

HELVIO PREVELATO GREGÓRIO

Estudo de Massas de Água e Correntes da Baía do Almirantado, Antártica, Durante o Verão

Monografia de Bacharelado apresentada
ao Instituto Oceanográfico da Universidade
de São Paulo, como parte dos requisitos
para obtenção do grau de Bacharel em
Oceanografia.

Orientador:
Prof. Dr Belmiro Mendes de Castro Filho

SÃO PAULO

2006

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO OCEANOGRÁFICO

Estudo de Massas de Água e Correntes da Baía do Almirantado, Antártica, Durante o Verão

Helvio Prevelato Gregório

Monografia de Bacharelado apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Aprovada em ___/___/___ por

Prof. Dr. Belmiro Mendes de Castro Filho

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

SÃO PAULO
2006

"Pensamos demasiadamente e sentimos muito pouco. Necessitamos mais de humildade que de máquinas. Mais de bondade e ternura que de inteligência. Sem isso, a vida se tornará violenta e tudo se perderá." **(Charles Chaplin)**

Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos,

Ao Prof. Dr. Belmiro Mendes de Castro Filho, pelo conhecimento e valorosa orientação.

Ao Prof. Dr. Roberto Carelli Fontes, pela co-orientação no início da Iniciação Científica, pelos ensinamentos e pela companhia e amizade durante a Operação Antártica XXIII.

À todos os Profs. da USP como um todo, pelo aprendizado durante o período de graduação. Agradeço também todos os funcionários e técnicos do IOUSP pela ajuda e auxílio em todos os momentos inclusive em trabalhos de campo das disciplinas.

Ao pessoal da Marinha do Brasil, tanto o Grupo Base da EACF quanto a tripulação do NApOc. Ary Rongel, pelo apoio e ajuda durante a Operação Antártica XXIII.

Agradeço ao CNPq pelas bolsas de Iniciação Científica concedidas, além do auxílio financeiro durante a Operação Antártica XXIII.

Aos colegas da Turma I, em especial aos grandes amigos Bruno, Fernando, Gustavo, Marcos, Michael, Renata, Simone, Tiago, e os valiosos amigos que obtive em toda a graduação. Obrigado à todos. Vocês foram a minha família em São Paulo.

Agradecimento especial aos meus amigos de apartamento, Marcelo e Zé Renato, companheiros incondicionais. Agradeço também à Maria Alice, pelo apoio e incentivo incondicional desde à época de vestibular e por quase toda a graduação. Nunca esquecerei vocês.

Por fim agradeço toda a minha família, em especial meus pais, Helvio e Regina,

por todo auxílio, empenho, apoio, força, entusiasmo e incentivo durante todo este percurso. Sem eles essa etapa da minha vida não teria sido cumprida.

E à Deus, pois sem Ele, nada seria possível.

Sumário

Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	iv
Lista de Siglas e Abreviações	v
Resumo	vi
Abstract	vii
1 Introdução	1
1.1 Área de Estudo	3
1.2 Trabalhos Anteriores	4
2 Objetivos	7
3 Conjunto de Dados	8
3.1 Hidrografia	9
3.2 Hidrodinâmica	9
3.2.1 Correntes	10
3.2.2 Nível do mar	12
3.2.3 Velocidade e Direção do Vento	13
4 Metodologia	14
4.1 Hidrografia	14
4.2 Hidrodinâmica	15
4.2.1 Análise Estatística Básica	15
4.2.2 Decomposição de Velocidade	17
4.2.3 Análise de Fourier	20
4.2.4 Filtro de Freqüência	22
4.2.5 Classificação da Maré	22

5	Resultados	23
5.1	Hidrografia	23
5.1.1	Verão 2000/2001	23
5.1.2	Verão 2001/2002	26
5.2	Hidrodinâmica	31
5.2.1	Fundeio F2	31
5.2.2	Fundeio F3	37
5.2.3	Nível do Mar	42
5.2.4	Vento	44
6	Discussão	48
6.1	Hidrografia	48
6.2	Hidrodinâmica	50
7	Conclusões	54
8	Consideração Finais	56
9	Referências Bibliográficas	57

Lista de Figuras

1.1	No retângulo, localização do Arquipélago das Shetlands do Sul. A ilha Rei George é a ilha central do Arquipélago. As áreas em cinza identificam as plataformas de gelo. Fonte: Simões et al.(2002).	3
1.2	Ilha Rei George com a localização da BA e suas enseadas. As regiões na cor cinza representam locais sem cobertura de gelo. Adaptado de Simões et al. (2002)	4
1.3	Na figura temos: (a) o Estreito de Bransfield; (b) o Arquipélago das Shetlands do Sul; (c) Península Antártica; (d) Mar de Bellingshausen e (e) Mar de Weddell.	5
3.1	Localização dos pontos de amostragem na BA. O ponto em azul representa as medidas de vento (meteorológica), em vermelho os dados correntográficos, em preto as medições da variação do nível do mar (maré) e os pontos em verde as estações hidrográficas. Adaptado de Simões et al. (2002).	8
3.2	Estações hidrográficas amostradas para a EM.	10
4.1	Eixos rotacionados para os Fundeios F2 e F3 na BA. Adaptado de Simões et al., 2002.	19
5.1	Distribuições horizontais de Temperatura (a), Salinidade (b) e Densidade (c) superficiais da EM para os verões 2000/2001	24
5.2	Seções verticais da temperatura (a), salinidade (b) e densidade (c) na seção longitudinal da EM para o verão de 2000/2001. Os painéis superiores mostram toda a coluna de água enquanto os inferiores, apenas a lâmina de 20 m superficiais.	25
5.3	Representação vertical do gradiente horizontal de temperatura (a), salinidade (b) e densidade (c), considerando as estações hidrográficas extremas 1 (entrada da EM) e 7 (fundos). Valores obtidos para o verão de 2000/2001.	26

5.4	Diagrama TS espalhado para o verão de 2000/2001 na EM, englobando os 9 pontos propostos.	27
5.5	Distribuições horizontais de Temperatura (a), Salinidade (b) e Densidade (c) superficiais da EM para o verão 2001/2002	28
5.6	Seções verticais da temperatura (a), salinidade (b) e densidade (c) na seção longitudinal da EM para o verão de 2001/2002. Os painéis superiores mostram toda a coluna de água enquanto os inferiores, apenas a lâmina de 20 m superficiais.	29
5.7	Representação vertical do gradiente horizontal de temperatura (a), salinidade (b) e densidade (c), considerando as estações hidrográficas extremas 1 (entrada da EM) e 7 (fundos). Valores obtidos para o verão de 2001/2002.	30
5.8	Diagrama TS espalhado para o verão de 2002 na EM, englobando os 9 pontos estudados.	30
5.9	Em (a), velocidades máximas, e em (b) velocidades mínimas do fundeio F2 ao longo da coluna d'água. O painel superior corresponde a velocidade zonal, e o painel inferior corresponde a velocidade meridional. 31	31
5.10	Velocidades médias do fundeio F2 ao longo da coluna d'água. O painel superior corresponde a velocidade zonal, e o painel inferior corresponde a velocidade meridional	32
5.11	Em (a) amplitude das velocidades e em (b) desvios padrão das velocidades do fundeio F2 ao longo da coluna d'água. O painel superior corresponde a velocidade zonal, e o painel inferior corresponde a velocidade meridional	32
5.12	Velocidades zonais filtradas nas profundidades de 30, 50, 65, 100 e 135 m no fundeio F2.	33
5.13	Velocidades meridionais filtradas nas profundidades de 30, 50, 65, 100 e 135 m no fundeio F2.	34
5.14	Stickplot das velocidades filtradas nas profundidades de 30, 50, 65, 100 e 135 m no fundeio F2.	34
5.15	Velocidades zonal e meridional, filtradas, verticalmente integradas de 25 à 135 m para o fundeio F2.	35
5.16	Espectro de energia para a velocidade zonal verticalmente integrada de 25 a 135 m para o fundeio F2.	36
5.17	Em (a), velocidades máximas, e em (b) velocidades mínimas do fundeio F3 ao longo da coluna d'água. O painel superior corresponde a velocidade zonal, e o painel inferior corresponde a velocidade meridional. 37	37

5.18	Velocidades médias do fundeio F3 ao longo da coluna d'água.	37
5.19	Em (a) amplitude das velocidades e em (b) desvios padrão das velocidades do fundeio F3 ao longo da coluna d'água. O painel superior corresponde a velocidade zonal, e o painel inferior corresponde a velocidade meridional	38
5.20	Velocidades zonais filtradas nas profundidades de 20, 40, 60, 100, 200, 300 e 450m no fundeio F3.	39
5.21	Velocidades meridionais filtradas nas profundidades de 20, 40, 60, 100, 200, 300 e 450m n fundeio F3.	39
5.22	Stickplot das velocidades filtradas nas profundidades de 20, 40, 60, 100, 200, 300 e 450m n fundeio F3.	40
5.23	Velocidades zonal e meridional, filtradas, verticalmente integradas de 20 a 195 m para o fundeio F3.	41
5.24	Espectro de energia para a velocidade meridional verticalmente integrada de 25 a 195 m, 300 m e 400 m para o fundeio F3.	41
5.25	Variação do nível do mar no período de 24/11/01 à 15/12/2001.	43
5.26	Variação diária do nível do mar entre o período de 11/01/2001 à 19/01/2001.	43
5.27	Espectro de energia para os dados de variacao do nível do mar no período entre 24/11/01 e 15/12/2001.	44
5.28	Em (a), velocidades meridionais, e em (b) velocidades zonais. Em azul dados de velocidades do vento, e em verde velocidades da corrente superficial para o fundeio F2.	45
5.29	Espectros de energia comparativos entre velocidade meridional (a) e zonal (b) para a corrente superficial no fundeio F2 e vento.	46
5.30	Em (a), velocidades meridionais, e em (b) velocidades zonais. Em azul dados de velocidades do vento, e em verde velocidades da corrente superficial para o fundeio F2.	46
5.31	Espectros de energia comparativos entre velocidade meridional (a) e zonal (b) para a corrente superficial no fundeio F3 e vento.	47
6.1	Velocidades médias medidas na BA. As cores indicam as profundidades das correntes.	51

Lista de Tabelas

3.1	Características dos fundeios utilizados para obtenção dos dados correntográficos	11
3.2	Início, final e comprimento das séries temporais de corrente adquiridos com correntógrafos RCM7.	12
3.3	Início, final e comprimento das séries temporais de corrente adquiridos através de correntógrafos ADCP.	12
3.4	Série de dados de nível do mar.	13
3.5	Série de dados de ventos para a BA.	13
4.1	Declinação magnética utilizada nos dados dos fundeios de acordo com o período de coleta de dados.	18
4.2	Classificação do regime de marés de acordo com Courtier, 1937.	22
5.1	Principais componente harmônicas da componente zonal da velocidade verticalmente integrada do fundeio F2.	36
5.2	Principais componente harmônicas da componente meridional da velocidade do fundeio F3.	42
5.3	Principais componente harmônicas da variação do nível do mar no período entre 24/11/01 e 15/12/2001.	44
6.1	Índices termohalinos das massas de água presentes no Estreito de Bransfield e dos Verões 2000/2001 e 2001/2002.	50

Lista de Siglas e Abreviações

ADCP - Acoustic Doppler Current Profiler
AGI - Ano Geofísico Internacional
ATB - Águas Transicionais com Características do Mar de Bellinghausen
ATW - Águas Transicionais com Características do Mar de Weddell
BA - Baía do Almirantado
CCPA - Comitê Científico para Pesquisas Antárticas
CIUC - Conselho Internacional de união Científica
DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação
EACF - Estação Antártica Comandante Ferraz
EB - Estreito de Bransfield
EE - Enseada Ezcurra
EM - Enseada Martel
EMa - Enseada Mackelar
HIDROMAR - Hidrodinâmica da Enseada Martel
MODQUALI - Modelagem da Qualidade de Água da Baía do Almirantado
NM - Norte Magnético
PROANTAR - Programa Antártico Brasileiro
S - Salinidade
SP - Seção Principal
T - Temperatura
TA - Tratado Antártico
TRF - Transformada Rápida de Fourier
URSS - União das Repúblicas Socialistas Soviéticas

Resumo

Este Trabalho de Graduação possui como objetivo principal inferir e caracterizar os processos hidrodinâmicos (circulação) e termodinâmicos (mistura) na Baía do Almirantado (BA). A BA é a maior baía no Arquipélago das Shetlands do Sul, localizada na latitude de 62°S e longitude 58°O, formando juntamente com a Península Antártica, as duas barreiras físicas limites do Estreito de Bransfield (EB). Toda a região da BA - incluindo terra e mar - foi classificada como Área Antártica Especialmente Gerenciada, significando que todos os países ali instalados, devem administrar a região, por meio de um plano de manejo apropriado, a fim de evitar impactos cumulativos. Foram utilizados dados hidrográficos, maregráficos, correntográficos e de velocidade do vento de três períodos de verão distintos (2000-2001, 2001-2002 e 2004-2005). Os dados hidrográficos foram analisados por meio de gráficos, perfis verticais e diagramas de estado. Já as variáveis hidrodinâmicas foram submetidas a análises estatísticas, espectrais e harmônicas. Os principais resultados obtidos foram: (i) as massas de água são extremamente homogêneas, resultados da intensa mistura provocada pelo EB, sendo esta estrutura afetada somente nos pontos de degelo continental; (ii) a magnitude das correntes no interior da BA é de $0,1 \text{ m.s}^{-1}$, enquanto que na entrada, este valor é da ordem de 1 m.s^{-1} ; (iii) tanto as correntes quanto o nível do mar apresentaram energias centradas nas frequências de 1 cpd (diurna) e 2 cpd (semi-diurna) para a análise espectral; (iv) as correntes e a variação do nível do mar apresentaram as mesmas constantes harmônicas mais significativas: O1, K1, M2 e S2; (v) o ciclo de maré foi classificado como sendo semi-diurno com desigualdades diurnas; (vi) as correntes superficiais indicaram uma baixa correlação com as velocidades do vento local, sendo que no interior da BA, onde a profundidade é menor, esta foi levemente significativa. Por fim, conclui-se que, longe das geleiras continentais, as principais forçantes dos movimentos na BA são a maré e o vento, sendo este último atuando principalmente em regiões rasas próximas a linha de costa.

Abstract

This Graduate Work possess as main objective to infer and to characterize the hydrodynamic (circulation) and thermodynamic (mixture) processes in Admiralty Bay (AB). The AB is the biggest bay in the archipelago of the South Shetlands, located in the latitude of 62° S and longitude 58° W, forming together with the Antarctic Peninsula, the two physical barriers limits of the Bransfield Strait (BS). All the region of the AB - including land and sea - was classified as Antarctic Area Especially Managed, meaning that all the countries installed there, must manage the region, to prevent cumulative impacts. They had been used given hidrographers, tiders, currenters and of speed of the wind datas of three distincts periods of summer (2000-2001, 2001-2002 and 2004-2005). The hidrographers data had been analyzed by graphs, vertical profiles and TS diagrams. Already the hydrodynamic variable had been submitted the statistical, spectral and harmonic analyses. The main gotten results had been: (i) the water masses are extremely homogeneous, results of the intense mixture promote for the BS, being this structure only affected in the points of continental thawing; (ii) the magnitude of currents in the interior of the AB is of $0,1 \text{ m.s}^{-1}$, while that in the entrance, this value is of the order 1 m.s^{-1} ; (iii) in such a way the currents how much the sea level had presented energies centered in the frequencies of 1 cpd (diurne) and 2 cpd (half-diurne) for the spectral analysis; (iv) the currents and the variation of the sea level had presented the same more significant harmonic constants: O1, K1, M2 and S2; (v) the tide cycle was classified as being half-diurne with inequalities diurne; (vi) the surface currents had indicated low a correlation with the speeds of the local wind, having been that in interior of the AB, where the depth is lesser, this was lightly significant. Finally, last one is concluded that, far of continental glaciers, the main forces of the movements in the BA are the tide and the wind, being this mainly acting in flat regions closer the shoreline.

Capítulo 1

Introdução

Localizada no extremo sul do globo terrestre, a região Antártica desempenha um papel fundamental no equilíbrio da Terra, principalmente no que diz respeito à dinâmica atmosférica e climática. A parte continental possui uma área de 14 milhões de km² aproximadamente, riquíssima em recursos naturais, principalmente minerais, ocupando 9,3% da superfície terrestre. A região Antártica sempre esteve envolvida em questões polêmicas, a primeira relacionada à suposição de sua existência apontada pelos gregos; do mito, para a realidade e conseqüentemente as inúmeras tentativas de posse do território. Um dos períodos marcantes dessas incursões aconteceu no início do século XX, com a famosa Corrida ao Pólo Sul, envolvendo ingleses e noruegueses e, atualmente, por uma minoria de países que fazem parte do Tratado Antártico (TA) desenvolvendo pesquisas, principalmente de cunho científico, nas mais diversas áreas do conhecimento.

Em 1950, no Conselho Internacional de União Científica (CIUC), foi discutida a possibilidade de ser realizado o Terceiro Ano Polar Internacional. Por sugestão da Organização Meteorológica Mundial, o conceito de ano polar foi estendido para todo o Globo, nascendo, assim, o Ano Geofísico Internacional (AGI), que veio a realizar-se de junho de 1957 até dezembro de 1958.

O CIUC aprovou, em 1957, a criação do Comitê Especial para Pesquisas Antárticas, atualmente Comitê Científico para Pesquisas Antárticas (CCPA), formado por delegados de diversos países engajados em pesquisas antárticas. Esse foi um marco importante para o desenvolvimento das pesquisas no continente, tendo delas participado: Argentina, Austrália, Bélgica, Chile, Estados Unidos, França, Japão, Noruega, Nova Zelândia, Reino Unido, República Sul Africana e União das República Socialistas Soviéticas (URSS).

Uma vez encerrado o AGI, os países participantes das pesquisas antárticas mantiveram suas estações, reafirmando seu interesse na região, o que motivou a convocação

feita pelos Estados Unidos para a conferência de Washington, em 1959, que discutiria o futuro do continente. O interesse manifestado pelos países atuantes na Antártica, alguns dos quais reivindicavam soberania territorial sobre alguns setores, somado à situação criada pela presença de bases da URSS nas proximidades das áreas adjacentes aos setores reivindicados por diversas nações, acrescido da inquietude norte-americana pelo estabelecimento de um regime de cooperação internacional para a Antártica, congregando o conhecimento adquirido por ocasião do AGI, apressaram a busca de um regime jurídico apropriado para a solução da complexa situação criada na região.

Como resultado da conferência de Washington, os doze países que dela participaram assinaram, em 1º de dezembro de 1959, o TA, que entrou em vigor em 23 de junho de 1961. O TA possui um regime jurídico que estende a outros países, além dos 12 iniciais, a possibilidade de se tornarem partes consultivas nas discussões que regem o “status” do continente quando, demonstrando seu interesse, realizarem atividades de pesquisa científica substanciais (Secirm, 2006).

Isto despertou o interesse do Brasil em se instalar cientificamente na região. Hoje, ele está representado na Antártica, principalmente pela Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF). A EACF foi instalada, em 6 de fevereiro de 1984, próxima à Península Antártica, na Ilha Rei George, a maior ilha do Arquipélago das Shetlands do Sul (Figura 1.1), mais exatamente na Baía do Almirantado (BA), que possui três enseadas, Martel (EM), Mackellar (EMa) e Ezcurra (EE) (Figura 1.2). A EACF fica na entrada esquerda da EM.

Toda a região da BA - incluindo terra e mar - foi classificada como Área Antártica Especialmente Gerenciada. Isso significa que todos os países instalados na BA, sendo eles Brasil, Peru, Polônia, Estados Unidos e Equador, devem administrar a região, por meio de um plano de manejo apropriado, a fim de evitar impactos cumulativos. Este posicionamento exige um conhecimento completo dos processos que afetam o meio ambiente, inclusive os relacionados às condições hidrográficas e hidrodinâmicas da região. As massas de água e correntes marinhas na BA e as variações de alguns parâmetros ambientais são conhecimentos necessários ao estudo desse ecossistema, além do estabelecimento de eventuais medidas mitigadoras e de gestão ambiental.

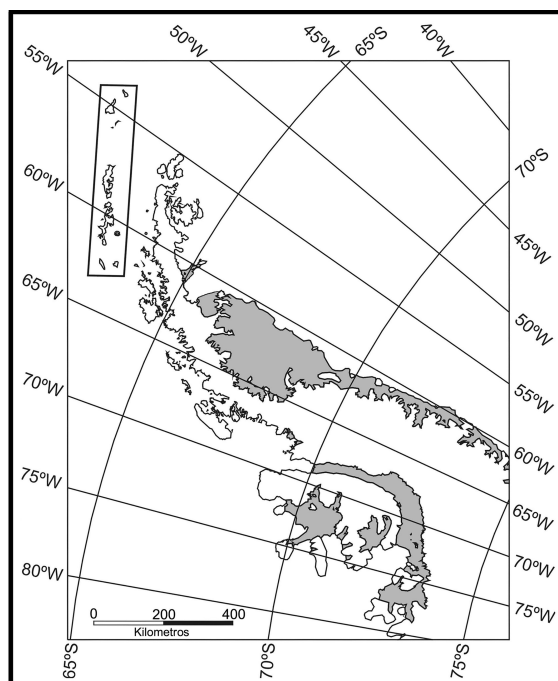


Figura 1.1: No retângulo, localização do Arquipélago das Shetlands do Sul. A ilha Rei George é a ilha central do Arquipélago. As áreas em cinza identificam as plataformas de gelo. Fonte: Simões et al.(2002).

1.1 Área de Estudo

A BA é a maior baía no Arquipélago das Shetlands do Sul e contém uma área de 122,0 km². Está localizada na latitude de 62° S e longitude 58° O. O seu volume total é estimado em 24,1 km³ (Rakusa-Suszczewsk, 1993).

A BA possui uma linha de costa diversificada, muito recortada, com pontos de grande profundidade. Ao longo de praticamente toda a linha de costa, existe a formação de geleiras.

A configuração do relevo interior é similar ao de um fiorde, onde ocorrem quedas íngremes formando uma grade topográfica diversa (Pruszek, 1980). A parte nordeste da BA compreende três enseadas: EE, EMa e EM, as quais apresentam uma constituição morfológica semelhante a da região central da BA (Rakusa-Suszczewski, 1993).

Dos 122,08 km² de superfície da BA, a EE contribui com 19,82 km² (16,2 %) e EMa e EM com 38,45 km² (31,5 %). Dos 24,1 km³ de volume da BA, a EE apresenta um volume de 1,96 km³, representando um total de 8 %, enquanto que EMa e EM possuem um volume de 4,43 km³, ou 18% do total (Rakusa-Suszczewski et al., 1993).

A BA apresenta uma profundidade média de 201,7 m, EE 99,9 m e EMa e EM 118,8 m (Rakusa-Suszczewski et al., 1993).

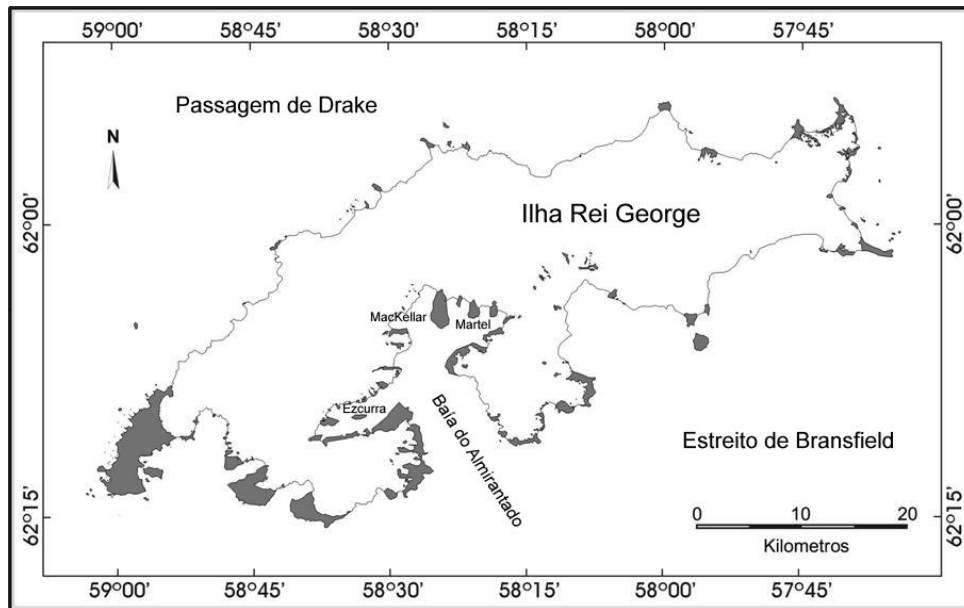


Figura 1.2: Ilha Rei George com a localização da BA e suas enseadas. As regiões na cor cinza representam locais sem cobertura de gelo. Adaptado de Simões et al. (2002)

A BA possui uma abertura direta com o Estreito de Bransfield (EB), com uma largura de aproximadamente 7 Km, e profundidade de 500 m, sendo portanto influenciado diretamente por este. O EB está compreendido entre o Arquipélago das Shetlands do Sul (Norte), Península Antártica (Sul), Mar de Bellingshausen (Leste) e Mar de Weddell (Oeste) (Figura 1.3). É composto por três bacias principais, leste, central e oeste (Wilson et al., 1999). A conexão com a BA ocorre na Bacia Central, onde a profundidade média está entre 1000 e 1100 m chegando a 2000 m (Wilson et al., 1999).

1.2 Trabalhos Anteriores

Szafranski e Lipski (1982), caracterizaram a temperatura e a salinidade da BA para os verões de 1978/1979. Este foi o primeiro, e o mais completo, estudo sobre as características hidrográficas da região. Neste trabalho foram realizadas 38 estações hidrográficas ao longo de toda a BA. As propriedades foram caracterizadas de forma superficial e vertical. Este trabalho será o principal elo de comparação para os resultados obtidos neste estudo. Posteriormente, Rakusa-Suszczewsk (1993) à partir de dados referentes aos verões de 1977/1978 e 1978/1979 (Samp 1980, Szafranski e Lipski 1982, Bojanowski 1984, Sarukhanyan e Tokarczyk 1988, Prego et al. 1990, Valencia et

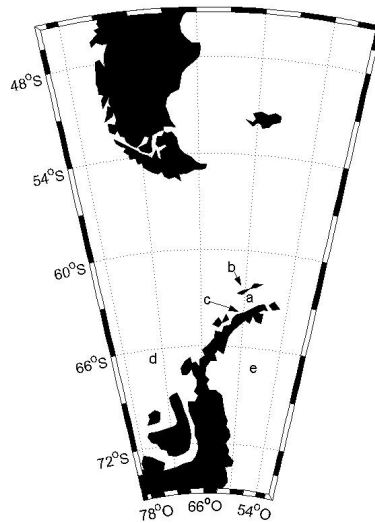


Figura 1.3: Na figura temos: (a) o Estreito de Bransfield; (b) o Arquipélago das Shetlands do Sul; (c) Península Antártica; (d) Mar de Bellingshausen e (e) Mar de Weddell.

al. 1990), e de dois ciclos anuais (1979 por Lipski (1987) e 1981 por Tokarczyk (1986, 1987)) tentou descrever resumidamente como ocorre as distribuições de temperatura, salinidade e outros fatores de ordem geoquímica na BA. A relevância deste trabalho resume-se no sentido de ser a primeira tentativa de se obter uma climatologia para a região, citando valores característicos, máximos, mínimos, e a variação destes em pontos próximos a geleiras.

Tratando-se de variáveis hidrodinâmicas, os trabalhos apresentados são ainda mais escassos. Catewicz e Kowalik (1984) e Souza (1992), investigaram a variação do nível do mar na BA, conseguindo classificar a maré e, estimar a amplitude das principais componentes astronômicas. Estes dados serão importantes para serem posteriormente comparados com os resultados obtidos neste Trabalho de Graduação.

Catewicz e Kowalik (1984) realizaram também estudos com as correntes da BA, nas profundidades de 20 e 70m, onde tentaram encontrar correlação de tais velocidades com as velocidades do vento na região. Neste estudo foi estimada também as velocidades superficiais das correntes geradas pela maré tanto na porção nordeste quanto noroeste da BA.

Anteriormente, Pruszek (1980) obteve dados de velocidade de correntes à partir de (i) um conjunto de dois correntógrafos, um na profundidade de 20 m e outro na profundidade de 100 m na EE e (ii) medições superficiais com auxílio de corantes. Somado à dados de velocidade e direção do vento, foi constituída a primeira tentativa

de se entender como ocorre a circulação na BA.

Posteriormente, Robakiewicz e Rakusa-Suszczewski (1999), utilizando os trabalhos citados anteriormente, acrescidos de contribuições de Dera (1980) que também realizou medições infímas de correntes na EE e de Lopez et al. (1994) que obteve resultados de variação do nível do mar na parte externa da Ilha Rei George, utilizando um modelo matemático computacional 3D, obtiveram resultados para a circulação barotrópica na BA com duas simulações, tendo como forçantes: circulação induzida pela maré e circulação induzida pela maré acrescida de vento SW com intensidade de $7, 8\text{ms}^{-1}$.

Todos estes trabalhos citados são de extrema importância, ressaltando-se o de Robakiewicz e Rakusa-Suszczewski (1999). Estes, novamente, serão utilizados a título de comparação para os resultados obtidos neste.

Para o EB, os trabalhos publicados são relativamente mais abundantes. Os trabalhos de maior relevância para este estudo foram publicados por Madejski e Rakusa-Suszczewsk (1990), Souza (1992) Wilson et al. (1999) e Marrero-Diaz et al. (2005). Madejski e Rakusa-Suszczewsk (1990) publicaram um trabalho onde descrevem a velocidade estimada e a direção da corrente no Estreito de Brainsfield em frente à BA, à partir de estimativas realizadas observando-se derivas de icebergs. Wilson et al. (1999) descreveram a hidrografia das bacias central e oeste do EB e posteriormente, Marrero-Diaz et al. (2005) descreveram a circulação do EB comparando a dinâmica observada com experimentos realizados para correntes gravitacionais em um tanque giratório. Estes três trabalhos são fundamentais para se entender como ocorrem as distribuições hidrográficas no interior da BA e a circulação na entrada desta.

Capítulo 2

Objetivos

O objetivo principal deste Trabalho de Graduação é inferir e caracterizar os processos hidrodinâmicos (circulação) e termodinâmicos (mistura) na BA.

Dentro dos objetivos específicos, pode-se destacar:

1. Classificar as massas de água presentes no interior da BA.
2. Determinar as amplitudes das principais componentes de maré, a partir da análise harmônica para as correntes, de maneira a poder fazer comparações com os resultados da análise espectral. A análise harmônica para as alturas do nível do mar, de igual modo, resultará na obtenção das amplitudes das componentes principais.
3. Classificar o regime de marés da BA.
4. Definir as principais forçantes do movimento das correntes na BA.

Capítulo 3

Conjunto de Dados

Nesta seção, serão apresentadas informações referentes à origem e coleta das séries ou dados e as características destes que serviram como base para os resultados deste Trabalho de Graduação. Na Figura 3.1, são apresentados os locais de coletas dos dados.

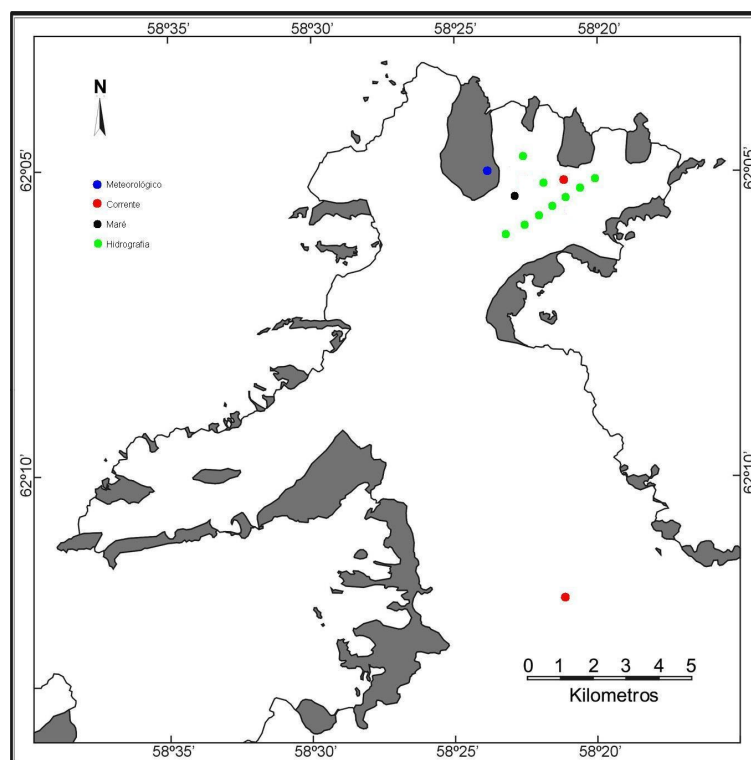


Figura 3.1: Localização dos pontos de amostragem na BA. O ponto em azul representa as medidas de vento (meteorológica), em vermelho os dados correntográficos, em preto as medições da variação do nível do mar (maré) e os pontos em verde as estações hidrográficas. Adaptado de Simões et al. (2002).

3.1 Hidrografia

Os dados utilizados de temperatura, salinidade e pressão foram obtidos durante os verões de 2000/2001 e 2001/2002 pelo projeto Hidrodinâmica da Enseada Martel (HIDROMAR) patrocinado pelo Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR). Vale ressaltar que estes dados estão concentrados apenas na EM, e não distribuídos na BA como seria o ideal para este Trabalho de Graduação, pois o objetivo principal do HIDROMAR era estudar a dinâmica de tal enseada. Tais propriedades da água do mar foram coletadas a bordo da lancha Skua, com o auxílio de um instrumento medidor de salinidade (via condutividade), temperatura e pressão (conductivity, temperature, depth - CTD), ao longo do canal principal da EM (Figura 3.2). Ao mesmo tempo foi utilizado um aparelho posicionamento global por satélite (Global Position System - GPS) acoplado a um laptop, para auxílio à navegação e posicionamento da embarcação.

No verão de 2000/2001, em um total de 3 dias (9, 14 e 27 de fevereiro), tais propriedades foram medidas nas profundidades padrões de 0 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m e 75 m pelos nove pontos distribuídos ao longo da EM (Figura 3.2).

No verão 2001/2002, os mesmos 9 pontos foram repetidos, porém o trabalho foi realizado ao longo de 6 dias (26 e 29 de janeiro; 1, 2, 15 e 29 de fevereiro), com medições contínuas da superfície até próximo ao fundo.

Com isto, foram obtidas 81 estações hidrográficas. Foram gerados 81 arquivos contendo os valores das propriedades temperatura ($^{\circ}$), salinidade e pressão (hPa) ao longo da coluna d'água, em cada estação hidrográfica (Figura 3.2).

3.2 Hidrodinâmica

Foram utilizados dados oceanográficos e meteorológicos obtidos durante atividades na Antártica em dois períodos de verão: 2001/2002 e 2004/2005. Os dados de correntes e variação do nível do mar foram coletados através do registro em séries temporais e medições in-situ em fundeios, dentro dos projetos HIDROMAR e Modelagem da Qualidade de Água na Baía do Almirantado (MODQUALI), este último também financiado pelo PROANTAR. Dados meteorológicos foram disponibilizados pela projeto Meteorologia na EACF.

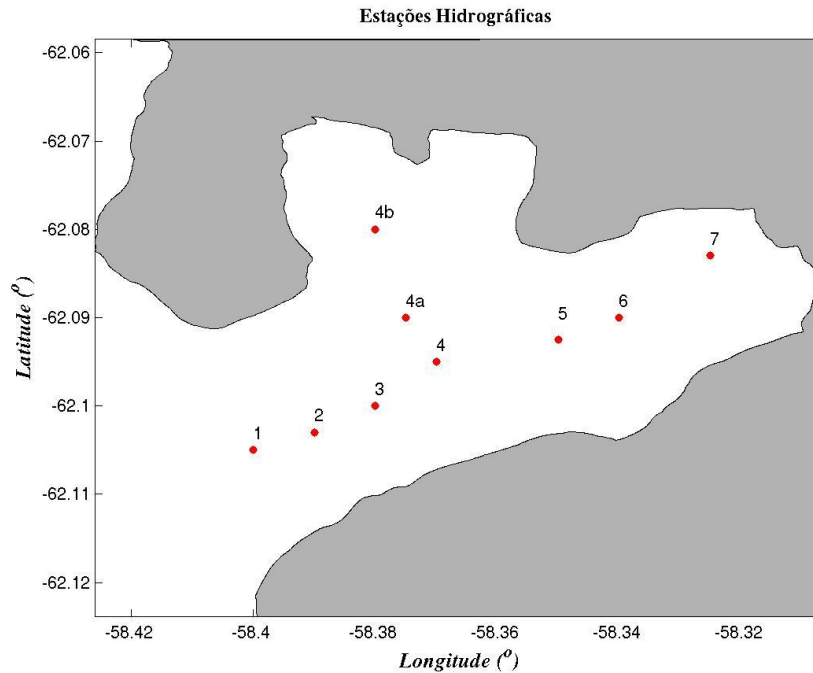


Figura 3.2: Estações hidrográficas amostradas para a EM.

3.2.1 Correntes

Para obtenção de dados de correntes, nos fundeios (Tabela 3.1) foram utilizados dois tipos de correntógrafos: correntógrafos bidimensionais e tridimensionais.

O correntógrafo bí-dimensional usado foi o AANDERAA- RCM7. Este possui uma unidade mecânica e outra eletrônica. A unidade mecânica consiste num conjunto de rotor e leme. A intensidade da corrente é traduzida pelo número de rotações do rotor e o leme serve para orientar o aparelho na direção da corrente. A unidade eletrônica possui sensor para direção e um detector magnético para contagem de revoluções do rotor. A orientação é feita por meio de uma bússola magnética.

O correntógrafo tridimensional é conhecido também como ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). O ADCP estima a velocidade da água usando o princípio físico do efeito Doppler. Este princípio possui a seguinte premissa:

- Se uma fonte de som estiver se movendo relativamente ao receptor, a frequência deste som no receptor é diferente da frequência transmitida pela fonte. Esta mudança de frequência é proporcional à velocidade de propagação da fonte e/ou receptor.

A medição da velocidade da corrente é feita à partir do envio de pulsos sonoros, com frequência conhecida, de um transdutor presente no ADCP. Tais pulsos viajam

pela água, sendo refletidos em todas as direções por partículas em suspensão (sedimento e pequenos organismos por exemplo). Parte desta energia sonora refletida viaja de volta pelo eixo do transdutor. Este é recebido pelo ADCP, que é capaz de calcular a diferença de frequência entre o pulso emitido e o recebido.

A posição da medida é função do tempo em que o sinal demorou para retornar ao emissor. Os tempos de retorno dos pulsos transmitidos determinam o quão distante o pulso viajou, e especificam a posição das partículas que são a fonte do sinal refletido. Pela diferença de sinal recebido em diferentes intervalos de tempo, o ADCP calcula a velocidade da água em diferentes distâncias do transdutor (Equação 3.1). O perfil de velocidade da água é dividido em intervalos de células, onde cada célula representa um intervalo de sinal recebido por um determinado período (Sontek, 2000).

$$F_{doppler} = -2F_{source} \frac{V}{C} \quad (3.1)$$

onde $F_{doppler}$ = mudança da frequência recebida (deslocamento doppler); F_{source} = frequência transmitida pelo pulso sonoro; V = velocidade relativa das partículas; C = velocidade do som no meio.

Em suma, os equipamentos utilizados em cada fundeio oceanográfico podem ser observados na Tabela 3.1, juntamente com o período de coleta de dados e a profundidade na qual o equipamento foi instalado.

Fundeio	Período	Equipamento	Nível do Equip.(m)	Prof. Local (m)
F2	Nov/01-Fev/02	ADCP	144	144
F3	Nov/04-Fev/05	ADCP	200	500
		RCM7	300	
		RCM7	450	

Tabela 3.1: Características dos fundeios utilizados para obtenção dos dados correntográficos

Os dados de correntes obtidos pelos correntógrafos RCM7 expressam a intensidade e direção da corrente. Estes aparelhos realizaram medições em intervalos regulares de 0.5 hora. Os arquivos foram nomeados de acordo com a nomenclatura dada ao fundeio e ao nível do aparelho. Os detalhes dos arquivos de dados são expressos na Tabela 3.2.

Dos correntógrafos ADCP, são gerados arquivos contendo:

- magnitude das correntes (cm.s^{-1});
- direção das correntes ($^{\circ}$);
- velocidade zonal das correntes (cm.s^{-1});

- velocidade meridional das correntes (cm.s^{-1});
- células de profundidade (m).

Fundeio	Nível (m)	Série	Início	Final	Comp.
F3	300	F3mei	08:21:00 21-11-2004	11:19:00 23-02-2005	4505
F3	450	F3fun	08:25:00 21-11-2004	11:24:00 23-02-2005	4505

Tabela 3.2: Início, final e comprimento das séries temporais de corrente adquiridos com correntógrafos RCM7.

Tanto no fundeio F2 quanto no fundeio F3 o intervalo de amostragem foi de 1 hora. Na Tabela 3.3, são expressas as características de tais arquivos, sendo que, para cada fundeio, todos os arquivos gerados possuem a mesma data/horário de início e final e comprimento:

Fundeio	Início	Final	Comprimento
F2	23:56:38 15-11-2001	19:56:38 21-02-2002	2349
F3	08:19:00 21-11-2004	11:15:00 23-02-2005	2402

Tabela 3.3: Início, final e comprimento das séries temporais de corrente adquiridos através de correntógrafos ADCP.

3.2.2 Nível do mar

O nível do mar foi registrado com o auxílio de um marégrafo modelo AANDERRA - WLR 7 fundeado em frente a EACF, durante os verões 2000/2001 e 2001/2002.

Este registrador do nível de água foi projetado especialmente para medir níveis de água do oceano. Este, quando colocado no assoalho oceânico, registra a pressão em intervalos de tempo regulares. O instrumento consiste de um transdutor de pressão de quartzo de alta precisão, uma placa eletrônica, e uma unidade de armazenamento de dados. Um ciclo de medida é provocado por um pulso de disparo de alta precisão, integrando-se quarenta segundos de medidas da pressão. Esta integração de medidas elimina as flutuações da pressão devida as ondas. Quando a integração é terminada, os dados gerados são gravados e armazenados na unidade de armazenamento (Aanderaa, 2000).

Na Tabela 3.4, são detalhados os dados correspondentes às medições da elevação do nível do mar. Estes arquivos contém data, horário e elevação do nível do mar (m).

Fundeio	Início	Final	Comprimento	Inter. de Amost.
MARÉ01	10-01-2001	19-01-2001	13101	1 min.
MARÉ02	08-12-2000	17-12-2000	13101	1 min.
MARÉ03	23-11-2001	14-12-2001	1045	30 min.
MARÉ04	19-01-2002	14-02-2002	1308	30 min.

Tabela 3.4: Série de dados de nível do mar.

3.2.3 Velocidade e Direção do Vento

Os dados de intensidade e direção do vento foram fornecidos pelo projeto Meteorologia na EACF, financiado pelo PROANTAR. O projeto incluí atividades de previsão de tempo e coleta de dados meteorológicos na EACF, objetivando suprir necessidades de vários outros projetos de pesquisa e nas áreas de atuação do PROANTAR; para tanto passou a contar com inúmeros instrumentos e equipamentos de registro de dados e de rádio-operação. Dentre eles, destaca-se a estação meteorológica, que dentre outras propriedades, registra dados de intensidade ($m.s^{-1}$) e direção (quadrante) do vento em intervalos de 1h. O projeto Meteorologia na EACF disponibiliza em seu website (<http://www.cptec.inpe.br/antartica/>), todos os dados obtidos por sua estação meteorológica.

Detalhes dos dados de velocidades e direção do vento utilizados neste estudo estão demonstrados na Tabela 3.5. Estes arquivos contêm direção (quadrantes) e intensidade do vento ($m.s^{-1}$).

Período	Início	Final	Comprimento
nov/2001-fev/2002	01-11-2001	28-02-2002	2880
nov/2004-fev/2005	01-11-2004	28-02-2005	2880

Tabela 3.5: Série de dados de ventos para a BA.

Capítulo 4

Metodologia

4.1 Hidrografia

Todas as estações hidrográficas (Figura 3.2) amostradas (em um total de 81) foram analisadas individualmente por meio de gráficos, perfis verticais e diagramas de estado. Tais gráficos foram obtidos empregando técnicas estatísticas de eliminação de dados espúrios produzidos, tanto por erros experimentais (aleatórios) quanto instrumentais (sistemáticos).

Foram representadas as variações espaciais das propriedades oceanográficas de forma gráfica, por meio de suas distribuições em seções horizontais e verticais. Nessas seções, que constituem uma representação paramétrica da propriedade, as isolinhas foram supostas contínuas e desenhadas, em geral, como um incremento constante das propriedades que elas representam. Intermediariamente, entre as isolinhas, foi utilizada a interpolação do tipo “cubic”. Este método foi escolhido devido à uma melhor visualização dos dados, e a ausência de núcleos de diferentes valores para as propriedades em regiões onde esta era constante (estes núcleos podem ser comumente chamados de “olhos de boi”) quando comparado com os resultados obtidos com outros métodos de interpolação (“nearest”, “linear” e “v4”). Por hora, não foi utilizado nenhum método de extrapolação para os dados.

As seções horizontais de temperatura, salinidade e densidade foram representadas para a camada superficial da coluna de água (T , S e ρ). A densidade foi obtida através da equação de estado (Fofonoff, 1983):

$$\rho = \rho(T, S, p) \quad (4.1)$$

onde ρ é a densidades, T a temperatura, S a salinidade e p a pressão.

As seções verticais foram tomadas ao longo da seção longitudinal de estações

hidrográficas, a qual pode ser observada pelo alinhamento das estações 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, na Figura 3.2. Chamaremos este conjunto de estações de Seção Principal (SP). Observando que os maiores gradientes das propriedades ocorreram nos primeiros 20 m da coluna d'água, adicionalmente apresentamos perfis mais detalhados, contemplando somente essa camada sub-superficial.

Os diagramas de estado foram utilizados para estimativa da correlação das propriedades: temperatura e salinidade, e para a classificação das massas de água na EM.

Considerando as duas estações localizadas nos extremos da SP (estações 1 e 7), foram estimados os gradientes de temperatura, salinidade e densidade e representados graficamente. Dessa forma é possível estimar as escalas de variação espacial dessas propriedades na EM, seja para caracterização de suas águas ou para implementação e validação de modelos numéricos.

Pelo fato das amostragens hidrográficas terem sido realizados em dias seqüenciais, tanto no verão 2000/2001 quanto no verão 2001/2002, os resultados obtidos para todos os dias foram muito parecidos entre si. O método utilizado para escolher o dia que represente o verão mais adequadamente foi estritamente visual. Foi escolhido o dia cujo os resultados obtidos tanto nas seções verticais e horizontais, diagramas de estado e gradientes espaciais, foram os mais coesivos. Com isto, para o verão 2000/2001 o dia escolhido para sua representação foi o 14 de fevereiro de 2001. Já para o verão 2001/2002, o dia característico utilizado foi o de 21 de fevereiro de 2002.

4.2 Hidrodinâmica

A seguir serão apresentados conceitos utilizados para o tratamento dos dados de direção e magnitude das correntes, variação do nível do mar e velocidade e direção do vento.

4.2.1 Análise Estatística Básica

Uma série temporal X , ao ser analisada, pode ser considerada uma realização de um processo estocástico, ou seja, como representativa de um fenômeno físico gerado por um conjunto de forçantes. O processo estocástico estacionário baseia-se na hipótese de que o processo não sofre variações nas suas propriedades, qualquer que seja o período considerado para suas observações (Sartori, 1995).

A estatística descritiva de uma série temporal X , trata da exploração dos dados, com o intuito de servir como um primeiro guia, fornecendo informações sobre a quali-

dade dos dados e indicando algumas tendências (caso existam). Variáveis quantitativas podem ser representadas por medidas de posição e dispersão.

Quando usamos um só valor, obtemos uma redução drástica dos dados. Usualmente, empregam-se as seguintes medidas de posição central: moda ou média.

Neste trabalho, como medida de posição central utilizamos a média. Esta é a soma das observações dividida pelo número total de observações. Ou seja, se x_1, \dots, x_n são os n valores da série X , a média aritmética, ou simplesmente média, de X pode ser escrita por:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.2)$$

Outras medidas que podem representar um conjunto de valores são os casos extremos das chamadas estatísticas de ordem, o máximo (Mx) e o mínimo (Mn), que são respectivamente, o maior e o menor valor do conjunto de dados. Se esses valores extremos forem muito distintos, a média aritmética deixa de ser um bom representante da série, por ser exageradamente afetada pelos mesmos.

A sumarização de uma série de dados, através de uma única medida, seja de locação ou de ordem, omite informações a respeito da variabilidade do conjunto de valores. É conveniente conhecermos a variabilidade, para podermos comparar conjuntos diferentes de valores, segundo algum critério estabelecido. As chamadas medidas de dispersão servem para sumarizar a variabilidade de uma série de valores. Dentre estas medidas temos a amplitude, variância e o desvio padrão.

A amplitude é a simples diferença entre o valor mínimo e o valor máximo observados. A variância, Var , mede a concentração dos dados em torno da média e é definida como a soma dos quadrados dos desvios dividida por n , que é o número de observações. A variância pode ser expressa pela Equação 4.3.

$$Var(X) = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i) - \bar{X}}{n}^2 \quad (4.3)$$

sendo X_i, \dots, X_n os n valores distintos da série X e \bar{X} a média aritmética.

Como a variância expressa um desvio quadrático médio, pra evitar erros de interpretação costuma-se usar o desvio padrão, DP , que é definido como a raiz quadrada positiva da variância. O desvio padrão é dado pela Equação 4.4:

$$DP(X) = \sqrt{Var(X)} \quad (4.4)$$

Esta é, portanto, uma medida de variabilidade expressa na mesma unidade dos valores do conjunto de dados.

Quando existirem duas séries de dados, existirão várias medidas estatísticas que podem ser usadas para capturar como as duas séries se movem juntas através do tempo. As duas mais largamente usadas são a correlação, $Corr$, e a covariância, Cov .

Para duas séries de dados, $X(x_1, x_2, \dots)$ e $Y(y_1, y_2, \dots)$, a Cov fornece uma medida não padronizada do grau no qual elas se movem juntas, e é estimada tomando o produto dos desvios da média para cada variável em cada período:

$$Cov(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n} \quad (4.5)$$

ou seja, a média dos produtos dos valores centrados das variáveis.

O sinal na Cov indica o tipo de relação que possuem as duas variáveis. Um sinal positivo indica que elas movem-se juntas e um negativo que elas se movem em direções opostas. Enquanto a covariância cresce com o poder do relacionamento, ainda é relativamente difícil fazer julgamentos sobre o poder do relacionamento entre as duas variáveis observando a covariância, pois ela não é padronizada.

A $Corr$, é a medida padronizada da relação entre duas variáveis. Ela pode ser calculada da covariância e dos desvios padrões:

$$Corr(X, Y) = \frac{cov(X, Y)}{DP(X) * DP(Y)} \quad (4.6)$$

A $Corr$ nunca pode ser maior do que 1 ou menor do que menos 1. Uma $Corr$ próxima a zero indica que as duas variáveis não estão relacionadas. Uma $Corr$ positiva indica que as duas variáveis se movem juntas, e a relação é forte quanto mais a correlação se aproxima de um. Uma $Corr$ negativa indica que as duas variáveis movem-se em direções opostas, e que a relação também fica mais forte quanto mais próxima de menos 1. Duas variáveis que estão perfeitamente correlacionadas positivamente ($Corr(X, Y) = 1$) movem-se essencialmente em perfeita proporção na mesma direção, enquanto dois conjuntos que estão perfeitamente correlacionados negativamente movem-se em perfeita proporção em direções opostas.

4.2.2 Decomposição de Velocidade

Para a decomposição de um vetor qualquer (\vec{v}), relativamente a um referencial cartesiano ortogonal plano Oxy , de acordo com o referencial adotado, os componentes u e v desse vetor em relação aos eixos Ox e Oy , respectivamente são dados por:

$$u = V \cos(\theta) \quad (4.7)$$

e

$$v = V \sin(\theta) \quad (4.8)$$

Nessas equações, V é o módulo do vetor e θ é o ângulo trigonométrico formado entre o vetor e o eixo das abscissas (Ox) medido no sentido anti-horário. Logo, essa decomposição fornecerá valores positivos, negativos ou nulos para os componentes u e v de acordo com o argumento θ (Miranda et al., 2002).

Porém, os valores de direção armazenados pelos correntógrafos (dd) são medidos no sentido horário com origem no norte magnético. Portanto, θ e dd são medido em sentidos opostos e com origens diferentes. Segundo Miranda et al. (2002), as origens de medidas desses ângulos passam a ser coincidentes se o ângulo θ for calculado por:

$$\theta = 90^\circ - dd \quad (4.9)$$

As bússolas magnéticas existentes nos correntógrafos usados para obtenção dos dados de direção e sentido da corrente orientam-se em relação ao norte magnético (NM). Assim o ângulo que indica a direção e o sentido do movimento é referido ao NM. Deve-se, portanto, orientar estas medidas de acordo com o norte geográfico. Essa redução apresenta uma grande importância, pois ao plotar o vetor velocidade de corrente em uma carta náutica, esta estará orientada de acordo com o norte geográfico. Essa redução é feita sem grande dificuldade com o conhecimento do ângulo de declinação magnética local. De acordo com a carta do Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) nº25 121, a declinação magnética para a região da BA no ano de 1980 era de $11,416^\circ$ leste com um aumento anual de $0,025^\circ$. Portanto, de acordo com a Tabela 4.1, temos as correções magnéticas para os anos de coletas de dados.

Fundeio	Período	Declividade Magnética
F2	Nov/01-Fev/02	$11,966^\circ$ leste
F3	Nov/04-Fev/05	$12,041^\circ$ leste

Tabela 4.1: Declinação magnética utilizada nos dados dos fundeios de acordo com o período de coleta de dados.

Com isto, de acordo com Miranda et al. (2002), para a redução de uma direção magnética (dd) ao norte geográfico (d) deve-se usar a Equação 4.10

$$d = 90^\circ - (dd \pm D) \quad (4.10)$$

onde os sinais $+$ ou $-$ são usados para a declinação para leste e oeste, respectivamente e o D é o valor da declividade magnética local.

Os vetores velocidade também foram decompostos nas componentes longitudinais (v) e transversais(u), com relação à saída da EM para a BA para o fundeio F2 (60° leste) , e com relação a saída da BA para o EB para o fundeio F3 (25° oeste), conforme apresentado na Figura 4.1. Esta segunda rotação é importante pois, valores positivos para u ($u > 0$), indicam movimentos para fora da EM ou BA, e valores de v positivos ($v > 0$), indicam movimentos transversais a estas, de leste para oeste. Esta transformação é baseada na Equação 4.10, obtendo-se 4.11:

$$r = (d \pm \gamma) \quad (4.11)$$

onde os sinais + ou – são usados para a declinação para leste e oeste, respectivamente, r é a componente reduzida de acordo com o eixo longitudinal escolhido, d é a componente com relação ao NM e γ é o ângulo do eixo longitudinal.

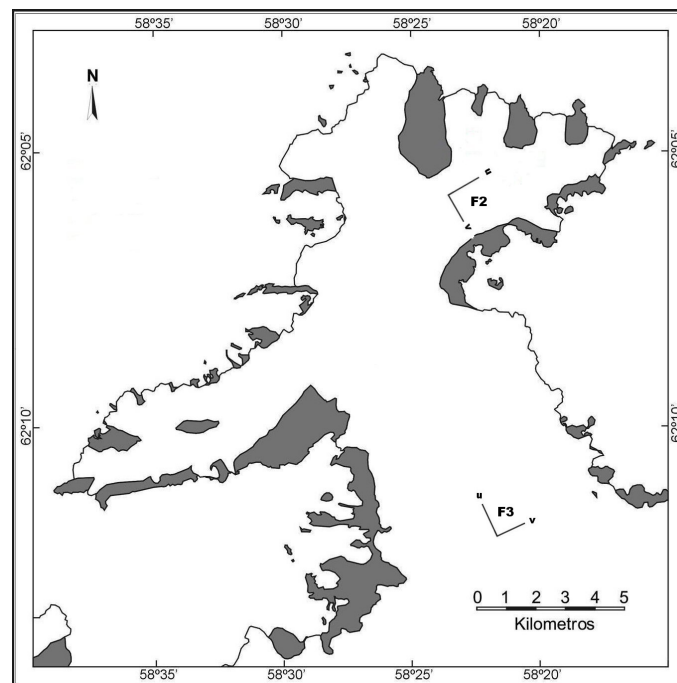


Figura 4.1: Eixos rotacionados para os Fundeios F2 e F3 na BA. Adaptado de Simões et al., 2002.

Portanto, em suma, temos que a correção final da direção θ é dada por, segundo Miranda et al. (2002):

$$\theta = 90^\circ - (dd \pm D) \pm \gamma \quad (4.12)$$

onde, θ é a direção da corrente, dd é a direção medida pelo correntógrafo, D é a declinação magnética local e γ é a declividade de acordo com eixo de coordenadas

local.

Para a decomposição da velocidade do vento, partindo-se da Equação 4.10, da premissa que os dados gerados estão defasados de 180° com relação as correntes do mar e estão orientados com relação ao NM, a equação final é:

$$Ven = 270^\circ - (dd \pm D) \quad (4.13)$$

4.2.3 Análise de Fourier

A análise de Fourier é uma ferramenta poderosa no tratamento e interpretação de diferentes séries que ocorrem na natureza e que se constituem em fenômenos corriqueiros. Este tipo de análise foi desenvolvido para condições em que a série a ser analisada tenha alguma estabilidade, não aumentando e nem diminuindo, em média, durante o período da análise.

A principal vantagem desta análise é a de procurar transformar o conjunto de dados da série de tempo em uma espécie de “resumo” de suas periodicidades características que são apresentadas no espectro.

As operações que permitem passar os registros do domínio do tempo para a frequência, que contém todas as informações da série são possíveis através da integral de Fourier:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} dw \int_{-\infty}^{+\infty} f(\xi) e^{i(t-\xi)} d\xi. \quad (4.14)$$

onde $f(t)$ é a função contínua no domínio do tempo, w é a frequência, ξ e t é o tempo e i é o número imaginário puro ($i = \sqrt{-1}$).

As duas operações indicadas na expressão por t e ξ , quando separadas, adquirem a forma:

Anti-transformada de Fourier

$$f(t) = \sqrt{\frac{1}{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \phi(w) e^{iwt} dw. \quad (4.15)$$

onde $\phi(w)$ é a:

Transformada de Fourier

$$\phi(w) = \sqrt{\frac{1}{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-iwt} dt. \quad (4.16)$$

Estas expressões correspondem às equações básicas da análise de Fourier e Espectral. A transformada de Fourier transforma os valores de $f(t)$ em valores de $\phi(w)$,

isto é, transforma os valores definidos de $f(t)$ no domínio do tempo para o domínio da frequência, $\phi(w)$.

Para observações discretas, com um intervalo finito de amostragens, a expressão da transformada de Fourier pode ser escrita na forma:

$$\phi(w) = \frac{1}{2N} \sum_{j=-N}^N f(j\Delta t) e^{-2\pi i(j\Delta t)w} \quad (4.17)$$

onde Δt é o intervalo de amostragem e N é o número de amostragem.

Um dos problemas principais dos métodos diretos de Fourier é a baixa velocidade computacional. O método de Fourier requer a expansão em série em termos de seno e cosseno - um procedimento lento. A Transformada Rápida de Fourier (TRF) é uma maneira adequada para minimizar este problema computacional do método direto de Fourier.

Para ilustrar a eficiência do método da TRF, considere uma série de N valores para $N = 2^p$ (p é um inteiro positivo). A transformada de Fourier discreta desta série requer um número de operações da ordem de N^2 , visto que o método da TRF requer somente um número de operações $8N \log_2 N$. Por exemplo, se $N = 8192$, $N^2 = 67.108.864$ enquanto $8N \log_2 N = 851.968$ (Emery, 1997). Como não se trata do escopo deste trabalho, toda a formulação matemática da TRF pode ser encontrada em Emery (1997) e Morettin (1998). Por tais motivos, neste estudo, quando necessária a utilização da Transformada de Fourier (Análise Espectral, Harmônica e Filtro de Frequência), foi usado o método da TRF.

A análise espectral é usada para demonstrar a variação de uma série temporal em função da frequência. Para uma série temporal estocástica, as contribuições das diferentes componentes de frequência são demonstradas em termos da Densidade Espectral. Aqui, a força é definido como a energia por unidade de tempo (Emery, 1997). Novamente, a formulação matemática podem ser encontrada em Emery (1997) e Morettin (1998).

A análise harmônica é muito útil para a análise e a predição de alturas da maré e de correntes de maré. O método da análise harmônica tem uma variedade de características atrativas. Permite a definição de diversas constituintes de maré que são de origem astronômica sendo identificadas por sua frequência específica. Neste estudo, para análise harmônica das séries de corrente e nível do mar, foi usado o pacote de programas T_Tide (Pawlowicz et al., 2002) desenvolvido para a suíte computacional MatLab.

4.2.4 Filtro de Frequência

Para analisar as características das correntes, utilizamos dados filtrados. A filtragem consiste em convoluir a seqüência (no domínio do tempo) de observações com um filtro adequado. No domínio da freqüência, a seqüência é multiplicada pelo filtro. É, portanto, bastante natural considerar o processo de filtragem como um operador abstrato aplicado às observações (Godin, 1972). Se o espectro do filtro desaparece para todas as freqüências mais altas do que a freqüência crítica ($F_o < F_f$ onde F_f é a freqüência máxima de corte), o filtro corta todas as altas freqüências além de F_o e é chamado de filtro passa-baixa (Souza, 2000). No modo inverso, onde todas as freqüências abaixo de F_o são cortadas, o filtro é chamado de passa-alta.

Neste trabalho foi desenvolvido um filtro digital. O Filtro ($H(f)$) possui o valor 1 ($H(w) = 1$) nas freqüências que se deseja analisar, contrapondo com o valor 0 ($H(w) = 0$) nas freqüências que devem ser filtradas. A freqüência de corte utilizada foi a de 33h, tendo deste modo, duas bandas do espectro: maregráfica (períodos centrados em 24h, 12h e subarmônicas) e submaregráfica (período entre poucos dias e 10-15 dias).

4.2.5 Classificação da Maré

O método para classificação do regime de maré utilizado foi o proposto por Courtier (1937). Este método propõe a classificação da maré em: semi-diurna, semi-diurno com desigualdades diurnas, mista e diurna. O regime é proposto à partir da análise das semi-amplitude das componentes harmônicas K_1 , O_1 , M_2 e S_2 , de acordo com a Equação 4.18.

$$C = \frac{A(K_1) + A(O_1)}{A(M_2) + A(S_2)} \quad (4.18)$$

À partir do valor encontrado para C (Equação 4.18), a maré é classificada de acordo com a Tabela 4.2

Valor de C	Classificação
$0 < C < 0.25$	Semi-diurna
$0.21 < C < 1.50$	Desigualdades diurnas
$1.5 < C < 3.0$	Mista
$C > 3$	Diurna

Tabela 4.2: Classificação do regime de marés de acordo com Courtier, 1937.

Capítulo 5

Resultados

Nesta capítulo serão expostos os resultados obtidos por este Trabalho de Graduação. Primeiramente serão contemplados os resultados referentes à hidrografia e, subseqüentemente, serão demonstrados os resultados hidrodinâmicos.

5.1 Hidrografia

Apresentamos os resultados separadamente, para os verões de 2000/2001 e 2001/2002, procurando ressaltar as características comuns a esses dois períodos.

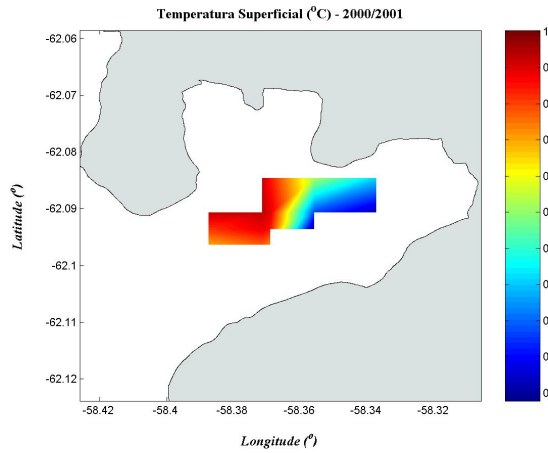
5.1.1 Verão 2000/2001

As Figuras 5.1(a), 5.1(b) e 5.1(c) representam as distribuições horizontais de temperatura, salinidade e densidade, respectivamente.

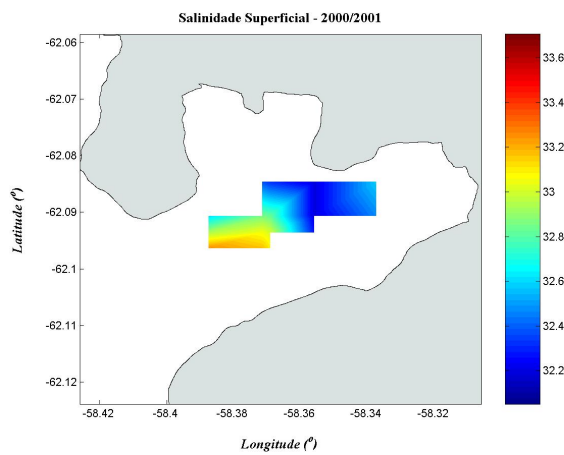
Observamos variação nessas distribuições horizontais de temperatura e salinidade, sendo que esses valores diminuem ao longo da SP, a medida que nos aproximamos aos fundos da EM. Essas variações ocorreram de 0 a 1 °C para temperatura, 33,6 a 32,2, para a salinidade e de 1027 à 1025,8 Kg.m⁻³ para a densidade.

Podemos avaliar as variações verticais dessas propriedades tomando-se perfis verticais orientados pela SP (Figura 3.2). As Figuras 5.2(a), 5.2(b) e 5.2(c) mostram esses perfis, obtidos para a temperatura, salinidade e densidade.

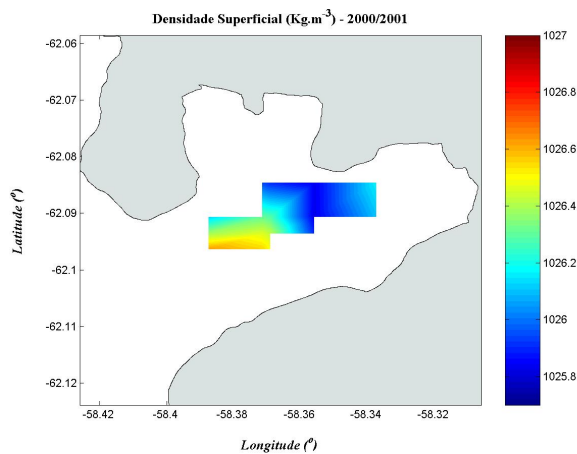
No perfil de temperatura (Figura 5.2(a)), observamos uma língua superficial de menores temperaturas, localizada na porção interior da EM. Esse fator também está presente no perfil de salinidade e, conseqüentemente, na densidade (Figuras 5.2(b) e 5.2(c)). Para ambas propriedades observamos valores inferiores na superfície, comparadas aos valores das camadas mais profundas. Para essa camada superficial,



(a) A escala de temperatura varia de 0 a 1°C.

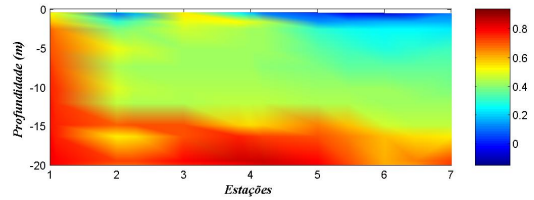
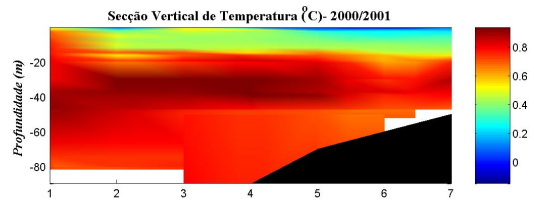


(b) A escala de salinidade varia de 32,2 a 33,6.

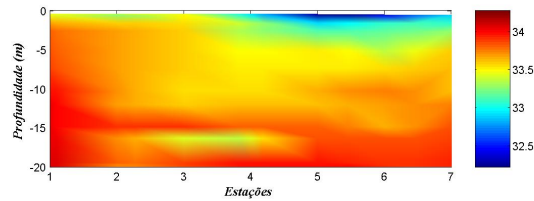
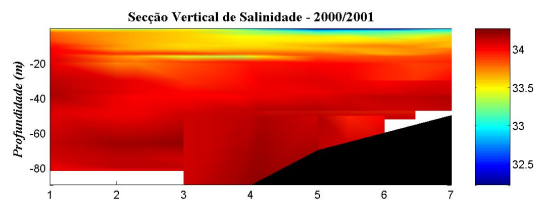


(c) A escala de densidade varia entre 1025,8 a 1027 Kg.m⁻³.

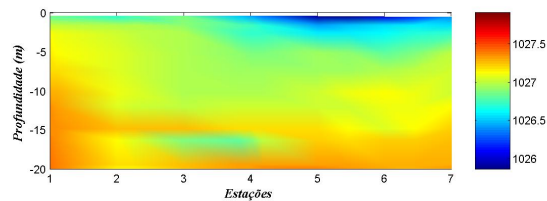
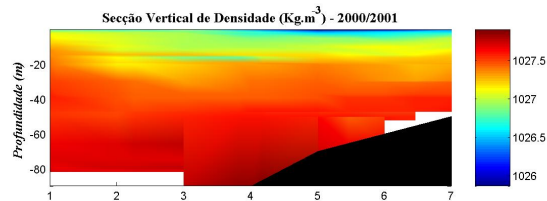
Figura 5.1: Distribuições horizontais de Temperatura (a), Salinidade (b) e Densidade (c) superficiais da EM para os verões 2000/2001



(a)



(b)



(c)

Figura 5.2: Seções verticais da temperatura (a), salinidade (b) e densidade (c) na seção longitudinal da EM para o verão de 2000/2001. Os painéis superiores mostram toda a coluna de água enquanto os inferiores, apenas a lâmina de 20 m superficiais.

valores típicos das propriedades mencionadas foram: $T = -0,05^{\circ}\text{C}$, $S = 32,6$ e $\rho = 1025,9 \text{ Kg.m}^{-3}$. Na camada inferior, os valores encontrados foram: $T = 0,85^{\circ}\text{C}$, $S = 33,8$ e $\rho = 1027,1 \text{ Kg.m}^{-3}$.

As Figuras 5.3(a), 5.3(b) e 5.3(c) mostram essas variações.

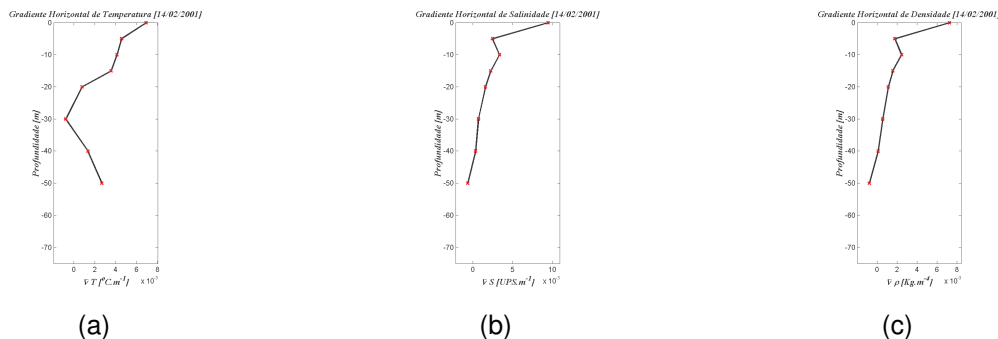


Figura 5.3: Representação vertical do gradiente horizontal de temperatura (a), salinidade (b) e densidade (c), considerando as estações hidrográficas extremas 1 (entrada da EM) e 7 (fundos). Valores obtidos para o verão de 2000/2001.

Podemos observar que esses gradientes ocorrem preferencialmente nos primeiros 20 metros sub-superficiais, indicando predominância de processos costeiros e localizados. A partir dessa profundidade os gradientes tendem a zero. Entretanto, na camada superficial o máximo gradiente de temperatura atinge valor $7 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C m}^{-1}$, enquanto os gradientes de salinidade são um pouco menos expressivos alcançando, também para a camada superficial, valor $0,9 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$.

Um melhor detalhamento das propriedades termohalinas observadas na EM podem ser avaliados a partir de um diagrama de estado, considerando globalmente todas as medições efetuadas nas nove estações analisadas (Figura 5.4).

Observando o diagrama proposto, verificamos uma variação da temperatura entre 0 e $0,9^{\circ}\text{C}$. Para os valores de salinidade, encontramos variações entre $32,9$ a $34,4$. Pode-se inferir uma maior concentração de pontos entre as temperaturas de $0,6$ e $0,95^{\circ}\text{C}$ e as salinidades de $33,8$ e $34,4$.

5.1.2 Verão 2001/2002

Nas Figuras 5.5(a), 5.5(b) e 5.5(c), podemos observar os perfis horizontais superficiais para as propriedades hidrográficas na EM. À partir da entrada da enseada (estação H1) para o interior (estação H7), os valores observados foram os seguintes: $T=1,25$ e $1,85^{\circ}\text{C}$; $\rho=1026,3$ e $1026,8 \text{ Kg.m}^{-3}$; $S=33,65$ e $32,5$.

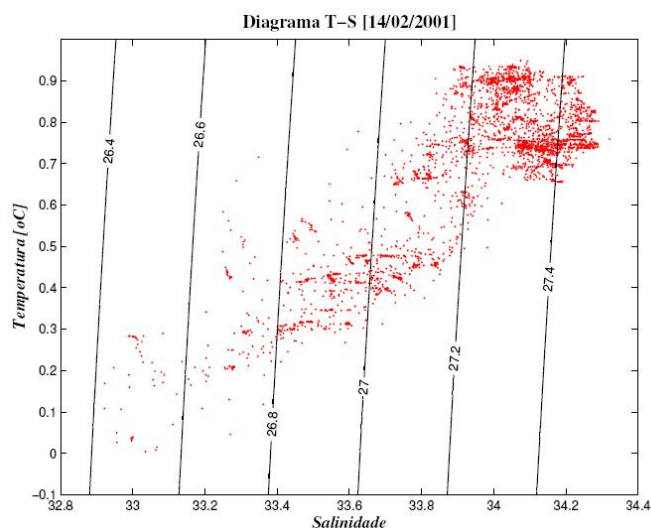


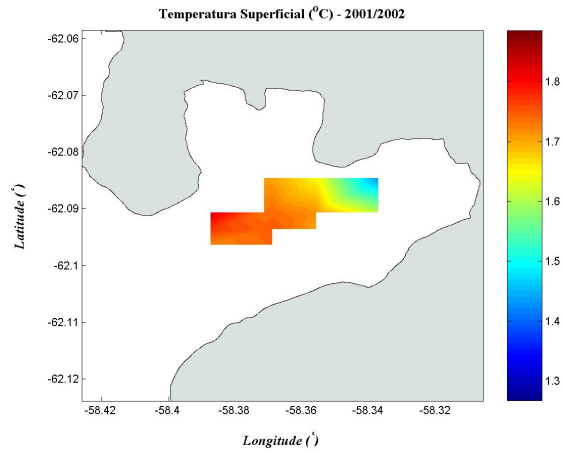
Figura 5.4: Diagrama TS espalhado para o verão de 2000/2001 na EM, englobando os 9 pontos propostos.

Observando-se a coluna de água, na SP, as propriedades encontraram-se nos seguintes intervalos: $T = 1,25$ e $1,85^{\circ}\text{C}$; $S=32,7$ e $34,1$ e $\rho=1026,2$ e $1027,55 \text{ Kg.m}^{-3}$ (Figuras 5.6(a), 5.6(b) e 5.6(c)).

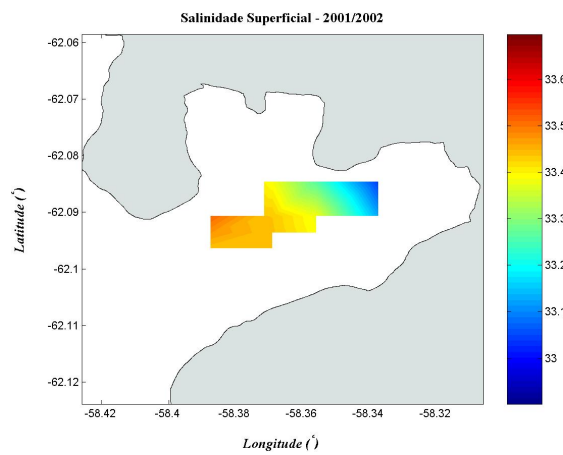
Os gradientes horizontais das propriedades termohalinas denotam mais uma vez uma maior diferença dessas propriedades nas camadas superficiais ao longo da SP (Figuras 5.7(a), 5.7(b) e 5.7(c)). Observamos, em ambos perfis, que o gradiente decresce conforme aumenta-se a profundidade. Porém, na profundidade próxima de 20 m o valor do gradiente ainda não tende a 0, como o ocorrido no verão anterior, sendo esta estabilidade somente alcançada em profundidades maiores.

No diagrama de estado para o verão de 2002, englobando os 9 pontos de amostragem (Figura 5.8), encontramos valores de temperatura variando entre $1,4$ e 2°C , e valores de salinidade entre $33,2$ e $34,2$. Uma maior concentração de pontos foi observada entre as temperaturas de $1,7$ e 2°C e salinidades de $33,6$ e 34 .

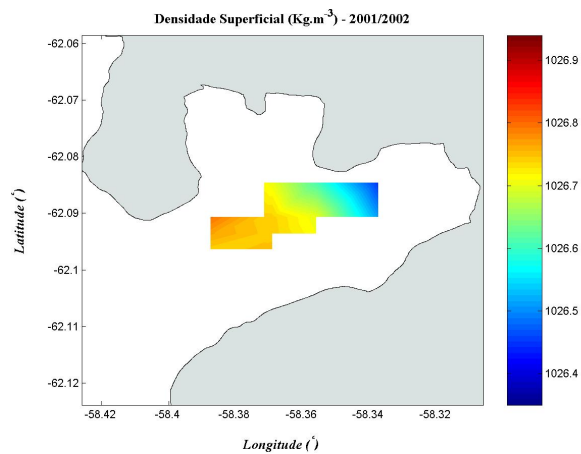
Tal diagrama propõe uma configuração da nuvem de pontos em forma de um triângulo de mistura, sugerindo mistura das massas de água da camada intermediária com a das camadas superficiais e profundas.



(a) A escala de temperatura varia entre 1.3 e 1.8°C.

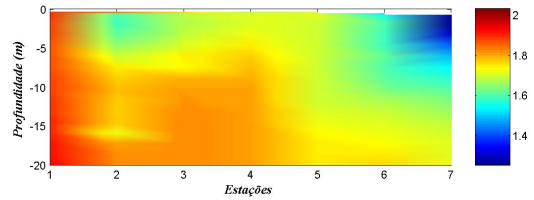
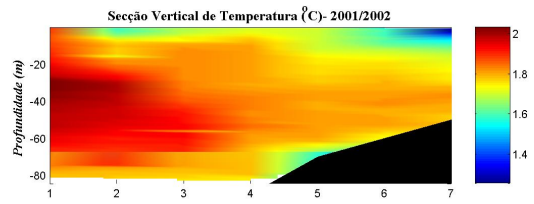


(b) A escala de salinidade varia de 33 à 33,6.

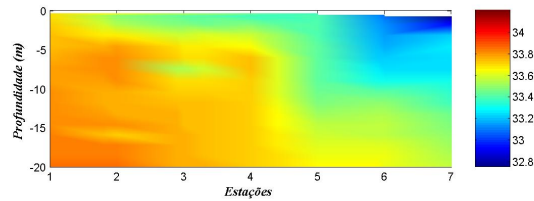
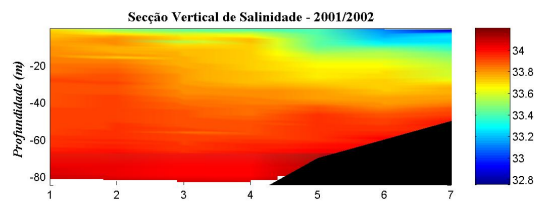


(c) A escala de densidade varia de 1026,4 à 1026,9 Kg.m⁻³

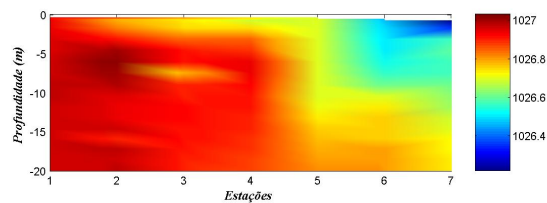
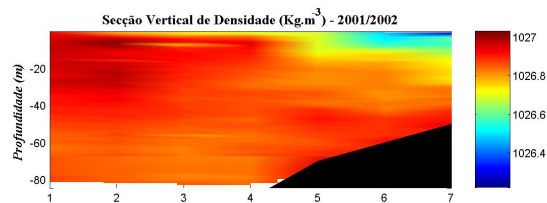
Figura 5.5: Distribuições horizontais de Temperatura (a), Salinidade (b) e Densidade (c) superficiais da EM para o verão 2001/2002



(a)



(b)



(c)

Figura 5.6: Seções verticais da temperatura (a), salinidade (b) e densidade (c) na seção longitudinal da EM para o verão de 2001/2002. Os painéis superiores mostram toda a coluna de água enquanto os inferiores, apenas a lâmina de 20 m superficiais.

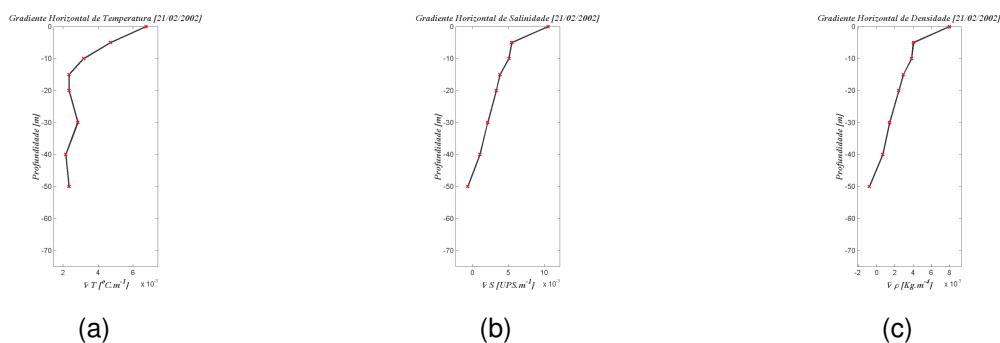


Figura 5.7: Representação vertical do gradiente horizontal de temperatura (a), salinidade (b) e densidade (c), considerando as estações hidrográficas extremas 1 (entrada da EM) e 7 (fundos). Valores obtidos para o verão de 2001/2002.

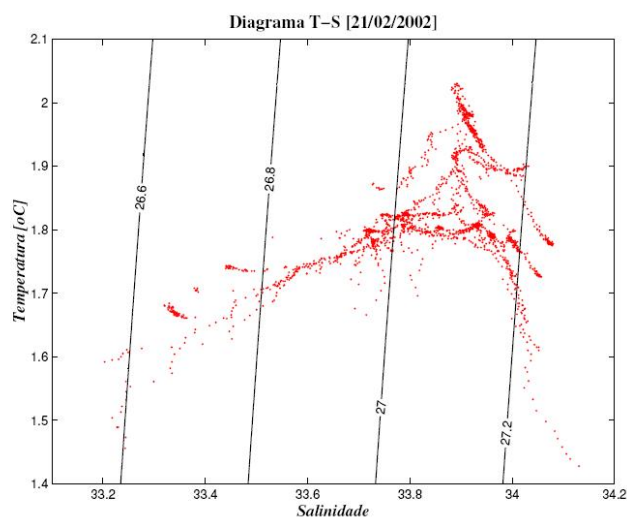


Figura 5.8: Diagrama TS espalhado para o verão de 2002 na EM, englobando os 9 pontos estudados.

5.2 Hidrodinâmica

Para o estudo das correntes da BA, serão apresentados os principais resultados obtidos dos fundeios F2 e F3. Posteriormente, serão apresentados os resultados oriundos da variação do nível do mar na BA. Por fim, apresentaremos os resultados de tentativa de correlação entre as velocidades encontradas superficialmente por estes fundeios com os vetores velocidades do vento.

5.2.1 Fundeio F2

Conforme descrito na Tabela 3.1, o fundeio F2 é composto por um ADCP e foi instalado no interior da BA. Primeiramente, vamos demonstrar os valores estatísticos da magnitude das correntes encontrados em todos os níveis de medição deste aparelho por meios gráficos.

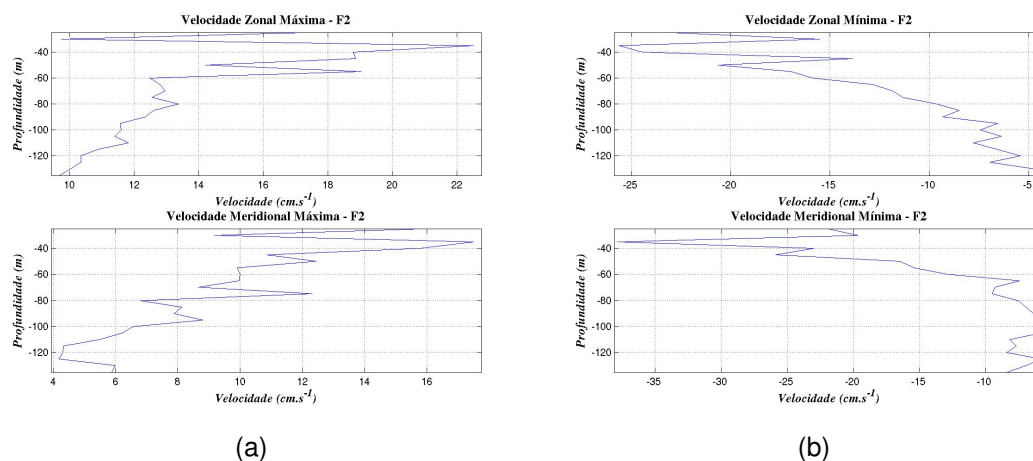


Figura 5.9: Em (a), velocidades máximas, e em (b) velocidades mínimas do fundeio F2 ao longo da coluna d'água. O painel superior corresponde a velocidade zonal, e o painel inferior corresponde a velocidade meridional.

Tanto a componente zonal quanto a meridional da velocidade das correntes, apresentam suas máximas velocidades em módulo, reduzidas em direção ao fundo. As maiores magnitudes são encontradas na profundidade de 35 m, tanto na componente zonal quanto na componente meridional.

Analisando a componente zonal, observamos que na porção superior (acima dos 50 m), a velocidade média apresenta-se essencialmente negativa, tendo esta natureza alterada nas porções inferiores, onde encontra-se positiva. A componente meridional possui ao longo da coluna d'água velocidades médias negativas, com excessão das profundidades de 60 e 65 m que apresentam-se positivas.

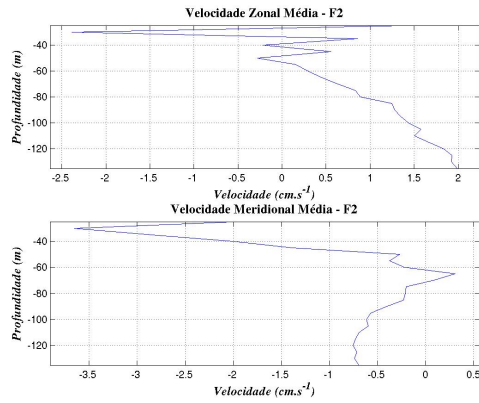


Figura 5.10: Velocidades médias do fundeio F2 ao longo da coluna d'água. O painel superior corresponde a velocidade zonal, e o painel inferior corresponde a velocidade meridional

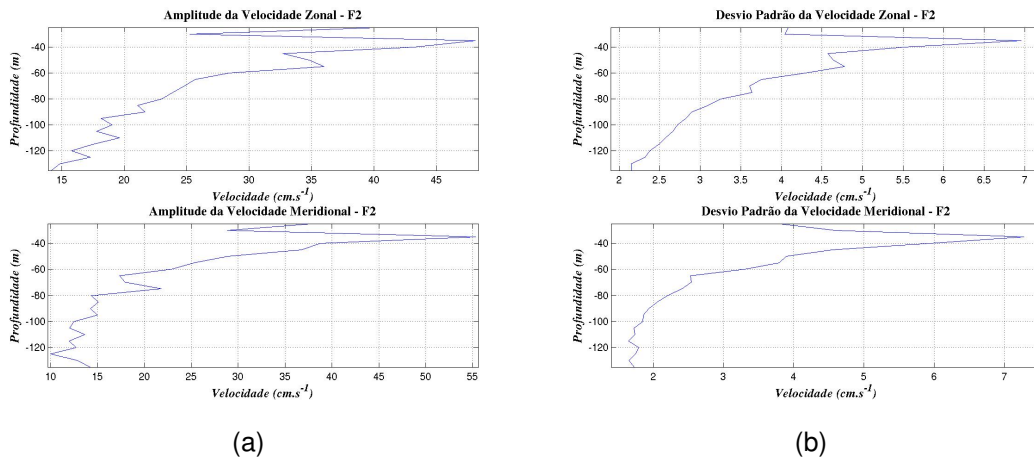


Figura 5.11: Em (a) amplitude das velocidades e em (b) desvios padrão das velocidades do fundeio F2 ao longo da coluna d'água. O painel superior corresponde a velocidade zonal, e o painel inferior corresponde a velocidade meridional

A porção acima dos 50 m apresenta a maior variabilidade quanto a magnitude da corrente, ou seja, altos valores de amplitude (cerca de 48 cm.s^{-1} para a componente zonal e 55 cm.s^{-1} para a componente meridional) e desvio padrão (próximo de 7 cm.s^{-1} para ambas componentes).

Estes valores estatísticos fornecem informações apenas sobre a qualidade dos dados. Uma visão mais ampla dos eventos ocorrido ao longo do período de operação do fundeio F2 pode ser obtida analisando a série de dados ao longo do tempo.

Para demonstrar esta variação temporal das correntes, usamos dados filtrados. O filtro foi centrado na frequência de 33 h, visando eliminar sinais associados às marés diurnas (24h) e semi-diurnas (12h).

Nas Figuras 5.12 e 5.13 podemos observar as velocidades zonais e meridionais dos dados filtrados ao longo do período de coleta do fundeio F2.

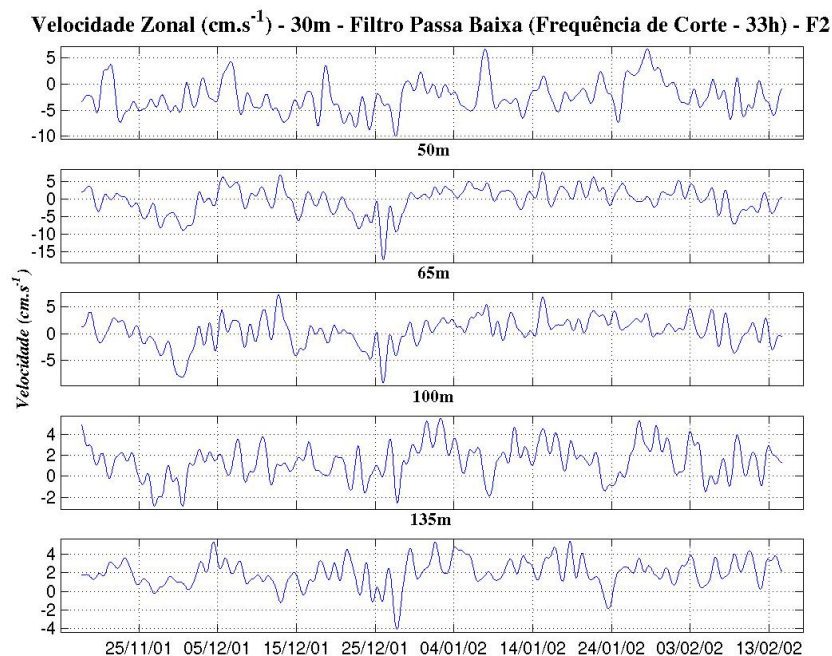


Figura 5.12: Velocidades zonais filtradas nas profundidades de 30, 50, 65, 100 e 135 m no fundeio F2.

Por se tratar de uma grandeza vetorial, a velocidade pode ser melhor visualizada por diagramas do tipo stickplot em função do tempo (Figura 5.14).

Na Figura 5.12, que corresponde a velocidades zonais, podemos observar uma certa similaridade entre as profundidades de 30, 50 e 65 m e entre as profundidades de 100 e 135m. Porém, também podemos observar a ocorrência de fenômenos extremos que são percebidos ao longo da coluna, como por exemplo, o mínimo de velocidade

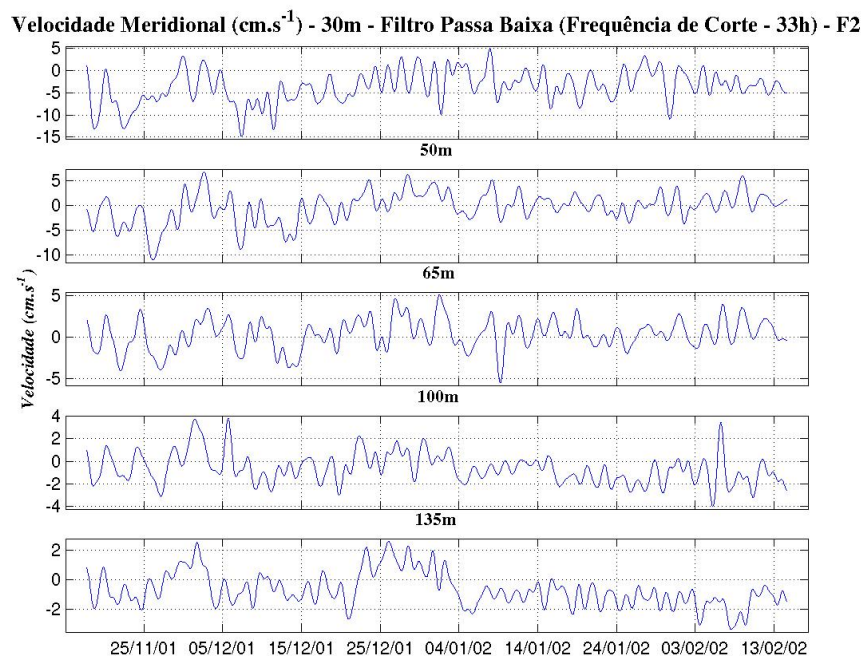


Figura 5.13: Velocidades meridionais filtradas nas profundidades de 30, 50, 65, 100 e 135 m no fundeio F2.

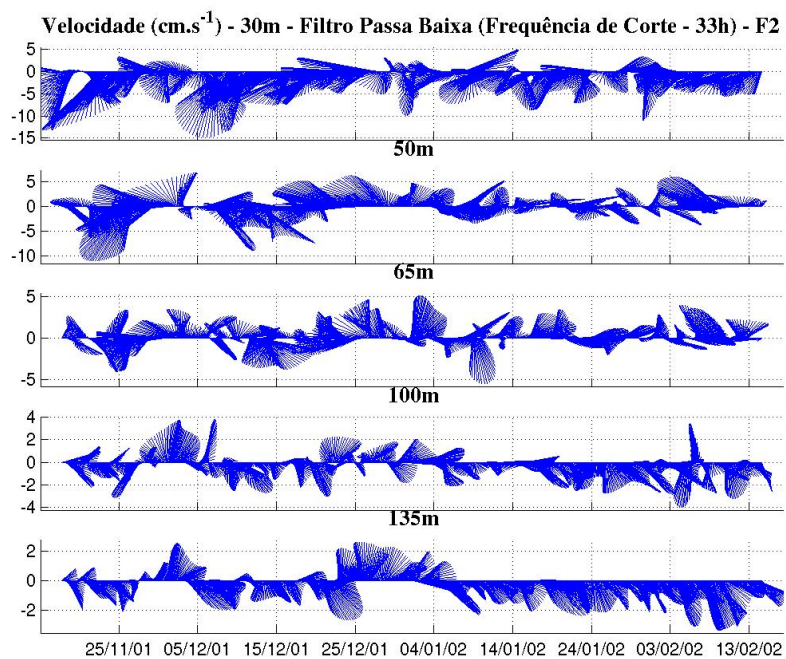


Figura 5.14: Stickplot das velocidades filtradas nas profundidades de 30, 50, 65, 100 e 135 m no fundeio F2.

encontrada em todas as profundidades ocorrendo concomitantemente entre os dias 25/12/2001 e 04/01/2002.

O mesmo padrão de semelhança entre as profundidades pode ser observado para as velocidades meridionais, Figura 5.13, contudo não se pode evidenciar eventos que se manifestem por toda a coluna. Vale ressaltar, que para este fundeio, como estamos utilizando coordenadas rodadas, a componente meridional indica aproximadamente o sentido entrada-saída da EM. Valores positivos da direção indicam uma entrada de água, enquanto que velocidades negativas indicam uma saída de água da EM.

Dentre os eventos isolados podemos destacar o fato de que após a data de 04/01/2002, à partir dos 100 m de profundidade, a velocidade é essencialmente negativa, fato não decorrente em camadas superiores, que oscilam entre os modos positivo e negativo ao longo do período amostrado.

Para uma caracterização mais evidenciada da coluna, integrou-se verticalmente a velocidade, da profundidade de 25 à 135 m, onde foi obtida a Figura 5.15.

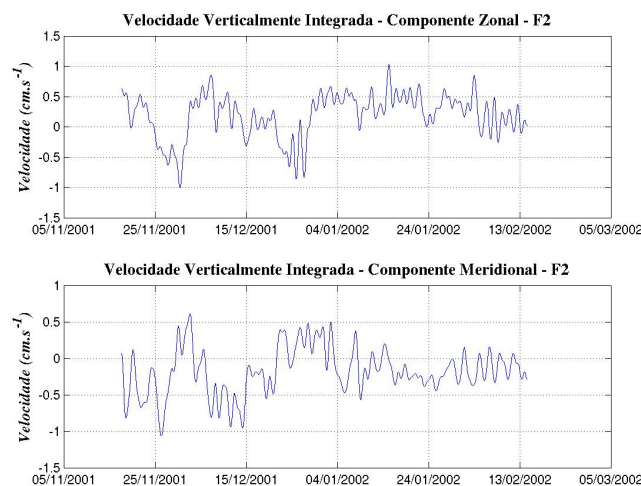


Figura 5.15: Velocidades zonal e meridional, filtradas, verticalmente integradas de 25 à 135 m para o fundeio F2.

Tanto na componente zonal (gráfico superior da Figura 5.15) quanto meridional (gráfico inferior da Figura 5.15), podemos observar que até a data de 4/11/2004 aproximadamente, estas oscilam entre valores positivos e negativos de velocidade. Após esta data, a componente zonal torna-se essencialmente positiva. Já a componente meridional obtém uma natureza positiva, indicando, de forma integrada na coluna d'água, uma saída de água da EM.

De acordo com os eixos rotacionados que estão sendo usados, a componente zonal apresenta praticamente uma direção norte-sul, similar a entrada da BA. À partir

dos dados não filtrados desta componente (não demonstrado) , pode-se obter o seu espectro de energia (Figura 5.16), e suas componentes harmônicas (Tabela 5.1).

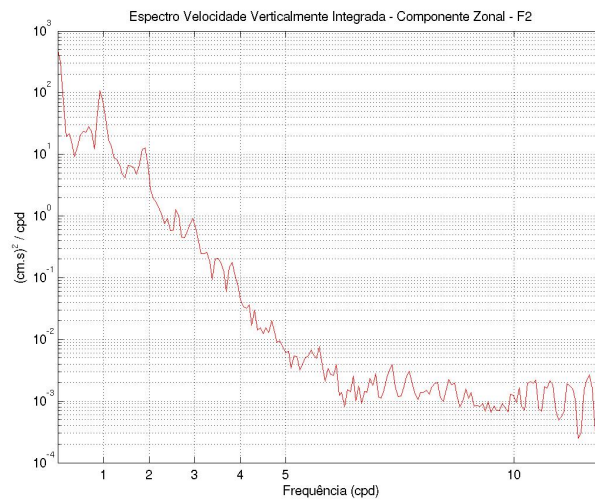


Figura 5.16: Espectro de energia para a velocidade zonal verticalmente integrada de 25 a 135 m para o fundeio F2.

Componente	Amplitude (cm/s)
O_1	0.2136
K_1	0.1575
M_2	0.0646
S_2	0.0110

Tabela 5.1: Principais componente harmônicas da componente zonal da velocidade verticalmente integrada do fundeio F2.

No espectro de energia (Figura 5.16), são evidenciados dois picos de energia, um na frequência de 1 cpd (diurno) e outro em 2 cpd (semi-diurno). Em frequências maiores, o espectro se torna substancialmente ruído.

Os resultados da análise harmônica apontam uma maior significância para as componentes diurnas (O_1 e K_1), seguidas das componentes semi-diurnas (M_2 e S_2). Este resultado coincide com a análise espectral, apontando o maior pico de energia a frequência correspondente à 1 cpd. As componentes harmônicas diurnas obtiveram um valor próximo de 0.37 cm.s^{-1} enquanto que as componentes semi-diurnas somaram um valor próximo a 0.0756 cm.s^{-1} .

5.2.2 Fundeio F3

Igualmente ao fundeio F2, os valores estatísticos para as correntes obtidos à partir do fundeio F3 serão propostos por meios gráficos.

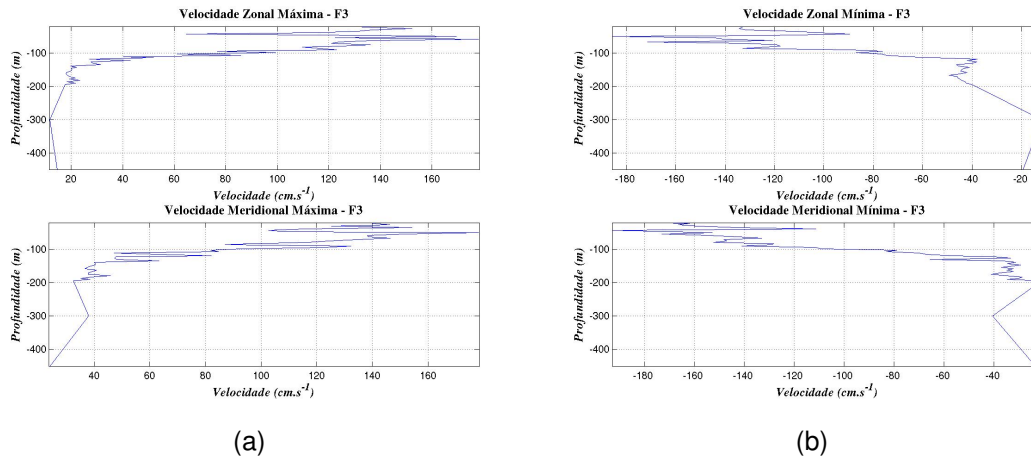


Figura 5.17: Em (a), velocidades máximas, e em (b) velocidades mínimas do fundeio F3 ao longo da coluna d'água. O painel superior corresponde a velocidade zonal, e o painel inferior corresponde a velocidade meridional.

Observando as velocidades máximas e mínimas do fundeio F3, nota-se que não existe uma componente preferencial para o deslocamento das correntes. Em ambas componentes, meridional e zonal, a velocidade máxima, em módulo, é próxima à 180 cm.s^{-1} . As velocidades máximas, em módulo, decaem na proporção que se aproximam da profundidade de 100 m.

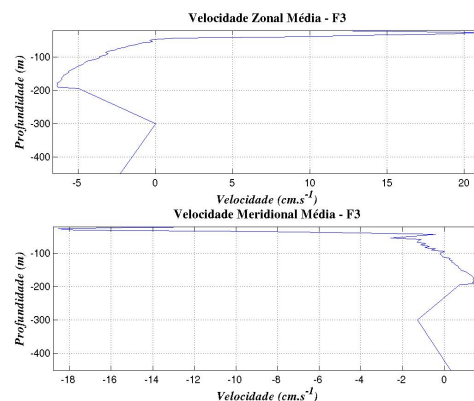


Figura 5.18: Velocidades médias do fundeio F3 ao longo da coluna d'água.

Porém, quando observamos as velocidades médias (Figura 5.18), observamos direções preferenciais para o deslocamento das correntes. Para a componente zonal

da velocidade, o movimento é essencialmente positivo da superfície até a profundidade de 50m, tendo os valores negativos desta profundidade até os 450 m. Já na componente meridional, em aproximadamente toda a coluna as velocidades são negativas, com excessão do intervalo entre 100 e 200m.

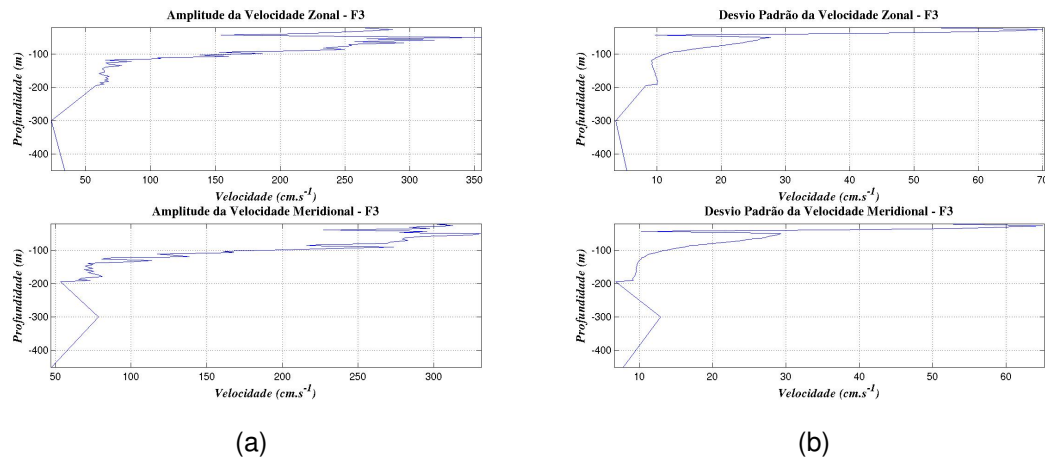


Figura 5.19: Em (a) amplitude das velocidades e em (b) desvios padrão das velocidades do fundeio F3 ao longo da coluna d'água. O painel superior corresponde a velocidade zonal, e o painel inferior corresponde a velocidade meridional

Os resultados que identificam a variabilidade da corrente (amplitude e desvio padrão, Figuras 5.19(a) e 5.19(b), respectivamente), mostram que a camada entre a superfície e 100 m é a que apresenta maior dinâmica. Dentro deste intervalo podemos observar uma amplitude de velocidade da ordem de 350 cm.s^{-1} e um desvio padrão máximo de 70 cm.s^{-1} .

Nas Figuras 5.20 e 5.21 podemos observar as velocidades zonais e meridionais filtradas ao longo do período de coleta do fundeio F3.

A componente zonal, perpendicular a entrada da BA, da velocidade mostra que entre as profundidades de 60 e 300 m os valores oscilam entre valores positivos e negativos ao longo do período. Na profundidade de 20 m, os valores são essencialmente positivos, contrapondo à profundidade de 450 m, onde os valores são por quase todo o período negativos. Ainda comparando as duas profundidades extremas, após a data de 07/02/05, aos 20 m, ocorre o período onde se encontram as menores velocidades, contrariamente a profundidade de 450, onde neste período se encontra a maior velocidade (em módulo).

A componente meridional que indica a entrada (fluxo positivo) e saída (fluxo negativo) de água da BA é bastante consistente na frequência analisada. Por toda a coluna não se observa períodos ou profundidades específicas onde o fluxo predomine em

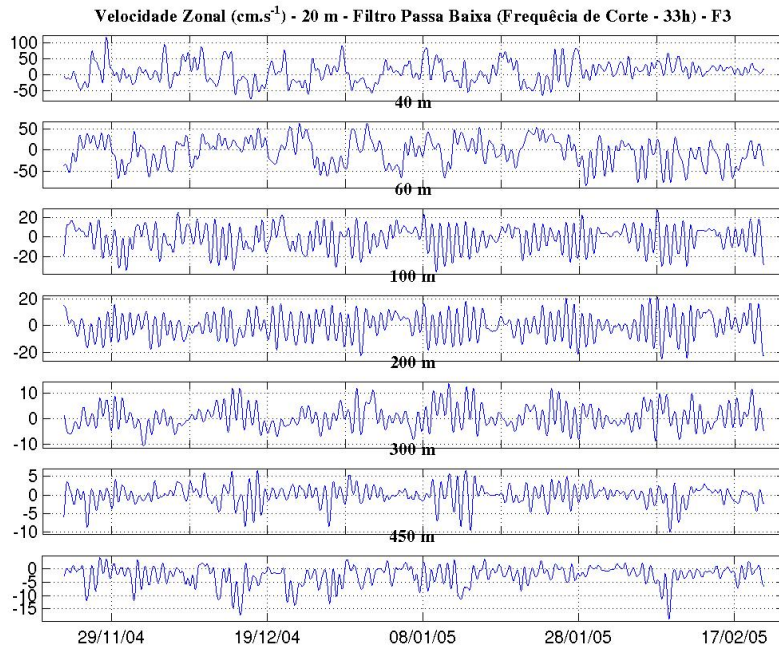


Figura 5.20: Velocidades zonais filtradas nas profundidades de 20, 40, 60, 100, 200, 300 e 450m no fundeio F3.

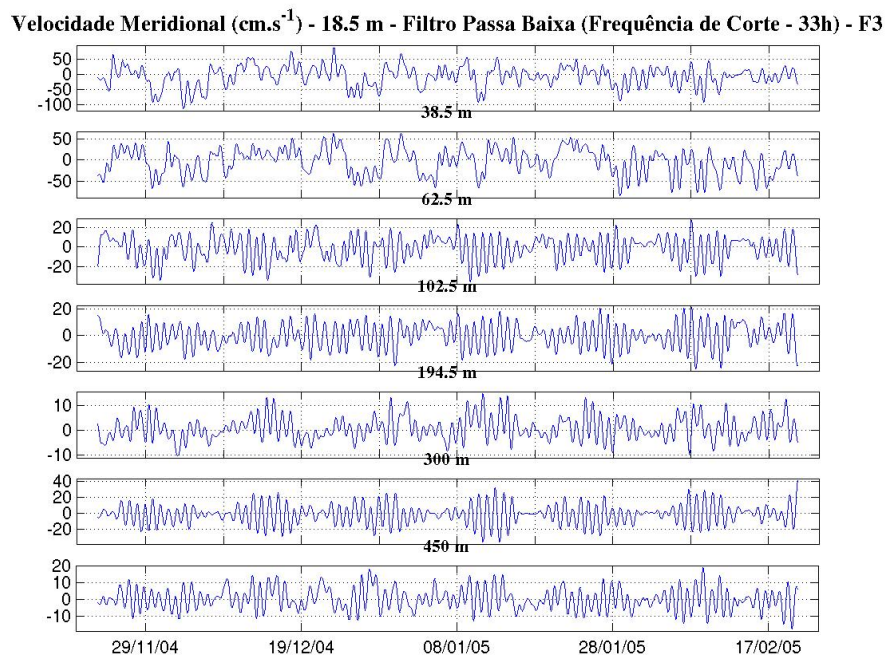


Figura 5.21: Velocidades meridionais filtradas nas profundidades de 20, 40, 60, 100, 200, 300 e 450m n fundeio F3.

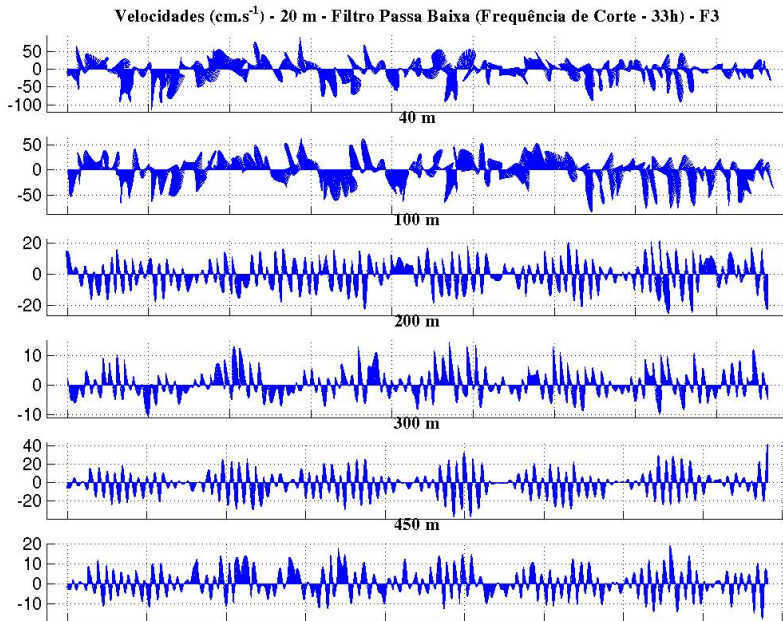


Figura 5.22: Stickplot das velocidades filtradas nas profundidades de 20, 40, 60, 100, 200, 300 e 450m n fundeio F3.

alguma direção. Essencialmente podemos observar movimentos que sugerem serem forçados pela co-oscilação da maré, como o observado na profundidade de 300, onde encontramos variações da amplitude da magnitude da corrente similares a períodos de sizígia e quadratura, ainda que o filtro aplicado elimine frequências inferiores a 33h.

Conforme descrito na Tabela 3.1, o fundeio F3 é composto de um ADCP na profundidade de 200 m, e dois correntógrafos RCM7 nas profundidades de 300 e 450 m. À partir dos dados do ADCP, que compreendem as profundidades de 20 à 195 m, pode-se integral verticalmente estas velocidades, obtendo-se a Figura 5.23.

A componente meridional da velocidade verticalmente integrada, demonstra mais uma vez períodos sucessivos de entrada (velocidades positivas) e saída (velocidades negativas) da BA. Neste fundeio, a componente utilizada para se obter o espectro de energia e realizar a análise harmônica é a componente meridional, praticamente centrada no eixo norte-sul, coincidindo com o eixo de entrada-saída da BA. Estas análises (espectral e harmônica) foram realizadas tanto pra velocidade verticalmente integrada entre 25 e 135 m , quanto para os correntógrafos localizados na profundidade de 300 e 450 m (Figura 5.24 e Tabela 5.2).

Em todos os espectros de energia (20 à 195 m, 300 e 450 m), foram observados picos de energia centrados nas freqüências de 1 cpd (diurna) e 2 cpd (semi-diurna). Na profundidade de 450 m, destaca-se também um pico na freqüência de 3 cpd. Nas

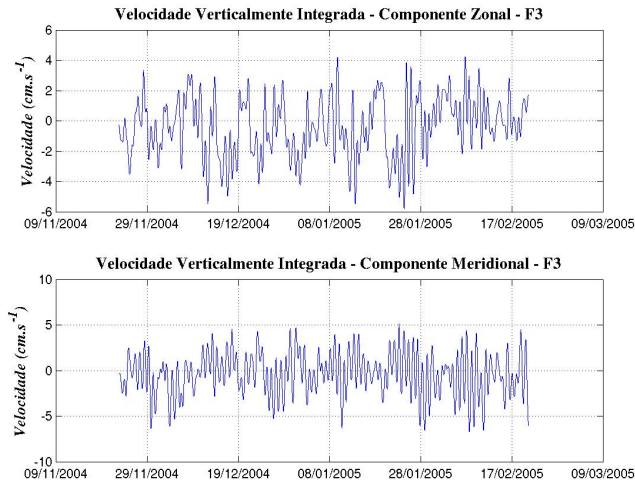


Figura 5.23: Velocidades zonal e meridional, filtradas, verticalmente integradas de 20 a 195 m para o fundeio F3.

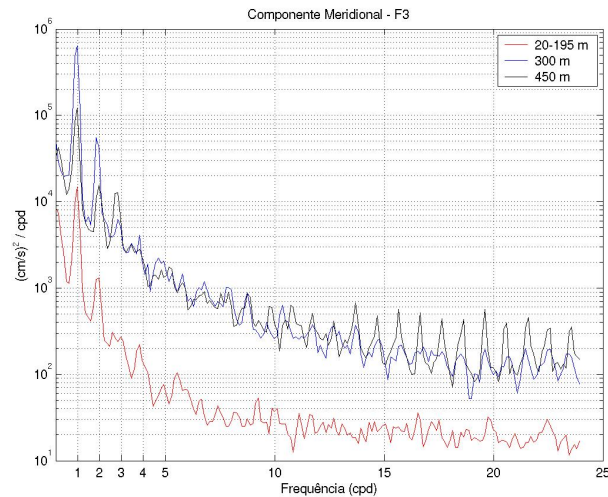


Figura 5.24: Espectro de energia para a velocidade meridional verticalmente integrada de 25 a 195 m, 300 m e 400 m para o fundeio F3.

profundidades de 20 à 195 m (Figura 5.24) os picos apresentam as menores energias, sendo o de 1 cpd com uma energia aproximada de 10^4 (cm.s)²/cpd e o de 2 cpd com aproximadamente 10^2 (cm.s)²/cpd. As maiores energias associadas aos picos de 1 e 2 cpd foram encontradas na profundidade de 300 m (Figura 5.24), onde a freqüência de 1 cpd apresentou uma energia de 10^6 (cm.s)²/cpd aproximadamente e a freqüência de 2 cpd apresentou uma energia associada de aproximadamente 10^5 (cm.s)²/cpd. Na profundidade de 450 m (Figura 5.24) destaca-se o pico centrado na freqüência de 3 cpd, com energia de aproximadamente 10^4 (cm.s)²/cpd, equiparando-se à freqüência

Profundidade	Componente	Amplitude (cm/s)
25-195 m	O ₁	1.4219
25-195 m	K ₁	1.2272
25-195 m	M ₂	0.4701
25-195 m	S ₂	0.2436
300 m	O ₁	1.5872
300 m	K ₁	1.0332
300 m	M ₂	0.7699
300 m	S ₂	0.3591
450 m	O ₁	0.7554
450 m	K ₁	1.1111
450 m	M ₂	0.3006
450 m	S ₂	0.4983

Tabela 5.2: Principais componente harmônicas da componente meridional da velocidade do fundeio F3.

de 2 cpd.

As análises harmônicas demonstram que as componentes diurnas (O₁ e K₁) apresentam uma maior amplitude quando comparada as componentes semi-diurnas (M₂ e S₂) em todas as profundidades analisadas. Novamente a profundidade de 300 m apresentou as maiores amplitudes (3,01 cm.s⁻¹ aproximadamente para as componentes diurnas e 1,12 cm.s⁻¹ aproximadamente para as componentes semi-diurnas). As menores amplitudes encontradas foram para a profundidade de 450 m. Estes resultados são comparáveis aos encontrados nas análises espectrais, com excessão da profundidade de 450 m, na qual a análise harmônica não eclodiu nenhuma componente significativa que poderia ser comparada ao pico observado na frequência de 3 cpd.

5.2.3 Nível do Mar

Os resultados provenientes da elevação do nível do mar compreendem 4 períodos distintos conforme descritos na Tabela 4.2. Dentro destes períodos, foram obtidos resultados para a variação do nível do mar em períodos próximos de 15-20 dias e de 7-10 dias. Nas Figuras 5.25 e 5.26 são demonstradas estas variações em ambos períodos, sendo o de maior extensão referente ao verão 2001/2002 e o de menor extensão ao verão de 2000/2001.

A Figura 5.25 demonstra a variação do nível do mar em períodos de sigízia e quadratura. Esta é caracterizados por uma modulação semi-diurna, sendo que pode ser observada uma desigualdade diurna entre os dias 25/11/2001 e 30/11/2001. O

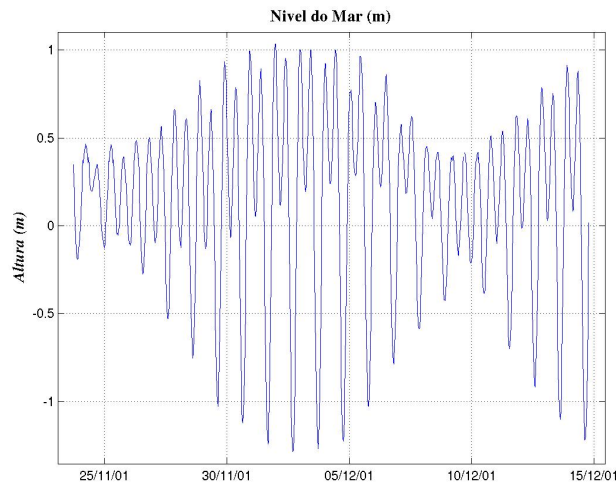


Figura 5.25: Variação do nível do mar no período de 24/11/01 à 15/12/2001.

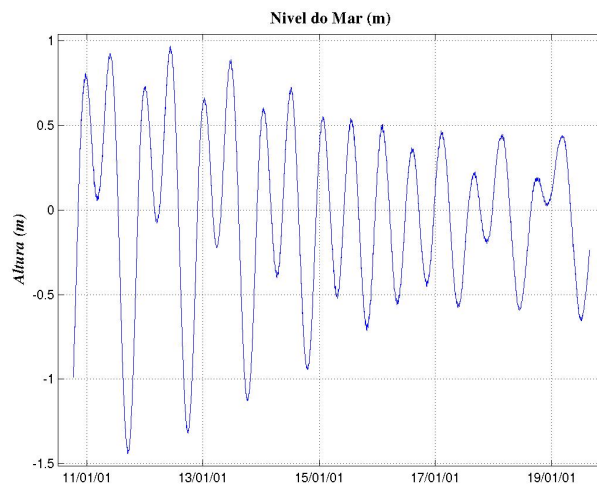


Figura 5.26: Variação diária do nível do mar entre o período de 11/01/2001 à 19/01/2001.

mesmo fenômeno ocorre na Figura 5.26 no dia 16/01/2001. Nesta figura de resolução diária, fica mais evidente o caráter semi-diurno da maré.

Para o período de 24/11/01 à 15/12/2001 (Figura 5.27), foi realizada análises espectral e harmônica, a qual eclodiram os resultados demonstrados na Figura 5.27 e na Tabela 5.3.

O espectro de energia demonstra uma concentração de energia nas freqüências de 1 e 2 cpd, tendo como outros picos de energia evidenciados os de 3 e 4 cpd. Em freqüências maiores, o espectro se torna substancialmente ruidoso. O resultado referente a análise harmônica para as marés (Tabela 5.3), eclodiram em componentes

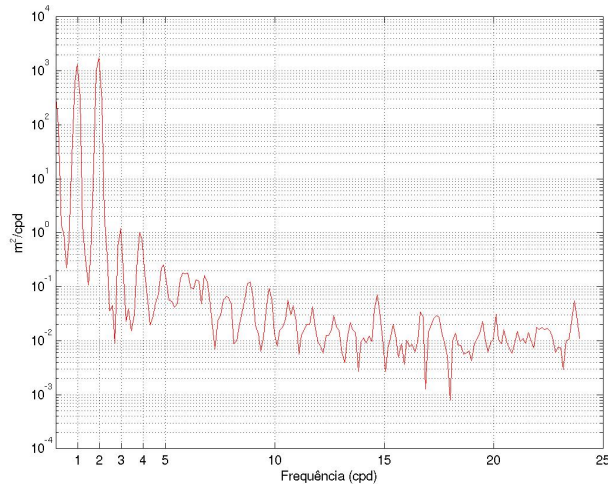


Figura 5.27: Espectro de energia para os dados de variação do nível do mar no período entre 24/11/01 e 15/12/2001.

Componente	Amplitude (m)
O ₁	0.3276
K ₁	0.3725
M ₂	0.4955
S ₂	0.2599

Tabela 5.3: Principais componente harmônicas da variação do nível do mar no período entre 24/11/01 e 15/12/2001.

diurnas e semi-diurnas (O₁, K₁, M₂ e S₂), sendo que a somatória de ambas apresentaram praticamente a mesma amplitude (0,7 m). A componente mais expressiva é a M₂, seguida da K₁, O₁ e S₂ nesta ordem de significância.

Para o período de 24/11/01 à 05/12/2001, o regime de maré, de acordo com Courtier, 1937, apresentou um resultado para a equação 4.18 de 0.9267. Isto emerge um resultado para a classificação como sendo semi-diurna com fortes desigualdades diurnas.

5.2.4 Vento

Os dados de vento serão usados para tentar se obter algum tipo de correlação com a corrente superficial. Para o fundeio F2, os dados com menor profundidade obtidos são os de 25 m. Já no fundeio F3, os dados superficiais são correspondentes a profundidade de 18 m.

Fundeio F2

À partir de gráficos temporais da variação zonal e meridional das magnitudes da velocidade do vento e corrente superficial, podemos estimar a correlação entre ambos, de acordo com a Equação 4.6. Com isto, obtemos as Figuras 5.28(a) e 5.28(b).

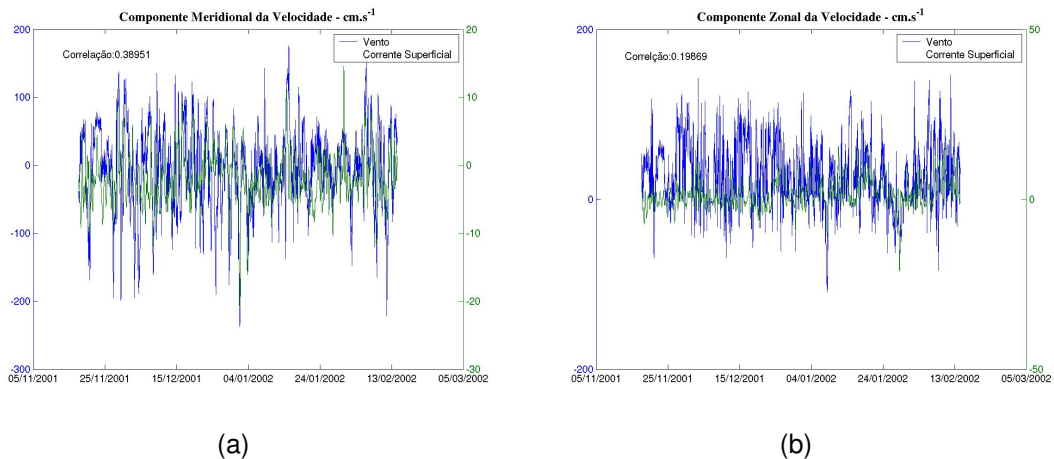


Figura 5.28: Em (a), velocidades meridionais, e em (b) velocidades zonais. Em azul dados de velocidades do vento, e em verde velocidades da corrente superficial para o fundeio F2.

A componente meridional da velocidade apresentou uma correlação de aproximadamente 0,39, considerada uma correlação mediana. Já a velocidade zonal apresentou uma correlação de 0,20 aproximadamente, considerada uma fraca correlação entre corrente superficial e vento. Estes valores são expressos para o decorrer de todo o tempo de medição dos dados.

Uma outra maneira comparativa entre estas duas propriedades é analisar, visualmente, seus respectivos espectros de energia. Os espectros para as componentes meridional e sazonal podem ser observados nas Figuras 5.29(a) e 5.29(a).

Observando tais espectros, tanto meridionalmente quanto sazonalmente, não podemos identificar nenhum pico característico de energia que seja semelhante entre ambos. Porém, vale ressaltar que tanto para corrente superficial, quanto para magnitude do vento, o espectro é estritamente ruidoso, com concentração de energia nas menores freqüências.

Fundeio F3

Repetindo-se o procedimento utilizado no fundeio F2, com os dados referentes ao fundeio F3 obtemos as Figuras 5.30(a) e 5.30(b).

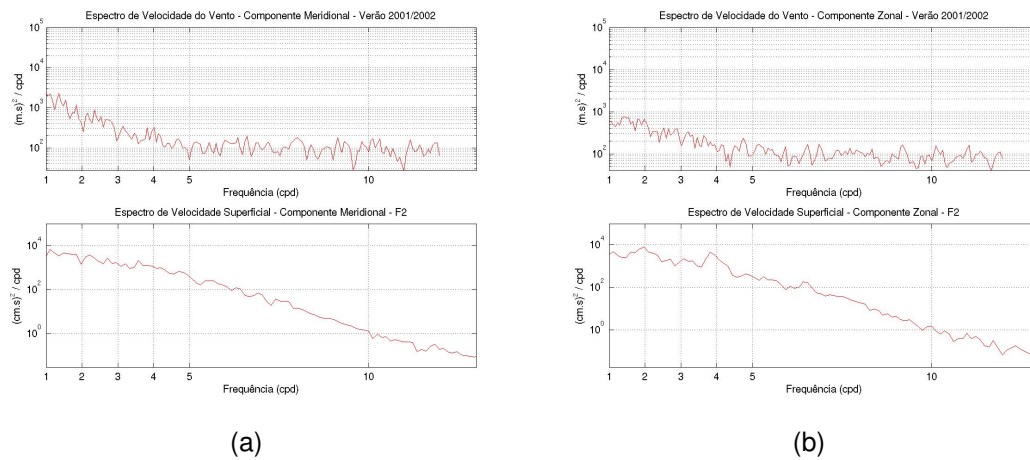


Figura 5.29: Espectros de energia comparativos entre velocidade meridional (a) e zonal (b) para a corrente superficial no fundeio F2 e vento.

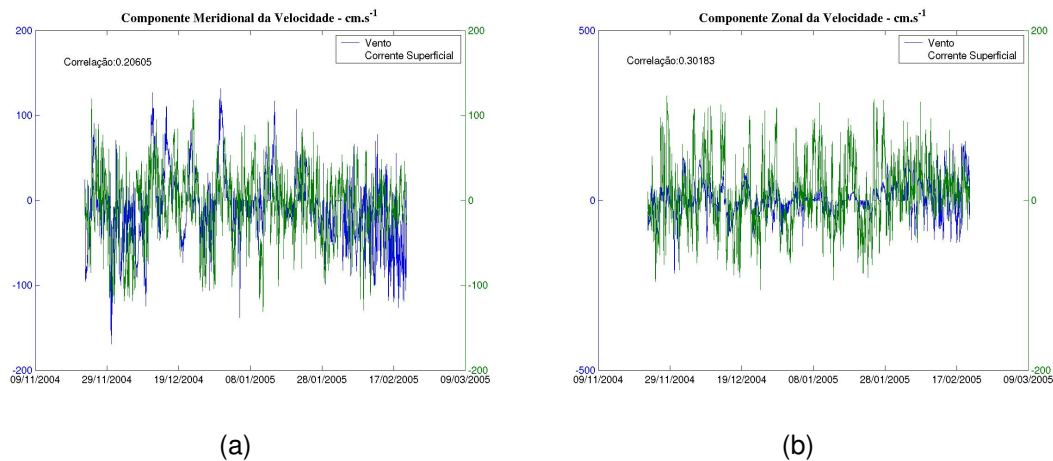


Figura 5.30: Em (a), velocidades meridionais, e em (b) velocidades zonais. Em azul dados de velocidades do vento, e em verde velocidades da corrente superficial para o fundeio F2.

Para a componente meridional da velocidade do vento e corrente superficial, a correlação obtida foi de aproximadamente 0,20. A componente zonal obteve um valor de aproximadamente 0,30 para a correlação. A correlação da componente meridional pode ser caracterizada como baixa, enquanto que a correlação encontrada para a componente zonal esta entre uma correlação mediana.

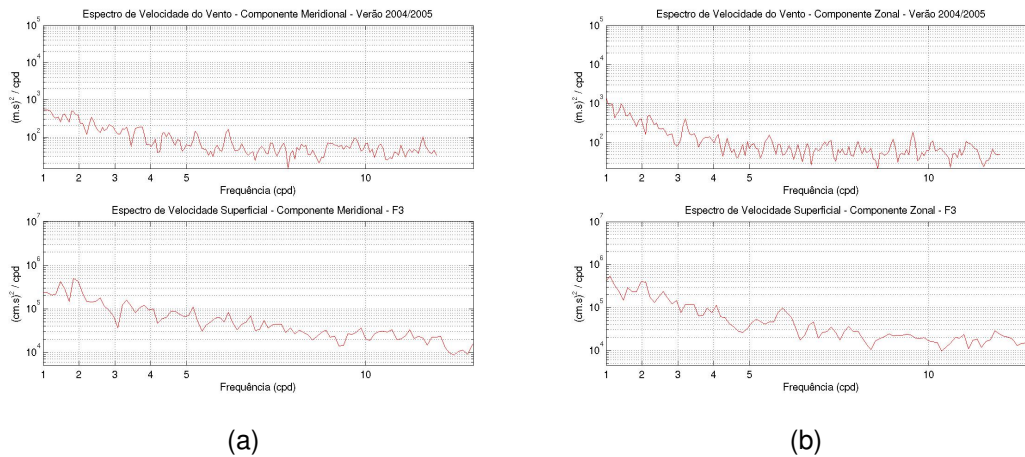


Figura 5.31: Espectros de energia comparativos entre velocidade meridional (a) e zonal (b) para a corrente superficial no fundeio F3 e vento.

Observando e comparando os espectros de energia para as velocidades zonal e meridional do vento e da corrente superficial, novamente não encontramos qualquer tipo de correlação entre ambas, cuja maior quantidade de energia está centrada nas baixas freqüências.

Capítulo 6

Discussão

6.1 Hidrografia

Conforme demonstrado no Capítulo 5 (Resultados), foram expostos separadamente os verões 2000/2001 e 2001/2002 à fim de se obter comparações entre ambos períodos.

Tanto na forma superficial quanto vertical, as propriedades termohalinas encontradas na BA, têm seus valores diminuídos conforme se avança para o interior da mesma. Porém, no verão 2001/2002, foram observados valores de temperatura e salinidade mais elevados do que 2000/2001.

Tal fato está fundamentado nas maiores diferenças observadas para as propriedades entre a entrada e o interior da EM, quando comparados ambos verões. Comparando as Figuras 5.2(b) e 5.6(b) verificamos que as temperaturas observadas na entrada da EM foram maiores no verão 2001/2002, enquanto a salinidade foi apenas ligeiramente maior do que em 2000/2001. Isso sugere que no verão de 2002 estiveram presentes, no interior da EM, águas menos frias e com variações de salinidade similares ao observado no ano anterior.

Avaliando os gradientes de temperatura, mostrados nas Figuras 5.3(a) e 5.7(a), verificamos que são semelhantes, embora as escalas de variação sejam diferentes. Isso sugere que, de fato, haviam águas menos frias, presentes durante o verão de 2001/2002.

Comparando (i) as Figuras 5.3(b) e 5.3(c) e (ii) as Figuras 5.7(b) e 5.7(c) concluímos que a salinidade é a grandeza que mais interfere na determinação da densidade, no interior da EM.

O fato encontrado, onde ocorre a diminuição dos valores das propriedades conforme avança-se para o interior da BA, também foi evidenciado por Pruzak (1980),

Szafrnski e Lipski (1982) e Rakusa-Suszczewki (1993). Ambos autores justificaram este fenômeno pelo fato de nesta época do ano, verão, estar ocorrendo o degelo das geleiras continentais, havendo desta forma liberação de água fria e menos salina na BA.

Comparando os valores termohalinos encontrados neste estudo com os dos autores mencionados acima, existe uma grande similaridade entre eles, principalmente com as distribuições propostas por Szafrnski e Lipski (1982). Estes autores demonstraram as características termohalinas da BA no verão de 1978/1979. Superficialmente, a temperatura foi muito similar a encontrada por este estudo no verão de 2001/2002, com temperaturas variando entre aproximadamente 2,0 °C na entrada, e 1,0 °C no interior da EM. Verticalmente, os intervalos encontrados, tanto para temperatura quanto para salinidade, estão similares entre este estudo e os autores citados.

Conforme descrito, a BA é ligada diretamente ao EB. Verificando trabalhos hidrográficos apresentados sobre a região, podemos discutir alguns valores encontrados neste estudo.

Wilson et al. (1999), demonstrou as distribuições termohalinas no EB à partir de dados históricos entre 1963 e 1995. Neste, observando a parte central (onde ocorre a conexão com a BA), os valores de temperatura e salinidade até a profundidade de 500 m (temperatura variando entre -1,4°C e 0,6 °C e salinidade variando entre 34,0 e 34,5) são muito próximos aos encontrados por este estudo para o verão de 2000/2001, conforme apresentado na Figura 5.4 (maior concentração de pontos entre as temperaturas de 0,6 e 0,95 °C e salinidades 33,8 e 34,4).

Souza (1992), também demonstra alguns índices termohalinos, obtidos por eles e por outros autores como Biomass (1982), Sievers (1982), Kelly et al. (1985), Kelly e Blanco (1986), Ikeda et al. (1986) e Silva Jr (1989). Ambos apontam índices termohalinos variando entre -1,5°C e 2,0 °C para a temperatura, e salinidade variando de 33,4 à 34,7, sendo portanto coerente com os resultados encontrados por este Trabalho de Graduação em ambos verões.

A origem e a nomenclatura dada as massas de água presentes no EB e conseqüentemente que adentram à BA também são discutidas pelos autores consultados. Gordon e Nowlin (1978) diz que na região do EB, não ocorrem as estruturas típicas das águas circu-antárticas. Este motivo é justificado por alguns autores como Marrero-Diaz (2005), Souza (1992), Silva Jr. (1989) e Szafranski e Lipski (1982), que dizem que as massas de água presentes no EB são provenientes, na parte inferior, do Mar de Bellingshausen, enquanto que nas porções inferiores, as massas de água são provenientes do Mar de Weddell. Já Wilson et al. (1999), demonstra a ocorrência da Água de Profunda Circumpolar (APC) Antártica, sendo esta dividida em ramos in-

feriores e superiores, já que devido ao transporte de Ekman, nas proximidades da Antártica esta água sobre ressurgência. De acordo com Tomczak e Liefvink (2005) a APC é a maior das massas de água do Oceano Sul, influenciando todas as outras massas nesta região. Por este motivo, e por se tratar de uma mistura de diversas massas de água na região, devido a mistura causada pelo EB, Tokarczyk (1987), define como Águas Transicionais com Características do Mar de Bellingshausen (ATB) águas com variações de temperatura entre -1,3 e 1,5 °C e salinidade 33,6 e 34,4. O mesmo autor define ainda como Águas Transicionais com Características do Mar de Weddel (ATW) águas que variam a temperatura de -1,5 à 1 °C e a salinidade de 33,8 à 34,6. Com isto, podemos elaborar a Tabela 6.1 com os seguintes índices termohalinos:

Massa de Água / Verão	Temperatura (°C)	Salinidade
ATB	-1,3 a 1,5	33,6 a 34,4
ATW	-1,5 a 1	33,8 a 34,6
Verão 2000/2001	0,6 a 0,95	33,8 a 34,4
Verão 2001/2002	1,4 a 2,0	33,6 a 34

Tabela 6.1: Índices termohalinos das massas de água presentes no Estreito de Bransfield e dos Verões 2000/2001 e 2001/2002.

Portanto, observando a Tabela 6.1, podemos concluir que no Verão 2000/2001 esteve presente na BA as massas de água ATB e ATW, enquanto que no verão 2001/2002, a massa de água que pode ter contribuído para as águas encontradas na BA foi a ATB.

6.2 Hidrodinâmica

Observamos que tanto no interior quanto na entrada da BA existe uma direção preferencial para as correntes amostradas. Observando as médias das velocidades (direção e sentido) ao longo da coluna d'água (Figura 6.1), observamos uma predominância de movimentos para fora da EM, e transversais a entrada da BA.

O fato de ocorrer uma predominância de movimentos para fora da EM também pode ser evidenciado na Figura 5.15, onde a velocidade meridional é predominantemente negativa ao longo do período de medição.

Para o interior da BA (fundeio F2), observou-se que a velocidade diminui conforme se aproxima do fundo, e de modo geral as componentes zonal e meridional apresentam a mesma ordem de magnitude em todas as profundidades. Em profundidades superiores (acima dos 30 m), a magnitude da velocidade chegou a atingir valores próximos a $0,15 \text{ m.s}^{-1}$, muito inferiores ao encontrados para velocidades superficiais

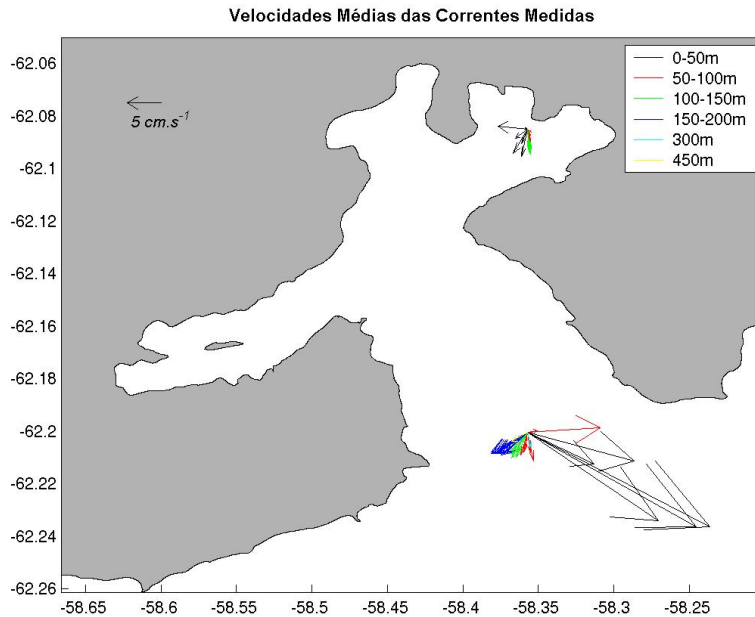


Figura 6.1: Velocidades médias medidas na BA. As cores indicam as profundidades das correntes.

por Pruszek (1980), onde foram realizadas medições na EE, e os valores máximos alcançados foram de 4 m.s^{-1} . Catewicz (1984), também obteve valores mais expressivos para a velocidade superficial na parte oeste da BA, com estes chegando a valores de $1,5 \text{ m.s}^{-1}$. Porém, os valores obtidos por simulação numérica por Robakiewicz e Razusa-Suszczewski (1999) para as correntes superficiais induzidas pelo vento e pela maré no interior da BA, indicam uma baixa magnitude das correntes, sendo estes bem próximos ao valor encontrado neste estudo.

Pruszek (1980) também realizou medições no interior da BA na profundidade de 100 m. Este autor encontrou valores máximos da magnitude da velocidade na ordem de 30 m.s^{-1} , também muito superiores ao encontrados por este estudo nesta profundidade, onde os valores máximos encontrados foram próximos de $0,04 \text{ m.s}^{-1}$. Novamente, observando os resultados obtidos por Robakiewicz e Razusa-Suszczewski (1999) com um modelo computacional 3D, por toda a BA, na profundidade de 100 m os valores encontrados para a magnitude da velocidade são baixos, na ordem de 10^{-3} m.s^{-1} , condizendo com os resultados obtidos neste estudo.

No fundeio localizado na entrada da BA (F3), podemos observar que em camadas superiores as velocidades são predominantemente na direção oeste (em média), enquanto que em camadas inferiores (abaixo dos 100-150 m) esta ocorre predominantemente no sentido oposto (leste).

Trabalhos como o de Madejski e Rakusa-Suszczewki (1990) demonstram que superficialmente, a direção predominante das correntes no EB é oeste, chegando a atingir valores de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ para este período do ano (novembro-dezembro). Neste estudo, foram encontrados valores máximos para a corrente na profundidade de 20 m na entrada da BA (conecção com o EB) próximos a 1 m.s^{-1} , porém, medianamente, os valores obtidos estão próximos ao encontrados por estes autores. Marrero-Diaz et al. (2005), indica uma inversão de fluxo no sentido leste-oeste no EB, sendo nas que camadas inferiores ocorre um fluxo para oeste, provenientes do Mar de Bellingshausen, e em camadas inferiores, o fluxo é predominantemente pra leste, proveniente do Mar de Weddell, condizendo desta forma com as inversões de fluxo também observadas por este estudo na componente zonal das correntes comparando as profundidades extremas (Figura 5.20) e as direções médias observadas na Figura 6.1.

Ainda para a entrada da BA, podemos observar que as maiores magnitudes encontradas para as velocidades das correntes estão próximas a 100 m. Esta, tem seu valor reduzido até a profundidade de 300 m, onde ocorre um aumento nos valores. Inferiormente, próximo ao fundo, as velocidades observadas apresentam as menores magnitudes da coluna d'água.

Observando-se a velocidade meridional integrada da profundidade de 20 à 195 m (Figura 5.23) na entrada da BA, observamos que o fluxo entrada-saída de água da BA ocorre em intervalo de tempos regulares, ocorrendo o mesmo para as profundidades inferiores. Embora neste estudo tenham sido usados dados filtrados com o objetivo de se eliminar freqüências da banda de maré, os fluxos indicam uma similaridade com períodos de sizígia e quadratura, principalmente a componente meridional da velocidade na profundidade de 300 m (Figura 5.21).

Comparando os espectros de energia entre os fundeios localizados no interior (fundeio F2) e na entrada (fundeio F3) da BA, observamos que ocorre uma concordância entre os picos em destaque, sendo estes os das freqüências de 1 e 2 cpd. Por estar em uma região de maior dinâmica e mais exposta, os valores encontrados para a entrada da BA são maiores que os encontrados no interior da BA.

Observando-se os resultados obtidos pelas análises harmônicas para as correntes, observamos que as componentes que eclodiram dentro de um nível de significância de 95% são as mesmas em ambos fundeios, e em mesma ordem de representatividade. Em todas as análises, as componentes, em ordem de significância são: O_1 , K_1 , M_2 e S_2 . A maiores amplitudes foram encontradas na profundidade de 300 m na entrada da BA (fundeio F3), seguidas pelas integração das velocidades de 20 à 195 m na entrada da BA, da profundidade de 450 m na entrada da BA, e as menores amplitudes encontradas são relativas as velocidade integradas da profundidade de 25 à 135 no

interior da BA (fundeio F2).

Comparando tais resultados com o obtido para a análise harmônica para o nível do mar, encontramos as mesmas componentes significativas, porém, para o nível do mar, a ordem de significância é a seguinte: M_2 , K_1 , O_1 e S_2 nessa ordem, sendo que praticamente as componentes diurnas e semi-diurnas apresentam as mesmas amplitudes quando somadas suas componentes (com pequeno destaque para as componentes semi-diurnas), diferentemente do encontrado para as correntes, onde as componentes diurnas superam as componentes semi-diurnas. Essa mesma ordem de significância para as componentes de maré foi observada por Catewicz e Kowalik (1984) e Souza (1992) para o interior da BA, sendo que em ambos trabalhos, as componentes semi-diurnas superam pouco significativamente as componentes diurnas (igualmente ao encontrado neste estudo). Do mesmo modo que este estudo, tais autores também classificaram o regime de marés da BA como sendo semi-diurno com desigualdades diurnas.

Quando comparadas as correlações encontradas entre as velocidades das correntes superficiais e as velocidades dos ventos locais, observamos que no interior da BA, estas foram mais significativas, principalmente para a componente meridional da velocidade, porém não é demonstrada uma forte correlação entre ambas. Segundo Pruszek (1980), o vento é o fator predominante para a distribuição das correntes superficiais na BA, visto que neste local, as condições meteorológicas variam rapidamente e bruscamente. Este fato também é evidenciado quando observamos as simulações numéricas realizadas por Robakiewicz e Rakusa-Suszczewski (1999), com e sem a presença do vento. Com a presença do vento, as magnitudes das correntes superficiais são alteradas significativamente, principalmente em locais de baixa profundidade, próximos à costa. Nos locais onde foram realizadas as medições (interior, fundeio F2, e entrada, fundeio F3, da BA) das magnitudes das correntes superficiais neste estudo, estas não são substancialmente influenciadas pela presença do vento, sendo predominantemente influenciadas pela maré, segundo estes autores. Desta forma, pode-se comparar os baixos resultados observados para a correlação encontrada entre as velocidades superficiais e as do vento, tendo uma maior significância para a região mais rasa.

Capítulo 7

Conclusões

Em termos Hidrográficos, as principais conclusões levantadas por este Trabalho de Graduação são:

- Tanto a distribuição horizontal quanto vertical das propriedades termohalinas são influenciadas pelos aportes terrestres de água fria e menos salina (geleiras);
- Longe destas, a coluna d'água é praticamente homogênea, sendo que as variações de temperatura e salinidade ocorrem na ordem de 10^{-1} ;
- Tais valores encontrados para as propriedades termohalina condizem com a literatura sobre a região;
- Esta homogeneidade das águas da Baía do Almirantado é reflexo das condições hidrográficas no Estreito de Bransfield. Neste, as massas de água são altamente misturadas, oriundas dos Mares de Bellingshausen e de Weddell;
- Segundo classificação proposta por Tokarczyk (1987), foram encontradas no interior da BA as seguintes massas de água: Águas Transicionais com Características do Mar de Bellingshausen e Águas Transicionais com Características do Mar de Weddell.

Para as características Hidrodinâmicas, as conclusões são:

- No interior da Baía do Almirantado, a magnitude das correntes estão na ordem de 10^{-1} m.s^{-1} , enquanto que na entrada, esta magnitude se encontra na ordem de 1 m.s^{-1} ;
- De modo geral, as velocidades decrescem conforme aproxima-se do fundo;

- No interior da Baía do Almirantado, a direção predominante para as correntes indica uma saída de água da Enseada Martel, enquanto que na entrada, em camadas superiores as correntes fluem no para leste, contrapondo as camadas inferiores, que fluem predominantemente para oeste. Este fenômeno também é observado na literatura para o Estreito de Bransfield;
- Observando de forma integrada, as correntes na entrada da Baía do Almirantado, seguem um fluxo de entrada-saída em intervalos regulares, similares a períodos de sizígia e quadratura de maré astronômica;
- As análises espectral e harmônica para as correntes, tanto no interior quanto na entrada da Baía do Almirantado, indicaram picos centrados nas freqüências diurnas (1 cpd) e semi-diurnas (2 cpd), com destaque para as primeiras. As principais componentes da análise harmônica para as correntes são: O_1 , K_1 , M_2 e S_2 , nessa ordem;
- Já para o nível do mar, a análise espectral também indicou picos de energia nas freqüências de 1 e 2 cpd, porém com uma representatividade equivalente para ambas. As principais componentes harmônicas para o nível do mar são: M_2 , K_1 , O_1 e S_2 , nessa ordem;
- Segundo Courtier (1937), o ciclo de maré na Baía do Almirantado pode ser classificado como semi-diurno, com desigualdades diurnas. Esta mesma classificação foi encontrada na literatura;
- As correntes superficiais indicaram uma baixa correlação com as velocidades do vento local, sendo que no interior da Baía do Almirantado, onde a profundidade era menor, esta foi levemente significativa.

Capítulo 8

Consideração Finais

Conforme discutido nas seções de Hidrografia e Hidrodinâmica da BA, pode-se observar que os processos de circulação e mistura da BA são fortemente influenciados pelo EB. A elevada dinâmica do EB pode ser observada no fundeio F3, localizada na entrada da BA, onde ocorrem inversões no sentido de direção da corrente, e as velocidades são substancialmente mais elevadas do que as encontradas no interior da BA (fundeio F2). Esta elevada dinâmica do EB faz com que as massas de água presentes possuam estruturas típicas diferentes das regiões circu-antárticas (Gordon e Nowlin, 1978), misturando as águas provenientes do Mar de Bellinghausen e de Weddell, tornando a estrutura termohalina, longe das geleiras, muito homogênea. Desta forma, é possível que a estrutura baroclínica influencie a circulação somente em pontos próximo à geleiras, onde ocorre o aporte de água doce, gerando desta forma variação lateral de densidade. Mesmo com este estudo superficial da BA, pode-se dizer que as maiores forçantes dos movimentos das correntes no interior da BA sejam as marés e o vento, sendo este último atuando principalmente em regiões rasas próximas à linha de costa.

Capítulo 9

Referências Bibliográficas

AANDERAA, 2000. Water Level Recorders WLR7 & WLR8.

BOJANOWSKI, R. 1984. Hydrochemical Observations at an Anchored Station in Ezcurra Inlet. *Oceanologia*, 15, 21-64.

GATEWICZ, Z. 1984. Variability of Water Flow in the Ezcurra Inlet. *Oceanologia*, 15, 73-95.

GATEWICZ, Z. KOWALIK, Z. 1984. Harmonic Analysis of Tides in Admiralty Bay. *Oceanologia*, 15, 97-110.

COURTIER, M. A. 1937. Exercices de Marees. Paris: Service Central Hydrographique.

DERA, J. 1980. Oceanographic Investigation on the Ezcurra Inlet During 2nd Antarctic Expedition of the Polish Academy of Sciences. *Oceanologia*, 12, 5-26.

EMERY, W. J. THOMSON, R. E. 1997. Data Analysis Methods In Physical Oceanography. Pergamon.

FOFONOFF, P. MILLARD Jr., R. C. 1983. Algorithms for Computation of Fundamental Properties of Seawater. *Unesco Technical Papers in Marine Sciences* 44, 53.

GODIN, G. 1972. The Analysis of Tides. Liverpool University Press. 264p.

GORDON, A. L. NOWLIN, W. D. 1978. The Basin waters of Bransfield Strait. *Journal*

of Physics Oceanography, 8, 258-264.

IKEDA, Y., MIRANDA, L. B., IWAI, M., FURTADO, V. V., CACCIARI, P. L. 1986. Environmental Parameters of the Bransfield Strait, Antarctica. Anais da Academia Brasileira de Ciencias, 58, 111-116.

KELLY, R., BLANCO, J. L., DIAZ, M. 1985. Hidrografia del Estrecho Bransfield durante el verano austral 1984 (SIBEX - Fase I). Serie Cientifica INACH, 33, 15-48.

KELLY, R., BLANCO, J. L. 1986. Hidrografia del Estrecho Bransfield durante el verano austral 1985 (SIBEX - Fase II, Chile). Serie Cientifica INACH, 35, 7-30.

LIPSKI, M. 1987. Variation of Physical Condition and Chlorophyll a Contents in Admiralty Bay (King George Island, South Shetlands, 1979). Polish Polar Resesearch, 8, 307-332.

LOPEZ, O., GARCIA, M.A., SANCHEZ-ARCILLA, A. 1994. Tidal and Residual Currents in the Bransfield Strait, Antarctica. Ann. Geophysicae, 12, 887-902.

MADEJSKI P. RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. 1990. Annual Observations of Icebergs as Tracers of Water Movement in the Bransfield Strait in Front of Admiralty Bay (King George, South Shetlands Islands) - Antarctic Sciences, 3, 259-263.

MARRERO-DÍAZ, A., HERNÁNDEZ-ARENCIBIA, M., GORDO, C., SANGRÀ, P., RODRIGUEZ-SANTANA, A. 2005. Geophysical Research Abstracts, 7, 09624.

MIRANDA, L.B., CASTRO, B.M., KJEFVE, B. 2002. Princípios de Oceanografia Física de Estuários. Edusp.

MORETTIN, P.A. 1998. Ondas e Ondaletas: da Análise de Fourier à Análise de Ondaletas. Edusp.

PAWLOWICZ, R., BEARDSLEY, B., LENTZ, S. 2002. Classical Tidal Harmonic Analysis Including Error Estimates in MATLAB Using T_TIDE. Computers and Geosciences 28, 929-937.

PREGO, R., PEREZ, F. F., FIGUEIRAS, F. G. 1990. Hidrografia de Admiralty Bay,

Island King George, Antartica, al coienzo del verano austral de 1988-89. Acta del feror symposio espanol de estudios Antarticos - C.I.C.T. Madrid, 24-29.

PRUSZAK, Z. 1980. Currents Circulation in the Waters of Admiralty Bay (Region of Arctowski Station on King George Island). Polish Polar Research, 1, 55-74.

RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S., BATTKE, Z., CISAK, J. 1993. Morphometry of the Admiralty Bay shores and basin. In: Rakusa-Suszczewski S. (ed.), The Maritime Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay. Department of Antarctic Biology, Polish Academy os Science, 27-30.

RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. 1993. Marine Environment. In: Rakusa-Suszczewski S. (ed.), The Maritime Antartic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay. Department of Antartic Biology, Polish Academy of Sciences, 31-34.

ROBAKIEWICZ, M. RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. 1999. Aplicacion of 3D Circulation Model to Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. Polish Polar Research, 1, 43-58.

SARTORI, S. L. 1995. Estudo da Circulação na Baía de Guanabara - RJ, Através da Análise de Séries Temporais. Dissertação (mestrado). Instituto Oceanográfico - Universidade de São Paulo.

SARUKHANYAN, E. I. TORARCZYK, R. 1988. Coarse Scale Hydrological Condition in Admiralty Bay in Summer 1982 (King George Island, South Shetlands). Polish Polar Research, 9, 121-132.

SAMP, R. 1980. Selected Environmental Factors in the Waters of Admiralty Bay (King George Island, South Shetlands Islands) - Polish Polar Research, 4, 53-66.

SECIRM, 2006. Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. http://www.mar.mil.br/secirm/general/p_trat.htm em 07/06/2006 10:36.

SILVA JR., C. L. 1989. Comparação da circulação obtida através da trajetória de uma bóia de deriva rastreada por satélite e de dados hidrográficos no Estreito de Bransfield. Dissertação (mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 155p.

SIMÕES, J. C., ARIGONY NETO, J., BREMER, U.F. 2002. O Uso de Mapas Antárticos em Publicações. Pesquisa Antártica Brasileira, Academia Brasileira de Ciências, vol. 4. (no prelo).

SONTEK, 2000. Acoustic Doppler Profiler (ADP). Principles of Operation.

SOUZA, M. C. de A. 2000. A Corrente do Brasil ao Largo de Santos: Medições Diretas. Dissertação (mestrado). Instituto Oceanográfico - Universidade de São Paulo.

SOUZA, R. B. 1992. Estudo da Circulação superficial ao Norte do Estreito de Bransfield, Antártica. Dissertação (mestrado) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 161p.

SZAFRANSKI, J. LIPSKI, M. 1982. Characteristics of water temperature and salinity at Admiralty Bay (King George Island) during austral summer 1978-1979. Polish Polar Research, 3, 7:24.

TOKARCZYK, R. 1986. Classification of Water Masses in the Bransfield Strait and Southern Part of Drake Passage Using a Method of Statistical Multidimensional Analysis. Polish Polar research, 8, 333-366.

TOMCZAK, M. e LIEFRINK, S. 2005. Interannual Variations of Water Mass Volumes in the Southern Ocean. Journal of Atmospheric and Ocean Science. Col 10, No. 1, 31-42.

VALENCIA, M. R., VEGAN, M. 1990. Hydrochemical characteristics of water of Chile Bay (Greenwich Island), and filds and Admiralty Bay (King George Island). Ecuadorian Activities in the Antarctica 1989-1990 - Quayaquil, Ecuador. 147-211.

WILSON, C., KLINKHAMMER, G. P., CHIN C. S. 1999. Hydrography Within the Central and East Basins of the Bransfield Strait, Antarctica. Journal of Physical Oceanography. Vol. 29, No.1, 465-479.