negativas, podem ser explicadas pela aproximação do eixo da CB da QPC durante o verão e a primavera.

Amor (2004) e Foloni Neto (2010) observaram, durante o verão, através de levantamentos hidrográficos, a aproximação do núcleo da AT da PC de CF, inclusive interceptando o fundo da QPC. Salinidades maiores que 36 também foram observadas nessa região (Miranda, 1982), corroborando com a hipótese de presença de AT no fundo da QPC. Vale notar que este processo deve estar vinculado à sazonalidade da CB e, de maneira geral, deverá ser mais notável durante o verão.

Por fim, Amor (2004) comprovou que a presença de estruturas vorticais ciclônicas da CB que se estendem até o fundo da QPC (evidenciadas por Signorini, 1978) pode dificultar as intrusões da ACAS em direção à costa pela camada de fundo, bloqueando consequentemente a diminuição da temperatura na QPC.

5.3 Variabilidade sazonal

5.3.1 Ventos

Os ventos mais frequentes, para as quatro estações do ano, sopram principalmente de N-NE, sendo suas variabilidades sazonais e sinóticas associadas às oscilações sazonais da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e, em escala sinótica, às passagens de frentes frias (Ochipinti, 1963; e Castro, 1996), tendo ambas intenso sinal sazonal.

Para o período observado, podemos resumir os resultados na Tabela 5.1. As quatro estações do ano possuem direção de máxima variância quase alinhadas longitudinalmente, com pequeno desvio para o SW-NE de cerca de 12° (exceto para o outono, com $\theta_{max} = 1,5^\circ$). A razão entre as variâncias dos eixos principal e secundário foi máxima para o verão (3,0) e mínima para o inverno (1,9), indicando basicamente que os ventos são bem alinhados à direção de máxima energia. Estes valores complementam os resultados obtidos por outros autores de que o número de frentes frias, as quais ocasionam um giro anticiclônico na direção dos ventos é maior para o inverno, que para o verão (Oliveira, 1986).

Tabela 5.1: Resumo da análise dos eixos de máxima variância para os ventos superficiais, durante as quatro estações do ano. θ_{max} representa a direção do eixo de máxima variância

(em graus, relativo ao norte geográfico, e aumentando em sentido horário), V_{max} e U_{max} as variâncias dos eixos principal e secundário, respectivamente, em m^2/s^2 , e a razão entre estes dois eixos (adimensional).

Estação	$\theta_{max}(^\circ)$	$V_{max}(m^2/s^2)$	$U_{max}(m^2/s^2)$	razão V_{max}/U_{max}
Verão	11,8	38,16	12,73	3,0
Outono	1,5	24,46	8,58	2,9
Inverno	12,7	33,15	17,91	1,9
Primavera	12,2	41,22	15,53	2,7

O número de passagens de frentes frias observadas na cidade de Cabo Frio foi contabilizado para todo o período de amostragem (Figura 5.2) e concorda com a interpretação anterior. No entanto, as razões entre as variâncias dos eixos principal e secundário (Tabela 5.1) não mostraram diferença tão acentuada entre verão e as outras duas estações de transição, tal qual a frequência de ocorrência de frentes frias (Figura 5.2). O fato mostra que, sazonalmente, o deslocamento latitudinal da ASAS gera, provavelmente, maior variação na direção principal dos ventos locais do que a variação sazonal no número de passagens de frentes frias.

Figura 5.2: Número de ocorrências de frentes frias e respectivos percentuais para o período entre 07/10/2009 e 07/12/2012 sobre a cidade de Cabo Frio (RJ), conforme observado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e divulgado no Boletim mensal Climanálises.

5.3.2 Correntes

De maneira geral, para toda coluna d'água, em todas as estações do ano, foram observadas correntes mais frequentes fluindo para SW, com frequências de ocorrência para as correntes superficiais máximas no verão (60,2%) e primavera (53,8%), e mínimas no inverno (44,4%) e outono (33,1%). A intensidade média, em correspondência, foi de 58,7 cm/s (verão), 41,4 cm/s (primavera), 31,0 cm/s (inverno) e 22,8 cm/s (outono). O mesmo padrão foi obtido para as correntes a meia água e próximas ao fundo, tanto para frequência quanto para intensidades médias.

Voltando à Equação 5.1, essa variabilidade sazonal de $\vec{v}$ está associada às variações na mesma escala temporal de $\vec{v}_v$ e $\vec{v}_{CB}$. A maior constância dos ventos de E-NE durante o verão (Seção 5.3.1) força correntes ($\vec{v}_v$) para SW também mais constantes, durante essa época do ano. Conforme comentado na Seção 5.2, durante o verão, a aproximação do eixo da CB da costa também força correntes ($\vec{v}_{CB}$) para SW. A Tabela 5.2 lista as velocidades máximas já obtidas para a CB, por diversos autores, em latitudes próximas à de CF.

Tabela 5.2: Velocidades máximas (Vmax, em m/s) já observadas para a Corrente do Brasil, em latitudes variando $\pm 5^\circ$ da latitude média do fundeio ($23^\circ 20'S$). Destacam-se, em negrito, as observações realizadas mais próximas à posição do fundeio. Adaptado de Silveira et al. (2000).

Lat (S)	Vmax	Referência	Lat (S)	Vmax	Referência
19°	0,72	Miranda e Castro (1981)	23°	0,50	Evans e Signorini (1985)
19°	0,50	Evans et al. (1983)	23°	0,70	Garfield (1990)
19°25'	0,19	Stramma et al. (1990)	23°30'	0,75	Signorini (1978)
20°3'	0,24	Stramma et al. (1990)	24°	0,25	Fisher (1964)
20°28'	0,52	Evans et al. (1983)	24°	0,62	Signorini (1978)
21°40'	0,61	Evans et al. (1983)	24°	0,31	Evans et al. (1983)
22°	0,19	Signorini (1978)	24°30'	0,68	Signorini (1978)
23°	0,52	Signorini (1978)	25°	0,60	Campos et al. (1995)
23°	0,49	Miranda e Castro (1979)	28°-30°	0,70	Fisher (1964)

As velocidades máximas para a CB apresentadas na Tabela 5.2 variam consideravelmente. A velocidade média obtida neste trabalho para as correntes superficiais durante o verão foi de 59 cm/s, próxima aos valores destacados em negrito na Tabela 5.2. Além disso, as velocidades superficiais na estação quente foram maiores do que 60 cm/s durante mais que 50% do tempo. Durante a primavera, inverno e outono velocidades maiores que 60 cm/s representam 36,3%, 27,0% e 17,1% das observações, respectivamente. A comparação sazonal dos resultados aqui obtidos com aqueles da Tabela 5.2 reforça a indicação que parte da energia cinética da corrente total ($\vec{v}$) é devida à CB ($\vec{v}_{CB}$), particularmente durante o verão.

Os resultados observados para as análises dos eixos principal e secundário de máxima variância também indicaram o comportamento sazonal das correntes na posição do fundeio. Próxima a superfície, durante o verão e outono, foram observadas as menores variâncias no eixo principal, indicando comportamento mais persistente de correntes nessas estações.

Para os outros níveis verticais o resultado foi similar ao descrito no último parágrafo, com destaque para maior paralelismo entre o eixo principal de máxima variância e a direção da isóbata, à meia água.

Santos (2009), através de análises de dados de corrente para as proximidades da região (ao largo de Arraial do Cabo, RJ, mais ao sul que nosso fundeio), obteve baixos valores de correlação com o vento local. O autor levantou a possibilidade de que a passagem de Ondas de Plataforma Continental (OPC), que são sub-inerciais e que já foram observadas por Castro e Lee (1995), Rahy (2006) e Dottori e Castro (2009) possam trazer para a região influências da variabilidade do vento remoto. Entretanto os resultados desta Dissertação mostram que houveram correlações significativas entre as correntes e o vento local nos períodos de amostragem (Seção 4.3), com liderança dos ventos. Assim, a influência de OPC nos dados correntográficos analisados, se existente, deve ser relativamente pequena. Mesmo porque essas ondas confinadas possuem maiores energias na parte interna da PC.

As correlações entre o vento local e corrente apresentadas neste trabalho foram, em geral, maiores no inverno do que nas outras estações do ano (Tabela 4.9). Estes resultados

indicam que a variabilidade sazonal da posição da CB é capaz de impulsionar movimentos, durante o verão, que respondem menos energeticamente ao vento local que nas outras estações.

A fim de avaliar esta hipótese foram calculadas as correlações com *lag* entre as correntes de toda a coluna d'água e os ventos superficiais, separadamente para cada estação do ano (Tabela 4.8). Levando-se em consideração que o vento paralelo à costa é o mais significativo, os principais resultados da correlação entre esta componente do vento e as correntes podem ser avaliados na Figura 5.3. De maneira geral, os máximos se concentraram nos *lags* negativos, indicando novamente a liderança dos ventos. Ao contrário do obtido por outros autores (Rahy, 2006; Santos, 2009), foram encontrados 29 máximos com correlação maior que 0,5, indicando a boa resposta das correntes à forçante do vento local, apesar da posição do fundeio próximo à QPC. Para a componente da corrente paralela à costa, todos os máximos obtidos se situam entre poucas horas até 1,3 dias, com a liderança do vento. Castro (1985), apesar de ter avaliado a parte mais costeira da parte norte da PCSE, através de estudos numéricos, concluiu que o tempo de resposta das águas, neste compartimento, é de aproximadamente 31 h ao vento impulsivo local. Apesar das maiores correlações terem sido obtidas para a superfície, dentre as 15 obtidas, 5 são nos níveis mais profundos, com máximo para o inverno (+0,68 em -31 h).

Em relação à variabilidade sazonal, os resultados permitiram a comprovação de que, durante o verão e outono, os ventos são menos competentes para forçar fluxos na QPC de CF que durante o inverno e primavera. No total, enquanto foram observados apenas um máximo de correlação para o verão e 4 para o outono, outros 15 podem ser contabilizados para o inverno e 9 para a primavera. Este fato deve-se, muito provavelmente, à maior aproximação do eixo da CB da PC durante o verão, a qual foi discutida por Paviglione e Miranda (1985) e Lorenzetti et al. (2009). Além disso, durante estes meses, pode haver influência das oscilações de meso-escala da CB (Silveira et al., 2004) nas inversões ciclônicas que ocorrem nos vetores de correntes.

Figura 5.3: Máximos significativos de correlação entre as componentes das correntes normal (painel esquerdo) e paralela (painel direito) à direção da isóbata e a componente paralela do vento. As letras indicam a estação do ano (P=Primavera, V=Verão, O=Outono e I=Inverno) e estão centradas no máximo de correlação (eixo das ordenadas) e em seu respectivo *lag*, em dias (eixo das abscissas). As cores das letras indicam o nível vertical, sendo preto, superficial, vermelho intermediário e azul próximo ao fundo. Todos os máximos estão dentro do intervalo de confiança de 95%.

5.3.3 Temperatura próxima ao fundo

A variação da temperatura de fundo na QPC de CF também foi avaliada sazonalmente. De maneira geral, a variabilidade da média entre as estações obedeceu à uma onda anual, com valor máximo para o verão (média de 17,4°C) e mínimo para o outono (média de 15,7°C). Cerca de 75% das observações se mantiveram abaixo de 18°C, nível este que indica a presença da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) perene na PC de CF (Amor, 2004; Foloni Neto, 2010).

Foi avaliada a variabilidade sazonal das correlações entre a temperatura de fundo e as correntes nos níveis superficial, intermediário e de fundo. Houve variação sazonal, com maior número de máximos, maiores em módulo que 0,5, para o a primavera, seguido de verão, inverno e, por último, outono. Com tais resultados, têm-se um forte indício de que a hipótese levantada na Seção 5.2, apoiada no estudo de Paviglione e Miranda (1985) e Lorenzzetti et al. (2009) é válida, indicando ainda que durante o verão (25,7% dos máximos), o aumento da corrente paralela à isóbata, relacionado à aproximação da CB à PC, ocasiona um aumento de temperatura, atrelado à aproximação de seu núcleo, com águas de maiores temperaturas (AT).

Finalmente, os máximos de correlação entre a temperatura de fundo e as correntes paralelas à isóbata, ocorreram em todos os níveis verticais calculados. Em contrapartida, para a componente normal à isóbata, os máximos ocorreram somente para o nível próximo ao fundo. Isto reforça a evidência de que a CB, que flui paralelamente à isóbata, com baixo cisalhamento vertical na QPC de CF, tem grande importância na dinâmica da temperatura das águas de fundo. Como visto, os máximos de correlação com as correntes normais à isóbata devem estar correlacionados ao início do processo de ressurgência, ocasionando nas intrusões de ACAS na PC pelo fundo.

5.4 Marés

De maneira geral, foram obtidos máximos semi-diurnos significativos, nas análises espectrais para os períodos de amostragem (Figura 4.7, Figura 4.14, Figura 4.21 e Figura 4.28). A fim de avaliar com maior precisão a amplitude das componentes maregráficas, foram construídas elipses barotrópicas, a partir de ambas componentes das correntes, para os níveis superficial, intermediário e próximo ao fundo.

As maiores amplitudes foram obtidas para M_2 e O_1 , concordando com outros estudos (Pereira e Castro, 2007). No entanto, os valores indicam que estas correntes são relativamente fracas quando comparadas às correntes totais. A Tabela 5.3 indica, para os mesmos níveis onde foram calculadas as elipses, a importância que as duas principais componentes de maré (M_2 e O_1) possuem nas correntes totais médias, obtidas para cada estação do ano. Apenas próximo ao fundo as porcentagens alcançam valores significativos, principalmente para o outono (42,6% para S_2 e 32,2% para O_1).

Tabela 5.3: Importância relativa (em porcentagem) das principais componentes de maré semi-diurna (M_2) e diurna (O_1) nas intensidades médias das correntes totais, separadas para cada estação do ano, nos níveis superficial, intermediário e próximo ao fundo. Abaixo de cada estação e nível, são descritos o percentual que representa o desvio padrão das mesmas correntes, para as médias.

Nível	S_2				O_1			
	Verã o	Outon o	Invern o	Primaver a	Verã o	Outon o	Invern o	Primaver a
S	3,9	10,0	7,4	5,5	2,6	6,7	5,0	3,7
DP(S)	68,9	165,7	137,9	91,2	68,9	165,7	137,9	91,2
M	7,5	21,5	11,1	8,7	6,8	19,4	10,0	7,8
DP(M)	67,6	200,5	127,6	92,8	67,6	200,5	127,6	92,8
F	25,0	42,6	34,6	28,8	18,9	32,2	26,1	21,7
DP(F)	200,6	380,6	372,6	268,7	200,6	380,6	372,6	268,7

A partir dos resultados obtidos na Tabela 5.3 podemos quantificar a importância que as correntes de maré possuem nas correntes totais (Tabela 5.4).

Tabela 5.4: Importância relativa (em porcentagem) das principais componentes de maré semi-diurna (M_2) e diurna (O_1) nas correntes totais, separadas para cada estação do ano, nos níveis superficial, intermediário e próximo ao fundo.

Nível	M_2				O_1			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera
S	5,7%	6,0%	5,4%	6,1%	3,8%	4,1%	3,6%	4,1%
M	11,1%	10,7%	8,7%	9,4%	10,0%	9,7%	7,8%	8,4%
F	12,1%	11,2%	9,3%	10,7%	9,2%	8,5%	7,0%	8,1%

Os resultados mostram que as componentes de maré M_2 e O_1 representam, juntas, cerca de 20% da variabilidade das correntes próximas ao fundo e à meia água, e cerca de 10% das correntes próximas à superfície.

Além disso, os resultados mostraram que as componentes de maré foram capazes de promover apenas pequenas mudanças na temperatura de fundo, não ficando evidenciada a passagem de marés internas, como sugerido por outros autores (Pereira e Castro, 2007; Pereira et al., 2007).

6 CONCLUSÕES

- As correntes da Quebra da Plataforma Continental (QPC) de Cabo Frio (CF) apontam majoritariamente para SW, paralelamente à direção da isóbata, com intensidades maiores na superfície, decrescendo em direção ao fundo. Esta persistência é ocasionalmente interrompida por curtos períodos, onde a corrente principal enfraquece e o fluxo apresenta maior variabilidade direcional;
- A banda sub-inercial domina a energia das correntes em toda a coluna d'água, com pequena perda de variância nas proximidades do fundo. A banda supra-inercial tem maior energia na frequência semi-diurna, com dominância em 20% das correntes totais próximas ao fundo e à meia-água, e 10% próximo à superfície;
- A Corrente do Brasil (CB) força os movimentos em toda a coluna d'água durante todo o ano na QPC de CF. A aproximação (afastamento) de sua frente no verão (inverno) gera intenso sinal sazonal no comportamento hidrodinâmico local;
- Os ventos são capazes de forçar movimentos significativos das correntes da QPC de CF, principalmente durante os meses em que a CB se desloca para o largo (inverno e outono), com atraso na resposta das correntes da ordem do período inercial local;
- Durante as estações do ano em que a CB se aproxima da QPC (verão e primavera) e domina as correntes, os ventos predominantes de NE impulsionam movimentos concordantes ao movimento da CB (apontando para SW) resultando em correntes com intensidades maiores que as típicas da CB;
- A temperatura das águas próximas ao fundo são predominantemente menores do que 18°C, indicando presença quase permanente da Água Central do Atlântico Sul (ACAS). A manutenção destas baixas temperaturas (evidenciadas pelas quedas da variável nas séries temporais) coincidem majoritariamente com fluxos normais à isóbata, apontando para a costa. Todavia, os máximos de correlação entre estas variáveis não foram significativos, sendo a componente da corrente paralela à isóbata mais bem relacionada à variação da temperatura de fundo da QPC;
- Máximos significativos de correlação entre as séries de temperatura e as correntes paralelas às isóbatas em todos os níveis verticais, que fluem para SW, indicam que a

aproximação da CB, que carrega em sua camada de mistura águas mais quentes do que a ACAS (Água Tropical), ocasionam aumentos na temperatura da água de fundo da QPC, principalmente durante o verão;

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aanderaa, 2010. TD 220b RDCP Studio, a post-processing suite. Aanderaa Data Instruments AS, Bergen, 32 p.

Allard, P. 1955. Anomalies dans temperatures de leau de mer observees au Cabo Frio (Bresil). Bull. Inf. Com. Cent. Oceanogr. Etude Cotes, 7(2), 58-63.

Amante, C. e B.W. Eakins, 2009. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 p.

Amor, C.C., 2004. Intrusões da Água Central do Atlântico Sul sobre a plataforma continental situada entre a Ilha de São Sebastião (SP) e o Cabo de São Tomé (RJ). Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 254 p.

Boebel, O., R.E. Davis, M. Ollittraut, R.G. Peterson, P.L. Richardson, C. Schmid e W. Zenk, 1999. The intermediate depth circulation of the western South Atlantic, Geophys. Res. Lett., 26(21), 3329-3332.

Böhnecke, G. 1936. Temperature, salinity and density of the surface waters of the Atlantic Ocean. In: Scientific Results of the German Atlantic expedition of the Research Vessel Meteor, 1925-1927. Vol. 5. English version, published in 1994. Washington: National Science Foundation, 172p.

Box, G.E.P., G.M. Jenkins e G.C. Reinsel, 1994. Time series analysis: Forecasting and Control. 3rd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Brehme, I., 1984. Vales submarinos entre o Banco de Abrolhos e Cabo Frio (Rio de Janeiro). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 116 p.

Brink, K.H., 1991. Coastal trapped waves and wind-driven currents over the continental shelf. Ann. Rev. Fluid Mech., 23, 389–412.

Calado, L., 2006. Dinâmica da interação da atividade de mesoescala da Corrente do Brasil com o fenômeno da ressurgência costeira ao largo de Cabo Frio e Cabo de São Tomé, RJ. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 159 p.

Calado, L., I. da Silveira, A. Gangopadhyay, e B.M. Castro, 2010: Eddy-induced upwelling on Cape São Tomé (22°S, Brazil). *Cont. Shelf Res.*, 30 (10-11), 1181-1188.

Campos, E.J.D., 1995. Estudos da circulação oceânica no Atlântico Tropical e na região oeste do Atlântico Subtropical. Tese de Livre Docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, São Paulo, 114 p.

Campos, E.J.D., J.E. Gonçalves, e Y. Ikeda, 1995. Water mass structure and geostrophic circulation in the South Brazil Bight - summer of 1991. *J. Geophys. Res.*, 100(C9), 18.537-18.550.

Castelão, R.M., E.J.D. Campos & J.L. Miller, 2004. A modelling study of coastal upwelling driven by wind and meanders of the Brazil Current. *Journal of Coastal Research*, 20(3), 662-671.

Castro, B.M., 1985. Subtidal response to wind forcing in the South Brazil Bight during winter. PhD Dissertation, University of Miami, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, 211 p.

Castro, B.M., 1996. Correntes e Massas de Água da Plataforma Continental Norte de São Paulo. Tese de Livre Docência, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 248 p.

Castro, B.M. e T.N. Lee, 1995. Wind forced sea level variability on the Southeast Brazilian Shelf. *J. Geophys. Res.*, 100(8), 16045-16056.

Castro, B.M. e L.B. Miranda, 1998. Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf located between 4°N and 34°S. In: *The Sea - The Global Coastal Ocean-Regional Studies and Synthesis*, Robinson, A.R., Brink, K.H. (ed.). John Wiley & Sons, New York, 11, 209-251.

Castro, B.M., J.A. Lorenzzetti, I.C.A. Silveira, e L.B. Miranda, 2006. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e Chuí (RS). In: *O Ambiente*

Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil, Rossi-Wongtschowski, C. L.B., Madureira, L.S.P. (org.). EDUSP, São Paulo, 11-120.

Castro, B.M., A.F. Pereira, A. De Caroli, H. Foloni Neto, G.C.A. Paschoal, I.C.A. Silveira e C.C. Amor, submetido. Correntes e massas de água na plataforma continental da Bacia de Campos. In: xxx.

Castro, B.M., A.F. Pereira, M. Dottori, G.C.A. Paschoal, A. De Caroli, I.C.A. Silveira e C.C. Amor, submetido. Correntes e massas de água na plataforma continental da Bacia de Santos.

Cirano, M., 1995. Utilização de modelo numérico no estudo diagnóstico da circulação oceânica na Bacia de Santos. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, São Paulo, 116 p.

Coelho, A.L., 2008. Resposta da plataforma continental sudeste a ventos sazonais e sinóticos de verão: estudos numéricos. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 188 p.

Csanady, G.T., 1982. Circulation in the coastal ocean. London, D. Reidel, 279 p.

Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha (DHN) 1995. Convenção das Nações Unidas Sobre o Direito do Mar. Lisboa: Ministério dos Negócios Estrangeiros e do Mar, 1985. 313 p. (Versão em Língua Portuguesa com Anexos e Ata Final da Terceira Conferência das Nações Unidas sobre o Direito do Mar).

Dottori, M. e B.M. Castro, 2009. The response of the Sao Paulo continental shelf, Brazil, to synoptic winds. *Ocean Dynamics*, 59: 603-614.

Dourado, M.S. 1994. Estudo da camada limite planetária atmosférica marítima. Dissertação de mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 100 p.

Egbert, G.D. e S.Y. Erofeeva, 2002. Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. *J. Atmos. Oceanic Tech.*, 19(2), 183-204.

Emery, W.J. e R.E. Thomson, 2004. Data analysis methods in physical oceanography, 2ªed., Elsevier Scientific Publ., Amsterdam, 638 p.

- Emilsson, I. 1961. The shelf and coastal waters of southern Brazil. Bolm. Inst. oceanogr., São Paulo, 7(2), 101-112.
- Evans, D.L., S.R. Signorini, e L.B. Miranda, 1983. A note on the transport of the Brazil Current. J. Phys. Oceanogr., 13(9), 1732-1738.
- Evans, D.L. e S.R. Signorini, 1985. Vertical structure of the Brazil Current. Nature, 315, 48-50.
- Fairbridge, R.W. 1966. The encyclopedia of oceanography. New York, Van Nostrand Reinhold Company, 1021 p.
- FEMAR, 2000. Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras, Salles, F.J.P., Bentes, F.C.M., Santos, J.A. (ed.), Rio de Janeiro, Brasil, 280 p.
- Fisher, A. 1964. The circulation and stratification of the Brazil Current. Dissertação de mestrado. New York University. 86p.
- Foloni Neto, H., 2010. As massas de água na Bacia de Campos, RJ. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 143 p.
- Fontes, R.F.C. 1995. As correntes no Canal de São Sebastião. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 159 p.
- Franchito, S.H., T.O. Oda, V.B. Rao e M.T. Kayano, 2008. Interaction between coastal upwelling and local wind at Cabo Frio, Brazil: an observational study. J. Appl. Meteorol., 47, 1590-1598.
- Frigo, M. e S.G. Johnson, 1998: FFTW: An Adaptive Software Architecture for the FFT. Proceedings of the International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 3, 1381-1384.
- Garfield, N., III 1990. The Brazil Current at subtropical latitudes, Ph.D. Thesis, Univ. of R.I., Kingston, 121 p.
- Gill, A.E. e E.H. Schumann, 1974. The generation of long shelf waves by the wind. J. Phys. Oceanogr., 4, 83-90.

Gonzalez-Rodriguez, E, J.L. Valentin, D.L. André. e S.A. Jacob 1992. Upwelling and downwelling at Cabo Frio (Brazil): comparison of biomass and primary production responses. *J Plankton Res*, 14(2), 289-306.

Huthnance, J.M., 1995. Circulation, exchange and water masses at the ocean margin: the role of physical processes at the shelf edge. *Prog. Oceanog.* 35, 353–431.

Ikeda, Y. 1974. Variações em escala média da temperatura e da salinidade do mar na região entre a Baía da Guanabara e Cabo Frio (17/08 a 26/08/1971). Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 80 p.

Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S.K. Yarg, J.J., Hnilo, M. Fiorino, e G.L. Potter, 2002. NCEP/DOE AMIP-II reanalysis (R-2). *Bull. Am. Met. Soc.*, 83, 1631-1643.

Kousky, V.E. 1979. Frontal influences on northeast Brazil. *Mon. Weather Rev.*, 107(9), 1140-1153.

Kvinge, T. 1967. On the special current and water level variations in the Channel of São Sebastião. *Bolm. Inst. oceanogr.*, 16: 23-38.

Loder, J.W., W.C. Boicourt e J.H. Simpson, 1998. Western ocean boundary shelves: Coastal segment (W). In: *The Sea*, A.R. Robinson & K.H. Brink (Eds.), John Wiley, New York, p. 3-27.

Lohrenz, S.E. e B.M. Castro, 2006. Western Ocean Boundaries Pan-Regional Overview (W). In: *The Sea*, Vol. 14, *The Global Coastal Ocean: Interdisciplinary Regional Studies and Syntheses*, ed. Robinson, A.R. e K.H. Brink, Harvard Press: Cambridge.

Lorenzzetti, J. A. e K. Tanaka, 1990. Uso de um modelo numérico para o estudo da resposta da ressurgência de Cabo Frio à passagem de frentes frias. *Anais do VI Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Salvador, BA.

Lorenzzetti, J.A. e J.L. Stech, 1994. Southwestern Atlantic surface features as observed from AVHRR images during Project COROAS (1992-1994). In: *South Western Atlantic Physical Oceanography Workshop*. Publ. IOUSP, São Paulo, 1994. Abstracts, p. 49.

Lorenzzetti, J.A., J.L. Stech, W.L. Mello Filho e A.T. Assireu, 2009. Satellite observation of the Brazil Current inshore thermal front in the SW South Atlantic: Space/time variability and sea surface temperatures. *Continental Shelf Research*, 29: 2061-2068.

Maamaatuaiahutapu, K., V.C. Garyon, C. Provost, M. Boulahdid, e A.A. Bianchi, 1994. Spring and winter water mass composition in the Brazil-Malvinas Confluence. *Journal of Marine Research*, (52), 397-426.

Matsuura, Y., 1985. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC). *Cienc. Cult.*, 38(8), 1439-1450.

Mahiques, M.M., M. G. Tessler, A.M. Ciotti, I.C.A. Silveira, S.H. Mello e Souza, R.C.L. Figueira, C.C.G. Tassinari, V.V. Furtado e R.F. Passos, 2004. Hydrodynamically driven patterns of recent sedimentation in the shelf and upper slope off Southeast Brazil. *Cont. Shelf. Res.*, 24, 1685-1697.

Mascarenhas Jr., A.S., L.B. Miranda e N.J. Rock, 1971. A study of the oceanographic conditions in the region of Cabo Frio. In: *Fertility of the Sea*, Costlow, J.D. (ed.). Gordon and Breach Science Publishers, New York, v. 1, 285-308.

Mazzini, P.L.F., 2009. Correntes subinerciais na plataforma continental interna entre Peruíbe e São Sebastião: observações. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 112 p.

Mello Filho, W.L., 2006. Observações de feições oceanográficas de superfície na costa sudeste brasileira através de imagens termais do sensor AVHRR/NOAA. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos/SP, 85 p.

Mémery, L., M. Arhan, X.A. Alvarez-Salgado, M.J. Messia, H. Mercier, C.G. Castro, e A.F. Rios, 2000. The water masses along the western boundary of the south and equatorial Atlantic. *Progress in Oceanography*, (47), 69-98.

Milani, E.J., J.A.S.L. Brandão, P.V. Zalán e L.A.P. Gamboa 2001. Petróleo na margem continental brasileira: geologia, exploração, resultados e perspectivas. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(3), 351-396.

- Miranda, L.B. 1982. Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de S. Tomé (RJ) à Ilha de São Sebastião (SP). Tese de Livre Docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 194 p.
- Miranda, L.B. e B.M. Castro, 1979. Condições do movimento geostrófico das águas adjacentes a Cabo Frio (RJ). Bolm. Inst. Oceanogr., S Paulo, 28(2),79-93.
- Miranda, L.B. e B.M. Castro, 1981. Geostrophic flow conditions of the Brazil Current at 19°S. Ciencia Interamericana, 22(1-2): 48-48.
- Montgomery, R.B., 1937. A suggested method for representing gradient flow in isentropic surfaces. Bul. Am. Met. Soc., 18, 210-212.
- Moreira, J.R.G.B., 1997. Correntes na plataforma externa e talude ao largo de Santos: observações no verão de 1993. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 214 p.
- National Data Buoy Center (NDBC), 2009. Handbook of automated data quality control checks and procedures. Technical Document 09-02. National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, 78 p.
- Occhipinti, A.G. 1963. Climatologia dinâmica do litoral sul brasileiro. Contrções. Avulsas do Inst. Oceanogr. da Universidade de São Paulo, sér. Oceanogr. Fís., (3) 86p.
- Oliveira, A.S. 1986. Interações entre Sistemas Frontais na América do Sul e Convecção na Amazônia. Dissertação de Mestrado, Inst. de Pesq. Espaciais, São José dos Campos, 115 p.
- Palma, J.J.C. 1984. Fisiografia da área oceânica. In: Schobbenhaus, C. Mapa geológico do Brasil e da área adjacente, incluindo depósitos minerais. Escala 1:2.500.000. Brasília, 473-489.
- Palma, E.D.B., R.P. Matano e A.R. Piola, 2008. A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: Stratified ocean response to local and offshore forcing. J. Geophys. Res., 113, C11010, doi:10.1029/2007JC004720.

Paviglione, A.M. e L.B. Miranda, 1985. Nota sobre a variação sazonal da circulação geostrófica na borda da plataforma continental: Cabo de São Tomé (RJ) e Baía da Guanabara (RJ). Bolm. Inst. Oceanogr., 33(1), 55-68.

Pawlowicz, R., B. Beardsley e S. Lentz, 2002: Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using t tide. Comput. Geosci., 28, 929-937.

Pedlosky, J. 1987. Geophysical fluid dynamics, Springer study edition. 2ª ed, Springer-Verlag, 710 p.

Pereira, A.F. e B.M. Castro, 2007. Internal tides in the Southwestern Atlantic off Brazil: observations and numerical modelling. J. Phys. Ocean., 37(6), 1512-1526, doi: 10.1175/JPO3075.1.

Pereira, A.F., B.M. Castro, L. Calado e I.C.A. Silveira, 2007. Numerical simulation of M2 internal tides in the South Brazil Bight and their interaction with the Brazil Current. J. Geophys. Res., 112, C04009, doi:10.1029/2006JC003673.

Rahy, M.Q.T. 2006. Correntes subinerciais e ondas de plataforma continental presentes na costa sudeste do Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 90 p.

Rezende, J.H.M., 2003. Intrusões da Água Central do Atlântico Sul na plataforma continental sudeste durante o verão. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 120 p.

Rezende, C.E., L. Andrade, M.S. Suzuki, B.C.M.T. Faro, A.S.M. Gonzalez e R. Paranhos, 2007. Hidroquímica. In: Características hidrobiológicas da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ). Ed. J.L. Valentin. Série Documentos REVIZEE/Score Central – Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 168 p.

Robinson, A.R., 1964. Continental shelf waves and the response of sea level to weather systems. J. Geophys. Res., 69: 367-368.

Rodrigues, M.L.G., D. Franco, e S. Sugahara, 2004. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. Rev. Bras. Geof., 22(2), 135-151.

Rocha, J., J.D. Milliman, C.I. Santana, e M.A. Vicalvi, 1975. Continental margin sedimentation off Brazil Part 5: Southern Brazil. *Contributions to Sedimentology*, 4, 117-150.

Ruffato, D.G., 2011. Circulação na plataforma continental interna e média do Estado de São Paulo durante o verão: estudos numéricos. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 119 p.

Santos, L.F.S., 2009. Variabilidade subinercial das correntes na plataforma continental ao largo do Cabo Frio (RJ): observações. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 150 p.

Santos Silvestre, B. e P.R. Tavares Dalcol, 2008. Aglomeração industrial de petróleo e gás da região produtora da Bacia de Campos - sistema de conhecimento, mudanças tecnológicas e inovação. *Revista de Administração - RAUSP*, 43(1), 84-96.

Satyamurty, P., e L.F. Mattos, 1989. Climatological lower tropospheric frontogeneis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. *Monthly Weather Review*, 117: 1355-1364.

Shepard, F.P., 1973. *Submarine geology*. 3ªed., New York, Harper and Row, 517 p.

Signorini, S.R., 1976. Contribuição ao estudo da circulação e do transporte de volume da Corrente do Brasil entre o Cabo de São Tomé e a Baía da Guanabara. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 25, 157-220.

Signorini, S.R., 1978. On the circulation and volume transport of the Brazil Current between the Cape of São Tomé and Guanabara Bay. *Deep-Sea Res.*, 25, 481-490.

Silva, P.C.M., 1977. A ressurgência em Cabo Frio. Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), 78 p.

Silveira, I.C.A., A.C.K. Schmidt, E.J.D. Campos, S.S. Godoi e Y. Ikeda, 2001. A Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *Braz. J. Oceanogr.*, 48(2), 171-183.

Silveira, I.C.A., L. Calado, B.M. Castro, M. Cirano, J.A.M. Lima e A.S. Mascarenhas, 2004. On the baroclinic structure of the Brazil Current Intermediate Western Boundary Current System. *Geophys. Res. Lett.*, L14308, doi:10.1029/2004GL020036.

Silveira, I. C. A., 2007. O Sistema Corrente do Brasil na Baía de Campos, RJ. Tese de Livre Docência. Universidade de São Paulo, São Paulo. 181 p.

Silveira, I.C.A., J.A.M. Lima, A.C.K. Schmidt, W. Ceccopieri, A. Sartori, C.P.F. Francisco e R.F.C. Fontes, 2008. Is the meander growth in the Brazil Current System off Southeast Brazil due to baroclinic instability? *Dyn. Atm. Oceans, Special Issue on Ocean Fronts*, 187-207.

Sontek, 2000. SonTek/YSI ADP® Acoustic Doppler Profiler, Technical documentation, SonTek/YSI, Inc., California, 186 p.

Stech, J.L. 1989. Um estudo comparativo da Dinâmica da circulação de inverno entre as plataformas continentais das costas sudeste do Brasil e do Estados Unidos utilizando um modelo numérico Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 224p.

Stech, J.L. & J.A. Lorenzzetti, 1992. The response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. *J. Geophys. Res.*, 97(C6), 9507-9520.

Stramma, L. 1989. The Brazil Current transport south of 23°S. *Deep-Sea Res.*, 36(4A), 639-646.

Stramma, L., Y. Ikeda e R.G. Peterson, 1990. Geostrophic transport in the Brazil Current region. *Deep-Sea. Res.*, 37(1A), 1875-1886.

Tanaka, K. 1986. Análise de série temporal de 10 Anos: ressurgência em Cabo Frio, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE-3812 RPE/502.

Tomczak, M., 1999. Some historical, theoretical and applied aspects of quantitative water mass analysis. *Journal of Marine Research*, (57), 275-303.

Tomczak, M. e J. S. Godfrey, 1994. Regional oceanography: an introduction. Pergamon, Great Britain. 422 p.

Walters, R.A. e C. Heston, 1982. Removing tidal-period variations from time-series data using low-pass digital filters. *J. Phys. Oceanogr.*, 12, 112-115.

Zembruski, S.G., 1979. Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das bacias oceânicas adjacentes. In: *Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes*. Rio de Janeiro, PETROBRAS, CENPES, DINTEP, 177 p. Série Projeto REMAC, 7: 129-177.