

Sandro Vianna Paixão

**Transporte de volume e condições hidrográficas
no Canal de São Sebastião**

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

Orientador:

Prof. Dr. Belmiro Mendes de Castro Filho

São Paulo

2008

**Universidade de São Paulo
Instituto Oceanográfico**

**Transporte de volume e condições hidrográficas no Canal
de São Sebastião**

Sandro Vianna Paixão

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

Julgada em ____ / ____ / ____ por:

Prof(a). Dr(a).

Conceito

Prof(a). Dr(a).

Conceito

Prof(a). Dr(a).

Conceito

“If nature were not beautiful, it would not be worth studying it.

And life would not be worth living.”

Henry Poincaré

Sumário

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	viii
Lista de Figuras	xviii
Lista de Tabelas	xix
1 Introdução	1
1.1 Preâmbulo	1
1.2 Objetivos	5
2 Área de Estudo	6
2.1 Plataforma Continental Sudeste do Brasil (PCSE)	6
2.2 Canal de São Sebastião (CSS)	7
2.3 Estudos Anteriores	12
2.3.1 Geomorfologia	12
2.3.2 Massas de Água	13
2.3.3 Frentes	16
2.3.4 Regionalização Dinâmica	18
2.3.5 Circulação	18
2.3.6 Climatologia	21
2.3.7 Transporte de Volume e Tempo de Residência	22

3	Material e Métodos	24
3.1	Instrumentação	24
3.1.1	"Acoustic Doppler Current Profiler" (ADCP)	25
3.1.2	Correntômetros com sensores de condutividade, temperatura e pressão e "Conductivity, Temperature and Depth" (CTD)	27
3.1.3	"Quick Scatterometer" (QuikSCAT)	28
3.2	Conjunto de Dados	29
3.3	Tratamento dos Dados	32
3.3.1	Dados de ADCP	32
3.3.2	Dados Hidrográficos	36
3.3.3	Dados de Vento	37
3.4	Gradeamento Horizontal e Vertical dos Campos Escalares e Vetoriais . .	39
3.4.1	Gradeamento Horizontal dos Campos Termohalinos e de Massa	39
3.4.2	Gradeamento Vertical dos Campos Termohalinos e de Massa . .	42
3.4.3	Gradeamento Horizontal dos Campos de Velocidade	43
3.4.4	Gradeamento Vertical dos Campos de Velocidade	43
3.4.5	Gradeamento Horizontal para as Funções de Corrente e para os Campos de Velocidade Não-Divergente	44
3.4.6	Gradeamento Horizontal dos Campos de Vento	45
3.5	Cálculo do Transporte de Volume	46
3.6	Cálculo do Volume do CSS e do Tempo de Residência das Águas	48
4	Resultados	49
4.1	Diagramas T-S Espalhados	49
4.2	Distribuição Espacial das Propriedades Físicas	51
4.2.1	Cruzeiro de 25/09/2001	51
4.2.2	Cruzeiro de 13/11/2002	59
4.2.3	Cruzeiro de 22/03/2006	67
4.2.4	Cruzeiro de 27/07/2006	76
4.2.5	Cruzeiro de 10/10/2006	84
4.2.6	Cruzeiro de 14/12/2006	92
4.3	Campos de Vento na PCSE	101

4.3.1	Campos de Vento para o Cruzeiro de 25/09/2001	101
4.3.2	Campos de Vento para o Cruzeiro de 13/11/2002	101
4.3.3	Campos de Vento para o Cruzeiro de 22/03/2006	106
4.3.4	Campos de Vento para o Cruzeiro de 27/07/2006	106
4.3.5	Campos de Vento para o Cruzeiro de 10/10/2006	112
4.3.6	Campos de Vento para o Cruzeiro de 14/12/2006	112
4.4	Campos de Velocidade	116
4.4.1	Mapeamento dos Campos de Velocidade em 25/09/2001	116
4.4.2	Mapeamento dos Campos de Velocidade em 13/11/2002	122
4.4.3	Mapeamento dos Campos de Velocidade em 22/03/2006	128
4.4.4	Mapeamento dos Campos de Velocidade em 27/07/2006	134
4.4.5	Mapeamento dos Campos de Velocidade em 10/10/2006	140
4.4.6	Mapeamento dos Campos de Velocidade em 14/12/2006	142
4.5	Funções de Corrente e Campos de Velocidade Não-Divergente	151
4.5.1	Mapeamento Horizontal da Função de Corrente e do Campo de Velocidade Não-Divergente em 25/09/2001	152
4.5.2	Mapeamento da Função de Corrente e do Campo de Velocidade Não-Divergente em 13/11/2002	153
4.5.3	Mapeamento da Função de Corrente e do Campo de Velocidade Não-Divergente em 22/03/2006	154
4.5.4	Mapeamento da Função de Corrente e do Campo de Velocidade Não-Divergente em 27/07/2006	155
4.5.5	Mapeamento da Função de Corrente e do Campo de Velocidade Não-Divergente em 10/10/2006	156
4.5.6	Mapeamento da Função de Corrente e do Campo de Velocidade Não-Divergente em 14/12/2006	157
4.6	Transporte de Volume e Tempo de Residência	158
4.6.1	Transporte de Volume e Tempo de Residência em 25/09/2001	158
4.6.2	Transporte de Volume e Tempo de Residência em 13/11/2002	159
4.6.3	Transporte de Volume e Tempo de Residência em 22/03/2006	159
4.6.4	Transporte de Volume e Tempo de Residência em 27/07/2006	160

4.6.5	Transporte de Volume e Tempo de Residência em 10/10/2006 . . .	160
4.6.6	Transporte de Volume e Tempo de Residência em 14/12/2006 . . .	161
5	Discussão	162
5.1	Considerações Oceanográficas Sobre o Canal de São Sebastião	162
5.1.1	Cruzeiro de 25/09/2001	162
5.1.2	Cruzeiro de 13/11/2002	166
5.1.3	Cruzeiro de 22/03/2006	169
5.1.4	Cruzeiro de 27/07/2006	171
5.1.5	Cruzeiro de 10/10/2006	173
5.1.6	Cruzeiro de 14/12/2006	174
5.2	Síntese das Principais Características dos Cruzeiros Oceanográficos . . .	178
6	Conclusões	180
	Referências Bibliográficas	184

Agradecimentos

À Marinha do Brasil, que, através da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), ofereceu essa oportunidade de formação acadêmica na área de Oceanografia Física.

Ao meu orientador Prof. Dr. Belmiro Mendes de Castro Filho, que me recebeu no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP) da melhor forma possível e cujos ensinamentos transmitidos foram primordiais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua orientação segura, ao longo de toda trajetória, juntamente com a sua inesgotável fonte de conhecimento, foram fatores que contribuíram muito para a minha formação oceanográfica. Agradeço, também, ao Prof. Dr. Belmiro pela disponibilidade da maior parte do conjunto de dados utilizados no referido estudo.

Ao meu orientador institucional, CC João Franswilliam Barbosa, que, servindo presentemente no IEAPM, me incentivou e apoiou em todos os momentos durante a realização desse curso.

A todas as pessoas do IEAPM que me incentivaram a realizar o curso de Oceanografia Física, no IOUSP.

Ao CMG (RM1) Frederico Antonio Saraiva Nogueira, minha referência oceanográfica na Marinha do Brasil, agradeço pelos ensinamentos transmitidos desde a época em que servimos no NOc "Almirante Câmara", quando eu exercia a função de Encarregado de Navegação e ele era o Comandante.

Ao Prof. Dr. Ilson Carlos Almeida da Silveira, Coordenador do Curso de Oceanografia Física, pela cordial recepção à minha pessoa no IOUSP, constante incentivo aos estudos oceanográficos, disponibilidade para ajudar e pelos conhecimentos transmitidos durante as disciplinas, que foram muito importantes na realização deste trabalho.

Ao corpo docente do Departamento de Oceanografia Física do IOUSP, pois foram

fontes de conhecimentos inestimáveis para a minha formação acadêmica. São eles: Prof. Dr. Belmiro, Prof. Dr. Ilson, Prof. Dr. Paulo Polito, Prof. Dr. Edmo, Prof. Dr. Miranda e Prof^a. Dr^a. Sueli.

Agradeço ao engenheiro Luiz Vianna Nonnato, do Laboratório de Instrumentação Oceanográfica (LIO) pela contribuição no processamento dos dados do ADCP e pela disponibilidade em sempre ajudar, aos engenheiros Francisco Luiz Vicentini Neto e José Gustavo Imakawa e a toda equipe do LIO, bem como à tripulação do B/Pq Veliger II, pela experiência operativa nos trabalhos de campo.

Ao pós-graduando Rafael Guarino Soutelino agradeço pela grande força e suporte técnico fundamentais para o fechamento deste trabalho, além das incansáveis discussões oceanográficas e a transmissão de seu amplo conhecimento em linguagem de programação. Agradeço muito pela sua paciência e disponibilidade em sempre ajudar.

Aos colegas e amigos com quem convivi durante esse período em São Paulo e com os quais obtive grande força para superar os obstáculos. São eles: Rafael, Fabrício, Ingrid, Paulo, Diogo, Raquel, Sebastian, Wellington, CT Marin, CT Felipe Santos, Juliana, Piero, Melissa e André Vitta.

À minha esposa Cristianne e ao CT Marin pela revisão ortográfica, à Dr^a. Raquel pelas revisões de formatação e de ortografia e ao Sebastian pela revisão do abstract.

Ao Funcionário José Roberto pelo auxílio na impressão deste documento.

Ao pessoal da Biblioteca Prof. Dr. Gelso Vazzoler, do IOUSP, pela paciência e ajuda, principalmente, à Funcionária Aparecida e ao Funcionário Wagner.

Aos meus familiares e amigos distantes que sempre me deram força para a realização deste trabalho.

À minha querida e grávida esposa Cristianne agradeço por todo o seu carinho, compreensão e incentivo durante o andamento desse curso, que exigiu de mim dedicação integral. Sem um porto seguro no lar certamente eu não conseguiria obter os mesmos resultados alcançados. Obrigado por tudo.

Aos meus queridos pais, Alfredo (in memoriam) e Adalgiza (in memoriam) por me proporcionarem ao longo da vida todas as oportunidades que estavam ao seu alcance, além de todo o carinho, paciência e exemplo de vida. A vocês devo tudo, sempre.

A todos que de alguma forma contribuíram para o término deste estudo.

Resumo

Dados correntométricos obtidos com o emprego do "Acoustic Doppler Current Profiler" (ADCP) rebocado por um barco de pesquisa e dados hidrográficos quase-sinóticos foram amostrados no Canal de São Sebastião (CSS) em seis cruzeiros realizados entre 2001 e 2006. Dados de vento de superfície para a Plataforma Continental Sudeste do Brasil (PCSE) obtidos pelo escaterômetro QuikSCAT também foram utilizados neste trabalho. O método da Análise Objetiva foi aplicado para a obtenção das distribuições horizontais e verticais de temperatura, salinidade, densidade, velocidade e vento. Os transportes de volume estimados para as quatro seções verticais dispostas radialmente no canal apresentaram condições de quase-continuidade ou descontinuidade entre seus valores cujas causas foram atribuídas principalmente à ocorrência de giros ciclônicos ou anticiclônicos na porção sul do CSS e à quase-sinopticidade da aquisição dos dados. Em 13/11/2002 foi obtido o maior valor para o transporte de volume no canal, de $18904 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, associado aos ventos de SW, com direção para norte, enquanto que o menor valor calculado foi de $-1959 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, em 27/07/2006, com movimentos para sul associado aos ventos oriundos de NE. Os giros foram observados somente na porção sul do canal. Esses giros eram ciclônicos associados aos ventos de NE e anticiclônicos quando os ventos sopraram de SW. O tempo de renovação das águas do CSS varia de 0,81 dias a 7,81 dias. Circulação em duas camadas e bidirecional, com movimentos superficiais para SW, forçados pelos ventos de NE, e movimentos profundos em direção para o norte do canal foram observados em 27/07/2006, 10/10/2006 e 14/12/2006. A Água Central do Atlântico Sul (ACAS) preencheu toda a camada de fundo do CSS em 14/12/2006, e neste dia ocorreu a ressurgência costeira com o afloramento da ACAS na superfície, na costa continental sul do CSS, associada aos ventos de NE/SE, que sopraram na PCSE entre os dias 8 e 14/12/2006.

Abstract

Current data obtained using an "Acoustic Doppler Current Profiler" (ADCP) towed by a research boat and nearly synoptic hydrographic data were sampled in the São Sebastião Channel (SSC) during six cruises between 2001 and 2006. This study also uses ocean-surface wind fields for the South Brazil Bight (SBB) area derived from the QuikSCAT scatterometer. The method of objective analysis was applied to obtain the horizontal and vertical distributions of temperature, salinity, density, velocity and wind. The estimated along-channel volume transport for the four vertical sections arranged radially to the channel was almost continuous or discontinuous between their values, probably mainly caused by the occurrence of anticyclonic or cyclonic gyres in the southern portion of the SSC and almost synopticity in data acquisition. The calculated volume transport in the channel ranged from $18,904 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ on 13/11/2002 heading north forced by southwesterly winds, to $-1,959 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ on 27/07/2006 heading south forced by northeasterly winds. Gyres were observed only in the southern portion of the channel. These gyres were cyclonic during northeasterly winds and anticyclonic during southwesterly winds. The water renewal time of the SSC varies from 0.81 to 7.81 days. On 27/07/2006, 10/10/2006 and 14/12/2006, bidirectional circulation in two layers was observed, with surface currents heading SW, forced by northeasterly winds, and deep currents heading N. On 14/12/2006 the whole bottom layer of the SSC was filled with South Atlantic Central Water (SACW), and its coastal upwelling was observed at the southern continental coast of the channel, probably due to NE/SE winds that blew between 8/12/2006 and 14/12/2006.

Lista de Figuras

1.1	Batimetria da Plataforma Continental Sudeste (PCSE) e da região oceânica adjacente.	3
1.2	O Canal de São Sebastião (CSS), com alguns de seus principais pontos de referência.	4
2.1	Perfis batimétricos da plataforma continental [Zembruski, 1979].	8
2.2	A Plataforma Continental Sudeste do Brasil [Castro, 1996].	9
2.3	Batimetria do CSS (modificada de Soutelino et al. [2006]).	10
2.4	Batimetria do CSS em 3D.	11
2.5	Mapa das isóbatas com intervalos de 5 m [Furtado et al., 1996].	12
2.6	Representação tridimensional da região de São Sebastião [Furtado et al., 1996].	13
2.7	Representação esquemática dos principais processos físicos atuantes sobre as águas da plataforma continental durante os períodos de verão e de inverno [Castro et al., 1987].	15
2.8	Representação esquemática das regiões da PCNSP durante o verão e o inverno [Castro, 1996].	17
2.9	Campos de corrente para 12 horas e 24 horas gerados pelo vento médio semanal de sudoeste (WOCE) [Assad, 2000].	23
3.1	ADCP da Sontek [Sontek/YSI, 2005] utilizado nos cruzeiros oceanográficos dentro do CSS.	25
3.2	ADCP instalado em um catamarã, que foi rebocado pelo B/Pq Veliger II.	25
3.3	Grade amostral, com as estações oceanográficas e as trajetórias percorridas com o ADCP, e batimetria, no CSS.	30

3.4	Mapeamento dos dados de ADCP no nível de 6 m e batimetria para os cruzeiros de 25/09/2001, 13/11/2002, 22/03/2006 e 27/07/2006.	35
3.5	Mapeamento dos dados de ADCP no nível de 6 m e batimetria para os cruzeiros de 10/10/2006 e 14/12/2006.	36
3.6	Perfis verticais de temperatura e salinidade, brutos e tratados, e de densidade convencional e potencial, na estação n° 01, em 22/03/2006.	38
3.7	Perfis verticais de temperatura e salinidade, brutos e tratados, e de densidade convencional e potencial, na estação n° 03, em 22/03/2006.	38
3.8	Grade curvilinear utilizada para obtenção das distribuições horizontais dos campos termohalinos e de massa, e a sua ortonogonalidade.	39
3.9	Grade curvilinear utilizada na PCSE, para obtenção dos campos de vento e a sua ortonogonalidade.	46
4.1	Diagramas T-S espalhados para os cruzeiros de 25/09/2001, 13/11/2002, 22/03/2006, 27/07/2006, 10/10/2006 e 14/12/2006.	50
4.2	Distribuições horizontais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional no nível de 3 m e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 25/09/2001.	53
4.3	Distribuições horizontais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional junto ao fundo e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 25/09/2001.	54
4.4	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>A</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 25/09/2001.	55
4.5	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>B</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 25/09/2001.	56
4.6	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>C</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 25/09/2001.	57

4.7	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>D</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 25/09/2001.	58
4.8	Distribuições horizontais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional no nível de 3 m e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 13/11/2002.	61
4.9	Distribuições horizontais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional junto ao fundo e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 13/11/2002.	62
4.10	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>A</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 13/11/2002.	63
4.11	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>B</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 13/11/2002.	64
4.12	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>C</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 13/11/2002.	65
4.13	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>D</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 13/11/2002.	66
4.14	Distribuições horizontais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional no nível 3 m e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 22/03/2006.	70
4.15	Distribuições horizontais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional junto ao fundo e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 22/03/2006.	71
4.16	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>A</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 22/03/2006.	72

4.17	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>B</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 22/03/2006.	73
4.18	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>C</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 22/03/2006.	74
4.19	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>F</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 22/03/2006.	75
4.20	Distribuições horizontais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional no nível de 3 m e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 27/07/2006.	78
4.21	Distribuições horizontais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional junto ao fundo e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 27/07/2006.	79
4.22	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>A</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 27/07/2006.	80
4.23	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>B</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 27/07/2006.	81
4.24	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>C</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 27/07/2006.	82
4.25	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>D</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 27/07/2006.	83
4.26	Distribuições horizontais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional no nível de 3 m e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 10/10/2006.	86

4.27	Distribuições horizontais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional junto ao fundo e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 10/10/2006.	87
4.28	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>A</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 10/10/2006.	88
4.29	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>B</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 10/10/2006.	89
4.30	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>C</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 10/10/2006.	90
4.31	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>D</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 10/10/2006.	91
4.32	Distribuições horizontais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional no nível de 3 m e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 14/12/2006.	95
4.33	Distribuições horizontais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional junto ao fundo e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 14/12/2006.	96
4.34	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>A</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 14/12/2006.	97
4.35	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>B</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 14/12/2006.	98
4.36	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial <i>C</i> e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 14/12/2006.	99

4.37	Seções verticais dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional na radial D e o erro de interpolação, no cruzeiro oceanográfico de 14/12/2006.	100
4.38	Campos de vento entre os dias 17 e 20/09/2001, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, e respectivos erros de interpolação.	102
4.39	Campos de vento entre os dias 21 e 24/09/2001, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, e respectivos erros de interpolação.	103
4.40	Campos de vento nos dias 25 e 26/09/2001, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, e respectivos erros de interpolação.	104
4.41	Campos de vento entre os dias 10 e 13/11/2002, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, e respectivos erros de interpolação.	105
4.42	Campos de vento entre os dias 10 e 13/03/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, e respectivos erros de interpolação.	107
4.43	Campos de vento entre os dias 14 e 17/03/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, e respectivos erros de interpolação.	108
4.44	Campos de vento entre os dias 18 e 21/03/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, e respectivos erros de interpolação.	109
4.45	Campos de vento nos dias 22 e 23/03/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, e respectivos erros de interpolação.	110
4.46	Campos de vento entre os dias 23 e 26/07/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, e respectivos erros de interpolação.	111
4.47	Campo de vento no dia 27/07/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, e erro de interpolação.	112
4.48	Campos de vento entre os dias 07 e 10/10/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, e respectivos erros de interpolação.	113
4.49	Campos de vento entre os dias 07 e 10/12/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, e respectivos erros de interpolação.	114
4.50	Campos de vento entre os dias 11 e 14/12/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, e respectivos erros de interpolação.	115

4.51	Mapeamento horizontal do campo de velocidade aos 6 m e o erro de interpolação e as trajetórias efetuadas com ADCP para o cruzeiro de 25/09/2001.	117
4.52	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial <i>A</i> para o cruzeiro de 25/09/2001.	119
4.53	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial <i>B</i> para o cruzeiro de 25/09/2001.	119
4.54	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial <i>C</i> para o cruzeiro de 25/09/2001.	120
4.55	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial <i>D</i> para o cruzeiro de 25/09/2001.	120
4.56	Erros de interpolação para as seções verticais <i>A</i> , <i>B</i> , <i>C</i> e <i>D</i> dos campos de velocidade normal e transversal às respectivas radiais para o cruzeiro de 25/09/2001.	121
4.57	Mapeamento horizontal do campo de velocidade aos 6 m e o erro de interpolação e as trajetórias efetuadas com ADCP para o cruzeiro de 13/11/2002.	123
4.58	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial <i>A</i> para o cruzeiro de 13/11/2002.	125
4.59	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial <i>B</i> para o cruzeiro de 13/11/2002.	125
4.60	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial <i>C</i> para o cruzeiro de 13/11/2002.	126
4.61	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial <i>D</i> para o cruzeiro de 13/11/2002.	126
4.62	Erros de interpolação para as seções verticais <i>A</i> , <i>B</i> , <i>C</i> e <i>D</i> dos campos de velocidade normal e transversal às respectivas radiais para o cruzeiro de 13/11/2002.	127
4.63	Mapeamento horizontal do campo de velocidade aos 6 m e o erro de interpolação e as trajetórias efetuadas com ADCP para o cruzeiro de 22/03/2006.	129

4.64	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial A para o cruzeiro de 22/03/2006.	131
4.65	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial B para o cruzeiro de 22/03/2006.	131
4.66	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial C para o cruzeiro de 22/03/2006.	132
4.67	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial D para o cruzeiro de 22/03/2006.	132
4.68	Erros de interpolação para as seções verticais A, B, C e D dos campos de velocidade normal e transversal às respectivas radiais para o cruzeiro de 22/03/2006.	133
4.69	Mapeamento horizontal do campo de velocidade aos 6 m e o erro de interpolação e as trajetórias efetuadas com ADCP para o cruzeiro de 27/07/2006.	135
4.70	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial A para o cruzeiro de 27/07/2006.	137
4.71	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial B para o cruzeiro de 27/07/2006.	137
4.72	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial C para o cruzeiro de 27/07/2006.	138
4.73	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial D para o cruzeiro de 27/07/2006.	138
4.74	Erros de interpolação para as seções verticais A, B, C e D dos campos de velocidade normal e transversal às respectivas radiais para o cruzeiro de 27/07/2006.	139
4.75	Mapeamento horizontal do campo de velocidade aos 6 m e o erro de interpolação e as trajetórias efetuadas com ADCP para o cruzeiro de 10/10/2006.	141
4.76	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial A para o cruzeiro de 10/10/2006.	143

4.77	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial <i>B</i> para o cruzeiro de 10/10/2006.	143
4.78	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial <i>C</i> para o cruzeiro de 10/10/2006.	144
4.79	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial <i>D</i> para o cruzeiro de 10/10/2006.	144
4.80	Erros de interpolação para as seções verticais <i>A</i> , <i>B</i> , <i>C</i> e <i>D</i> dos campos de velocidade normal e transversal às respectivas radiais para o cruzeiro de 10/10/2006.	145
4.81	Mapeamento horizontal do campo de velocidade aos 6 m e o erro de interpolação e as trajetórias efetuadas com ADCP para o cruzeiro de 14/12/2006.	146
4.82	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial <i>A</i> para o cruzeiro de 14/12/2006.	148
4.83	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial <i>B</i> para o cruzeiro de 14/12/2006.	148
4.84	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial <i>C</i> para o cruzeiro de 14/12/2006.	149
4.85	Seções verticais dos campos de velocidade normal e transversal à Radial <i>D</i> para o cruzeiro de 14/12/2006.	149
4.86	Erros de interpolação para as seções verticais <i>A</i> , <i>B</i> , <i>C</i> e <i>D</i> dos campos de velocidade normal e transversal às respectivas radiais para o cruzeiro de 14/12/2006.	150
4.87	Mapeamento horizontal da função de corrente e do campo de velocidade não-divergente aos 6 m para o cruzeiro de 25/09/2001.	152
4.88	Mapeamento horizontal da função de corrente e do campo de velocidade não-divergente aos 6 m para o cruzeiro de 13/11/2002.	153
4.89	Mapeamento horizontal da função de corrente e do campo de velocidade não-divergente aos 6 m para o cruzeiro de 22/03/2006.	154
4.90	Mapeamento horizontal da função de corrente e do campo de velocidade não-divergente aos 6 m para o cruzeiro de 27/07/2006.	155

4.91	Mapeamento horizontal da função de corrente e do campo de velocidade não-divergente aos 6 m para o cruzeiro de 10/10/2006.	156
4.92	Mapeamento horizontal da função de corrente e do campo de velocidade não-divergente aos 6 m para o cruzeiro de 14/12/2006.	157

Lista de Tabelas

3.1	Coordenadas geográficas e respectivas profundidades das estações oceanográficas realizadas no CSS.	31
3.2	Correções inseridas no cálculo da velocidade para as trajetórias dos respectivos cruzeiros.	33
4.1	Transportes de volume nas seções verticais <i>A, B, C</i> e <i>D</i> , e a média desses transportes, no cruzeiro de 25/09/2001.	158
4.2	Transportes de volume nas seções verticais <i>A, B, C</i> e <i>D</i> , e a média desses transportes, no cruzeiro de 13/11/2002.	159
4.3	Transportes de volume nas seções verticais <i>A, B, C</i> e <i>D</i> , e a média desses transportes, no cruzeiro de 22/03/2006.	159
4.4	Transportes de volume nas seções verticais <i>A, B, C</i> e <i>D</i> , e a média desses transportes, no cruzeiro de 27/07/2006.	160
4.5	Transportes de volume nas seções verticais <i>A, B, C</i> e <i>D</i> , e a média desses transportes, no cruzeiro de 10/10/2006.	160
4.6	Transportes de volume nas seções verticais <i>A, B, C</i> e <i>D</i> , e a média desses transportes, no cruzeiro de 14/12/2006.	161
5.1	Síntese das principais características dos cruzeiros oceanográficos.	179

Capítulo 1

Introdução

1.1 Preâmbulo

A região de São Sebastião está situada na Plataforma Continental Sudeste do Brasil (PCSE), no litoral norte do Estado de São Paulo, como pode ser visualizado na Figura 1.1. No canal de São Sebastião (CSS) são realizadas diversas atividades econômicas, tais como o turismo, a pesca e o transporte e armazenamento de petróleo, e estão instalados nessa localidade o porto de São Sebastião, na margem oeste do CSS; o Terminal Marítimo Almirante Barroso (TEBAR), situado ao norte do porto, especializado em carga e descarga de graneis líquidos (petróleo e derivados); três emissários submarinos, sendo dois no município de São Sebastião (ponta do Araçá e ponta Cigarras) e um no município de Ilhabela (saco da Capela), destinados a lançar os esgotos sanitários no meio marinho, e um emissário submarino de efluentes industriais, situado no TEBAR. A Figura 1.2 mostra o CSS e alguns de seus principais pontos de referência.

Apesar da existência do porto e do terminal marítimo, a região de São Sebastião é um importante pólo turístico do Estado de São Paulo, pois apresenta uma rara beleza, com águas atraentes para banhistas e praticantes de esportes náuticos, além de exuberante mata atlântica em suas proximidades.

O monitoramento e a preservação dos ecossistemas desse canal podem ser justificados devido à grande importância econômica e turística da região. Desta forma, no âmbito da Oceanografia Física, o estudo dos padrões de circulação e do transporte de volume das águas no CSS é muito importante no sentido de contribuir para a compreen-

são dos diversos fenômenos físicos associados aos sistemas de correntes que ocorrem nessa localidade. Esse monitoramento pode fornecer informações relevantes para o estudo sobre futuras interferências que possam ser causadas, principalmente, através de lançamento de esgotos sanitários e industriais por meio dos emissários submarinos e de vazamentos de petróleo e seus derivados, que podem trazer sérios danos ambientais, econômicos e riscos à saúde pública local.

O crescimento portuário, turístico e demográfico dessa área, juntamente com as demais atividades humanas, deve ser acompanhado do desenvolvimento e da aplicação de novas tecnologias e metodologias, no sentido de aperfeiçoar o monitoramento das águas do CSS a fim de contribuir para a exploração sustentada dos ecossistemas dessa região. Nesse sentido, o Laboratório de Hidrodinâmica Costeira do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP) vem realizando estudos na região desde 1990 através dos projetos HIDROCASS (Hidrodinâmica do Canal de São Sebastião), OPISS (Oceanografia da Plataforma Interna da Região de São Sebastião) e TRADICASS (Transporte e Dispersão no Canal de São Sebastião), com a utilização de instrumentos oceanográficos cada vez mais sofisticados, tais como o "Acoustic Doppler Current Profiler" (ADCP), contribuindo de maneira marcante para o entendimento da hidrodinâmica da região. Os dois primeiros projetos foram apoiados pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e, o terceiro, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

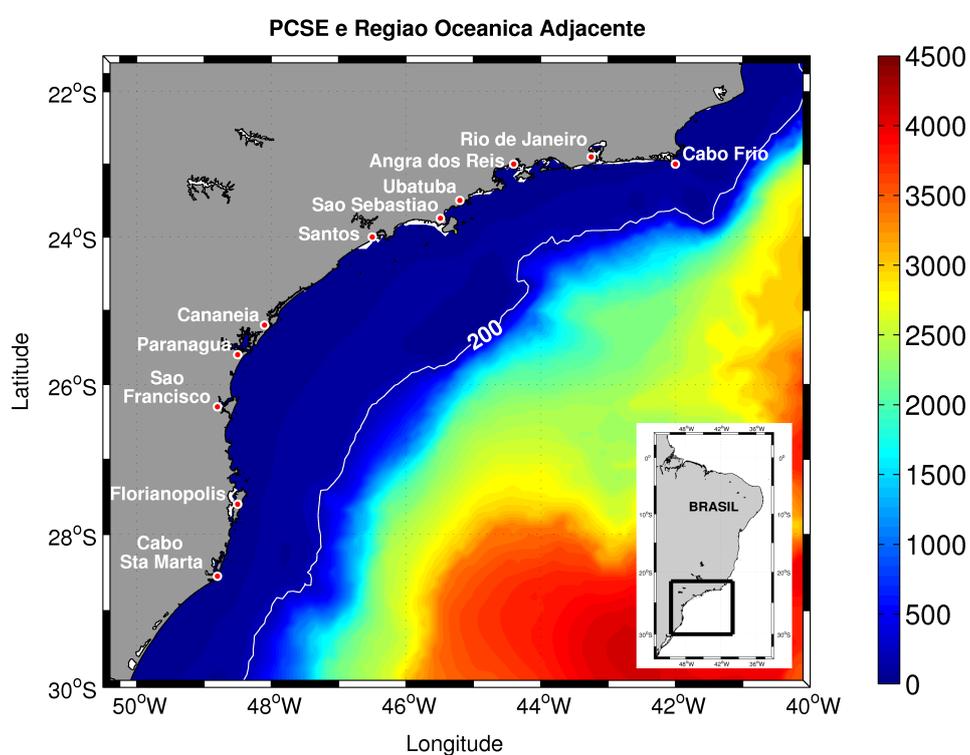


Figura 1.1: Batimetria [m] da Plataforma Continental Sudeste (PCSE) e da região oceânica adjacente, com a isóbeta de 200 m. No detalhe inferior direito pode ser observada a localização da PCSE em relação à costa do Brasil.

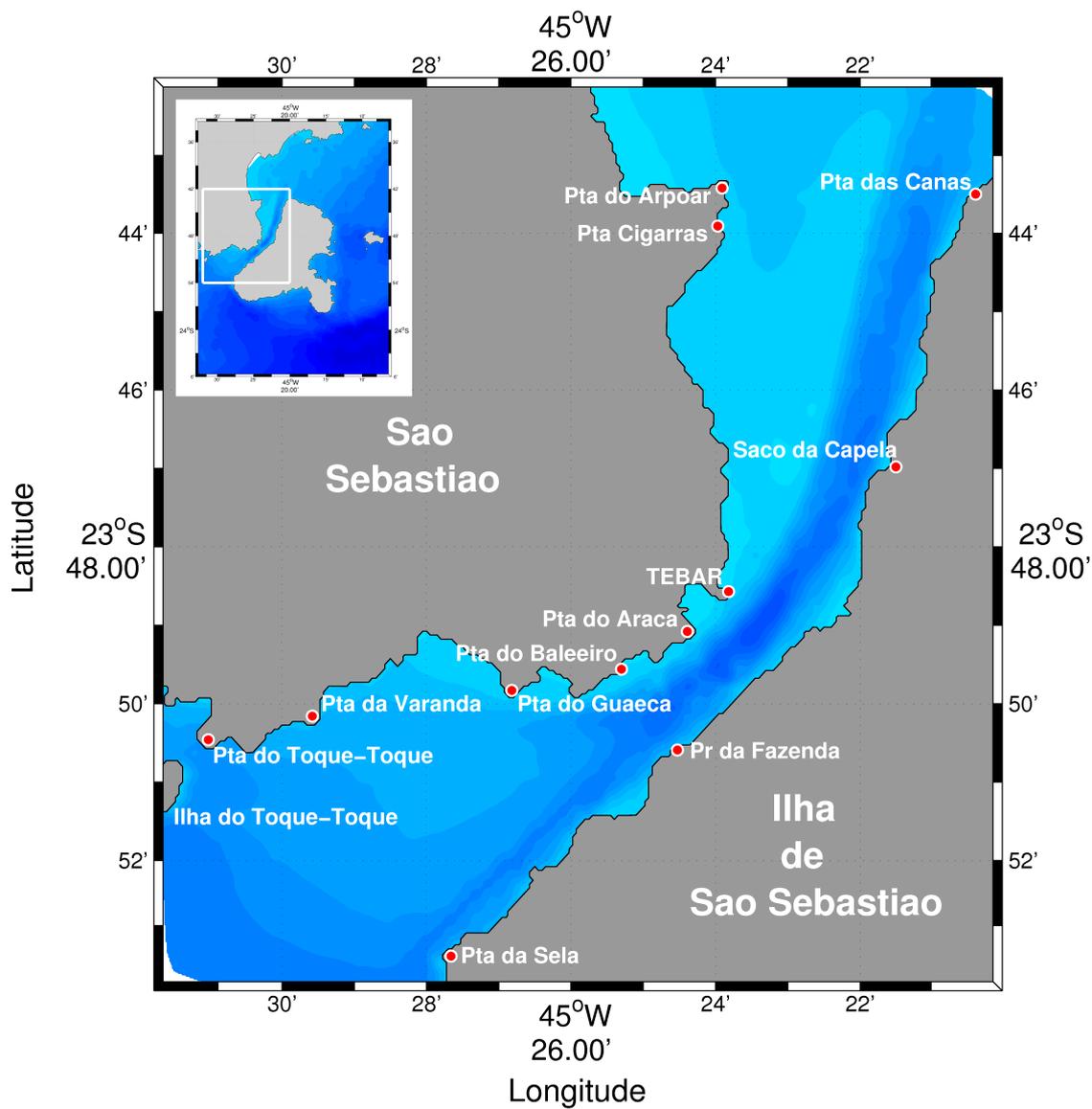


Figura 1.2: O Canal de São Sebastião (CSS), com alguns de seus principais pontos de referência. A ilha de São Sebastião pode ser visualizada em sua totalidade no detalhe superior esquerdo.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é obter estimativas do transporte de volume no CSS e de sua variabilidade espacial e temporal, associando-os aos campos termohalinos. Os objetivos específicos são:

- ✓ Caracterizar a circulação das águas em toda extensão do CSS, procurando estabelecer quantitativamente as variações das células de recirculação observadas em suas entradas.
- ✓ Estimar o tempo de residência das águas do CSS, em diversas situações das forçantes e da resposta das águas do interior do canal.

Capítulo 2

Área de Estudo

Com a finalidade de permitir um melhor entendimento dos processos dinâmicos relacionados à Oceanografia Física que ocorrem nesse canal, faz-se necessária a abordagem das características físicas e dinâmicas da PCSE e da plataforma continental adjacente ao CSS. Desta forma, neste capítulo estão inseridas, também, informações à respeito dessas regiões, que são relevantes para a realização deste estudo.

2.1 Plataforma Continental Sudeste do Brasil (PCSE)

A PCSE estende-se desde Cabo Frio, localizado na latitude $23^{\circ} 00' S$ e longitude $041^{\circ} 59' W$, no Rio de Janeiro, até o Cabo de Santa Marta Grande, localizado na latitude $28^{\circ} 36' S$ e longitude $048^{\circ} 49' W$, em Santa Catarina. A sua largura varia entre 230 km, ao largo de Santos, e 50 km, na região de Cabo Frio. A PCSE apresenta-se na forma de uma baía alongada, sendo denominada de embaçamento de São Paulo, com área de aproximadamente 142710 km^2 e quebra da plataforma entre as profundidades de 120 m e 180 m. O embaçamento de São Paulo não possui uma declividade uniforme, sendo a plataforma diferenciada, quanto à sua morfologia, em três desníveis, além do primeiro declive, situado entre 7 km e 15 km da costa: a plataforma interna, com declividade entre 1:1300 e 1:700, em todo embaçamento; a plataforma média com declividade entre 1:550, na metade norte, e 1:1000, na metade sul; e a plataforma externa, com declividade entre 1:800 e 1:400, na metade norte, e declividade de 1:1700, na metade sul. Essa região apresenta a linha de costa com orientação geral NE-SW, com as

isóbatas acompanhando esse mesmo padrão [Zembruski, 1979]. A extensão da PCSE é de aproximadamente 1100 km e a sua profundidade média foi considerada como 70 m por Castro [1996].

A definição morfológica de plataforma interna, média e externa elaborada por Zembruski [1979], apesar de apresentar a mesma nomenclatura, não se ajusta à elaborada por Castro [1996], que tem um caráter dinâmico e será vista posteriormente neste trabalho. As Figuras 2.1 e 2.2 apresentam as características batimétricas da PCSE.

2.2 Canal de São Sebastião (CSS)

O CSS está situado entre o município de São Sebastião e a ilha de mesmo nome, cujo território pertence ao município de Ilhabela, no litoral norte do Estado de São Paulo. O canal está compreendido entre as latitudes 23° 42' S e 23° 54' S e as longitudes 045° 19' W e 045° 30' W e apresenta comprimento de 22,2 km. Entre as extremidades do canal, a sul é a mais larga, apresentando extensão de 7,4 km entre a ponta do Toque-Toque (continente) e a ponta da Sela, enquanto que na boca norte a distância entre a ponta do Arpoar (continente) e a ponta das Canas é de 5,7 km. A região central é mais estreita e apresenta uma extensão de 1,8 km na altura da ponta do Araçá, situada no continente. Esses pontos notáveis são discriminados na Figura 1.2. O canal apresenta uma batimetria bastante peculiar, com a parte mais profunda, chamada de canal de navegação, relativamente estreita e localizada mais próxima da margem insular. O canal de navegação já sofreu dragagem a fim de permitir a navegação de embarcações de maior porte em suas águas e tem profundidades que variam de 20 m a 44 m, sendo limitado lateralmente por regiões mais rasas que possuem taludes topográficos abruptos.

A configuração encurvada é uma das características do CSS, que possui a parte sul orientada na direção nordeste e a parte norte orientada na direção norte.

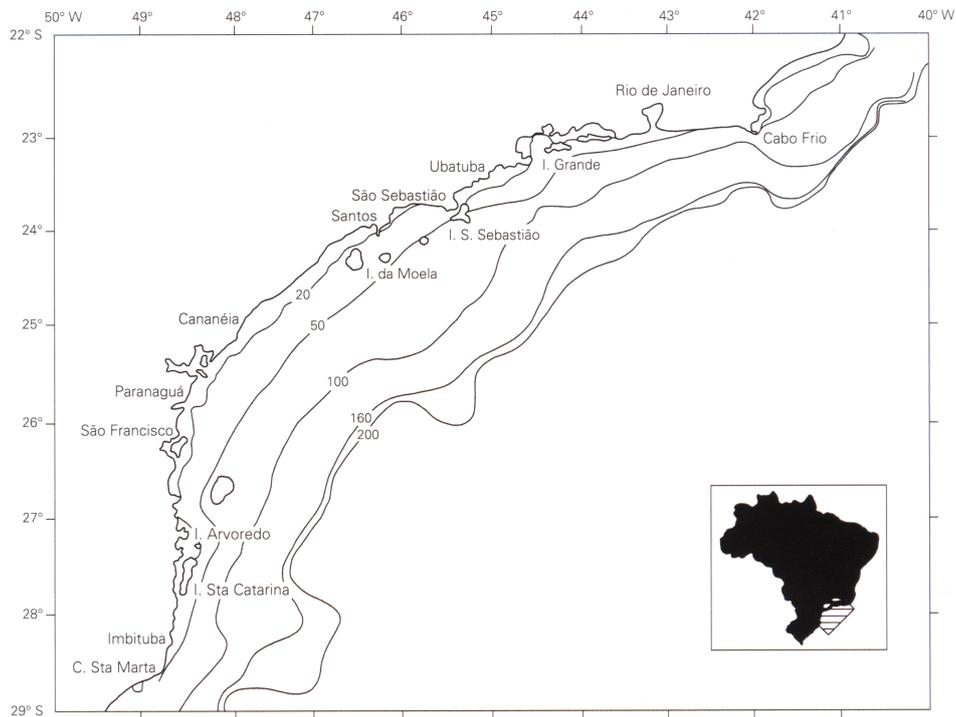


Figura 2.2: A Plataforma Continental Sudeste do Brasil, com as isóbatas em metros [Castro, 1996].

O CSS não é estuarino, pois apesar de apresentar águas costeiras em uma região de ligação livre com o oceano aberto, ele não possui descargas fluviais importantes em sua área e não é semi-fechado, não se enquadrando na definição de estuário proposta por Dyer [1997]. Desta forma, conclui-se que o CSS é um canal costeiro, que apresenta características fisicamente singulares e constitui-se numa passagem natural para as correntes da plataforma continental adjacente.

As Figuras 2.3 e 2.4 mostram as características supracitadas do canal, onde foram utilizados os dados batimétricos de folhas de bordo da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), da Marinha do Brasil, que foram digitalizados e cedidos gentilmente por Conti [2004].

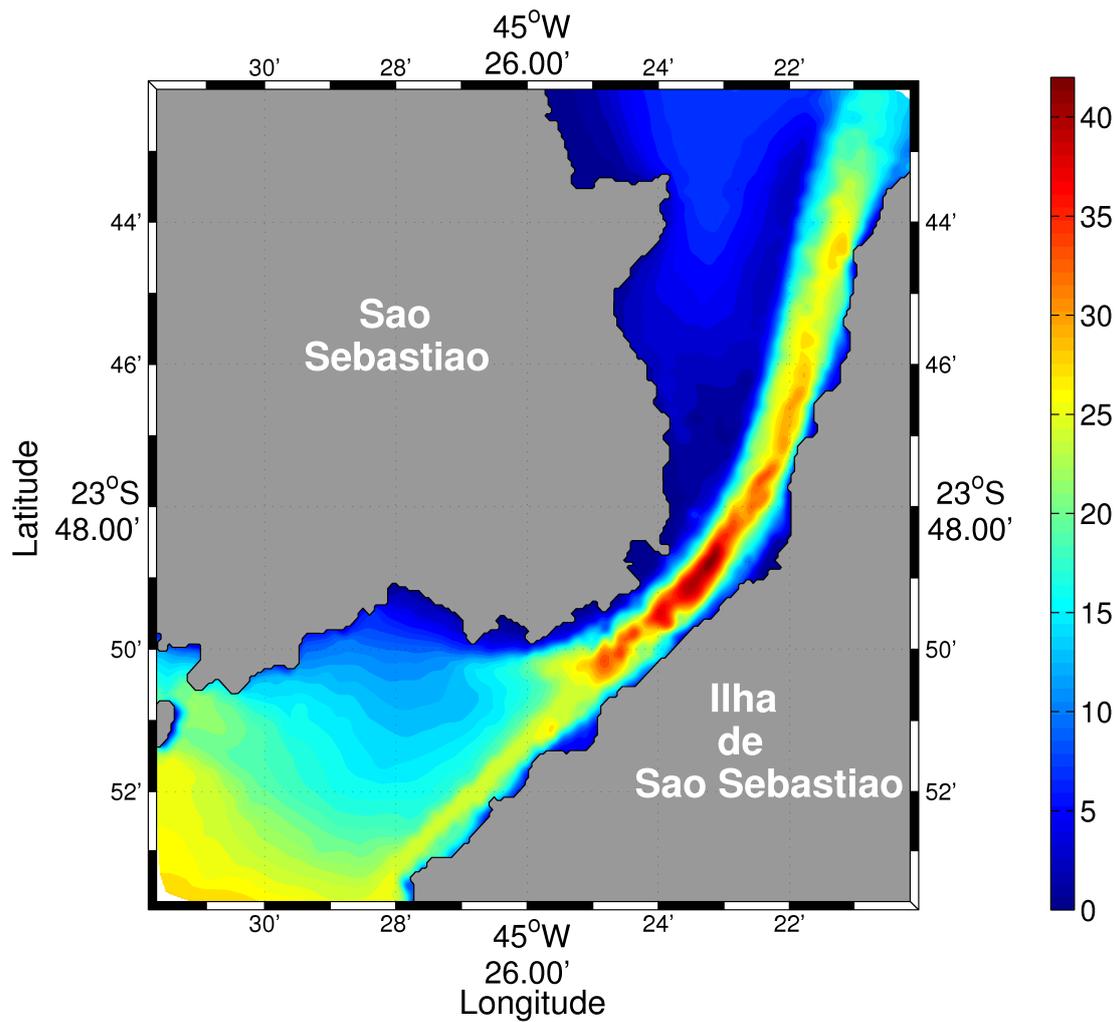


Figura 2.3: Batimetria [m] do CSS (modificada de *Soutelino et al.* [2006]). Os dados batimétricos são provenientes de folhas de bordo da DHN, que foram digitalizados e cedidos gentilmente por *Conti* [2004].

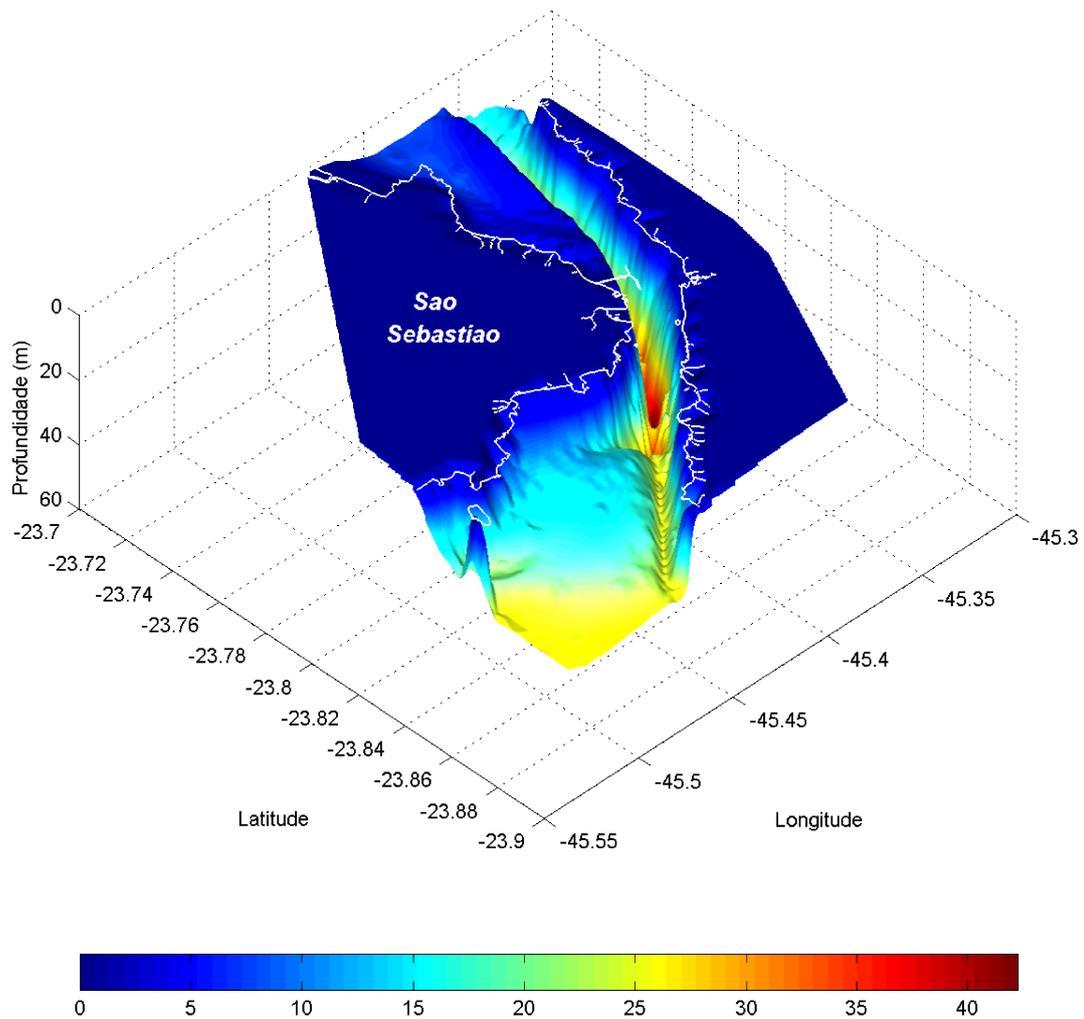


Figura 2.4: Batimetria [m] do CSS em 3D, com vista de sul. Os dados batimétricos são provenientes de folhas de bordo da DHN, que foram digitalizados e cedidos gentilmente por Conti [2004].

2.3 Estudos Anteriores

2.3.1 Geomorfologia

De acordo com *Furtado et al.* [1996], a batimetria a sudoeste da ilha de São Sebastião (ISS) apresenta uma acentuada declividade, que caracteriza a presença de canal submerso na região. Esse canal, escavado em períodos transgressivos, quando a drenagem de bacias hidrográficas passava ao longo da plataforma continental, começa próximo à extremidade sul do CSS e estende-se para sudeste até a profundidade de 75 m, onde deflete para sul até alcançar a quebra da plataforma continental, localizada a 100 km do continente e a 140 m de profundidade, de acordo com *Zembruski* [1979]. Há também uma escarpa que estende-se de sul para leste da ISS e constitui uma barreira natural para as intrusões de águas no interior da plataforma continental. Desta forma, a existência desse canal escavado e dessa escarpa condicionam as intrusões de água mais densa de origem oceânica ao extremo sul do CSS. Essas características geomorfológicas podem ser observadas nas Figuras 2.5 e 2.6.

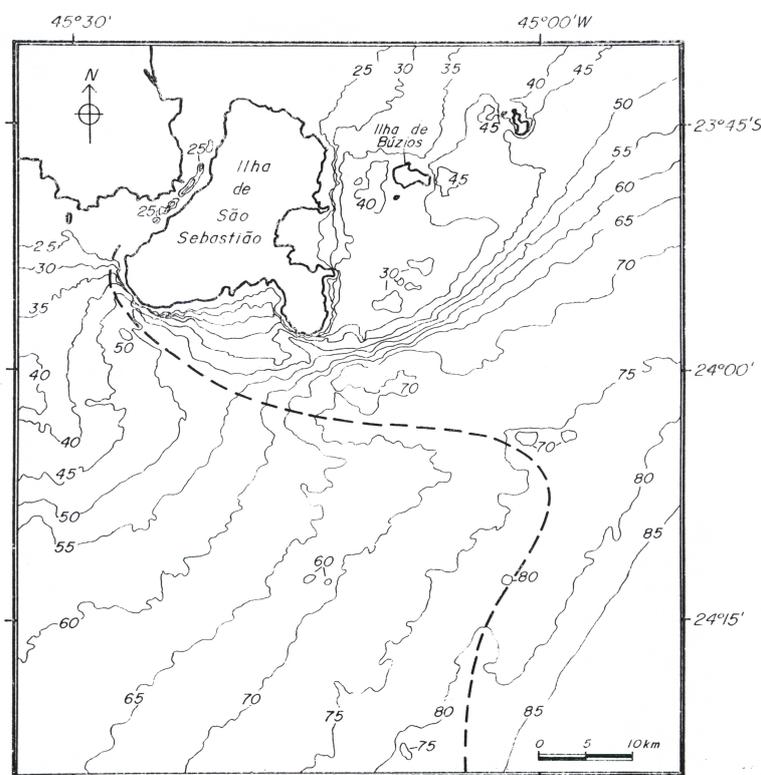


Figura 2.5: Mapa das isóbatas com intervalos de 5 m. A linha tracejada indica a posição do canal escavado [*Furtado et al.*, 1996].

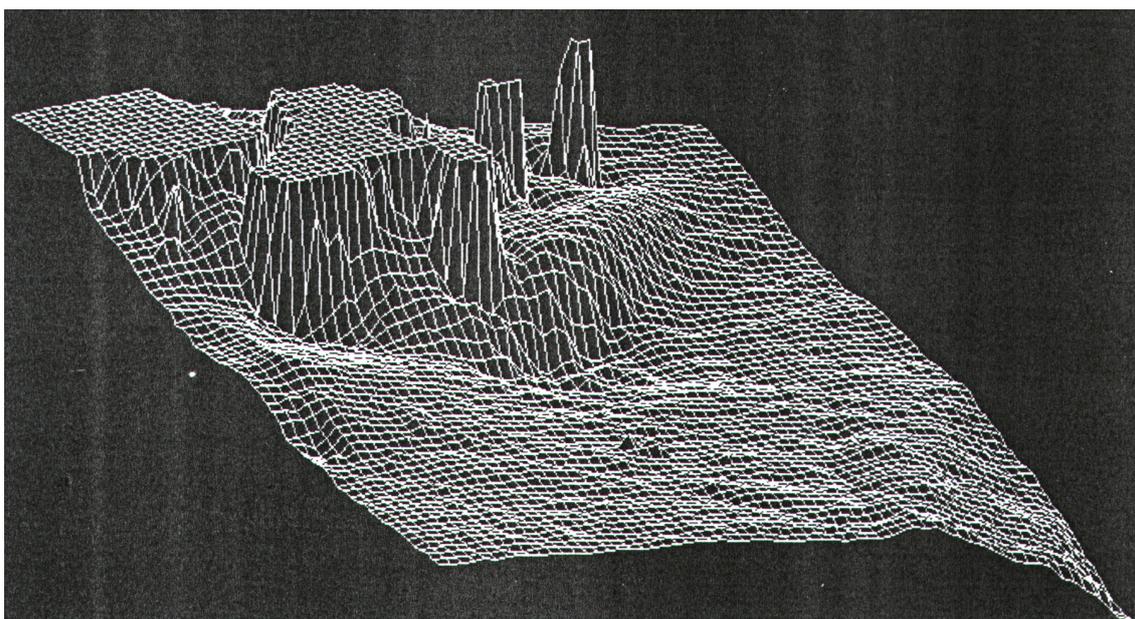


Figura 2.6: Representação tridimensional da região de São Sebastião, com vista de SW, zênite de 70 graus, tamanho da célula de 250 x 250 m e exagero vertical de 100 x [Furtado et al., 1996].

2.3.2 Massas de Água

Após a realização de três cruzeiros oceanográficos em 1956, com o apoio de navios da Marinha do Brasil, *Emílsson* [1956] publicou os resultados físico-químicos das observações e coletas efetuadas, entre Cabo Frio, no Rio de Janeiro, e Rio Grande, no Estado do Rio Grande do Sul. Posteriormente, esse mesmo autor publicou dois estudos (*Emílsson* [1959] e *Emílsson* [1961]), onde apresentou dentre outros resultados a localização e o sentido do movimento das massas de água por ele identificadas, em frente à costa sul do Brasil, e a origem das águas da plataforma continental. Esses estudos mostram preliminarmente as características termohalinas e as regiões de formação de massas de água na plataforma continental.

De acordo com *Castro* [1996], que cita os estudos efetuados por *Emílsson* [1961], *Miranda* [1982], *Miranda* [1985], *Castro et al.* [1987] e *Miranda & Katsuragawa* [1991], as massas de água que ocupam a PCSE, em geral, são resultantes da mistura entre a Água Tropical (AT), a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e a Água Costeira (AC). A AT é caracterizada por apresentar-se quente e salina, com os valores considerados por *Miranda* [1982], superiores a 20,0°C para a temperatura e acima de 36,4 para a salinidade, e flui para S-SW na camada superficial da Corrente do Brasil (CB) entre a superfície e a profundidade de 200 m sobre o talude continental e próximo à que-

bra da plataforma continental. A ACAS apresenta-se relativamente mais fria e menos salina, conforme os índices termohalinos recomendados por *Miranda* [1982], com valor da temperatura inferior a 20,0°C e da salinidade menor que 36,4, e é subjacente à AT, sendo também transportada para S-SW pela CB, ao longo do talude continental, entre as profundidades de 200 m e 500 m. A AC é caracterizada por baixas salinidades banhando a costa, sendo o resultado da mistura da descarga continental com as águas da plataforma continental. Conforme *Castro et al.* [in press], ao contrário dos índices termohalinos da ACAS e da AT, o índice da AC apresenta grande variação temporal, principalmente em escala sazonal, pois é altamente influenciada por processos na interface oceano-continente, enquanto que as outras duas massas de água apresentam índices estáveis, pois são de origem oceânica.

Castro et al. [1987] constataram que as características hidrográficas da região ao largo de Ubatuba, em São Paulo, apresentaram padrões distintos de distribuição de massas de água para dezembro de 1985 (verão) e julho de 1986 (inverno). Foram identificados dois domínios sobre a plataforma continental: um interior e costeiro, e outro exterior. No verão, o domínio interior apresenta uma estratificação de massa em duas camadas com a AC ocupando a camada superficial e a ACAS situada na camada subsuperficial, enquanto que mais ao largo a AC se mistura com a AT. No inverno, o domínio interior apresenta uma estratificação mais homogênea, com a preponderância da AC; nessa estação, a ACAS não penetra muito sobre a plataforma continental, enquanto que no domínio exterior, ocorre uma intrusão acentuada da AT na camada superficial. Os referidos autores sugerem um modelo de circulação em que a dinâmica é controlada pelo vento e pela ação da CB. Os padrões de distribuição de massas de água para os períodos de verão e de inverno na plataforma continental podem ser visualizados na Figura 2.7.

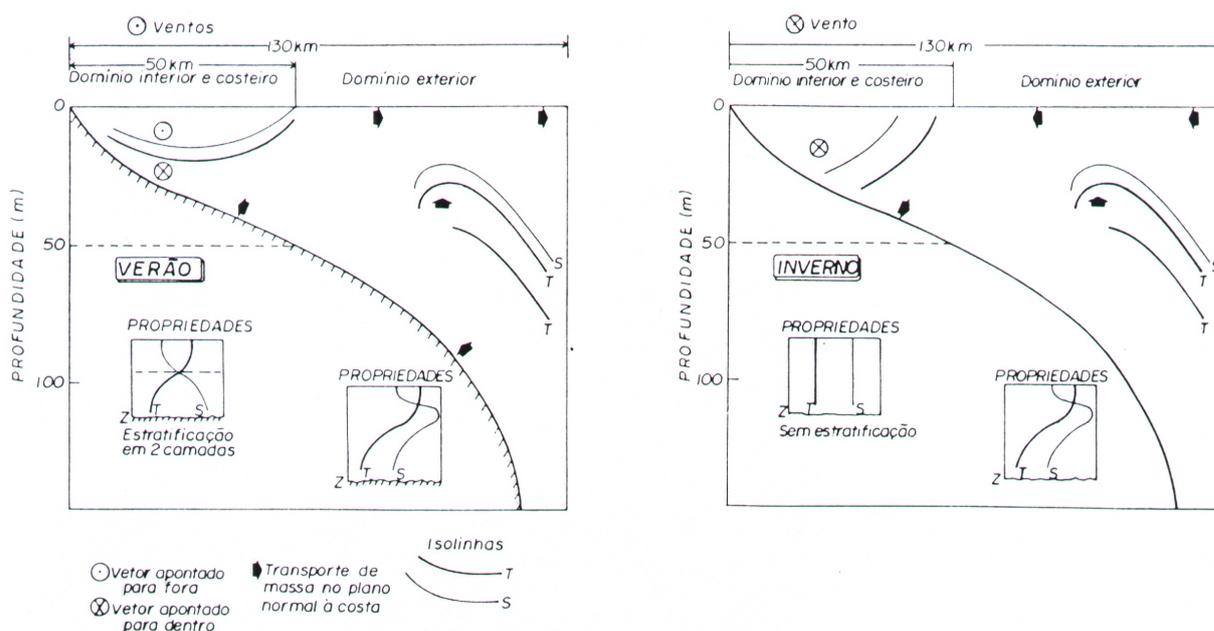


Figura 2.7: Representação esquemática dos principais processos físicos atuantes sobre as águas da plataforma continental durante os períodos de verão (esq.) e de inverno (dir.) [Castro *et al.*, 1987].

As propriedades físicas das águas da plataforma continental são condicionadas por processos físicos que ocorrem em escalas temporais e espaciais diversas [Castro, 1996]. Na escala de tempo interanual podem ocorrer perturbações sobre o ciclo hidrológico climatológico médio, alterando a salinidade das águas, principalmente da AC. Uma típica variação termohalina em escala de tempo sazonal é a penetração da ACAS nas regiões mais próximas à costa durante o verão e o seu afastamento para regiões mais externas da plataforma continental durante o inverno. Na escala sazonal, há também as variações da radiação solar incidente sobre a superfície do oceano e as variações do vento médio. No espectro da mesoescala, da ordem de 100 dias, é possível a ocorrência de penetrações de meandros ou de vórtices frontais da CB sobre a plataforma continental, que podem implicar em movimentos verticais de águas profundas em direção à superfície. Podem ocorrer, na escala de tempo subinercial, fenômenos como ressurgência e subsidência costeira, e oscilações de frentes térmicas ou halinas.

As águas do CSS são resultantes da mistura entre a AC, a ACAS e a AT durante todo o ano, sendo a AC predominante no canal. No verão e final de primavera, quando ocorrem fortes intrusões da ACAS em direção à costa na Plataforma Continental Norte de São Paulo (PCNSP), essa massa de água é observada no interior do CSS. Durante o

outono o CSS é preenchido preponderantemente pela AC, com pequenas contribuições eventuais da AT. No inverno, o CSS é preenchido pela AC e há tendência à homogeneidade térmica e halina [Castro *et al.*, in press].

No estudo sobre as massas de água e a circulação no CSS, *Coelho* [1997] verificou que ventos regulares vindos de E/NE por períodos superiores a 3 dias foram suficientes para ocasionar intrusões em todo o canal e, caso o vento continue soprando de NE, após as intrusões bem desenvolvidas, é possível que ocorra o afloramento da ACAS e, conseqüentemente, haja a ressurgência costeira. Durante o verão de 1992, *Coelho* [1997] constatou a ocorrência de ressurgência costeira na região, em que a ACAS aflora à superfície na margem continental do CSS e a termoclina desprega-se do fundo e soergue-se até a superfície livre do mar.

O Princeton Ocean Model foi adaptado ao CSS por *Silva et al.* [2005] para estudar as variações sazonais de sua circulação e estrutura termohalina, em que três grades numéricas foram aninhadas, sendo a de maior resolução localizada no CSS. Dentre os resultados obtidos, esse autor concluiu que os ventos de nordeste na grade da PCSE são imprescindíveis para que a ACAS penetre no CSS, confirmando *Silva* [2001].

2.3.3 Frentes

De acordo com *Castro* [1996], as frentes são, em geral, caracterizadas como zonas em que ocorre a intensificação do gradiente quase-horizontal de uma ou mais propriedades físicas. Na PCNSP, esse autor identificou a Frente Térmica Profunda (FTP), que separa as regiões interna e média da PCNSP; e a Frente Halina Superficial (FHS), que separa as regiões média e externa dessa plataforma. A formação da FTP ocorre na região de separação entre a AC e a ACAS, sendo associada a intrusões da ACAS em direção à costa. Essa frente térmica corresponde à interseção da termoclina com o fundo e separa, na camada inferior, as águas de origem costeira das águas de origem oceânica. Ainda de acordo com *Castro* [1996], a FHS separa as águas com forte influência da AC e a AT, estando associada a intrusões dessa última massa de água em direção à costa. Em geral, essa frente halina separa, na camada superficial, as águas costeiras das águas oceânicas. Observam-se a FTP e a FHS na PCNSP na Figura 2.8.

2.3.4 Regionalização Dinâmica

Uma regionalização dinâmica para a PCNSP foi proposta por *Castro* [1996]: a Plataforma Continental Interna (PCI), a Plataforma Continental Média (PCM) e a Plataforma Continental Externa (PCE). Essas regiões variam as suas respectivas larguras sazonalmente e, hidrodinamicamente, o CSS pode situar-se na PCI, principalmente durante o inverno, ou na PCM, como ocorre tipicamente no verão.

Situada entre a costa e a FTP, a PCI, durante o verão é mais estreita e está compreendida entre 10-30 km da costa, até as isóbatas de 20-40 m. No inverno é mais larga e está compreendida entre 40-80 km da costa, até as isóbatas de 50-70 m. Durante todo o ano a PCI apresenta tendência à homogeneidade das propriedades físicas e, no verão, em geral, as suas águas são mais quentes, mais salinas e menos densas do que durante o inverno. A PCM localiza-se entre a FTP e a FHS. No verão, a PCM aparece nitidamente, e estende-se desde 10-30 km até 60-80 km da costa, entre as isóbatas de 20-40 m e 70-90 m, e no inverno, ocupa uma faixa estreita compreendida entre 40-60 km e 60-80 km da costa. A PCM apresenta como característica física básica uma alta estratificação durante o verão, causada pela presença de aguda termoclina sazonal, que tem como agente principal de sua formação a advecção subsuperficial de águas frias da CB (ACAS). A PCE estende-se desde a FHS, que é o limite externo da PCM, até a quebra da plataforma continental e o seu limite interno localiza-se, em geral, de 60 km a 80 km da costa, entre as isóbatas de 70 m e 90 m. A PCE apresenta estratificação vertical acentuada apesar de a termoclina ser um pouco mais difusa do que na PCM no verão, e apresenta, também, uma pequena variação sazonal das propriedades físicas [*Castro*, 1996]. A Figura 2.8 representa as três regiões da PCNSP durante o verão e inverno.

2.3.5 Circulação

Um modelo conceitual para a circulação gerada pelo vento na PCSE foi sugerido por *Castro* [1996]. Em síntese, a variação sazonal das propriedades físicas observadas nessa região, com a formação da termoclina sazonal e a estratificação vertical em duas camadas durante o verão, seguida do desaparecimento dessa termoclina e o relaxamento da estratificação vertical durante o inverno, deve estar associada às variações sazonais da intensidade da radiação solar e do regime de ventos na região. No verão,

o vento predominante é de N-E, que tem componente paralela à costa orientada de NE para SW, que, por sua vez, causa o transporte de deriva do vento da costa para mar aberto na camada superficial. A divergência costeira causada pelo transporte normal à costa tem como conseqüências a penetração de águas situadas ao largo em direção à costa e um abaixamento do nível do mar na costa. Por continuidade, ocorre um transporte de retorno em direção à costa em toda a coluna d'água. A penetração da ACAS desde as proximidades da quebra da plataforma continental até as proximidades da costa deve ocorrer devido a este mecanismo. O abaixamento do nível do mar na costa causa uma força de gradiente de pressão normal à costa, e se o vento mantiver o padrão de intensidade e direção constante ou com poucas variações, por cerca de 1 dia, que é o tempo de resposta para a região, de acordo com *Castro* [1985], essa força de gradiente de pressão entrará em equilíbrio geostrófico com a força de Coriolis, gerando correntes geostróficas paralelas à costa para SW. No inverno, ocorrem freqüentemente ventos de S-W, que têm componentes paralelas à costa orientadas de SW para NE e que, por sua vez, causam transporte de deriva do vento do mar aberto para a costa, na camada superficial. A convergência superficial costeira causada por esse transporte do mar aberto para a costa tem como conseqüências o afastamento para o largo das águas que estão abaixo da pycnoclina e a elevação do nível do mar na costa. Desta forma, na camada superficial as correntes normais à costa vão em direção à costa e na camada subsuperficial vão em direção ao mar aberto, por continuidade. A inversão da força de gradiente de pressão normal à costa causa correntes de SW para NE. Com os ventos mantendo o padrão de intensidade e direção de SW para NE, ocorrerá uma subsidência costeira e, conseqüentemente, a parte interna da plataforma continental será ocupada por águas com características mais homogêneas e assim, as correntes paralelas à costa serão comandadas pelo gradiente de pressão normal à costa devido à inclinação da superfície do mar, fluindo com o mesmo sentido que a componente do vento paralelo à costa [*Castro*, 1996].

Em relação às correntes de maré na PCM, *Pereira et al.* [2007] constataram que, em geral, elas são bem menos intensas do que aquelas geradas pelo vento, apresentando valores típicos entre $0,02 \text{ m s}^{-1}$ e $0,04 \text{ m s}^{-1}$, e na PCI, essas correntes têm magnitudes inferiores às correntes geradas pelo vento ou por gradientes de densidade, e apresen-

tam valores típicos entre $0,03 \text{ m s}^{-1}$ e $0,05 \text{ m s}^{-1}$.

No estudo sobre as variações da corrente e do nível do mar no CSS, *Kvinge* [1967] concluiu que esse canal está submetido a fortes correntes cujas componentes de maré desempenham um papel quase negligenciável. Desconsiderando as componentes das correntes de maré, o maior valor obtido para a corrente no CSS foi de 80 cm s^{-1} , fluindo para NE ao longo do canal.

De acordo com *Fontes* [1995], as correntes de maré no CSS são desprezíveis, tendo em vista a pequena diferença de fase com que a onda de maré atinge as duas entradas do CSS. Desta forma, esse autor supõe o caráter quase-estacionário da onda de maré no canal, corroborando *Emílsson* [1962], que não observando correlação entre o sinal de nível do mar e o de correntes, sugeriu que a onda de maré vem de E-SE e atinge as duas extremidades do canal simultaneamente, não havendo desníveis atribuídos à maré entre as regiões sul e norte da ISS. Nesse mesmo estudo sobre as correntes marítimas no CSS, *Emílsson* [1962] observou que as correntes que fluem para NE podem atingir a intensidade de 100 cm s^{-1} , com valores mais freqüentes de 60 cm s^{-1} a 70 cm s^{-1} , enquanto que as correntes para SW atingem valores máximos de aproximadamente 50 cm s^{-1} .

Em estudo sobre a dinâmica das correntes do CSS, *Castro* [1985] aplicou um modelo numérico barotrópico hierarquizado na forma de ninhos para estudar o referido sistema, com a utilização de três grades na modelagem, sendo a de maior resolução, interna ao canal, e as outras duas para a região da PCSE e para a região adjacente ao CSS. Esse autor verificou que o comportamento dinâmico observado no CSS não é totalmente forçado pelo vento local.

Castro [1990] constata, dentre outros resultados, que as correntes no CSS são principalmente devidas ao vento, sendo a importância das correntes de maré comparativamente pequena, e que as correntes induzidas pelo vento nesse canal provavelmente não são forçadas localmente em sua totalidade, recebendo influência de movimentos sobre a plataforma continental adjacente. Esse autor constatou, também, três padrões básicos de circulação no canal: para sul associada ao vento de NE; para norte associada ao vento de SW; e um regime com duas células de circulação nas extremidades do CSS.

Segundo *Castro & Lee* [1995], que utilizaram um modelo semi-analítico de ondas de

plataforma continental para a PCSE, as oscilações subinerciais do nível do mar no inverno, em Ubatuba, e possivelmente em outras localidades ao longo da costa, podem ser explicadas como manifestações da propagação de ondas de plataforma continental na região. Desta forma, essas ondas podem forçar remotamente uma parte da circulação no CSS.

Os ventos predominantes na região, oriundos de NE, geram correntes longitudinais ao canal com sentido SW. Os ventos provenientes de SW, geralmente associados à passagem de sistemas meteorológicos frontais, impulsionam correntes longitudinais para NE. As correntes no CSS apresentam pequeno cisalhamento vertical, sendo essencialmente barotrópicas, na maior parte do ano. No final da primavera e no verão as correntes podem comportar-se em determinadas situações como o primeiro modo baroclínico, fluindo num sentido na camada superficial e no sentido oposto na camada inferior ([*Castro et al.*, in press], [Fontes, 1995] e [Coelho, 1997]).

Miranda & Castro [1995] analisaram dados correntométricos quase-sinóticos obtidos em 4 e 6 de março de 1980, e sugeriram a ocorrência de vórtice ciclônico associado a movimentos para o sul e vórtice anticiclônico associado a movimentos para o norte, na entrada sul do CSS.

2.3.6 Climatologia

Leandro [1999], com dados hidrográficos e correntométricos coletados de 37 cruzeiros hidrográficos realizados entre janeiro de 1992 e março de 1997, em treze estações no CSS, elaborou a climatologia da região, analisando a sazonalidade dos parâmetros de temperatura, salinidade, densidade e de correntes. O referido autor observou baixos valores das médias de temperatura no lado insular da entrada sul do canal durante a primavera e o verão, e a homogeneidade das águas no inverno. De acordo com *Castro et al.* [in press], as condições de primavera assemelham-se às de verão e as condições de outono são semelhantes às de inverno.

Segundo *Leandro* [1999], a estratificação de salinidade no canal também é maior no verão do que nas outras estações do ano. De acordo com esse autor, os baixos valores de salinidade no CSS observados nos cruzeiros de inverno, principalmente na entrada sul, são provavelmente devidos à intrusão de águas de baixas salinidades provenientes

da descarga estuarina do complexo Santos-Bertioga.

2.3.7 Transporte de Volume e Tempo de Residência

Miranda & Castro [1995] realizaram dois experimentos quase-sinóticos de perfilamento de corrente em 04 e 06 de março de 1980 a fim de estudar a circulação e o transporte de volume no CSS. Foi observado, no evento de corrente para o norte, que a intensidade máxima da componente longitudinal da corrente aumentou de $0,30 \text{ m s}^{-1}$ para $0,60 \text{ m s}^{-1}$ entre as seções dos extremos sul e norte e que o transporte de volume diminuiu de $16,4 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para $8,4 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Dois dias após esse evento, quando houve reversão no sentido da corrente, constatou-se que o valor máximo da componente longitudinal da corrente variou de $-0,30 \text{ m s}^{-1}$ a $-0,70 \text{ m s}^{-1}$ e que não houve continuidade do transporte de volume através das entradas do canal, apresentando a variação de $-7,0 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a $-11,3 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Em virtude da ocorrência, durante os dois dias de experimentos, de movimentos com sentidos opostos na seção localizada no extremo sul do canal, por ocasião de movimentos para o norte e para o sul, associados aos movimentos transversais relativamente intensos, os autores sugerem que vórtices ciclônico e anticiclônico assimétricos ocorrem na entrada sul do CSS.

Silva et al. [2001] em estudo realizado no CSS com dados hidrográficos e correntométricos quase-sinóticos, no período de fevereiro de 1994 a março de 1995, estimaram o transporte de volume nesse canal. Foi constatado que o transporte de volume apresentou condições de quase-continuidade nas seções transversais intermediárias, apresentando o maior valor para o norte em janeiro de 1995, de $2,0 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, e o maior valor para o sul em março de 1994, de $-1,9 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Os autores concluíram que há evidências de giros anticiclônicos na entrada sul do CSS.

Um modelo numérico barotrópico, verticalmente integrado, não linear e bidimensional, desenvolvido por *Castro* [1985], foi utilizado por *Assad* [2000] para caracterizar a circulação de inverno gerada pelo vento no CSS. Dentre os resultados alcançados em seu estudo, esse autor constatou que uma célula de recirculação anticiclônica ocorre nas proximidades da entrada sul do canal, junto ao lado continental, no experimento que utilizou como forçante o campo de vento médio semanal de SW. De acordo com *Assad* [2000], essa recirculação é um dos agentes causadores da descontinuidade do

transporte de volume ao longo do canal, nesta região, corroborando *Silva* [1995] e *Miranda & Castro* [1995]. A Figura 2.9 mostra os resultados obtidos por esse autor para 12 horas e 24 horas de vento médio semanal de SW.

Silva et al. [2001] em estudo realizado no CSS estimaram o volume do CSS em $24,4 \times 10^8 \text{ m}^3$, abrangendo a parte sul em sua totalidade e apenas o lado insular da parte norte. Os autores obtiveram uma estimativa, com a razão entre o volume do CSS e o transporte de volume médio, do intervalo de tempo de renovação do volume de água entre as partes sul e norte, de 1,6 dias em março de 1994, com transporte de volume médio para o sul, de $-1,8 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, e valor de 4,7 dias em julho de 1994, com transporte de volume médio de $0,6 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

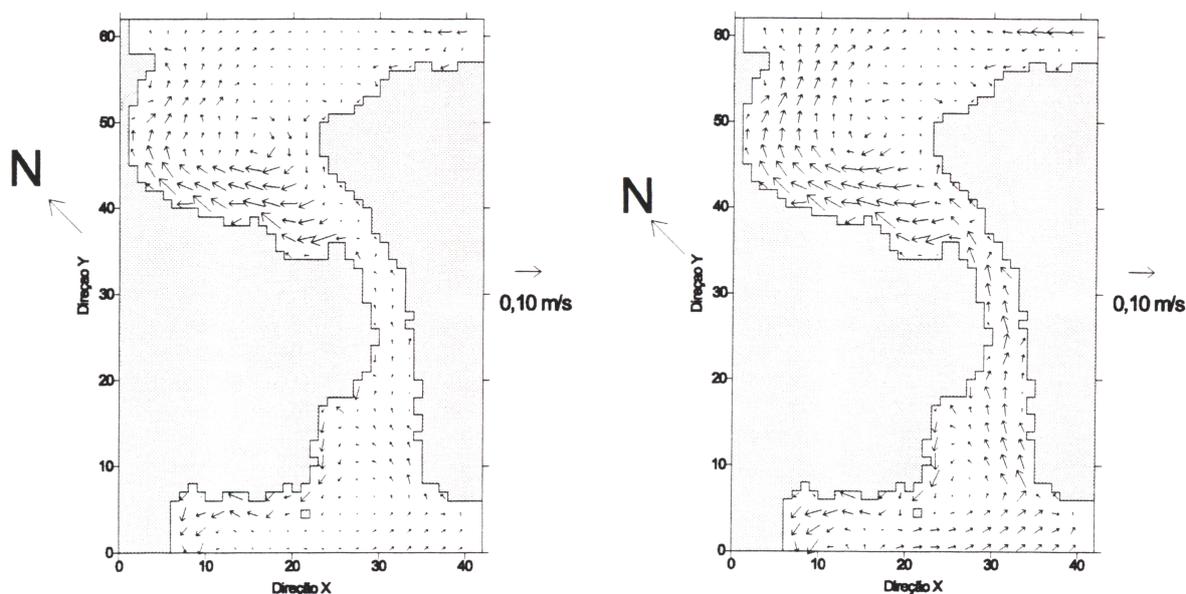


Figura 2.9: Campos de corrente para 12 horas (esq.) e 24 horas (dir.) gerados pelo vento médio semanal de sudoeste (WOCE). A distância de 10 elementos nas duas direções equivalem 5,2 km [Assad, 2000].

Capítulo 3

Material e Métodos

Neste capítulo serão abordadas as principais características técnicas dos equipamentos utilizados e a metodologia aplicada no processamento dos dados obtidos por sensoriamento remoto e dos dados coletados quase-sinópticamente nesse esforço observacional, que compreende 6 cruzeiros realizados nos dias 25/09/2001, 13/11/2002, 22/03/2006, 27/07/2006, 10/10/2006 e 14/12/2006, no CSS.

3.1 Instrumentação

Com a finalidade de alcançar os objetivos almejados no presente trabalho, foi utilizado o equipamento "Acoustic Doppler Current Profiler" (ADCP) para perfilar as velocidades ao longo do CSS. Concomitantemente, foram empregados correntômetros com sensores de temperatura e condutividade e o instrumento "Conductivity, Temperature and Depth" (CTD) para o registro dos perfis hidrográficos e, também, foram utilizados os dados de vento de superfície para a PCSE obtidos por sensoriamento remoto, através do "Quick Scatterometer" (QuikSCAT), distribuídos pelo PO.DAAC/JPL. A seguir serão apresentadas algumas características técnicas e operativas dos equipamentos supracitados.

3.1.1 "Acoustic Doppler Current Profiler" (ADCP)

O perfilador acústico de correntes da fabricante Sontek, modelo ADP, é um instrumento que mede a velocidade das águas através do desvio Doppler. Esse equipamento foi instalado em um pequeno catamarã, rebocado pelo Barco de Pesquisa Veliger II, do IOUSP, com a finalidade de obter as perfilagens de velocidade em todas as trajetórias efetuadas por essa embarcação no interior do CSS. O ADCP pode ser visualizado na Figura 3.1, enquanto que o seu dispositivo, rebocado pela embarcação do IOUSP, é mostrado na Figura 3.2.



Figura 3.1: ADCP da Sontek [Sontek/YSI, 2005] utilizado nos cruzeiros oceanográficos dentro do CSS.



Figura 3.2: ADCP instalado em um catamarã, que foi rebocado pelo B/Pq Veliger II, do IOUSP.

Esse equipamento opera com a frequência de 250 kHz e possui três transdutores orientados a 25° do eixo vertical igualmente espaçados em 120° relativos, que geram feixes acústicos direcionais e estreitos, os quais são projetados na água. As reflexões de partículas em suspensão na coluna d'água, tais como zooplâncton, fitoplâncton, bolhas ou partículas de sedimentos, que não têm movimento próprio, são usadas para determinar a velocidade da água. Ou seja, as velocidades dessas partículas correspondem às velocidades das correntes que as advectam. A orientação geométrica de cada transdutor permite que o instrumento calcule a velocidade da água usando um sistema de coordenadas cartesiano relativo à posição e orientação do equipamento [Sontek/YSI, 2005]. Uma bússola interna, que tem acurácia de $\pm 2^\circ$, e um sensor de inclinação, que mede o jogo ("roll") e o caturro ("pitch") e tem acurácia de $\pm 1^\circ$, é capaz de obter a velocidade das águas em coordenadas terrestre (norte, sul e vertical), independentemente da orientação do sistema [Sontek, 2001]. Os feixes acústicos direcionais são divididos em células com um determinado comprimento, e o ADCP grava, para cada uma dessas células, dentre outros valores, três valores de velocidade (um para cada componente da velocidade) [Sontek/YSI, 2005].

O alcance do ADCP é determinado pela seleção de valores para "blanking distance", tamanho da célula e número de células. O equipamento foi configurado com o valor de 2 m para "blanking distance", que é a distância de sombra e está situada em frente aos transdutores onde nenhuma medida pode ser feita, devido à necessidade de tempo de restabelecimento dos transdutores e circuitos eletrônicos entre a transmissão e o recebimento dos pulsos. Para o tamanho das células, nos cruzeiros oceanográficos, foi utilizado o valor de 4 m, pois apresenta uma boa resolução da perfilagem da velocidade nessa região de águas rasas. O número de células utilizado foi de 20, que corresponde ao número de pontos coletados e gravados em cada perfilagem. Com essas configurações, obtém-se o alcance total do ADCP, de 84 m, conforme a Equação 3.1:

$$\text{Alcance} = BD + (NC + 0,5) \times TC \quad (3.1)$$

onde BD é o "blanking distance", NC é o número de células e TC é o tamanho da célula.

O intervalo de amostragem, que é o período de tempo em que o equipamento realiza as medições, foi configurado para o valor de 30 segundos, e o número de "pings" é de 4 para cada segundo.

Utilizando a configuração dos parâmetros apresentados até o momento, que foi recomendada pela fabricante ao Laboratório de Instrumentação Oceanográfico (LIO), do IOUSP, a fim de serem obtidos resultados com os menores erros nessa região, pode-se obter o desvio padrão (σ) das medições do equipamento para os cruzeiros realizados no CSS, no valor de $0,021 \text{ m s}^{-1}$ para as medições de velocidade, de acordo com a fórmula apresentada pela fabricante no manual que trata dos princípios de operação do equipamento [Sontek, 2000]:

$$\sigma = \frac{235}{f \times TC \times \sqrt{n}} \quad (3.2)$$

onde f é a frequência, em kHz, TC é o tamanho da célula e n é o número de "pings".

Na configuração do equipamento, também, foi utilizado o sistema de traqueamento de fundo ("bottom-tracking"), que consiste na associação do sinal de fundo com a posição registrada pela bússola interna. Desta forma, esse sistema fornece diretamente as componentes do vetor velocidade das correntes, em relação ao norte magnético, e apresenta grande vantagem em relação ao "Global Positioning System" (GPS), pois os erros inerentes às medições do perfilamento de correntes são menores, provendo normalmente medidas de direção e de velocidade das águas com maior acurácia, de acordo com Sontek/YSI [2005].

3.1.2 Correntômetros com sensores de condutividade, temperatura e pressão e "Conductivity, Temperature and Depth" (CTD)

Diferentemente das medições de correntes, em que foi utilizado o mesmo instrumento para todos os cruzeiros, para a obtenção da perfilagem vertical dos campos de temperatura e de salinidade das águas do CSS utilizaram-se quatro equipamentos distintos nesses eventos, todos devidamente calibrados pela equipe do LIO. São eles:

- 1) Correntômetro, marca Fallmouth Scientific, Inc. (FSI), modelo 3D-ACM. Esse equipamento possui um sensor de temperatura, com intervalo de medida entre -2°C e

32°C e acurácia de $\pm 0,005$ °C; um sensor de condutividade, com intervalo de medição entre 0 e 6,5 S m⁻¹ e acurácia de $\pm 0,005$ S m⁻¹; e um sensor de pressão, com intervalo de medição entre 0 e 2000 dbar [FSI, 1997]. O intervalo de aquisição dos dados foi de 0,5 segundos, sendo empregado nos cruzeiros oceanográficos de 25/09/2001 e 13/11/2002.

2) Correntômetro, marca FSI, modelo 2D-ACM. Esse equipamento possui um sensor de temperatura, com intervalo de medida entre -2°C e 35°C e acurácia de $\pm 0,03$ °C; um sensor de condutividade, com intervalo de medição entre 0 e 7 S m⁻¹ e acurácia de $\pm 0,002$ S m⁻¹; e um sensor de pressão, com intervalo de medição entre 0 e 200 dbar [FSI, 2006]. O intervalo de aquisição dos dados foi de 1 segundo. Esse equipamento foi utilizado nos cruzeiros de 22/03/2006 e 27/07/2006.

3) Correntômetro, marca Valeport, modelo 108 Mk 3. Esse equipamento possui um sensor de temperatura, com intervalo de medida entre -5°C e 35°C e acurácia de $\pm 0,02$ °C; um sensor de condutividade, com intervalo de medição entre 0,01 e 6 S m⁻¹ e acurácia de $\pm 0,005$ S m⁻¹; e um sensor de pressão, com intervalo de medição entre 0 e 50 dbar [Valeport, 1994]. O intervalo de aquisição dos dados foi de 5 segundos, sendo utilizado no cruzeiro de 10/10/2006.

4) CTD, marca FSI, modelo NXIC. O equipamento possui um sensor de temperatura, com intervalo de medida entre -2°C e 32°C e acurácia de $\pm 0,002$ °C; um sensor de condutividade, com intervalo de medição entre 0 e 9 S m⁻¹ e acurácia de $\pm 0,0002$ S m⁻¹; e um sensor de pressão [FSI, 2005]. O intervalo de aquisição dos dados foi de 5 segundos. Este CTD foi utilizado no levantamento hidrográfico de 14/12/2006.

3.1.3 "Quick Scatterometer" (QuikSCAT)

O instrumento SeaWinds/QuikSCAT é um radar de microondas que mede, através da rugosidade da superfície do oceano, a intensidade e a direção do vento, com resolução de 25 km. Para medidas de 3 m s⁻¹ a 20 m s⁻¹ a acurácia é de 2 m s⁻¹ para intensidade e de 20° para direção. Foram utilizados os dados desse equipamento para a PCSE e para a região oceânica adjacente, que consistem nas componentes zonal e meridional do vetor velocidade do vento, com duas medições diárias.

3.2 Conjunto de Dados

O conjunto de dados deste trabalho é composto por medições efetuadas durante 6 cruzeiros oceanográficos realizados pelo IOUSP, no CSS, bem como os dados de vento do escaterômetro Quikscat, na PCSE e na região oceânica adjacente, entre os dias das perfilagens e os dias próximos a esses cruzeiros em que houve a inversão no sentido dos ventos nessas regiões. Os dados de CTD foram coletados quase-sinópticamente em 13 estações hidrográficas ao longo de 4 radiais, denominadas *A*, *B*, *C* e *D*, exceto no cruzeiro de 22/03/2006, em que foram realizadas 16 estações ao longo de 5 radiais. Os perfis verticais de velocidade foram obtidos ao longo dessas mesmas 4 radiais e de outras trajetórias efetuadas pela embarcação, denominadas de *E*, *F*, *G*, *H*, *I*, *J*, *K*, *L* e *M*.

Ressalta-se neste momento que, no presente trabalho, serão obtidas as distribuições verticais das propriedades termohalinas (T , S e σ_t) e das velocidades, bem como o cálculo do transporte de volume, para as radiais *A*, *B*, *C* e *D*, além das distribuições horizontais desses campos escalares e vetoriais ao longo do CSS.

A radial *A* está situada na extremidade sul do CSS, sendo a mais extensa e possuindo aproximadamente 5538 m de comprimento e 108248 m² de área de seção vertical. As profundidades variam de 17,8 m, no centro, a 25 m, nas proximidades da ISS. A radial *B* tem extensão de 1270 m, seção vertical com área de 34923 m² e situa-se mais ao centro do canal, na região onde a margem insular é mais próxima do continente, e onde as profundidades são maiores, alcançando, nesta radial o valor de 31,6 m. Com a menor extensão entre as radiais, de aproximadamente 1123 m, área da seção vertical de 31856 m² e localizada na parte centro-norte do CSS, a radial *C* apresenta a maior profundidade, de 34 m, próximo ao centro do canal de navegação. A radial *D* está situada na extremidade norte do CSS, apresentando extensão de 1673 m, seção vertical com área de 33599 m², e profundidades que variam entre 11,4 m, a oeste do canal de navegação, e 25 m, em seu centro. As estações oceanográficas de número 01 a 04 estão situadas na radial *A*, as de número 05 a 07 estão na radial *B*, as de número 08 a 10 localizam-se na radial *C*, enquanto que as de número 11 a 13 estão posicionadas na radial *D*. A Figura 3.3 mostra a grade amostral realizada nesse esforço observacional.

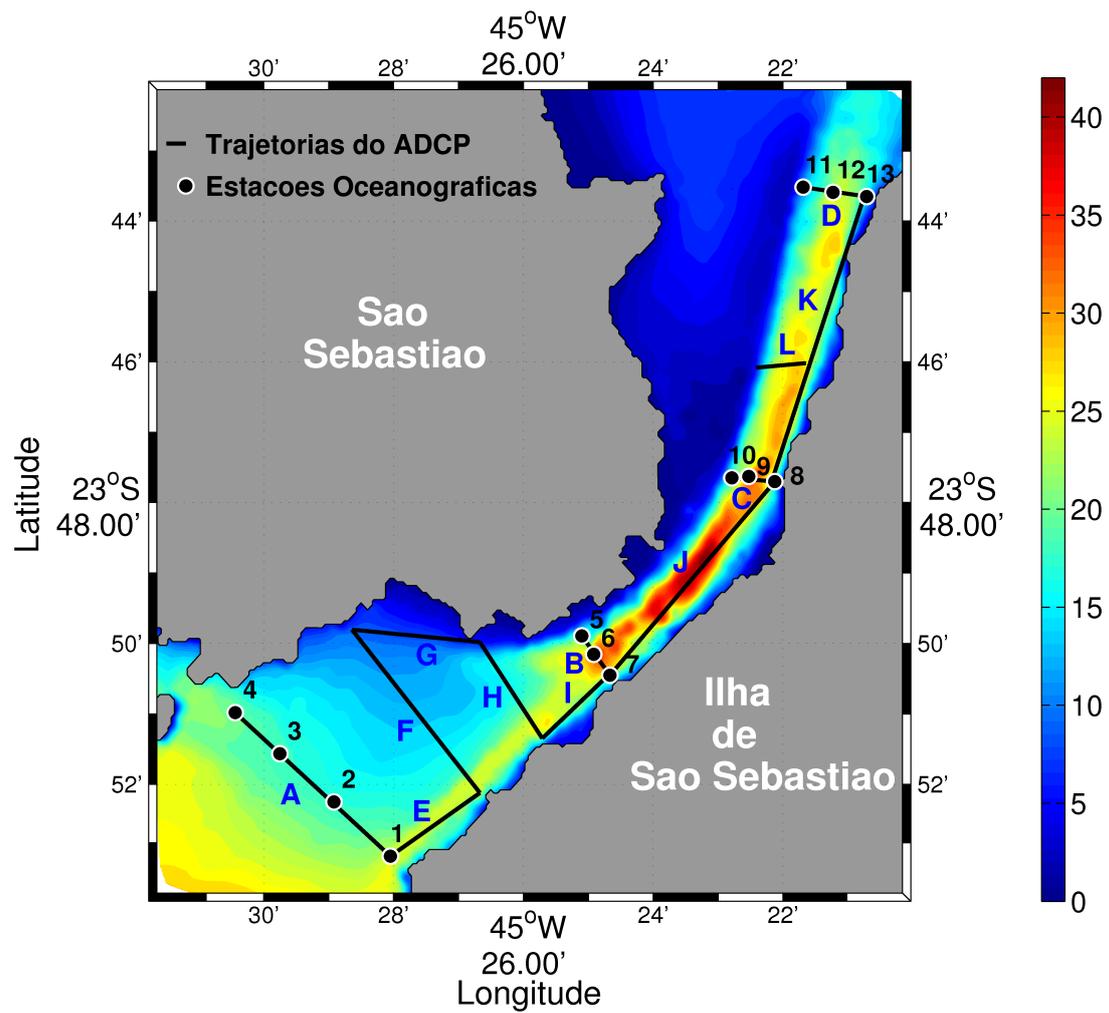


Figura 3.3: Grade amostral, com as estações oceanográficas e as trajetórias percorridas com o ADCP, e batimetria [m], no CSS.

As coordenadas geográficas das estações foram obtidas calculando-se a média aritmética das respectivas posições registradas no livro de bordo do LIO em todos os cruzeiros. As profundidades em cada uma dessas estações foram extraídas das cartas náuticas digitais de número 1643 (Canal de São Sebastião (Parte Norte)) e 1644 (Canal de São Sebastião (Parte Sul)), da DHN, que apresentam as melhores resoluções da batimetria para essa região.

A Tabela 3.1 mostra as posições geográficas das estações oceanográficas, bem como as suas respectivas profundidades, em metros.

Tabela 3.1: Coordenadas geográficas e respectivas profundidades, em metros, das estações oceanográficas realizadas no CSS.

Est. Oceanográficas	Latitude	Longitude	Profundidade [m]
01	23° 53,02' S	045° 28,05' W	25,0
02	23° 52,25' S	045° 28,92' W	17,8
03	23° 51,57' S	045° 29,75' W	18,5
04	23° 50,98' S	045° 30,44' W	20,9
05	23° 49,89' S	045° 25,10' W	20,0
06	23° 50,15' S	045° 24,92' W	31,6
07	23° 50,45' S	045° 24,67' W	21,0
08	23° 47,70' S	045° 22,13' W	20,0
09	23° 47,63' S	045° 22,53' W	34,0
10	23° 47,65' S	045° 22,79' W	20,0
11	23° 43,52' S	045° 21,69' W	11,4
12	23° 43,59' S	045° 21,23' W	24,0
13	23° 43,65' S	045° 20,71' W	17,5

3.3 Tratamento dos Dados

3.3.1 Dados de ADCP

Como na literatura não há uma padronização dos procedimentos para que sejam tratados os dados de ADCP rebocado por uma pequena embarcação, buscou-se, neste trabalho, aplicar um método adequado para o tratamento desses dados, visando obter resultados coerentes com as observações na natureza.

Cada trajetória realizada pelo ADCP nos cruzeiros possui um arquivo contendo os respectivos dados brutos. Esses arquivos são lidos através do programa CurrentSurveyor, da Sontek, que também é utilizado para a aquisição dos dados, para que possa ser realizada a análise minuciosa de todos os perfis de velocidade de forma a discriminar os dados de boa qualidade. O parâmetro que indica a qualidade dos dados nesse programa é o "Data Quality Index" (DQI). Porém, outros parâmetros também foram utilizados como indicadores da qualidade dos dados de velocidade, tais como, o jogo e o caturro. Os seguintes critérios foram utilizados para discriminar os dados de boa qualidade:

1) Valores de DQI inferiores a 5 unidades indicam dados de boa qualidade, exceto quando as águas são muito rasas, quando deve ser inevitável que os valores de DQI sejam altos, de acordo com *Sontek/YSI* [2005]. Ou seja, com exceção das regiões de águas muito rasas, os dados com DQI acima de 5 unidades, foram eliminados.

2) Dados em que ocorriam alterações bruscas de rumo da embarcação foram eliminados. Essa situação acontecia, geralmente, nas partes iniciais ou finais das trajetórias e geravam "spikes" (picos) ou mudanças bruscas nas direções das correntes.

Como não houve dados com valores de jogo e caturro muito elevados (superiores a 7°), nenhum dado foi descartado por esse motivo.

Na análise dos dados foi constatado que, em geral, havia uma diferença significativa entre o rumo obtido com o GPS ("GPS Course" (GC)) e o rumo obtido com o "bottom-tracking" ("Bottom-Tracking Course" (BC)) nas trajetórias. A diferença ideal entre GC e BC deve ser próxima de zero e, isso não ocorreu na maioria das trajetórias dos cruzeiros realizados. De acordo com *Sontek/YSI* [2005], se essa diferença fosse consistentemente maior do que alguns graus é possível que a declinação magnética não

tenha sido inserida corretamente no programa, o que não foi o caso desses cruzeiros, ou que a agulha magnética do equipamento necessite de calibração ou, ainda, que deva estar ocorrendo uma interferência magnética significativa nessa agulha. Assim, independentemente das causas que geraram essa diferença entre esses rumos, buscou-se, com a utilização do programa CurrentSurveyor, a obtenção dessas diferenças entre GC e BC para todas as trajetórias de cada cruzeiro. Os valores dessas correções, em graus, estão relacionados na Tabela 3.2, em que a nomenclatura das trajetórias correspondem às mesmas da Figura 3.3, exceto a trajetória retilínea *M*, entre as estações 01 e 07, que está representada na Figura 4.51.

Tabela 3.2: Correções inseridas, em graus, no cálculo da velocidade para as trajetórias dos respectivos cruzeiros.

Traj.	25/09/2001	13/11/2002	22/03/2006	27/07/2006	10/10/2006	14/12/2006
A	-28,1°	-14,0°	-80,3°	-43,5°	-40,7°	-66,8°
B	-29,2°	-18,7°	-81,8°	-45,7°	-47,3°	-50,6°
C	-35,8°	11,0°	41,7°	-24,1°	-	-34,3°
D	-30,2°	9,5°	36,6°	-26,1°	-30,3°	-39,2°
E	-	-45,5°	-	-32,8°	-35,9°	-28,7°
F	-	-18,0°	-2,1°	-44,3°	-	-54,1°
G	-	-32,1°	-	-19,2°	-	-13,0°
H	-	-7,6°	-	-6,4°	-6,7°	-3,3°
I	-	-46,6°	-	-34,7°	-38,5°	-32,3°
J	-23,3°	-51,1°	-	-37,7°	-39,1°	-40,1°
K	-25,2°	-51,1°	-	-43,8°	-46,1°	-49,7°
L	-	-	40,1°	-	-	-
M	-20,7°	-	-	-	-	-

Posteriormente, foi utilizado o programa ViewADP, da Sontek, e uma rotina do programa Matlab para realizar a exportação e o tratamento dos dados. Assim, os dados foram tratados da seguinte forma:

1) Foram eliminados os perfis que não obedeciam aos critérios de qualidade relacionados anteriormente.

2) Foram utilizados os dados de posição geográfica do ADCP, e das componentes zonal e meridional da velocidade com o sistema "bottom tracking", pois apresentam maior acurácia.

3) Foram inseridas as correções relacionadas na Tabela 3.2, ao invés de ser inserida a declinação magnética da localidade, que possui o valor de $20,55^\circ W$, em 2001, e tem acréscimo de $0,13^\circ W$ ao ano, de acordo com a carta náutica de número 1645 (Canal de São Sebastião), da DHN.

4) Dados com picos de velocidade foram descartados (velocidades superiores a $1,2 \text{ m s}^{-1}$), pois apresentam valores espúrios quando comparados com os outros valores medidos.

5) Dados com valores adjacentes de velocidade com diferença acima de $0,8 \text{ m s}^{-1}$ foram descartados.

6) Remoção dos dados junto ao fundo, por apresentarem em suas medições, interferências devidas à presença do fundo, com a utilização do programa ViewADP.

7) Alisamento dos dados com a utilização de filtro passa-baixa gaussiano, com 3 pontos, com o programa ViewADP.

Após a realização do tratamento dos dados de ADCP, já se pode visualizar o mapeamento dos vetores das correntes medidas para a profundidade de 6 m por ocasião de cada trajetória efetuada pelo equipamento, que estão inseridos nas Figuras 3.4 e 3.5, onde pode ser observada, também, a batimetria, em metros, do CSS. Apesar de não terem sido obtidos no mesmo instante em cada cruzeiro, esses vetores de velocidade podem representar "fotografias" dos cenários da circulação de cada cruzeiro em estudo, guardado o cuidado com o período em que cada levantamento foi realizado.

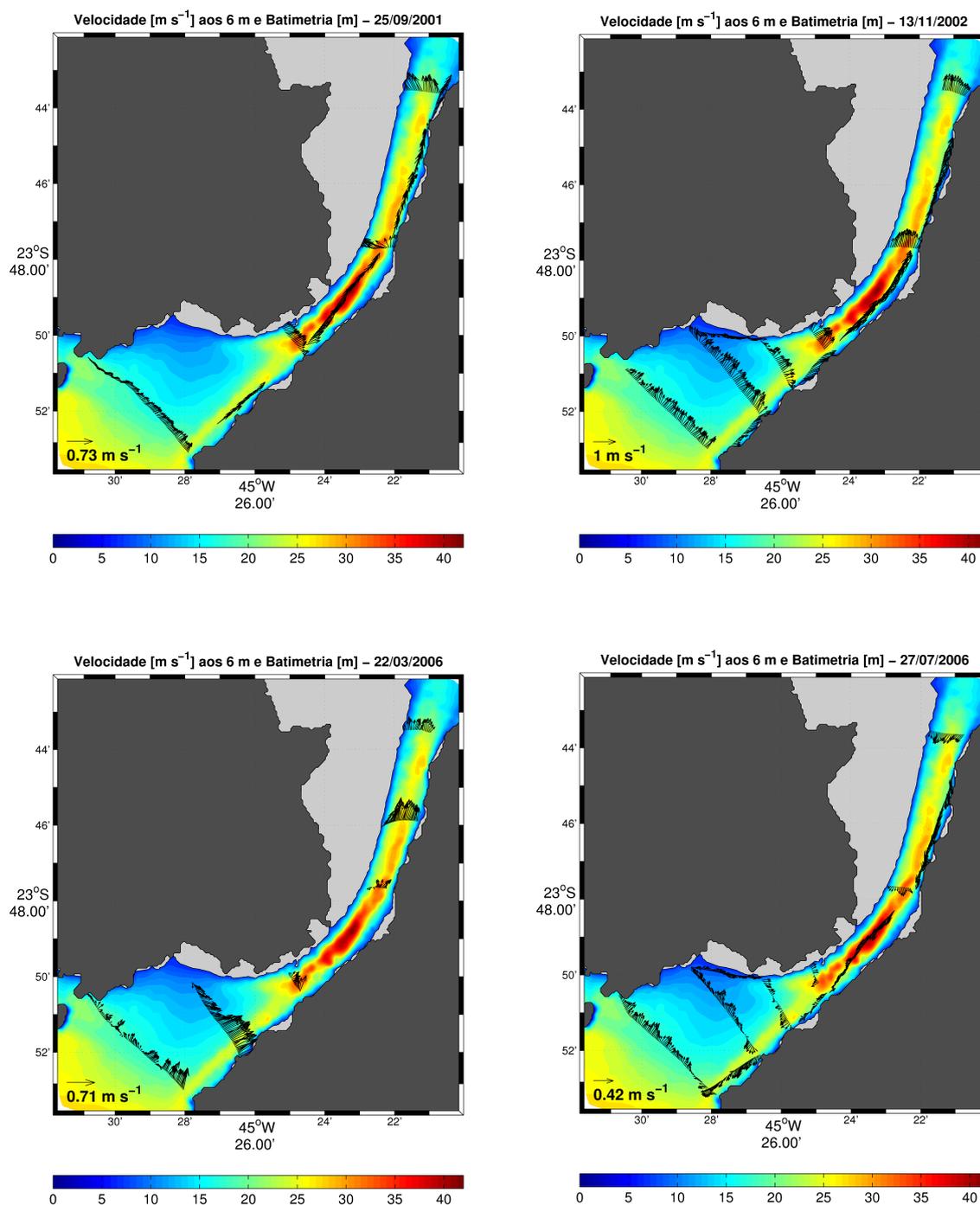


Figura 3.4: Mapeamento dos dados de ADCP [m s^{-1}] no nível de 6 m e batimetria [m] para os cruzeiros de 25/09/2001 (sup. esq.), 13/11/2002 (sup. dir.), 22/03/2006 (inf. esq.) e 27/07/2006 (inf. dir.). A máscara cinza representa regiões com profundidades menores que 7 m.

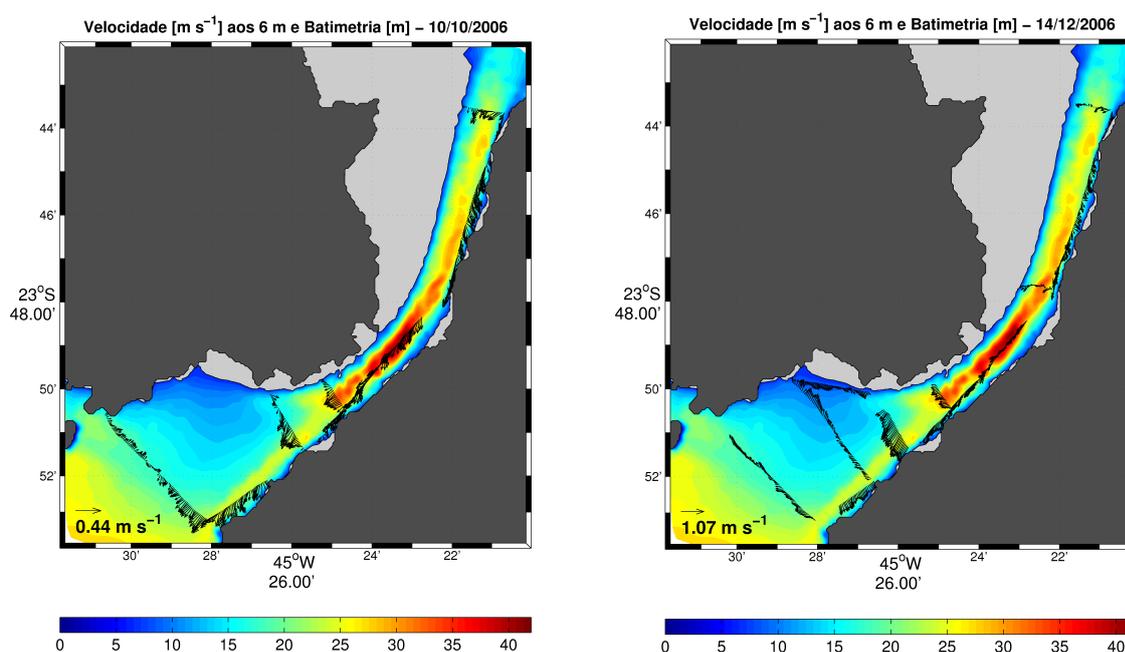


Figura 3.5: Mapeamento dos dados de ADCP [m s^{-1}] no nível de 6 m e batimetria [m] para os cruzeiros de 10/10/2006 (esq.) e 14/12/2006 (dir). A máscara cinza representa regiões com profundidades menores que 7 m.

3.3.2 Dados Hidrográficos

No tratamento dos dados de CTD, os seguintes critérios foram estabelecidos, com a finalidade de tornar os dados mais contínuos e regularmente espaçados verticalmente:

1) Foram considerados os dados obtidos durante a descida do equipamento, pois os efeitos da turbulência causada pelo movimento do CTD durante a descida são menores que durante a subida.

2) Picos existentes nos perfis verticais foram descartados. Ou seja, valores anômalos em relação aos demais valores obtidos do parâmetro que está sendo medido foram removidos.

3) Binagem, para estabelecer um intervalo regular de profundidade na descida do equipamento. Esse processo, chamado de média em caixa, permite o equi-espaçamento vertical dos dados hidrográficos e a suavização do perfil vertical. O intervalo de profundidade estabelecido foi de 1 m.

4) Suavização por janela móvel, para serem obtidos perfis verticais mais contínuos e menos ruidosos. Foi utilizada a janela tipo "Hanning" de 5 pontos, que possui uma distribuição de pesos semelhante a uma curva gaussiana e prioriza a medida central,

onde o peso atribuído à observação na profundidade de interesse é maior que os valores de observações em profundidades circunvizinhas.

Os perfis verticais de densidade convencional (σ_t) e potencial (σ_θ) foram obtidos a partir dos dados tratados de temperatura e de salinidade, utilizando como referência a Equação Internacional de Estado da Água do Mar [UNESCO, 1981].

As Figuras 3.6 e 3.7 exemplificam os resultados do tratamento realizado para os dados de CTD para as estações oceanográficas 01 e 03, situadas na radial mais ao sul do CSS, com os perfis verticais de temperatura e salinidade, brutos e tratados, e os perfis verticais de densidade convencional (σ_t) e potencial (σ_θ), no cruzeiro de 22/03/2006. Constata-se, nas Figuras supracitadas, que os valores obtidos para σ_t e σ_θ são praticamente coincidentes. Cabe ressaltar, neste momento, que neste estudo, utilizou-se somente a densidade convencional, com a finalidade de padronizar os resultados obtidos para densidade. A densidade convencional é a abreviação conveniente do valor da densidade de uma amostra de água do mar com temperatura t e salinidade S .

$\sigma_t = \rho_{s,t} - 1000$, onde $\rho_{s,t}$ é o valor da densidade da água do mar à pressão atmosférica padrão, enquanto que a densidade potencial é a densidade que uma parcela de água profunda teria se fosse trazida adiabaticamente à superfície. A unidade utilizada para a salinidade neste trabalho é a escala prática de salinidade.

3.3.3 Dados de Vento

No tratamento dos dados do "Quikscat" foi calculada a média aritmética dos campos de vento na superfície nas duas passagens diárias do satélite. Desta forma, obteve-se o vento médio para cada dia estudado na PCSE e região oceânica adjacente.

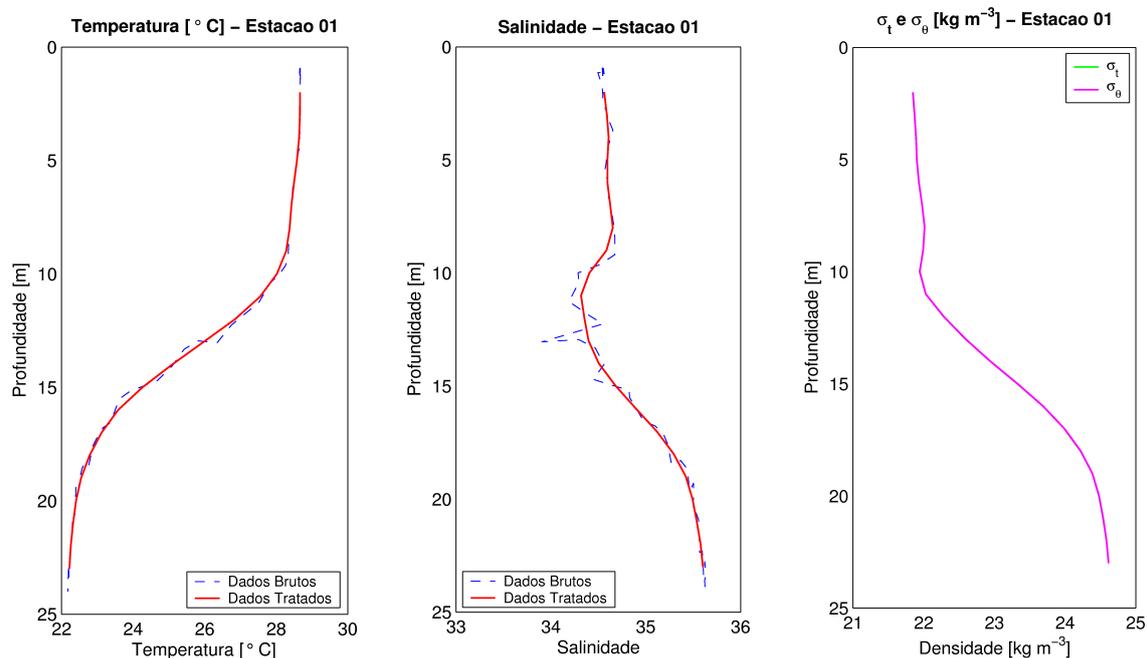


Figura 3.6: Perfis verticais de temperatura [°C] (esq.) e salinidade (centro), brutos e tratados, e de densidade convencional (σ_t) e potencial (σ_θ), em kg m⁻³ (dir.), na estação oceanográfica n° 01, em 22/03/2006.

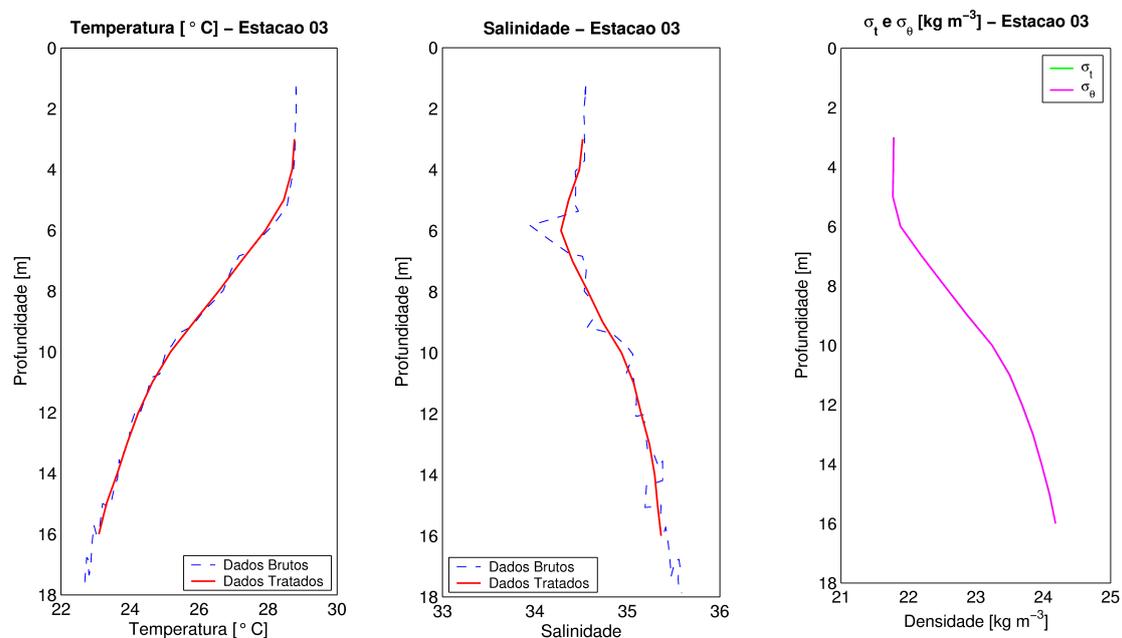


Figura 3.7: Perfis verticais de temperatura [°C] (esq.) e salinidade (centro), brutos e tratados, e de densidade convencional (σ_t) e potencial (σ_θ), em kg m⁻³ (dir.), na estação oceanográfica n° 03, em 22/03/2006.

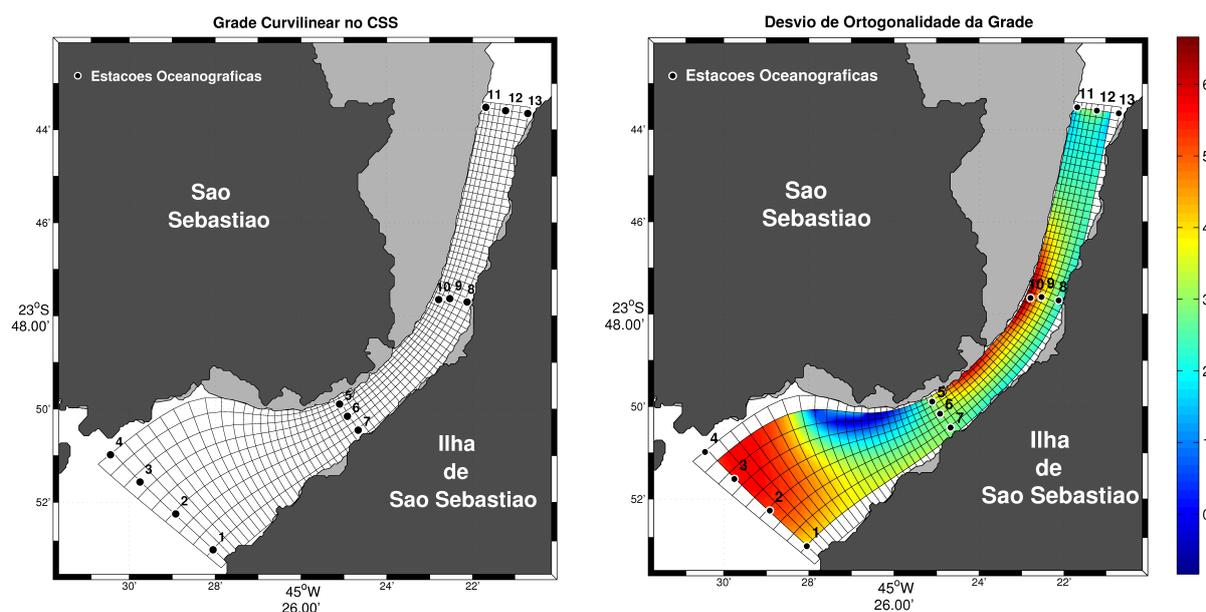


Figura 3.8: Grade curvilinear (esq.) utilizada para obtenção das distribuições horizontais dos campos termohalinos e de massa, e a sua ortogonalidade (dir.). A máscara cinza representa regiões com profundidades menores que 7 m.

3.4 Gradeamento Horizontal e Vertical dos Campos Escalares e Vetoriais

3.4.1 Gradeamento Horizontal dos Campos Termohalinos e de Massa

Face à necessidade de serem obtidas as distribuições horizontais dos campos termohalinos e de massa, foi realizada uma interpolação dos dados desses campos, que foi iniciada com a concepção de uma grade horizontal curvilinear delimitada pelos extremos norte e sul do canal e, lateralmente, pelas isobatimétricas de 7 m, com dimensão de 10 x 80 e espaçamento entre pontos, em média, de 277,8 m e de 222,2 m nas direções longitudinal e transversal ao canal, respectivamente. A Figura 3.8 mostra essa grade curvilinear e, também, a sua ortogonalidade.

O método da Análise Objetiva (AO) "à priori" foi utilizado, nos mesmos moldes aplicados por *Soutelino et al.* [2006], porém com grade distinta para a interpolação dos dados, com a finalidade de filtrá-los espacialmente e minimizar os efeitos da falta de sinopticidade. Esse método, cujo princípio é baseado no Teorema de Gauss-Markov, tem como pressupostos fundamentais a estacionaridade, em que o campo não é alterado durante o período de amostragem de cada mapa, e a homogeneidade, com carac-

terísticas ao longo de todo o campo de dados iguais. Outro pressuposto é que a função de covariância é isotrópica, ou seja, apresenta a mesma estrutura em todas as direções [Emery & Thomson, 2001]. Nesse método, de acordo com Carter & Robinson [1987], os dados interpolados $\hat{\theta}$ são resultantes da combinação linear dos dados observados ϕ , como mostrado na Equação 3.3:

$$\hat{\theta} = \sum_{i=1}^n a_i \phi_i \quad (3.3)$$

onde a_i é a i -ésima aplicação da função peso. Essa função peso estabelece os critérios de não tendência e de mínima variância dos dados, de acordo com o Teorema de Gauss-Markov.

Assume-se que uma medida observada ϕ_r , em uma localidade r , consiste de um valor real θ_r somado a um erro de amostragem aleatório e_r , que é inerente à amostragem e aos erros instrumentais nas medições efetuadas pelos equipamentos. Desta forma, temos a Equação 3.4:

$$\phi_r = \theta_r + e_r \quad (3.4)$$

Considera-se que o erro e_r não se correlaciona com o erro em outra localidade de medição s , nem com o campo verdadeiro, isto é, tem-se as Equações 3.5 e 3.6:

$$E[e_r e_s] = \varepsilon^2 \delta_{rs} \quad (3.5)$$

onde ε^2 é a variância do erro amostral, δ_{rs} é o Delta de Kronecker e $E[e_r e_s]$ é a correlação entre os erros nas localidades r e s .

$$E[e_r \phi_s] = 0 \quad (3.6)$$

onde $E[e_r \phi_s]$ é a função correlação entre o erro de uma localidade r e o valor medido em outra localidade (s).

Assumindo que os índices r e s representam as observações, enquanto que x representa os pontos da grade de interpolação e n é o número de observações, o estimador AO para uma grandeza escalar é dado por:

$$\hat{\theta}_x = \sum_{r=1}^n B_{xr} \left[\sum_{s=1}^n A_{rs}^{-1} \phi_s \right] \quad (3.7)$$

onde A_{rs} é a matriz de auto-correlação entre as observações e B_{xr} é a matriz de correlação cruzada entre as observações na localidade r e os dados estimados em x .

As matrizes A_{rs} e B_{xr} podem ser representadas como:

$$A_{rs} = E[\phi_r \phi_s] = C(x_r - x_s) + \varepsilon^2 \delta_{rs} \quad (3.8)$$

$$B_{xr} = C(x - x_r) \quad (3.9)$$

onde $C(x_r - x_s)$ é a matriz de auto-correlação entre os valores reais das observações e C é a correlação para o campo ϕ . O erro médio quadrático de interpolação é dado por:

$$E[(\hat{\theta}_x - \theta_x)^2] = B_{xx} - \sum_{r,s=1}^n B_{xr} [C(x_r - x_s) + \varepsilon^2 \delta_{rs}]^{-1} B_{xs} \quad (3.10)$$

onde $E[(\hat{\theta}_x - \theta_x)^2]$ é o valor esperado da variância entre o valor estimado e o valor observado, B_{xx} é a matriz de auto-correlação entre os pontos da grade e B_{xs} é a matriz de correlação cruzada entre as observações na localidade s e os dados estimados em x .

Nesse trabalho, a estrutura usada na função de auto-correlação apresenta uma aproximação teórica de forma gaussiana e isotrópica dada por:

$$C(x_r - x_s) = (1 - \varepsilon^2) e^{-\gamma^2/l_c^2} \quad (3.11)$$

onde γ é a distância radial entre os dados observados, ε^2 é a variância do erro amostral e l_c , o comprimento de correlação.

O comprimento de correlação é responsável pelo selecionamento do comprimento de onda das estruturas, tendo em vista que ele determina a forma de decaimento da função peso e, quanto maior o seu valor, maior será a filtragem espacial.

O erro de interpolação é função da distribuição das estações relativas à grade e ao erro amostral considerado. Uma das vantagens da aplicação do método da AO é a

obtenção de mapas de erro de interpolação, que representam uma eficiente ferramenta para avaliação da confiabilidade dos mapas gerados, conforme *Calado* [2006].

Com a aplicação do método da AO "à priori" neste trabalho, buscou-se conciliar a resolução das estruturas com a confiabilidade da interpolação. Para isso, foram utilizados os valores de l_c , de $0,2^\circ$ (22,22 km), que é equivalente à distância entre os pontos mais distantes da grade, ou seja, todos os pontos dentro da grade se correlacionam, e de ε^2 , de 0,01. Esses valores foram escolhidos por apresentarem os melhores resultados, após tentativas com diversos valores, sempre comparando os resultados obtidos da AO com os resultados da interpolação linear.

3.4.2 Gradeamento Vertical dos Campos Termohalinos e de Massa

O gradeamento vertical dos campos de temperatura, salinidade e densidade convencional foi realizado com a criação de grades retangulares nas quatro radiais, delimitadas pela profundidade de 3 m e o fundo e lateralmente, pelas estações oceanográficas extremas de cada radial. O método da AO "à priori" foi utilizado na interpolação desses campos, sendo utilizados fatores obtidos com as razões entre as maiores profundidades e as extensões de cada uma das quatro radiais, no intuito de minimizar a forte anisotropia vertical existente. Foram utilizados os valores de comprimentos de correlação equivalentes às distâncias entre os pontos mais distantes das grades para cada radial e, o valor da variância do erro amostral, de 0,005, após tentativas com diversos valores, comparando com os resultados alcançados na interpolação linear.

As diferenças observadas junto ao fundo entre as distribuições horizontais e verticais dos campos termohalinos e de massa podem ser justificadas pela utilização, nas distribuições horizontais desses campos, dos valores mais profundos medidos pelos equipamentos em cada estação oceanográfica, enquanto que nas distribuições verticais os valores desses campos no fundo podem ser resultados das interpolações objetivas dos dados, visto que os equipamentos podem não ter efetuado medições até o fundo das respectivas estações oceanográficas. Desta forma, nas seções verticais, os maiores valores calculados para os erros de interpolação ocorrem em regiões mais distantes das medições efetuadas pelos equipamentos, situadas normalmente no fundo e entre estações oceanográficas. Nesse contexto, ressalta-se, então, que nas distribuições ver-

tais dos campos termohalinos e de massa deve-se ter maior cuidado na realização da análise onde os erros de interpolação são maiores.

3.4.3 Gradeamento Horizontal dos Campos de Velocidade

O gradeamento horizontal dos campos de velocidade foi realizado com a utilização da mesma grade criada para os campos termohalinos e de massa (Figura 3.8), porém, com a aplicação de uma condição de contorno de não-escorregamento ao longo das isóbatas de 7 m, com a finalidade de minimizar o fluxo nas mesmas. O método da AO "à priori" foi novamente utilizado na interpolação dos campos de velocidade a fim de serem obtidos os mapas horizontais dos mesmos. Ressalta-se que buscou-se obter valores de l_c , ε^2 e decimação adequados para essa interpolação, sempre comparando os resultados com a interpolação linear. O valor aplicado para l_c foi de $0,2^\circ$ (22,22 km) e para ε^2 foi de 0,01, que são os mesmos aplicados para a obtenção das distribuições horizontais dos campos termohalinos e de massa.

3.4.4 Gradeamento Vertical dos Campos de Velocidade

Para a obtenção do gradeamento vertical dos campos de velocidade, inicialmente foram calculados os valores dos campos de velocidade horizontalmente, como descrito anteriormente, para cada célula de profundidade (configurada no ADCP), ou seja, a cada 4 m de profundidade. Posteriormente, foram calculados os valores das velocidades normais e transversais a cada seção vertical para cada célula. Desta forma, essas componentes de velocidades normais e transversais foram inseridas nas grades retangulares criadas nas quatro radiais, delimitadas pela profundidade de 6 m (centro da célula de profundidade mais próxima à superfície) e o fundo (obtido com os dados extraídos das cartas náuticas digitais de nº 1643 e 1644, da DHN) e, lateralmente, pelas estações oceanográficas extremas de cada radial.

Tendo em vista a maior amostragem dos campos de velocidade quando comparada com a amostragem dos campos termohalinos e de massa, optou-se em realizar o método supracitado para obtenção do mapeamento vertical de velocidade, onde todas as trajetórias percorridas na coleta dos dados de ADCP foram utilizadas na determinação desse mapeamento.

3.4.5 Gradeamento Horizontal para as Funções de Corrente e para os Campos de Velocidade Não-Divergente

Com a finalidade de se verificar a importância do fluxo horizontalmente não-divergente dentro do CSS buscou-se remover os movimentos das águas com frequências relativamente altas, bem como os fluxos divergentes.

De acordo com *Silveira et al.* [2000], o campo de velocidade horizontal pode ser decomposto pelas partes não-divergente e irrotacional, como pode ser observado na Equação 3.12:

$$\vec{v} = (u, v) = \vec{k} \times \nabla\psi - \nabla\chi \quad (3.12)$$

onde \vec{v} é a velocidade total; ψ é a função de corrente; e χ é o potencial de velocidade.

Desta forma, para a obtenção das velocidades não-divergentes foi utilizado o método direto da AO vetorial, aplicado por *Bretherton et al.* [1976], em que inicialmente é calculada a função de corrente ψ a partir das observações de velocidade. O princípio do método direto é: "Se existe uma relação funcional entre a velocidade não-divergente e a função de corrente, existirá uma relação funcional entre suas funções de correlação".

Assim, para se calcular o mapeamento horizontal de ψ foi utilizada a mesma grade curvilínea empregada para os campos termohalinos, de massa e de velocidade, que pode ser visualizada na Figura 3.8, sendo consideradas as condições de contorno de não-escorregamento ao longo das isóbatas de 7 m e sendo aplicados os mesmos valores para o comprimento de correlação (l_c de $0,2^\circ$) e para a variância do erro amostral (ϵ^2 de 0,01) em relação à Seção 3.4.3. Assume-se, também, a isotropia da função de correlação, ou seja, o escoamento apresenta a mesma escala nas direções zonal e meridional.

Uma vez assumida a não-divergência do campo de velocidade, pode-se aplicar a definição estabelecida por *Kundu & Cohen* [1990], para o cálculo das componentes zonal e meridional, explicitadas nas Equações 3.13 e 3.14, respectivamente:

$$u = -\frac{\partial\psi}{\partial y} \quad (3.13)$$

onde u é a componente zonal de velocidade no sistema cartesiano local e ψ é a função de corrente.

$$v = \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (3.14)$$

onde v é a componente meridional de velocidade no sistema cartesiano local e ψ é a função de corrente.

Para quantificar a importância do campo de velocidade não-divergente em relação ao campo de velocidade total, no CSS, foi calculada a raiz do erro médio quadrático normalizado (REMQ), conforme a Equação 3.15:

$$REMQ = \sqrt{\frac{\langle v - v_{nd} \rangle^2}{\langle v \rangle^2}} \quad (3.15)$$

onde $\langle \rangle$ é a média, v_{nd} representa o módulo da velocidade não-divergente e v representa o módulo da velocidade total.

O percentual de contribuição do campo de velocidade não-divergente em relação ao campo de velocidade total (denominado neste trabalho como a variável CONT) é calculado de acordo com a Equação 3.16:

$$CONT = 100 \times (1 - REMQ) \quad (3.16)$$

onde REMQ é a raiz do erro médio quadrático normalizado.

3.4.6 Gradeamento Horizontal dos Campos de Vento

Para obter o campo de vento médio na PCSE nos dias das perfilagens, e nos dias que antecederam os cruzeiros oceanográficos, foi criada uma grade curvilinear delimitada pela costa e pela região oceânica adjacente à PCSE, com dimensão de 15 x 30 e com espaçamento entre pontos, em média, de 31,4 km. Para interpolação e cálculo de erros, o método da AO "à priori" foi aplicado novamente, sendo que o comprimento de correlação utilizado foi de 8,5° e a variância do erro amostral foi de 0,01. A Figura 3.9 mostra a grade curvilinear utilizada na interpolação dos campos de vento e a sua ortogonalidade.

Esse vento médio diário na PCSE não representa de forma adequada o vento local, no CSS, em virtude de sua escala espacial ser maior e das peculiaridades morfológicas inerentes à região do canal. Todavia, representa de forma adequada o vento remoto, que influencia na intrusão, na camada mais profunda, de águas mais densas e frias de origem oceânica (ACAS), no CSS. Esse vento médio superficial também permite, através da caracterização dos seus padrões de direção e de intensidade na PCSE, a investigação a respeito do vento local, no CSS, principalmente na determinação dos dias em que ocorrem inversões de direção do mesmo.

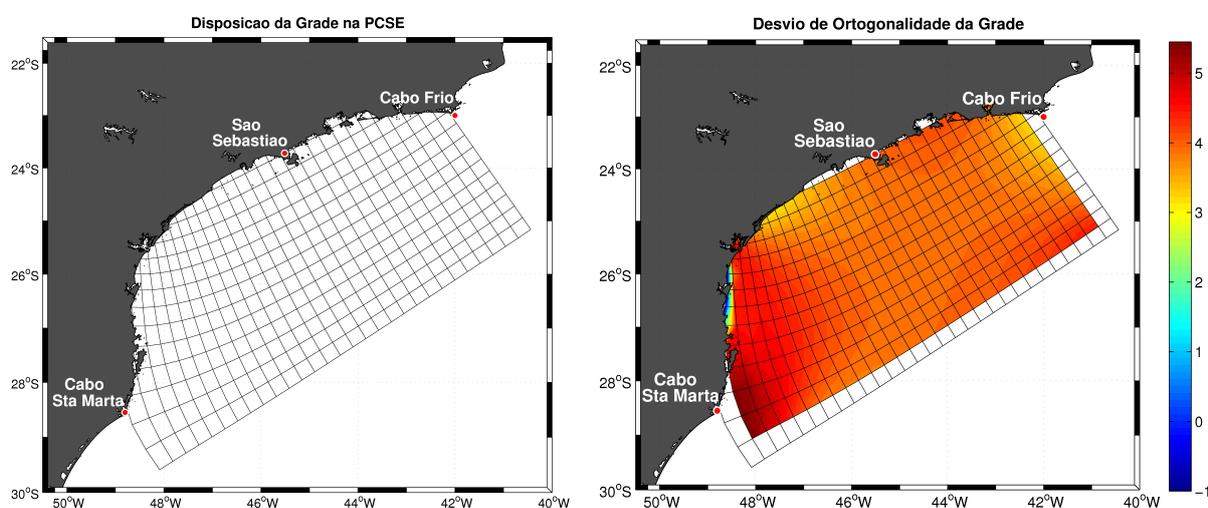


Figura 3.9: Grade curvilinear (esq.) utilizada na PCSE, para obtenção dos campos de vento e a sua ortogonalidade (dir.).

3.5 Cálculo do Transporte de Volume

O transporte de volume é definido como o volume de água que passa, por unidade de tempo, através de uma seção transversal [Miranda et al., 2002]. Matematicamente, essa quantidade é calculada pela integral de superfície estendida à área $A = A(x, t)$, de acordo com a Equação 3.17:

$$T_{Vol} = \int \int_A \vec{v} \cdot \vec{n} dA = \int \int_A u dA \approx \bar{u}A \quad (3.17)$$

onde T_{Vol} é o transporte de volume, \vec{v} é o vetor velocidade do fluxo que passa por A , \vec{n} é o vetor unitário normal à área A , \bullet indica o produto escalar, u é a velocidade do

fluxo normal à A e \bar{u} é o valor médio da componente de velocidade normal à área A . A dimensão de T_{Vol} é dada por L^3T^{-1} e, no Sistema Internacional, é expresso em m^3s^{-1} .

Para ser calculado o transporte de volume normal a cada uma das radiais no CSS, inicialmente, foram obtidas as componentes zonal e meridional do campo de velocidade na grade vertical retangular de cada radial. Posteriormente, essas componentes foram decompostas relativamente às radiais com a finalidade de serem obtidos os valores das correntes normais a cada uma delas e, então, as áreas das seções verticais foram divididas em células pequenas delimitadas a cada quatro pontos de grade. A intensidade da corrente no centro dessas células foi obtida com a média dos valores das correntes nos quatro pontos que a delimita. O transporte de volume foi calculado para cada célula multiplicando-se as velocidades normais no centro da célula pela área correspondente.

No caso das pequenas células, que eram parcialmente cortadas pelo fundo, foi aplicada a mesma metodologia citada acima. Entretanto, com o cuidado de se calcular os transportes de volume de cada uma dessas células proporcionalmente às suas respectivas áreas cobertas pela coluna d'água.

O transporte de volume total medido de cada radial é o somatório desses transportes obtidos para cada célula, entre a profundidade de 6 m, que é a posição central da primeira célula de profundidade medida pelo ADCP, e o fundo. O cálculo efetuado é descrito na Equação 3.18:

$$T_V = \sum_j \sum_i \bar{u}_{ij} \Delta z_{ij} \Delta x_{ij} \quad (3.18)$$

onde T_V é o transporte de volume, \bar{u} é a média da componente de velocidade normal à pequena célula delimitada a cada quatro pontos da grade, e Δz e Δx são a profundidade, que é constante e igual a 4 m, e a extensão dessa pequena célula, respectivamente.

Para serem obtidos os valores estimados do transporte de volume em toda a coluna d'água, foram extrapolados os valores dos transportes de volume entre a superfície e a profundidade de 6 m, sendo considerado que entre essas profundidades os valores dos transportes corresponderem aos transportes na primeira linha da grade vertical (entre 6 m e 10 m de profundidade) ao longo das radiais. Ou seja, somaram-se esses valores extrapolados aos valores calculados para serem obtidos os transportes de volume totais estimados para cada radial.

3.6 Cálculo do Volume do CSS e do Tempo de Residência das Águas

O volume do CSS, abrangendo todas as regiões cobertas pela grade curvilínea, foi estimado a partir da obtenção das áreas de 22 seções verticais dispostas radialmente ao canal, entre as extremidades norte e sul, e das distâncias entre essas seções verticais. Desta forma, o volume entre duas seções verticais adjacentes é o produto entre a média de suas áreas e a média das distâncias entre as suas extremidades, conforme a Equação 3.19, e o volume total é o somatório de todos os volumes parciais calculados, de acordo com a Equação 3.20.

$$V_{p1} = \frac{(A_1 + A_2)}{2} \times \frac{(d_1 + d_2)}{2} \quad (3.19)$$

onde V_{p1} é o volume parcial entre duas seções verticais adjacentes, A_1 e A_2 são as áreas das respectivas seções verticais e d_1 e d_2 são as distâncias entre as extremidades dessas mesmas seções.

$$V_{total} = \sum_{i=1}^{21} V_{p_i} \quad (3.20)$$

onde V_{total} é o volume total calculado e V_{p_i} são os volumes parciais entre as seções verticais adjacentes. O volume estimado de água dentro da grade do CSS foi de $13,23 \times 10^8 \text{ m}^3$.

Para calcular o tempo de residência das águas no CSS foi calculada a razão entre o volume do CSS e a média dos transportes de volume calculados para as quatro seções verticais, em cada cruzeiro. O valor resultante dessa razão representa a estimativa do tempo de permanência das águas no canal, considerando que não haja alterações na circulação nesse período.

Capítulo 4

Resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos separadamente por assunto, em seções, e posteriormente, no próximo capítulo, cada cruzeiro terá uma discussão englobando todos os resultados abordados, para os campos termohalinos, de massa, de velocidade e de vento.

4.1 Diagramas T-S Espalhados

Os diagramas T-S espalhados, que foram obtidos para cada cruzeiro oceanográfico a partir dos dados tratados do CTD, estão contidos na Figura 4.1.

Na Figura 4.1 pode ser constatado que a configuração do diagrama T-S para o cruzeiro de 25/09/2001 apresenta uma pequena variação da temperatura (20,94°C a 22,44°C), contrastando com um intervalo da variação da salinidade relativamente maior (32,73 a 35,10), enquanto que no cruzeiro de 13/11/2002 há maior homogeneidade das águas do CSS, apresentando pequenas variações dessas propriedades físicas da água do mar (temperatura de 23,46°C a 24,01°C e salinidade de 33,01 a 33,99). No diagrama T-S para o cruzeiro de 22/03/2006 observa-se grande estratificação das águas do canal, com intervalos de variação de temperatura entre 22,22°C e 29,59°C e de salinidade entre 34,04 a 35,60. No dia 27/07/2006 ocorre uma quase-homogeneidade das águas, com intervalo de variação de temperatura e de salinidade entre 22,33°C e 23,50°C, e 34,06 e 35,30, respectivamente. Para o cruzeiro de 10/10/2006 reflete-se, também, a quase-homogeneidade das águas do CSS, com pequenas variações de tem-

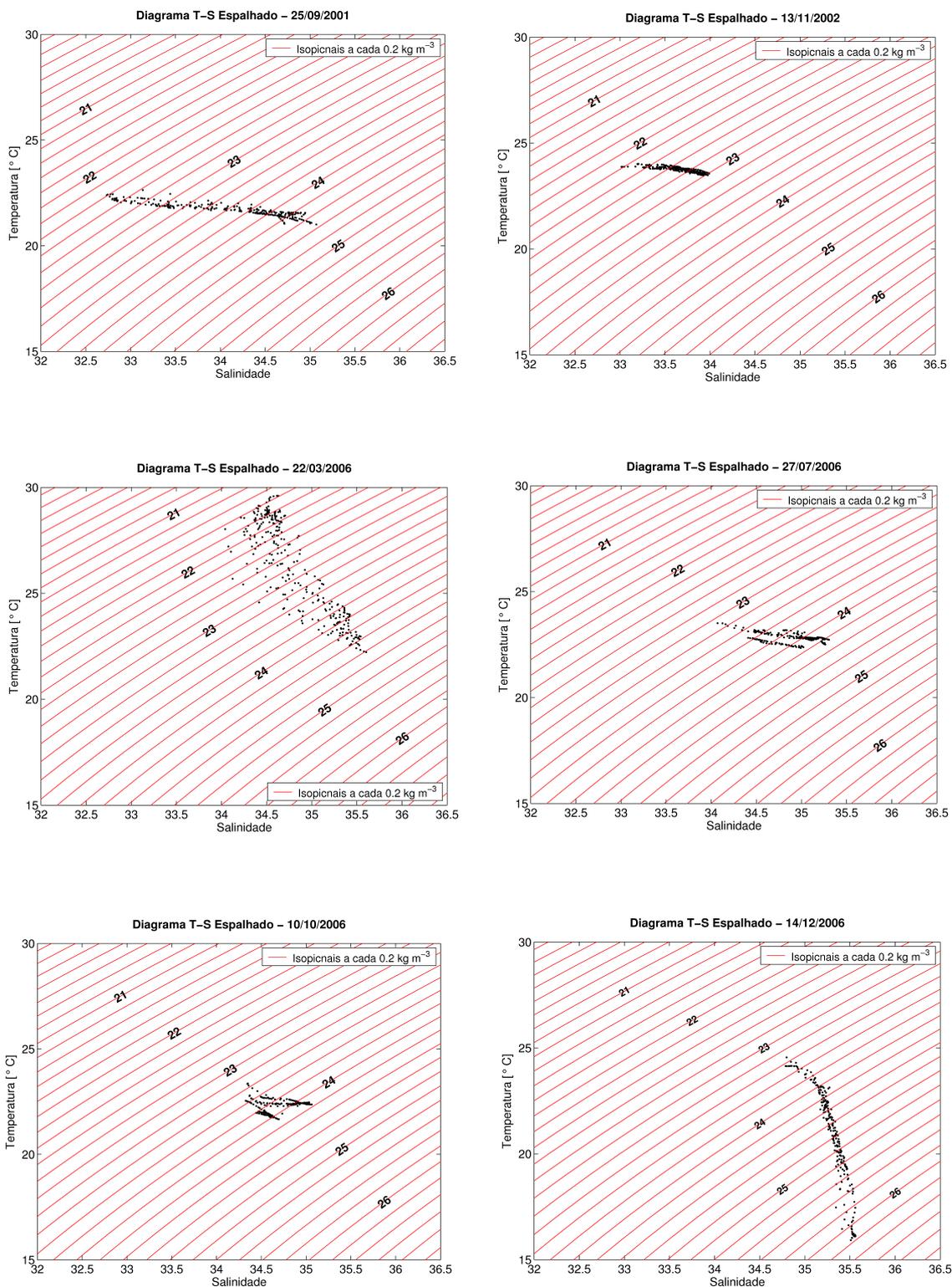


Figura 4.1: Diagramas T-S espalhados para os cruzeiros oceanográficos de 25/09/2001 (sup. esq.), 13/11/2002 (sup. dir.), 22/03/2006 (cent. esq.), 27/07/2006 (cent. dir.), 10/10/2006 (inf. esq.) e 14/12/2006 (inf. dir.).

peratura (21,66°C a 23,36°C) e salinidade (34,32 a 35,06), enquanto que em 14/12/2006 verifica-se uma mistura bimodal nas águas do CSS, com a interação entre a AC e a ACAS, e variações de temperatura, entre 15,92°C e 24,55°C, e salinidade entre 34,78 e 35,56.

4.2 Distribuição Espacial das Propriedades Físicas

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos, por cruzeiro oceanográfico, para as distribuições horizontais e verticais de temperatura, salinidade e densidade convencional no CSS, bem como os respectivos valores dos erros de interpolação. Ressalta-se, neste momento, que a vista a partir da extremidade sul do canal foi utilizada como referência na apresentação de todas as seções verticais dessas propriedades físicas.

4.2.1 Cruzeiro de 25/09/2001

Distribuições Horizontais dos Campos Termohalinos e de Massa

Neste cruzeiro, observam-se nas distribuições horizontais das propriedades físicas da água do mar no nível de 3 m (Figura 4.2) que não há a estação oceanográfica de número 03 na porção sul do CSS. Isto é decorrente do tratamento dos dados dessa estação, em que obtiveram-se somente valores de temperatura e salinidade e, por conseguinte, de densidade convencional, a partir da profundidade de 7 m.

As distribuições de temperatura aos 3 m (Figura 4.2) e junto ao fundo (Figura 4.3) apresentam pequena variação espacial ao longo do CSS. Os valores de temperatura aos 3 m variam entre 21,8°C, na parte norte do canal, e 22,9°C, na região situada entre as radiais *A* e *B* nas proximidades da costa continental enquanto que, no fundo, essa propriedade varia entre 21,0°C, na porção norte do canal, e 21,6°C, em sua região centro-sul.

O intervalo de variação da salinidade junto à superfície está entre 32,9, na região sul do CSS, e 33,9, na porção norte (Figura 4.2), e as distribuições junto ao fundo oscilam entre 34,1, no centro do canal e 35,5, na região norte (Figura 4.3). Nas proximidades da superfície observa-se que a salinidade apresenta um acréscimo de sul para norte, com

gradiente de salinidade horizontal longitudinal da ordem de $0,054 \text{ km}^{-1}$, enquanto que junto ao fundo pode-se constatar a existência de um núcleo na região sul do CSS, com valores de salinidade da ordem de 35,0. Desta forma, constata-se que as águas menos salinas, acomodadas nas proximidades da superfície, encontram-se na porção sul do CSS.

Em relação às distribuições horizontais de densidade convencional (Figuras 4.2 e 4.3), observa-se que apresentam comportamento semelhante à salinidade e possuem valores máximos de $23,4 \text{ kg m}^{-3}$ no nível de 3 m e de $24,8 \text{ kg m}^{-3}$ no fundo, na região situada entre as radiais *C* e *D*, ao norte. Essa propriedade apresenta, no nível de 3 m, valores mínimos próximos a $22,4 \text{ kg m}^{-3}$ ao sul do canal e junto ao fundo apresenta valores da ordem de $23,6 \text{ kg m}^{-3}$ no centro do canal. Da mesma forma que a salinidade, a densidade convencional nas proximidades da superfície apresenta um acréscimo de sul para norte, ou seja, as águas superficiais menos densas encontram-se na região sul do canal. No fundo, há um núcleo na porção sul do canal, com valores de densidade convencional da ordem de $24,4 \text{ kg m}^{-3}$.

Distribuições Verticais dos Campos Termohalinos e de Massa

As Figuras 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7 apresentam as distribuições verticais das propriedades físicas da água do mar nas radiais *A*, *B*, *C* e *D*, com os respectivos erros de interpolação.

Nas distribuições verticais de temperatura observa-se que na seção *A* (Figura 4.4) ocorre um soerguimento das isotermas em direção à estação oceanográfica de número 04, que está situada próxima ao continente. As temperaturas nessa seção variam entre $21,3^\circ\text{C}$, nas proximidades do fundo, e $22,5^\circ\text{C}$, aos 3 m de profundidade, apresentando caráter quase-isotérmico das águas. Nas demais seções verticais essa elevação das isotermas em direção à superfície não é bem caracterizada, mas pode-se observar uma ligeira elevação das mesmas em direção à costa continental nas seções verticais *B* (Figura 4.5), abaixo da profundidade de 14 m, e *C* (Figura 4.6), entre a superfície e o nível de 22 m. Em geral, os gradientes térmicos verticais são da ordem de $0,04^\circ\text{C m}^{-1}$, porém na seção *A* (Figura 4.4), próximo à costa continental, há uma pequena intensificação do gradiente térmico vertical, que alcança o valor de $0,09^\circ\text{C m}^{-1}$.

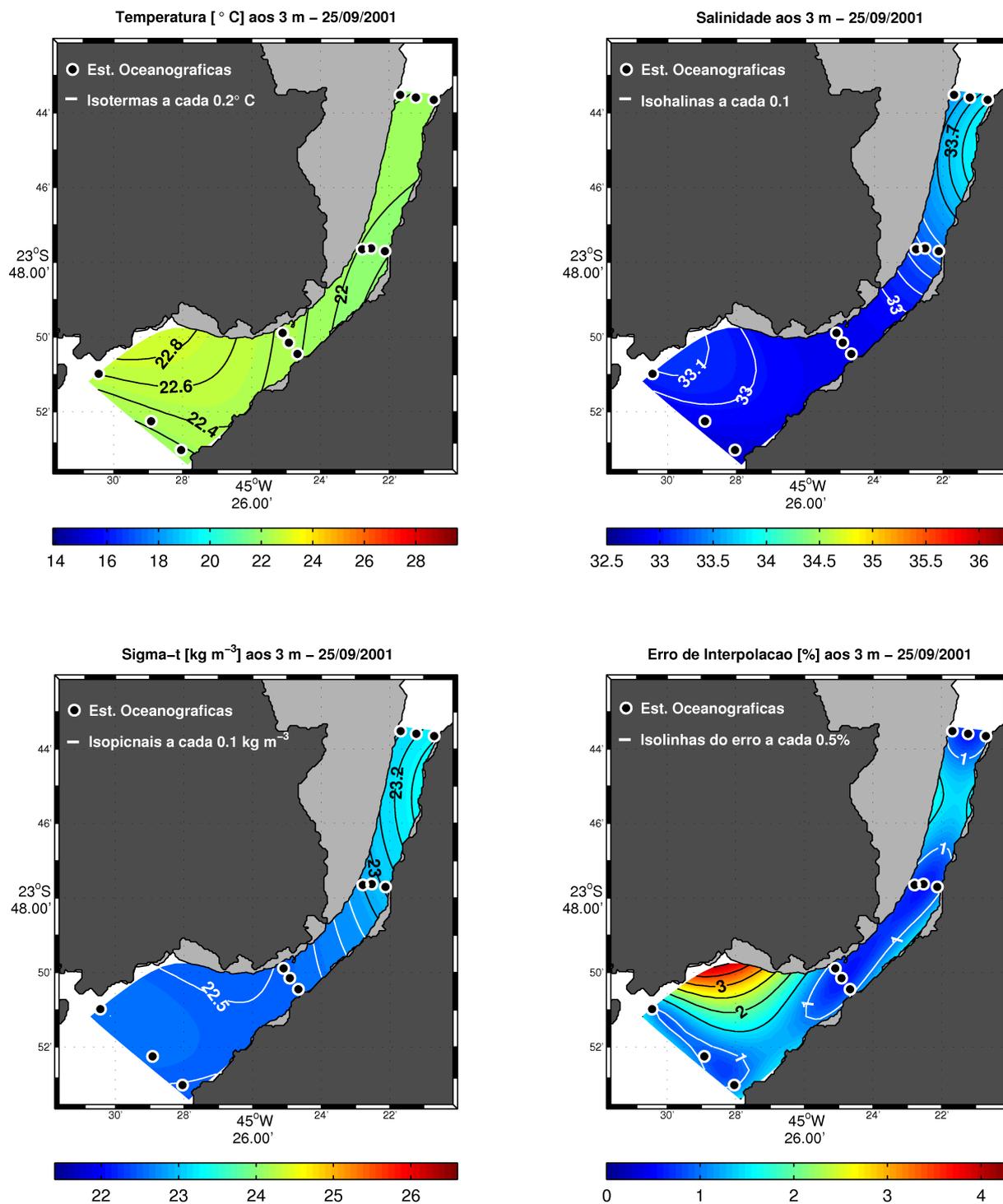


Figura 4.2: Distribuições horizontais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) no nível de 3 m e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 25/09/2001. A máscara cinza representa regiões com profundidades menores que 7 m.

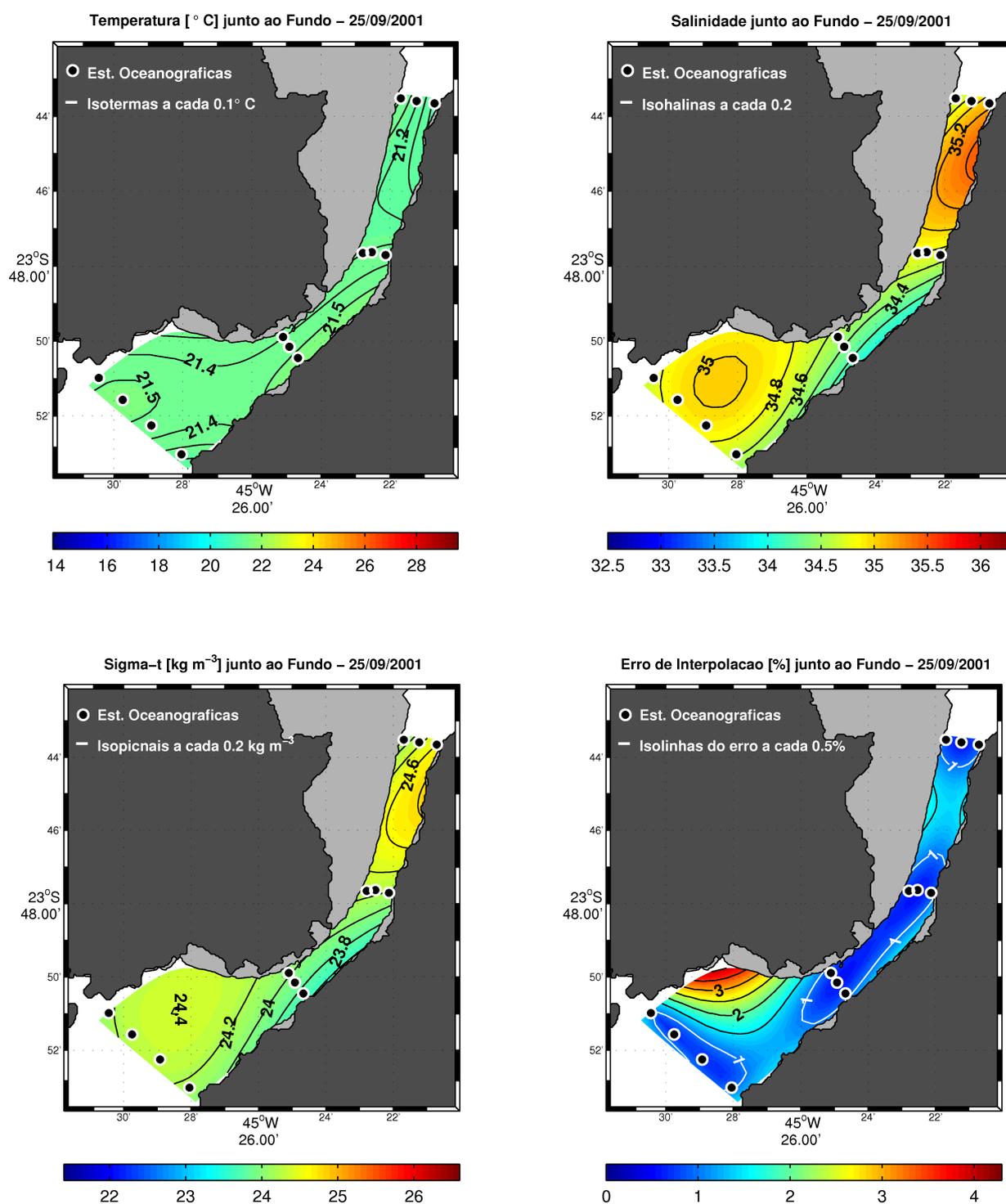


Figura 4.3: Distribuições horizontais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m^{-3}] (inf. esq.) junto ao fundo e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 25/09/2001. A máscara cinza representa regiões com profundidades menores que 7 m.

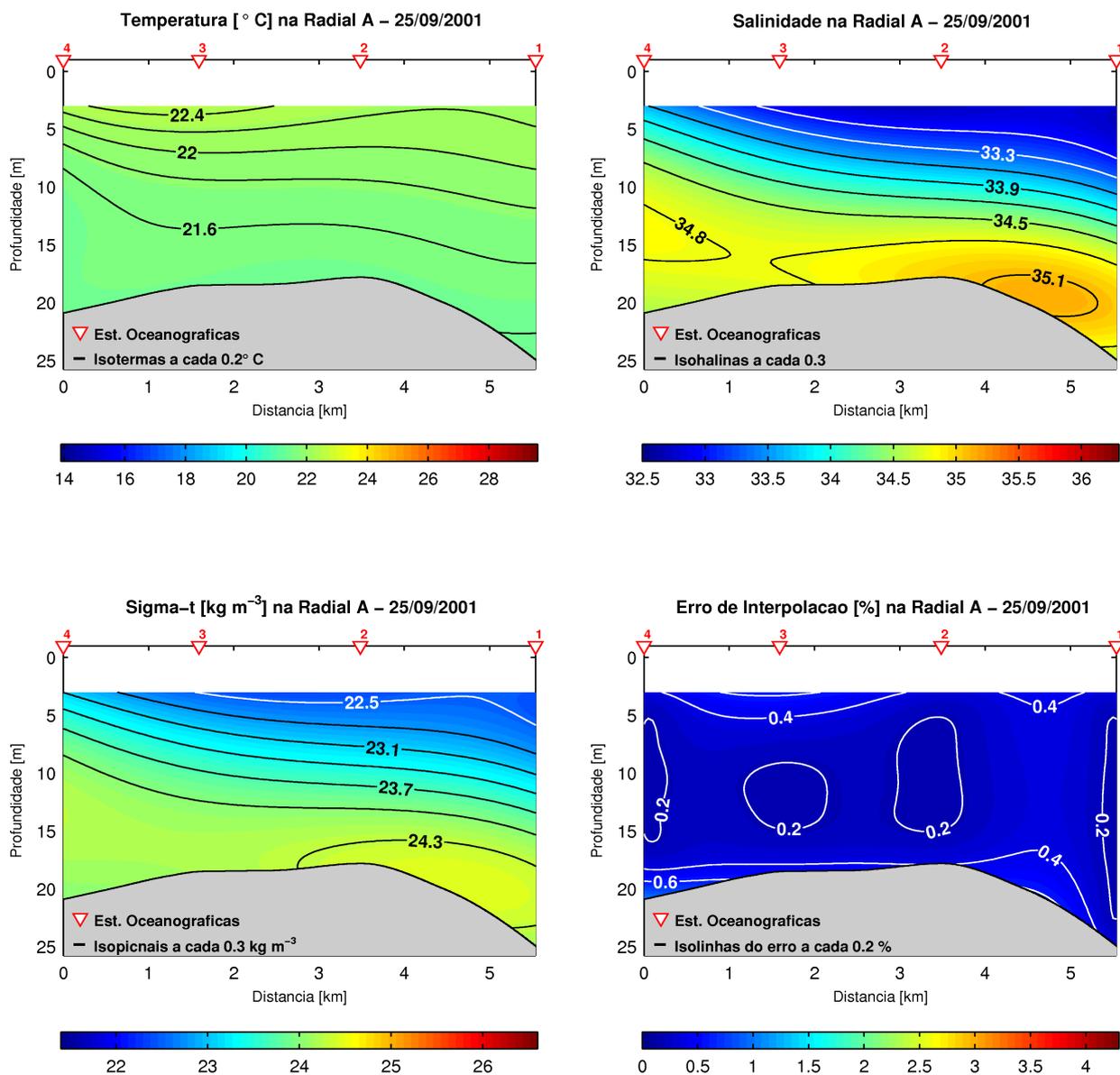


Figura 4.4: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial A e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 25/09/2001.

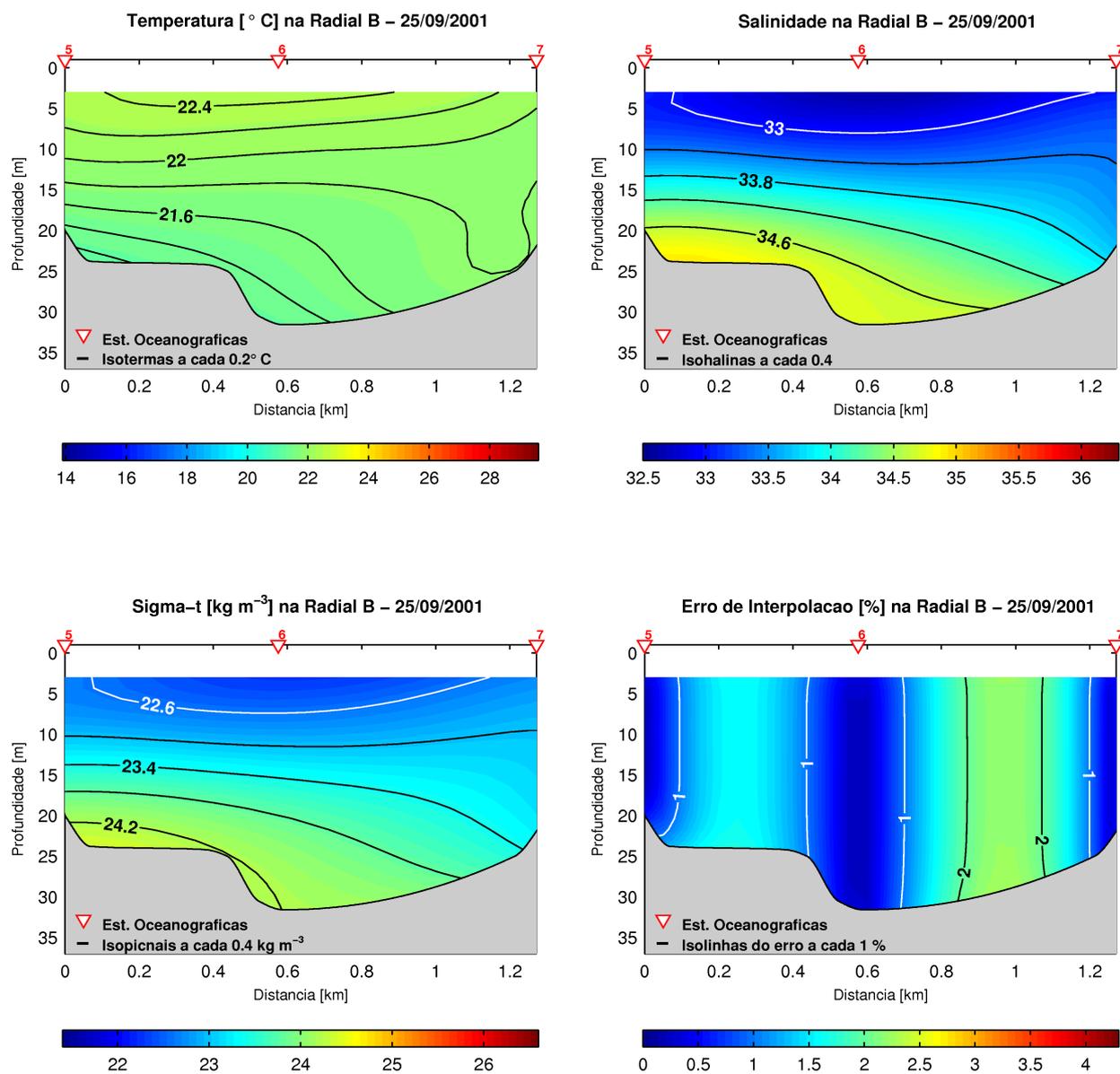


Figura 4.5: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial B e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 25/09/2001.

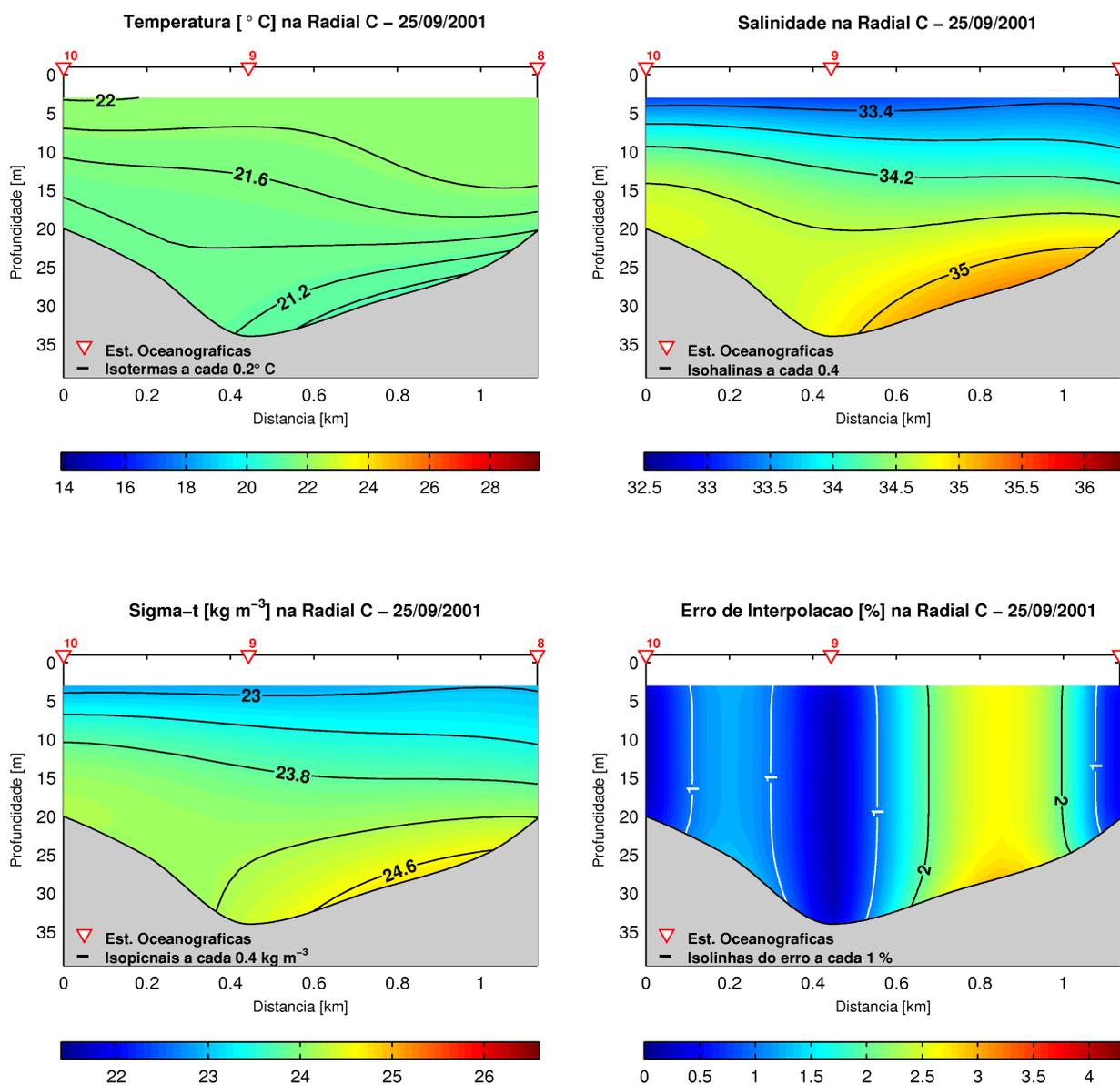


Figura 4.6: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial C e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 25/09/2001.

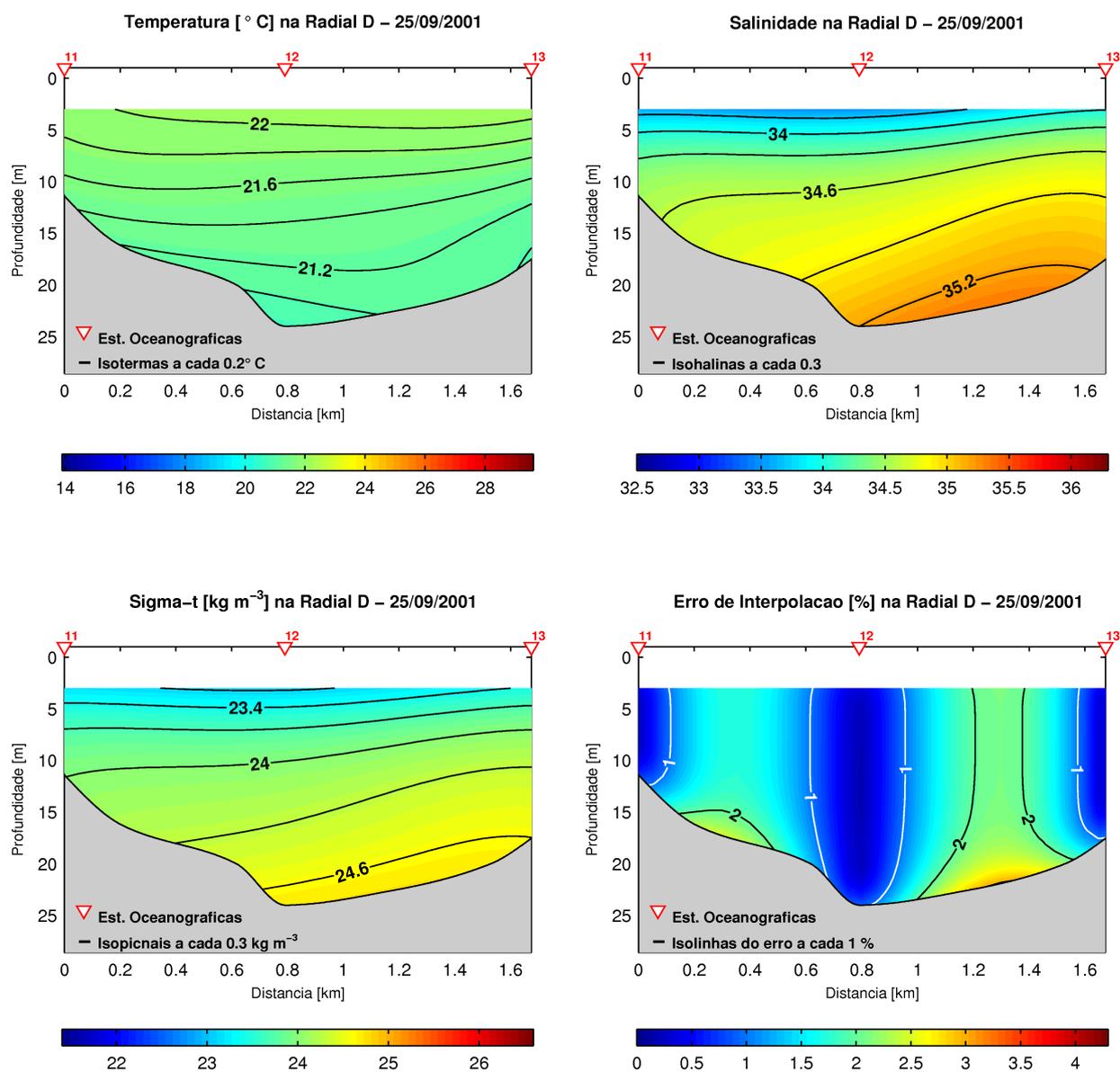


Figura 4.7: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial *D* e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 25/09/2001.

A estrutura vertical de salinidade apresenta como característica principal o soerguimento das isohalinas em direção ao continente, coincidentemente com a região onde há a elevação das isotermas observada na radial *A* (Figura 4.4). Nessa seção vertical, a salinidade apresenta intervalo de variação entre 32,8, aos 3 m de profundidade, e 35,1, junto ao fundo, com gradiente de salinidade vertical de cerca de $0,11 \text{ m}^{-1}$. Em conformidade com os padrões observados para a temperatura, nas demais seções verticais, em que o gradiente de salinidade vertical é da ordem de $0,06 \text{ m}^{-1}$, não é constatado um soerguimento marcante das isohalinas, porém nas seções *B* (Figura 4.5), entre a profundidade de 10 m e o fundo, e *C* (Figura 4.6), entre os níveis de 5 m e 20 m, há uma ligeira inclinação das isohalinas em direção à superfície, nas adjacências da costa continental.

A estrutura vertical do campo de massa apresenta a elevação das isopicnais em direção ao continente, na seção vertical situada mais ao sul, coincidindo com a região onde há o soerguimento das isotermas e das isohalinas. Na radial *A* (Figura 4.4), observa-se que águas mais densas existentes nessa região se elevam da margem insular até o continente, enquanto que na camada de fundo as águas apresentam pouca estrutura de densidade, com valores de cerca de $24,3 \text{ kg m}^{-3}$. O gradiente de densidade convencional vertical nessa seção é de aproximadamente $0,09 \text{ kg m}^{-4}$. Em relação às distribuições de densidade convencional nas demais seções verticais, constata-se que apresentam comportamento semelhante à salinidade e à temperatura, indicando a importância dessas propriedades físicas na determinação do campo de densidade, e apresentando gradientes de densidade verticais da ordem de $0,06 \text{ kg m}^{-4}$.

4.2.2 Cruzeiro de 13/11/2002

Distribuições Horizontais dos Campos Termohalinos e de Massa

Neste cruzeiro, realizado na primavera de 2002, as distribuições horizontais dos campos termohalinos e dos campos de massa são apresentadas nas Figuras 4.8 e 4.9. Nessas figuras observa-se que a estrutura térmica próxima à superfície apresenta pequena variação espacial, com valores entre $23,6^\circ\text{C}$ e $24,1^\circ\text{C}$, denotando um caráter quase-isotérmico das águas no nível de 3 m. Nas proximidades do fundo, a estrutura térmica também apresenta tal característica, com valores entre $23,4^\circ\text{C}$ e $24,1^\circ\text{C}$,

observando-se um núcleo na região sul do canal, com a temperatura da ordem de 24,1°C.

Na distribuição horizontal de salinidade próxima à superfície, observa-se que na parte norte do CSS os valores são ligeiramente superiores que nas demais regiões, alcançando o valor de 33,8 (Figura 4.8) enquanto que, no fundo, as porções sul e norte do canal de navegação apresentam os maiores valores, que variam entre 33,8 e 34,0, respectivamente (Figura 4.9). Nas adjacências da costa continental, entre a extremidade sul e o centro do CSS, a salinidade apresenta os menores valores, da ordem de 33,2, nas proximidades da superfície e do fundo.

A estrutura horizontal campo de massa no nível de 3 m tem o comportamento semelhante à salinidade, apresentando valores pouco maiores na porção norte do CSS, com a densidade convencional atingindo 22,7 kg m⁻³ (Figura 4.8) e junto ao fundo, os valores são da ordem de 23,0 kg m⁻³ (Figura 4.9), nas regiões sul e norte do canal de navegação. Os menores valores de densidade convencional, entre 22,2 kg m⁻³ e 22,3 kg m⁻³, são observados nas adjacências do continente, entre a extremidade sul e o centro do CSS.

Distribuições Verticais dos Campos Termohalinos e de Massa

As distribuições verticais das propriedades físicas nas radiais *A*, *B*, *C* e *D*, no CSS, são apresentadas nas Figuras 4.10, 4.11, 4.12 e 4.13.

Na distribuição vertical do campo de temperatura, observa-se que em todas as radiais a coluna d'água é praticamente homotérmica, apresentando gradientes térmicos verticais muito pequenos, com valores entre 0,011°C m⁻¹, na radial *B* (Figura 4.11), e 0,020°C m⁻¹, na radial *A* (Figura 4.10).

As estruturas verticais de salinidade apresentam pequena estratificação em todas as radiais. Na radial *A* (Figura 4.10), a salinidade varia entre 33,1, no nível de 3 m, e 34,0, no fundo. Semelhantemente à radial situada mais ao sul do canal, a radial *B* (Figura 4.11), apresenta valores dessa propriedade física entre 33,2, no nível de 3 m, e 34,0, no fundo. Na radial *C* (Figura 4.12), constata-se que há um pequeno incremento do valor da salinidade nas proximidades da superfície, quando comparado com as radiais situadas mais ao sul, e alcança o valor de 33,5, enquanto que, no fundo, atinge 33,9.

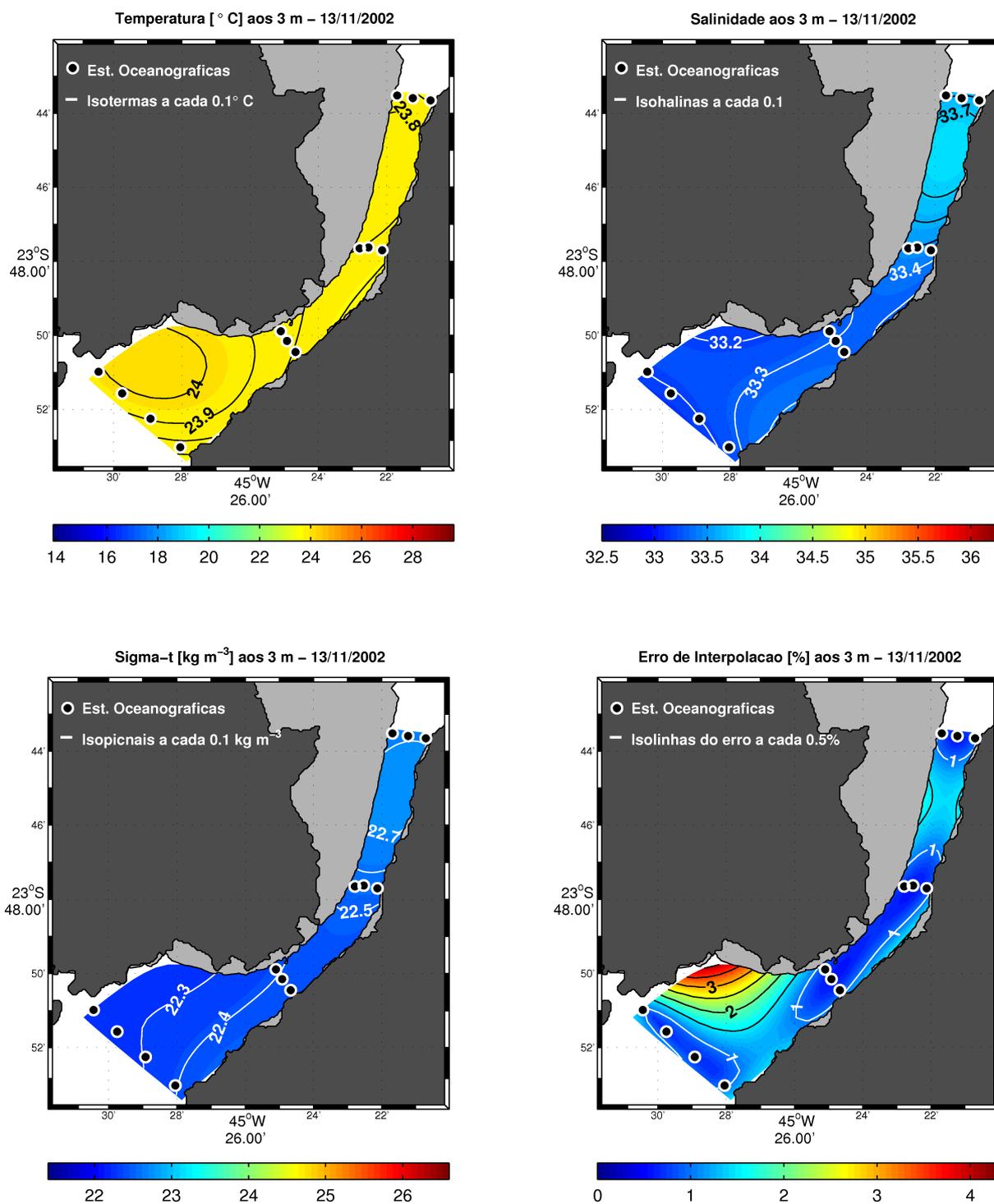


Figura 4.8: Distribuições horizontais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) no nível de 3 m e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 13/11/2002. A máscara cinza representa regiões com profundidades menores que 7 m.

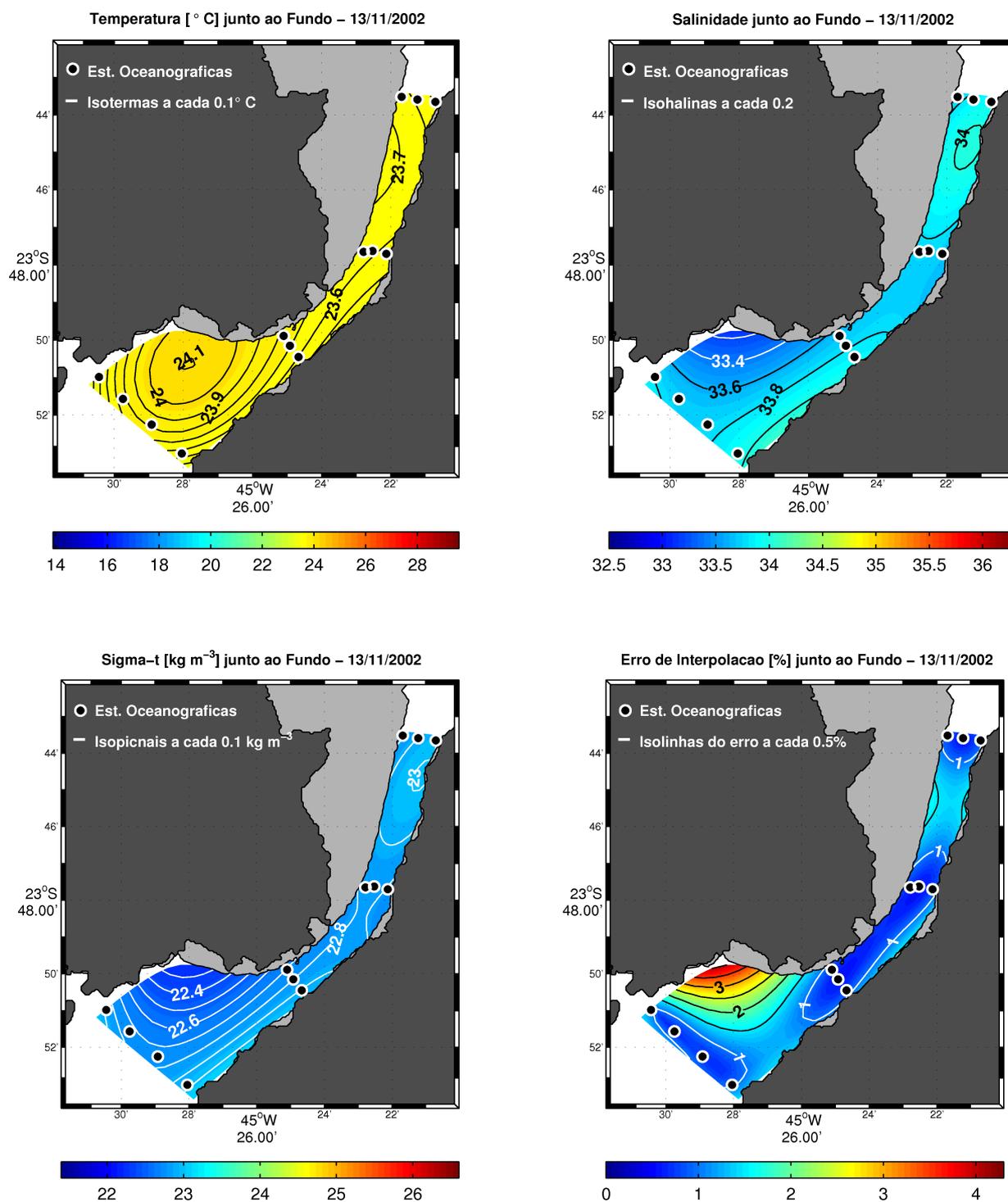


Figura 4.9: Distribuições horizontais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) junto ao fundo e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 13/11/2002. A máscara cinza representa regiões com profundidades menores que 7 m.

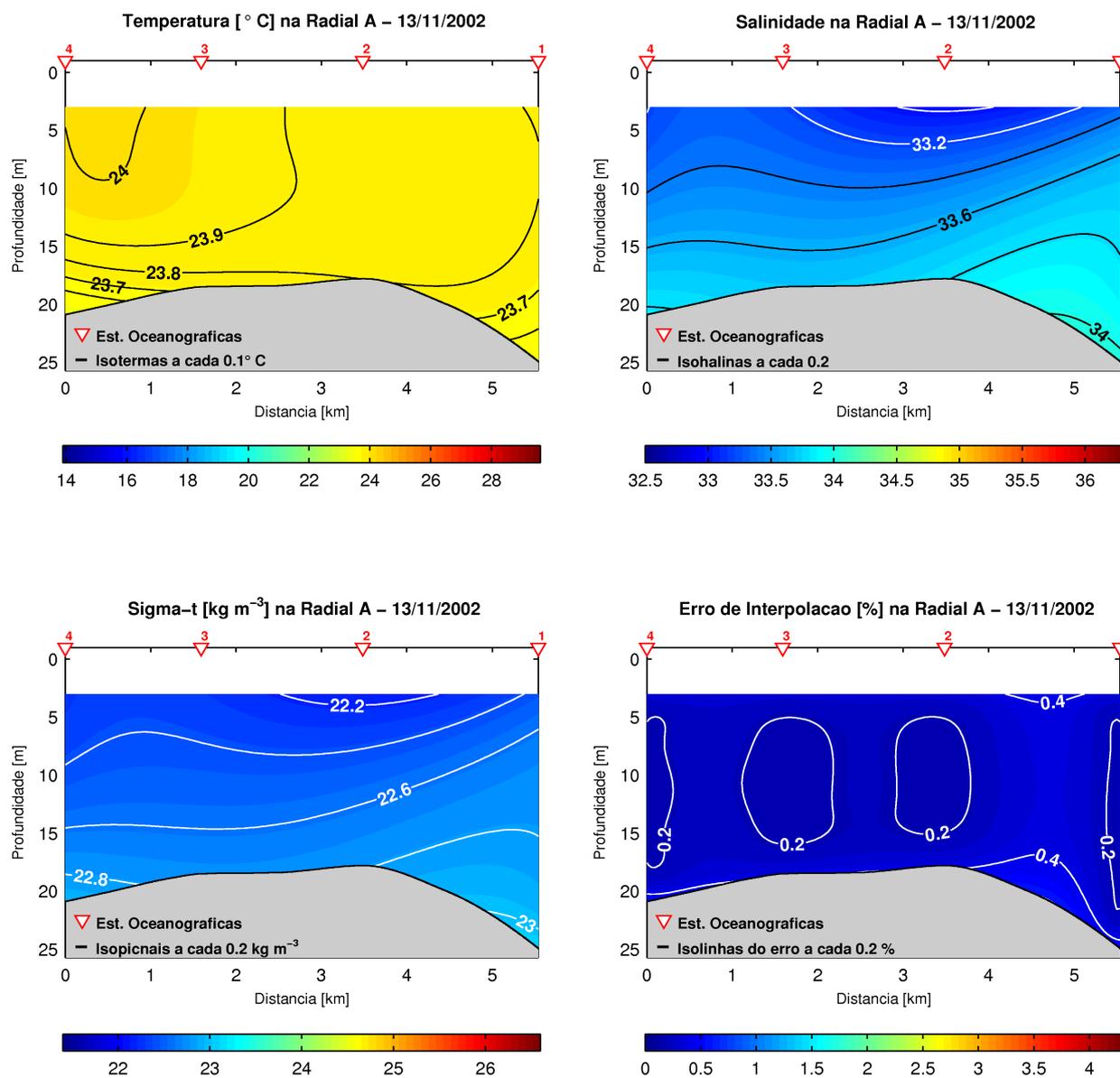


Figura 4.10: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. eq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. eq.) na radial A e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 13/11/2002.

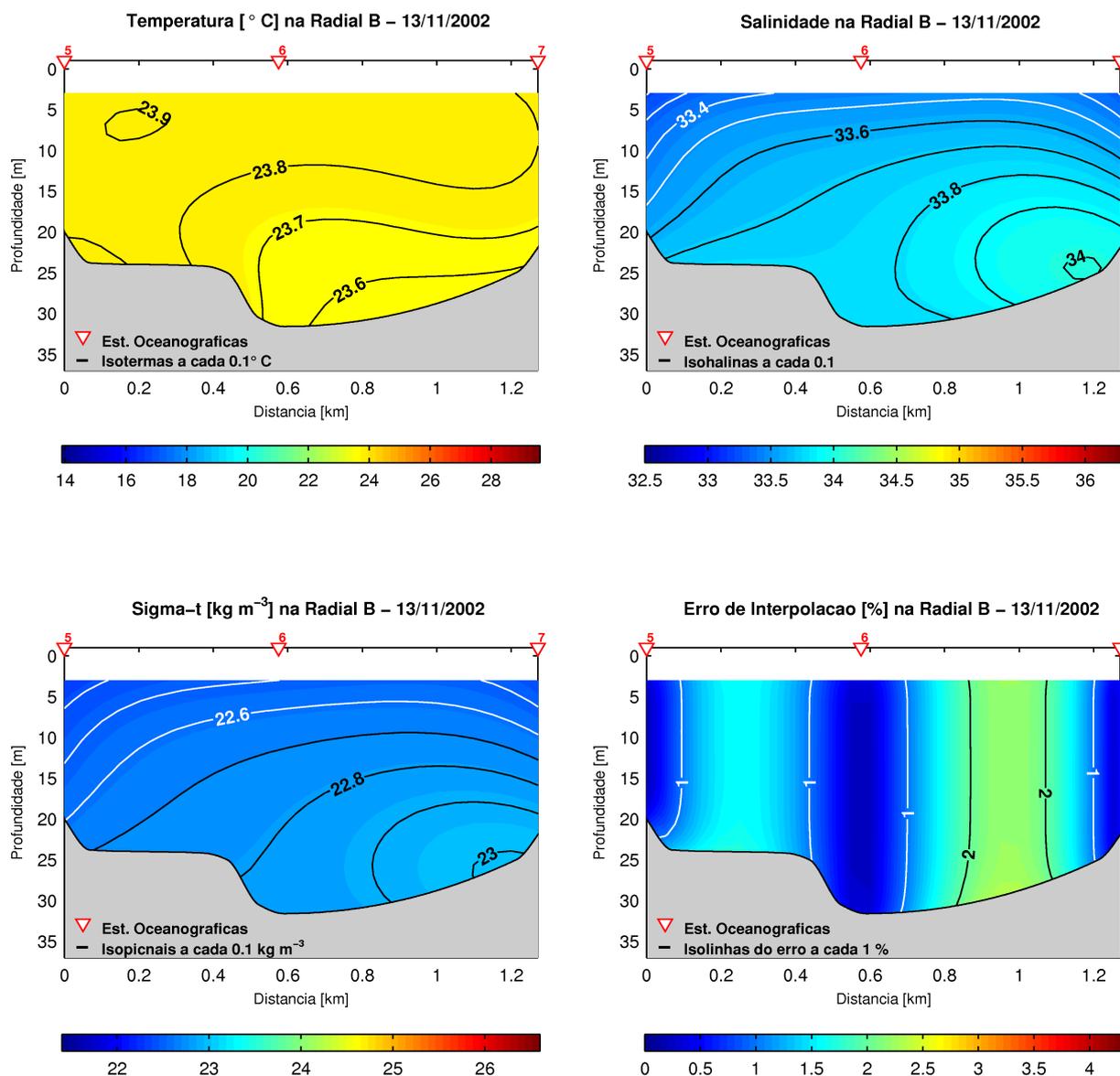


Figura 4.11: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial B e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 13/11/2002.

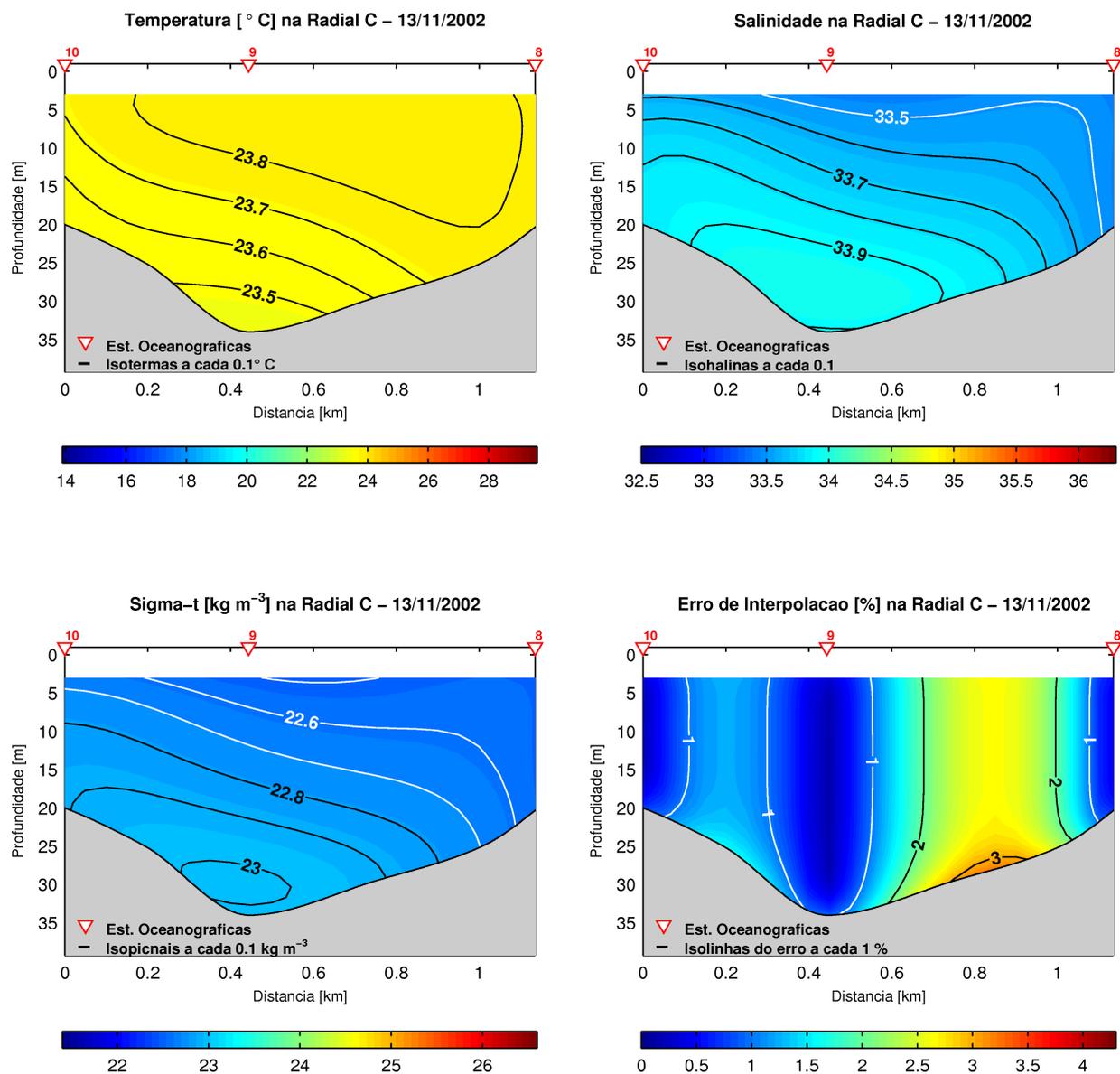


Figura 4.12: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial *C* e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 13/11/2002.

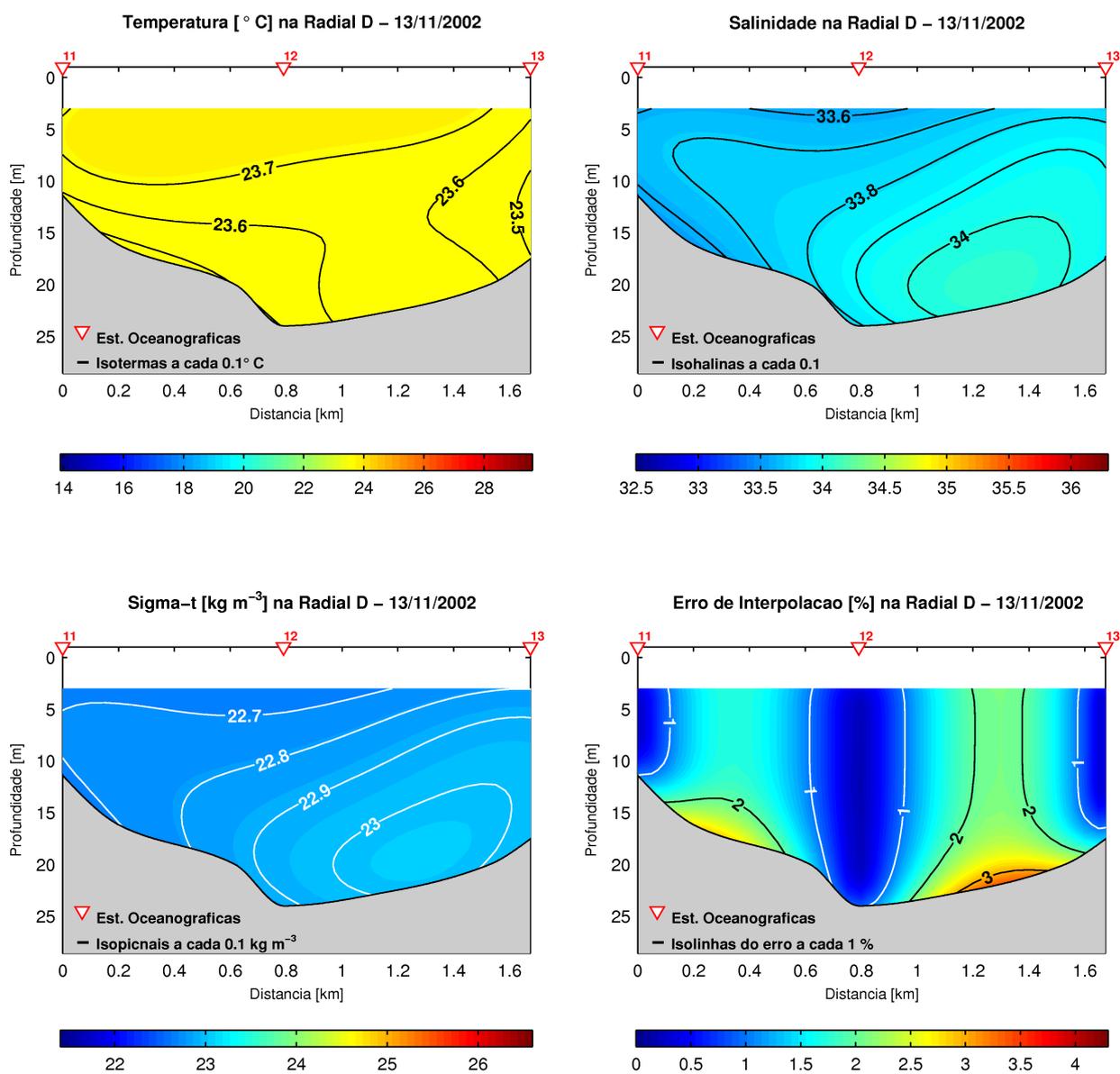


Figura 4.13: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial *D* e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 13/11/2002.

Na radial localizada na extremidade norte do CSS (Figura 4.13), a salinidade alcança, em relação às demais radiais, os maiores valores observados nas proximidades da superfície, e varia entre 33,6 e 33,8. No fundo dessa mesma radial constata-se que a salinidade pode alcançar o valor de 34,0.

A estratificação de massa é pequena em todas as seções verticais e semelhante à configuração da salinidade. A densidade convencional varia entre $22,2 \text{ kg m}^{-3}$, junto à superfície, e $23,0 \text{ kg m}^{-3}$, nas proximidades do fundo, na radial *A* (Figura 4.10). Na radial *B* (Figura 4.11), a densidade convencional tem valores entre $22,4 \text{ kg m}^{-3}$, nas proximidades da superfície, e $23,0 \text{ kg m}^{-3}$, no fundo. Mais ao norte, na radial *C* (Figura 4.12), verificam-se valores entre $22,5 \text{ kg m}^{-3}$, no nível de 3 m, e $23,0 \text{ kg m}^{-3}$, no fundo, enquanto que na extremidade norte do CSS, na radial *D* (Figura 4.13), a densidade convencional apresenta, da mesma forma que a salinidade, os maiores valores aos 3 m de profundidade, atingindo $22,8 \text{ kg m}^{-3}$, nas adjacências da margem insular e, no fundo dessa radial, observa-se que a densidade convencional alcança o valor de $23,0 \text{ kg m}^{-3}$.

4.2.3 Cruzeiro de 22/03/2006

Distribuições Horizontais dos Campos Termohalinos e de Massa

As distribuições horizontais de temperatura, salinidade e densidade convencional no CSS, nas proximidades da superfície e do fundo, para esse cruzeiro oceanográfico realizado no outono de 2006, são mostradas nas Figuras 4.14 e 4.15, respectivamente. De forma distinta em relação aos demais cruzeiros oceanográficos que constituem este trabalho, para o dia 22/03/2006 há uma radial a mais, denominada de radial *F*, onde foram realizadas as estações oceanográficas de número 14, 15 e 16, situadas entre as radiais *A* e *B*, e podem ser observadas nas figuras supracitadas. A realização dessas estações proporcionou os menores valores para os erros de interpolação nas distribuições horizontais das propriedades físicas estudadas.

O campo de temperatura no nível de 3 m apresenta valores que variam entre $28,0^\circ\text{C}$, na porção norte do CSS, junto à margem insular, e $29,4^\circ\text{C}$, no centro do canal, próximo à ISS (Figura 4.14). No fundo, constata-se que os valores de temperatura oscilam entre $22,0^\circ\text{C}$ e $27,0^\circ\text{C}$ (Figura 4.15) e ocorre um forte gradiente térmico horizontal transversal

à costa, na porção sul do CSS, da ordem de $0,65^{\circ}\text{C km}^{-1}$, com acréscimo da temperatura em direção ao continente. Apesar de as temperaturas superficiais das águas apresentarem valores relativamente elevados ao longo de todo canal, não se pode indicar a presença da AT nessa região, em virtude de os valores de salinidade serem menores que 36,4, de acordo com o índice termohalino dessa massa de água recomendado por *Miranda* [1982].

A variação espacial da salinidade aos 3 m de profundidade apresenta-se pequena, com valor mínimo de 34,4, nas cercanias das estações oceanográficas 01, 04, 05 e 13, e valor máximo de 34,7, no centro do canal, próximo à margem insular (Figura 4.14), indicando que nessa profundidade as águas apresentam um caráter quase-isohalino. Em relação à distribuição da salinidade junto ao fundo, constata-se que oscila entre 34,5, próximo à nova estação oceanográfica, de número 16, localizada junto à costa continental, e 35,6, na extremidade sul do canal de navegação (Figura 4.15) e há ocorrência, na região sul do canal, de um elevado gradiente de salinidade horizontal radial à costa, com valor em torno de $0,19 \text{ km}^{-1}$, com decréscimo do valor da salinidade em direção ao continente.

A estrutura horizontal de massa aos 3 m de profundidade apresenta o mesmo comportamento da salinidade, com uma variação espacial pequena, apresentando valores de densidade convencional entre $21,7 \text{ kg m}^{-3}$ e $22,0 \text{ kg m}^{-3}$ (Figura 4.14). Nas proximidades do fundo, observa-se também uma grande semelhança entre as distribuições de densidade convencional e de salinidade, e o intervalo de variação está entre $22,2 \text{ kg m}^{-3}$ e $24,7 \text{ kg m}^{-3}$ (Figura 4.15), estando localizados esses valores mínimo e máximo nas mesmas regiões descritas para a salinidade junto ao fundo. Da mesma forma que a temperatura e a salinidade, ocorre, no fundo da região sul do CSS um forte gradiente de densidade convencional transversal à costa, da ordem de $0,16 \text{ kg m}^{-3} \text{ km}^{-1}$.

Distribuições Verticais dos Campos Termohalinos e de Massa

Conforme mencionado anteriormente, este cruzeiro apresenta uma trajetória a mais, denominada de radial F , onde foram realizadas as estações oceanográficas de número 14, 15 e 16, e proporcionou a obtenção de mais uma seção vertical para os

campos termohalinos e de massa. Por outro lado, em virtude de somente terem sido obtidos valores muito próximos à superfície dessas propriedades físicas na estação de número 13, gerando erros de interpolação maiores do que o desejado (acima de 5%) nas proximidades do fundo da radial *D*, esta seção vertical foi descartada neste estudo.

As Figuras 4.16, 4.17, 4.18 e 4.19 apresentam as distribuições verticais das propriedades físicas e erros de interpolação nas radiais *A*, *B*, *C* e *F*. Nessas figuras pode-se observar que as estruturas verticais de temperatura apresentam forte estratificação. Os valores dessa propriedade física, na radial *A* (Figura 4.16) variam entre 28,7°C, nas proximidades da superfície, e 22,0°C, no fundo, enquanto que na radial *B* (Figura 4.17) oscilam entre 29,4°C e 21,0°C, no nível de 3 m e no fundo, respectivamente. Na radial *C* (Figura 4.18), a variação da temperatura ocorre entre 29,0°C, nas proximidades da superfície, e 22,0°C, junto ao fundo e na radial *F* (Figura 4.19), que foi acrescentada ao cruzeiro, observa-se também alta estratificação vertical da temperatura, que varia entre 29,2°C, próximo à superfície, e 21,0°C, no fundo. Na distribuição vertical de temperatura constata-se, também, que ocorre uma elevação das isothermas em direção ao continente, nas seções verticais *A* (Figura 4.16), *B* (Figura 4.17) e *F* (Figura 4.19), porém sem intensificação dos gradientes térmicos verticais que, em geral, são da ordem de 0,28°C m⁻¹, nas radiais *A* e *B*, de cerca de 0,20°C m⁻¹, na radial *C* e da ordem de 0,35°C m⁻¹, na radial *F*.

As estruturas verticais de salinidade apresentam, em geral, uma complexidade maior, não se comportando como as demais propriedades físicas, porém verifica-se que têm uma estratificação razoável, com valores que oscilam entre 34,4, aos 3 m de profundidade, e 35,5, junto ao fundo, na radial *A* (Figura 4.16), enquanto que na radial *B* (Figura 4.17), varia de 34,4, nas proximidades da superfície, e 36,0, no fundo. Na radial *C* (Figura 4.18), essa propriedade física tem valores entre 34,5, junto à superfície, e 35,3, nas proximidades do fundo, e na radial *F* (Figura 4.19), constata-se que ocorrem valores de salinidade entre 34,3, próximo à superfície, e 35,5, junto ao fundo.

As distribuições verticais de densidade convencional comportam-se, em geral, como as distribuições de temperatura, em todas as radiais, e apresentam como característica marcante o soerguimento das isopicnais em direção à costa continental, nas radiais *A* (Figura 4.16), *B* (Figura 4.17) e *F* (Figura 4.19).

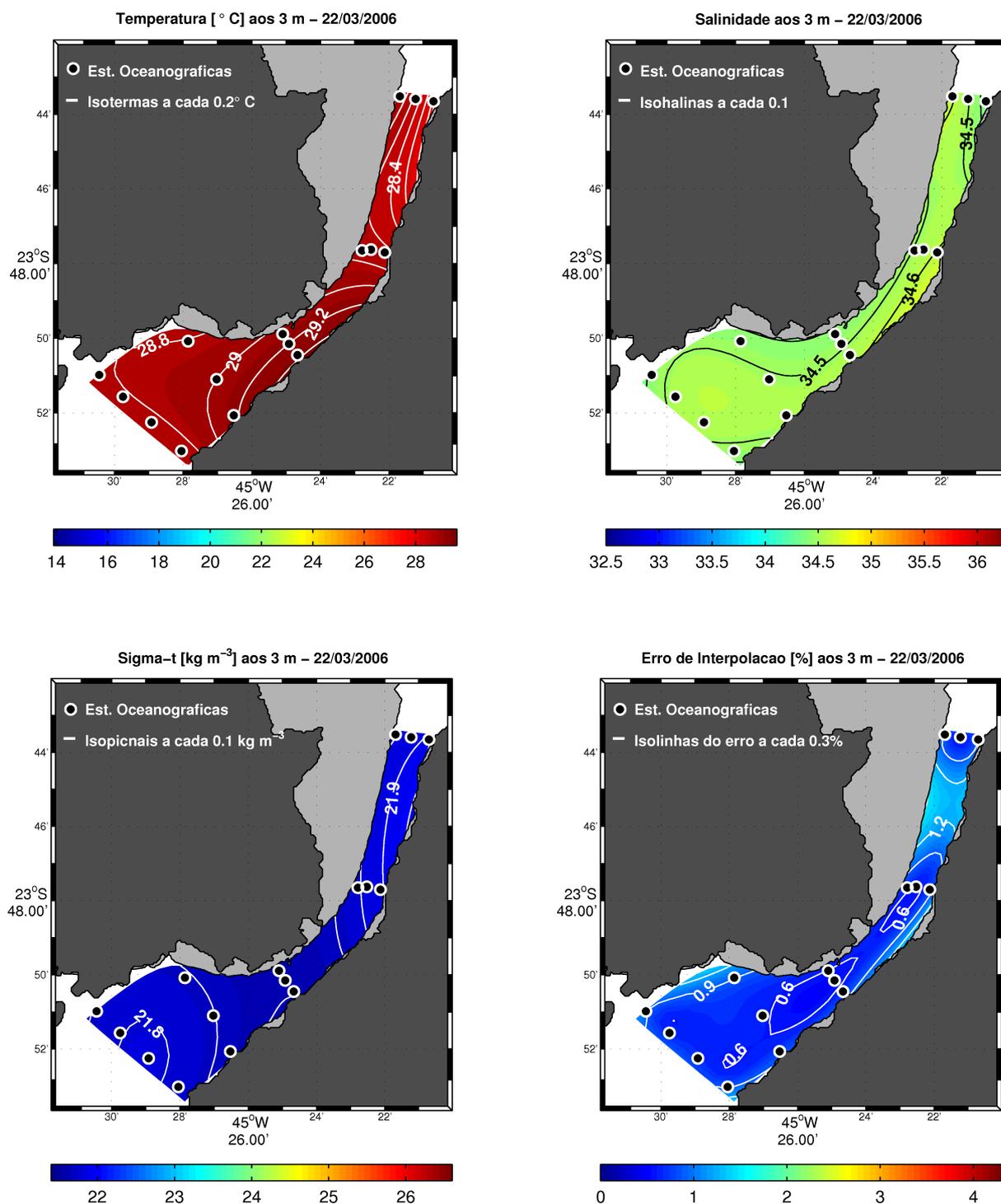


Figura 4.14: Distribuições horizontais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) no nível de 3 m e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 22/03/2006. A máscara cinza representa regiões com profundidades menores que 7 m.

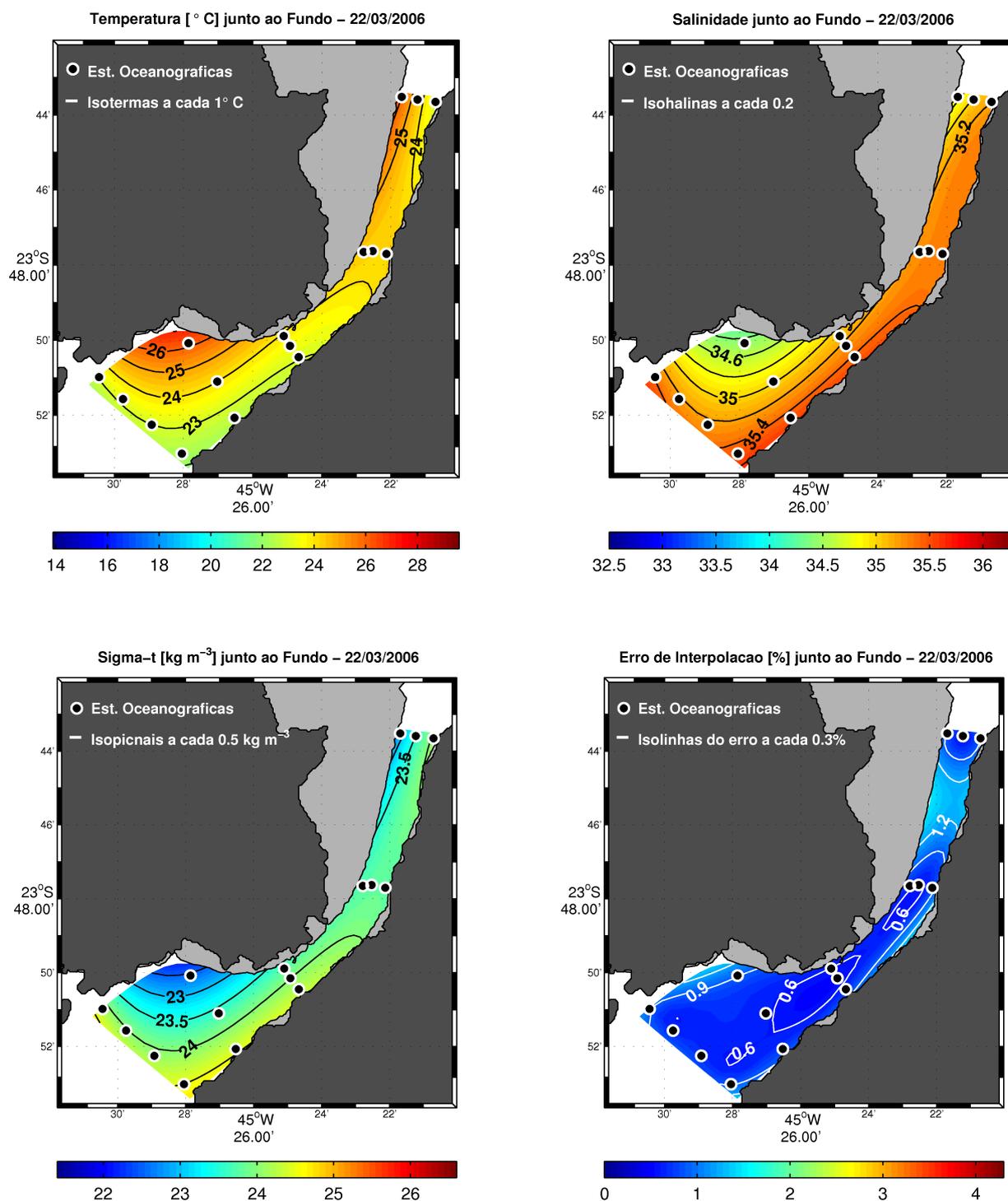


Figura 4.15: Distribuições horizontais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) junto ao fundo e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 22/03/2006. A máscara cinza representa regiões com profundidades menores que 7 m.

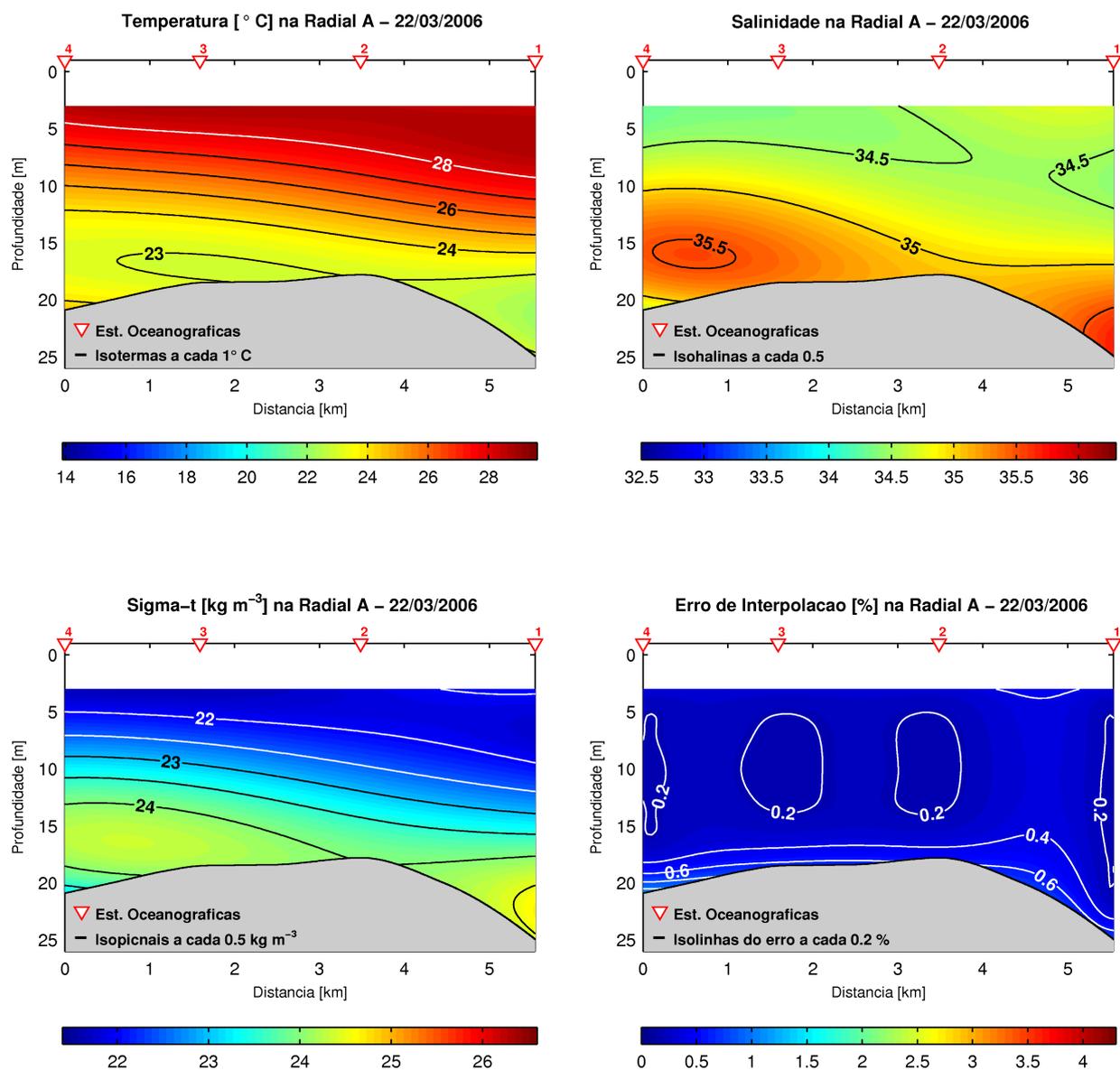


Figura 4.16: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial A e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 22/03/2006.

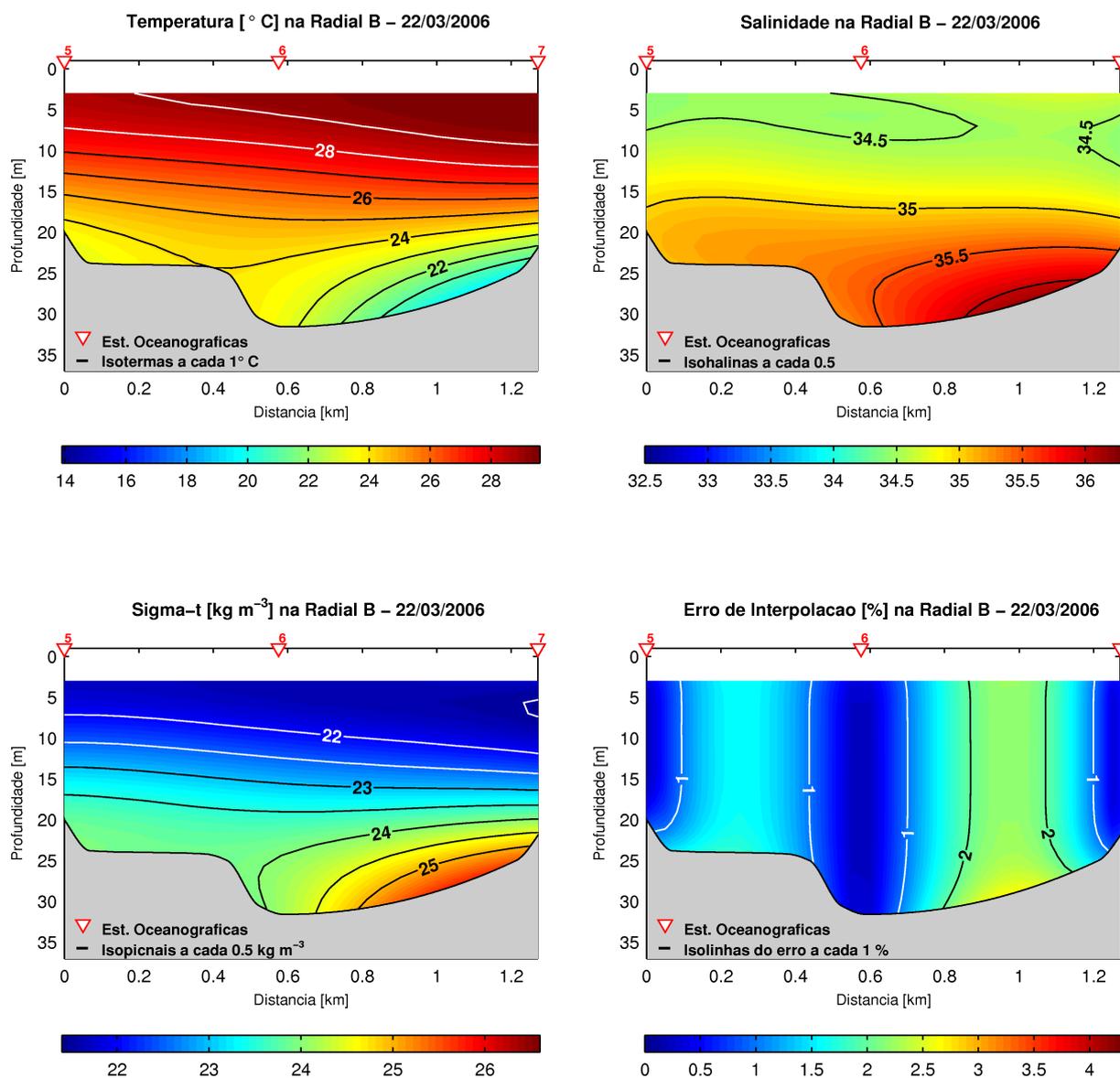


Figura 4.17: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial B e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 22/03/2006.

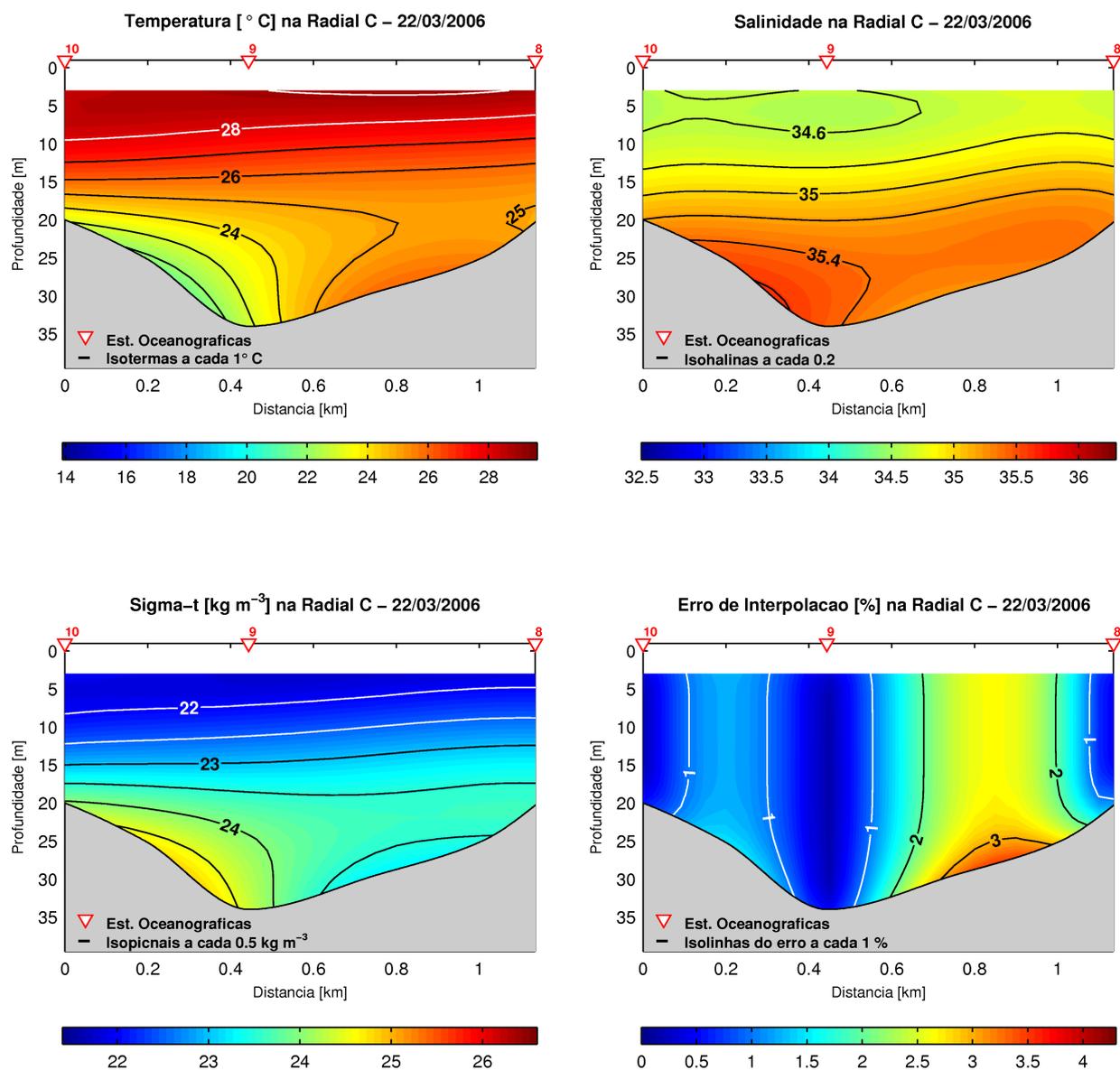


Figura 4.18: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial C e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 22/03/2006.

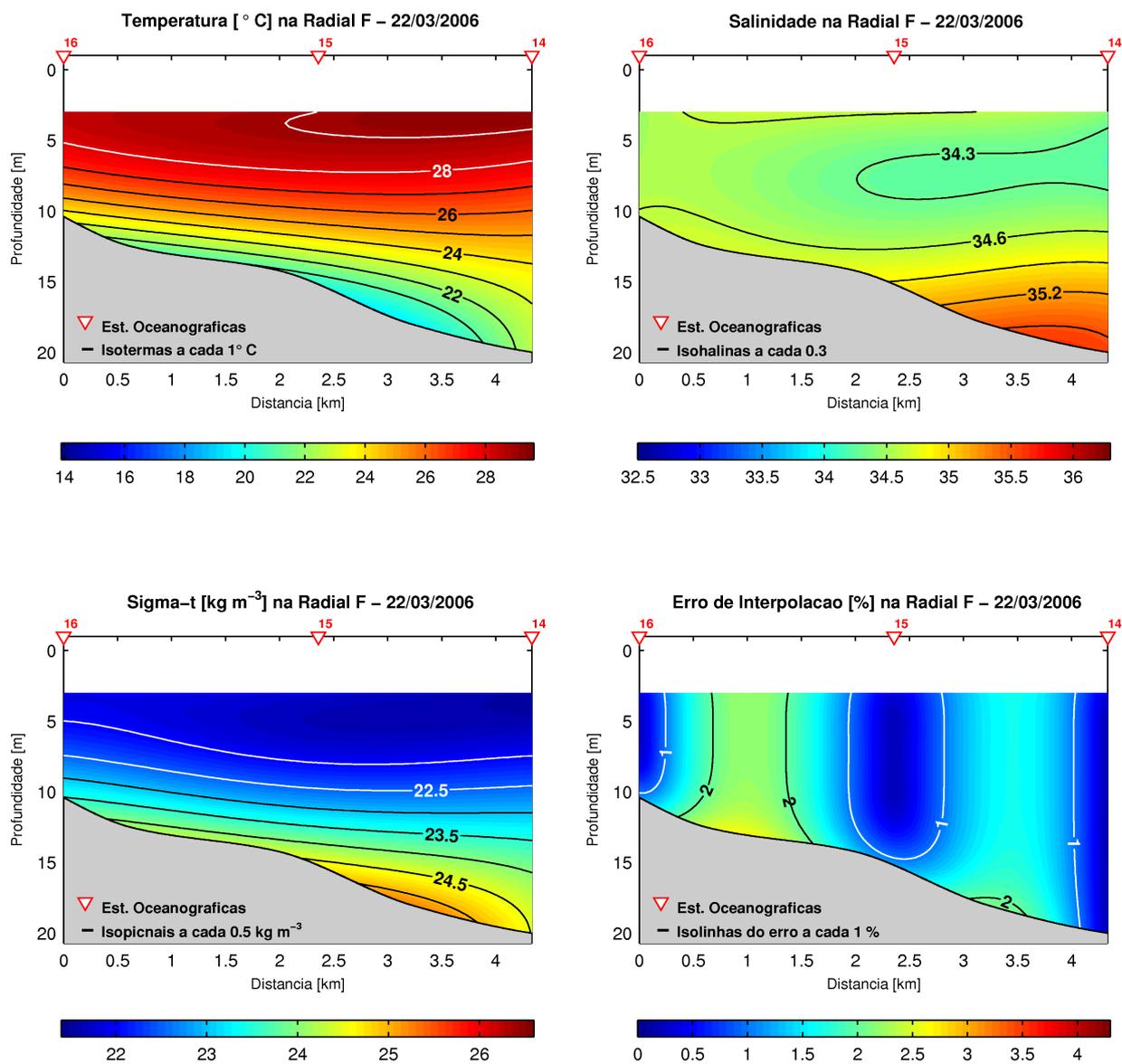


Figura 4.19: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial *F* e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 22/03/2006.

4.2.4 Cruzeiro de 27/07/2006

Distribuições Horizontais dos Campos Termohalinos e de Massa

As distribuições horizontais de temperatura, salinidade e densidade convencional, nesse cruzeiro realizado no inverno de 2006, são mostradas nas Figuras 4.20 e 4.21. Em 27/07/2006, observa-se a inexistência da estação oceanográfica de número 01, na extremidade sul do CSS. A ausência dessa estação é devida à falta de dados nas medições que foram efetuadas nesse local.

Na Figura 4.20 pode ser constatada a pequena variação espacial da estrutura térmica nas proximidades da superfície, com valores de temperatura entre $22,2^{\circ}\text{C}$, na extremidade sul do CSS, e $23,5^{\circ}\text{C}$, na região oeste compreendida entre as radiais *C* e *D*, nas vizinhanças da isóbata de 7 m. Junto ao fundo, essa distribuição também apresenta pequena variação espacial e os valores de temperatura oscilam entre $22,1^{\circ}\text{C}$, ao sul do canal, e $23,1^{\circ}\text{C}$, nas cercanias da estação oceanográfica de número 11, ao norte (Figura 4.21).

A distribuição horizontal de salinidade no nível de 3 m apresenta os maiores valores no norte do CSS, alcançando 35,3, nas vizinhanças da estação 13, enquanto que, na distribuição no fundo, a salinidade chega a atingir 35,3, também ao norte do canal. Na profundidade de 3 m, os menores valores dessa propriedade estão localizados na extremidade sul do CSS e na região central, em sua porção oeste, alcançando 34,2 (Figura 4.20). No fundo, a salinidade é menor na extremidade sul do canal, com valor de 34,6 (Figura 4.21). Na Figura 4.20, observa-se a existência de um núcleo, junto à superfície, com valores da ordem de 34,6, centralizado na região sul do CSS, e na Figura 4.21 pode-se visualizar também um núcleo nas proximidades do fundo, apresentando valores da ordem de 35,2, nessa mesma região.

Quanto à distribuição horizontal do campo de massa, observa-se que apresenta um comportamento parecido com a distribuição horizontal de salinidade e de temperatura, e tem pequena variação espacial. Nas proximidades do fundo a densidade convencional possui valores de $24,0\text{ kg m}^{-3}$, na extremidade sul, e de $24,3\text{ kg m}^{-3}$, na porção norte, próximo à ISS (Figura 4.21). Junto à superfície, os valores dessa propriedade chegam a $23,1\text{ kg m}^{-3}$ na região central, nas adjacências da costa continental, e $24,2\text{ kg m}^{-3}$, próximo à estação 13, no norte do canal (Figura 4.20). Nas proximidades

da superfície e do fundo, podem-se observar a ocorrência de núcleos, centralizados na região sul do canal, com valores de densidade convencional em torno de $23,6 \text{ kg m}^{-3}$ e de $24,2 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente.

Distribuições Verticais dos Campos Termohalinos e de Massa

As distribuições verticais dos campos termohalinos e de massa para esse cruzeiro são mostradas nas Figuras 4.22, 4.23, 4.24 e 4.25 e, como não há registros dos valores das propriedades físicas em estudo na estação oceanográfica de número 01, conforme mencionado anteriormente, obteve-se para a seção vertical *A* (Figura 4.22) os valores dessas propriedades em toda a coluna d'água compreendida entre as estações 02 e 04.

A distribuição vertical de temperatura em todas as radiais apresenta, em geral, como característica principal, o caráter quase-isotérmico de suas águas. Na radial *A* (Figura 4.22), entre as estações 03 e 04, observa-se que a temperatura varia entre aproximadamente $22,8^\circ\text{C}$, na superfície, e $22,3^\circ\text{C}$, no fundo, e apresenta um gradiente de temperatura vertical de cerca de $0,02^\circ\text{C m}^{-1}$. Na radial *B* (Figura 4.23), a temperatura varia de $23,2^\circ\text{C}$, na superfície, a $22,7^\circ\text{C}$, no fundo, e o gradiente térmico vertical é da ordem de $0,01^\circ\text{C m}^{-1}$. A temperatura na superfície e no fundo, no centro da radial *C* (Figura 4.24), é de aproximadamente $23,2^\circ\text{C}$ e $22,8^\circ\text{C}$, respectivamente, e o gradiente térmico vertical é de $0,01^\circ\text{C m}^{-1}$ no centro da radial e pode chegar a $0,02^\circ\text{C m}^{-1}$ nas adjacências da estação 10. Na radial mais ao norte, que consta na Figura 4.25, observa-se mais uma vez que a temperatura apresenta de forma evidente o seu caráter quase-homotérmico, com gradientes térmicos verticais pouco significativos, da ordem de $10^{-3} \text{ }^\circ\text{C m}^{-1}$ na região situada entre as estações oceanográficas 12 e 13, e gradientes de cerca de $0,018^\circ\text{C m}^{-1}$ entre as estações 11 e 12.

A estrutura vertical de salinidade se comporta de maneira semelhante à temperatura. Na radial *A* (Figura 4.22), os valores da salinidade variam entre 34,5, nas proximidades da superfície, e cerca de 35,0, junto ao fundo. Na radial *B* (Figura 4.23), a variação dos valores de salinidade ocorre entre 34,5, junto à superfície, e 35,3, no fundo.

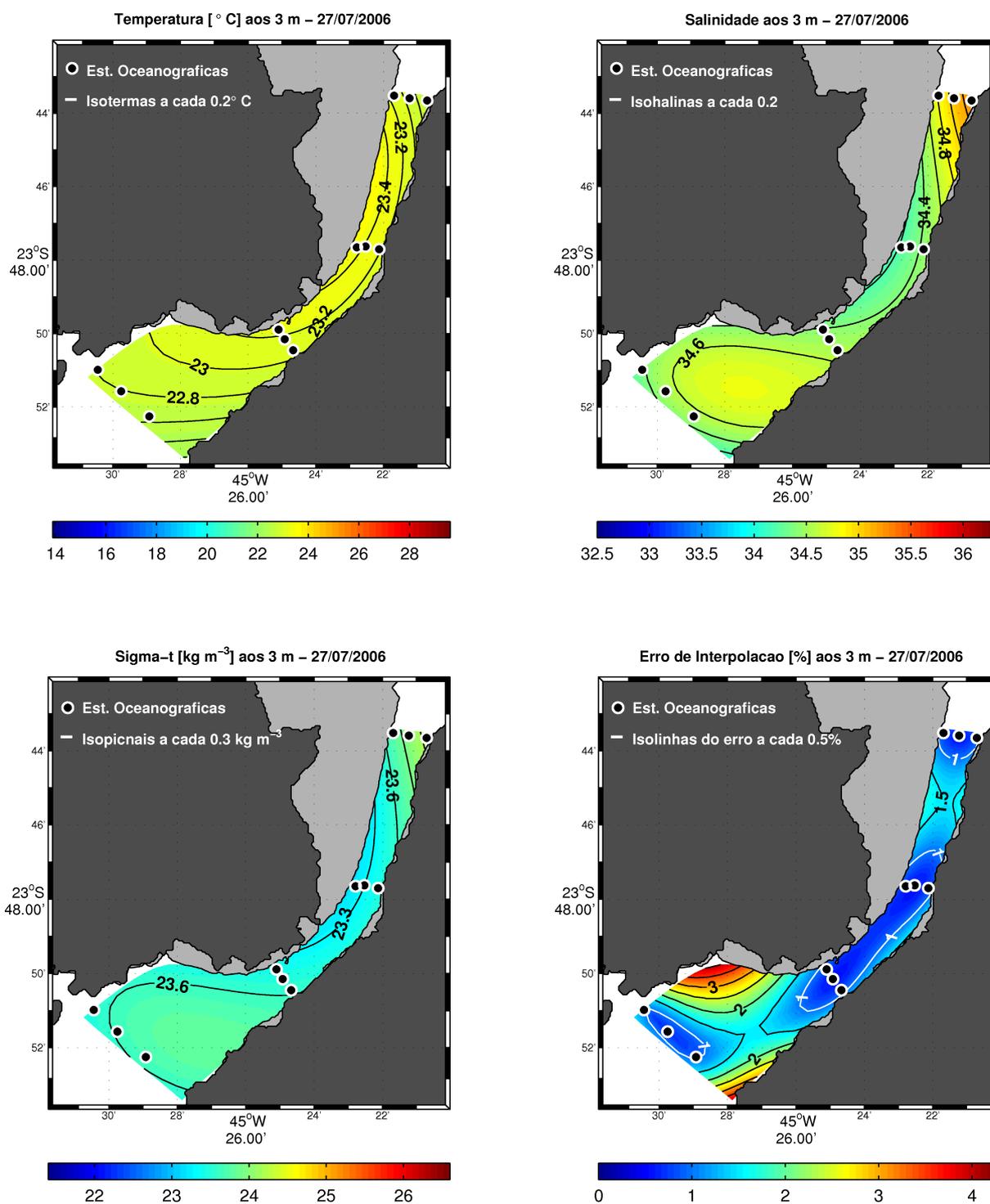


Figura 4.20: Distribuições horizontais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) no nível de 3 m e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 27/07/2006. A máscara cinza representa regiões com profundidades menores que 7 m.

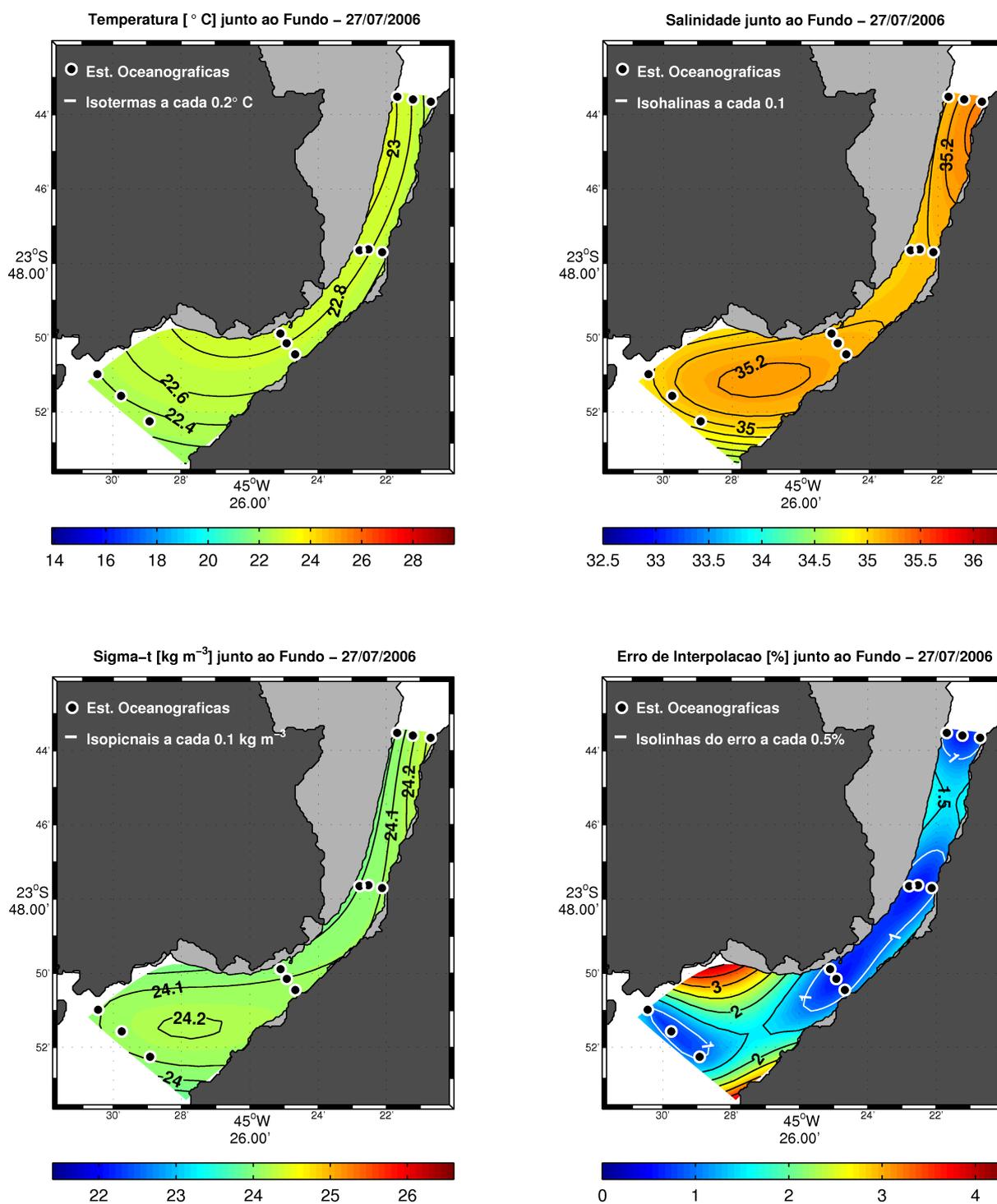


Figura 4.21: Distribuições horizontais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) junto ao fundo e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 27/07/2006. A máscara cinza representa regiões com profundidades menores que 7 m.

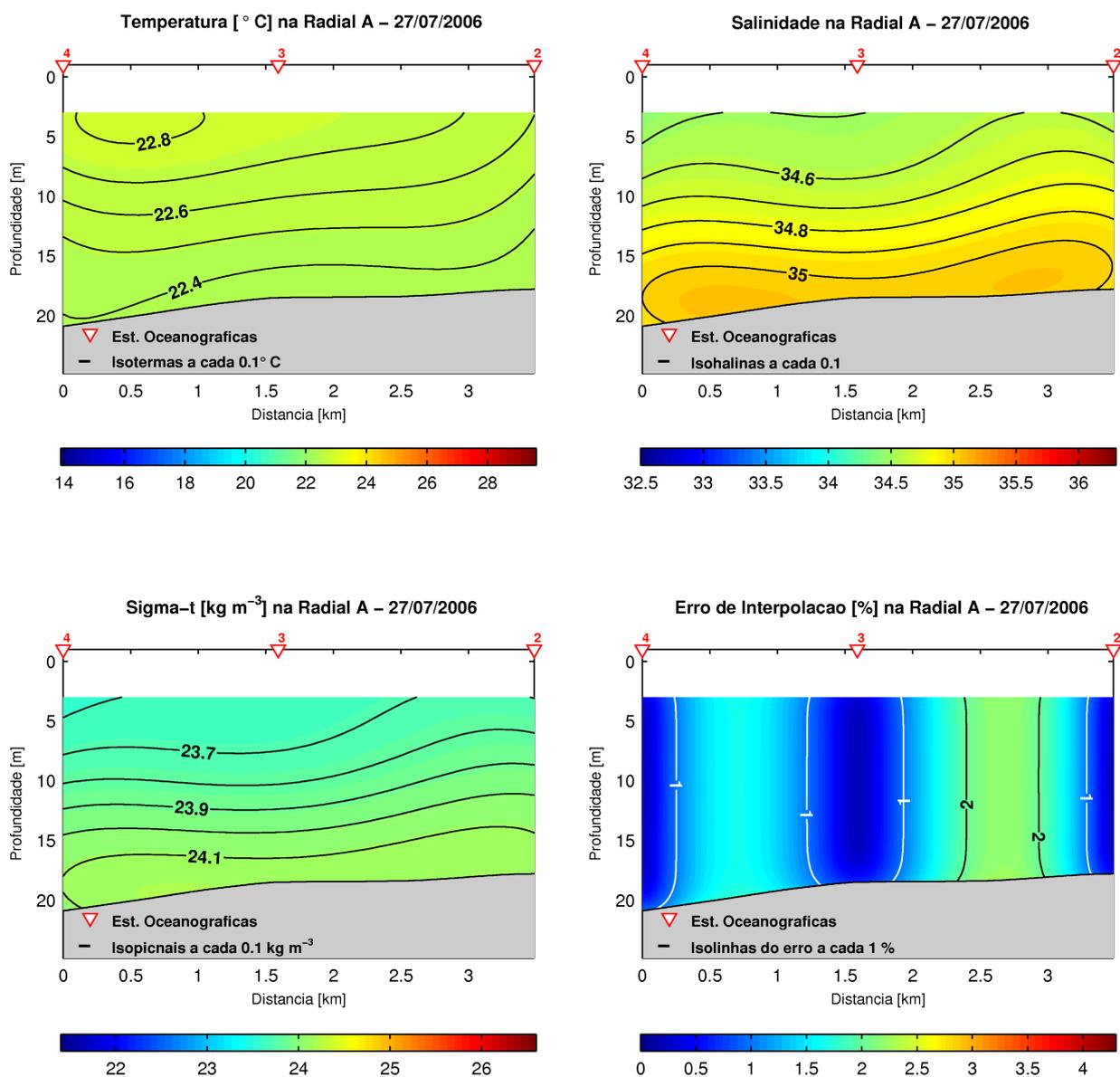


Figura 4.22: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial A e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 27/07/2006.

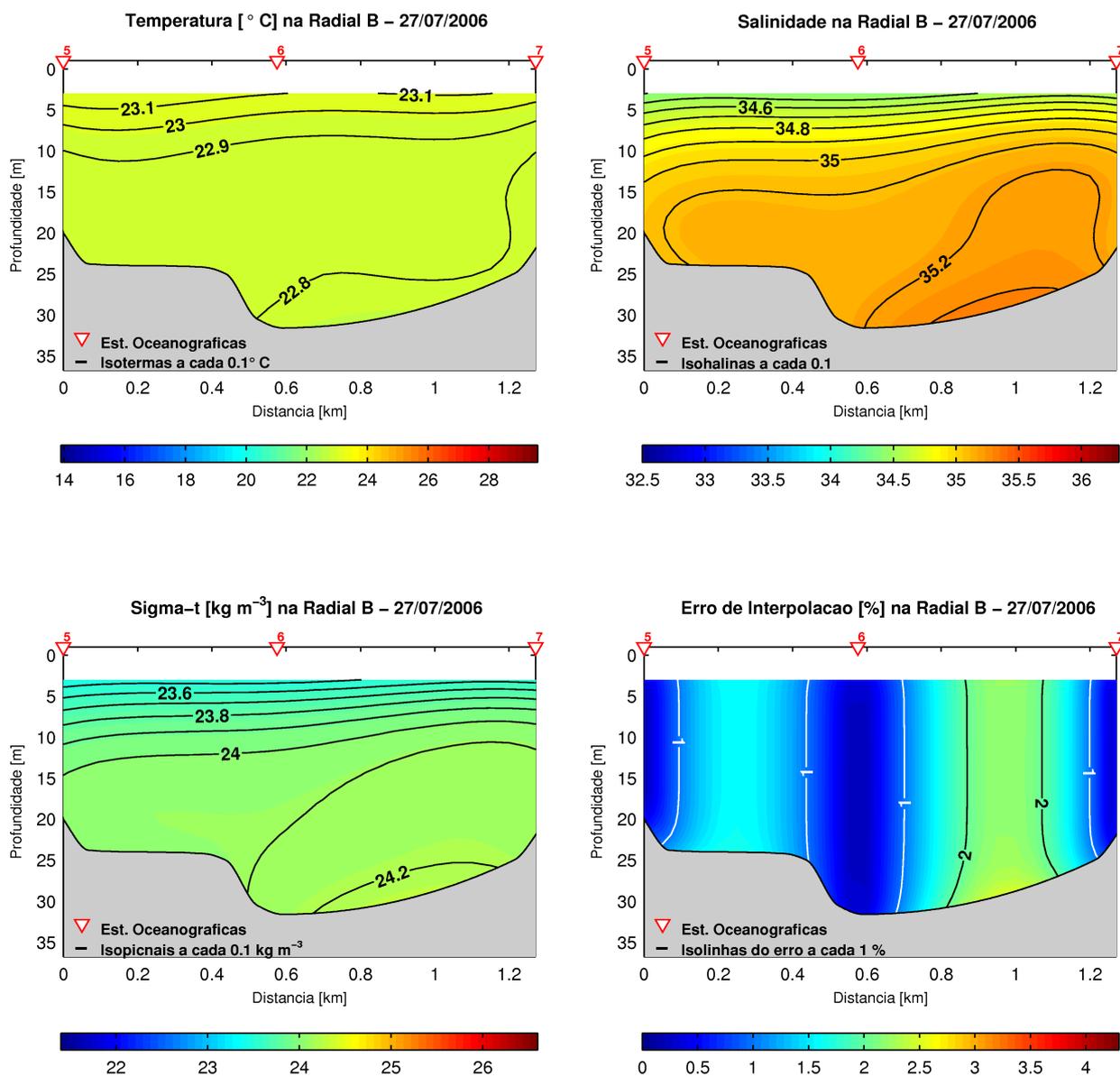


Figura 4.23: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial B e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 27/07/2006.

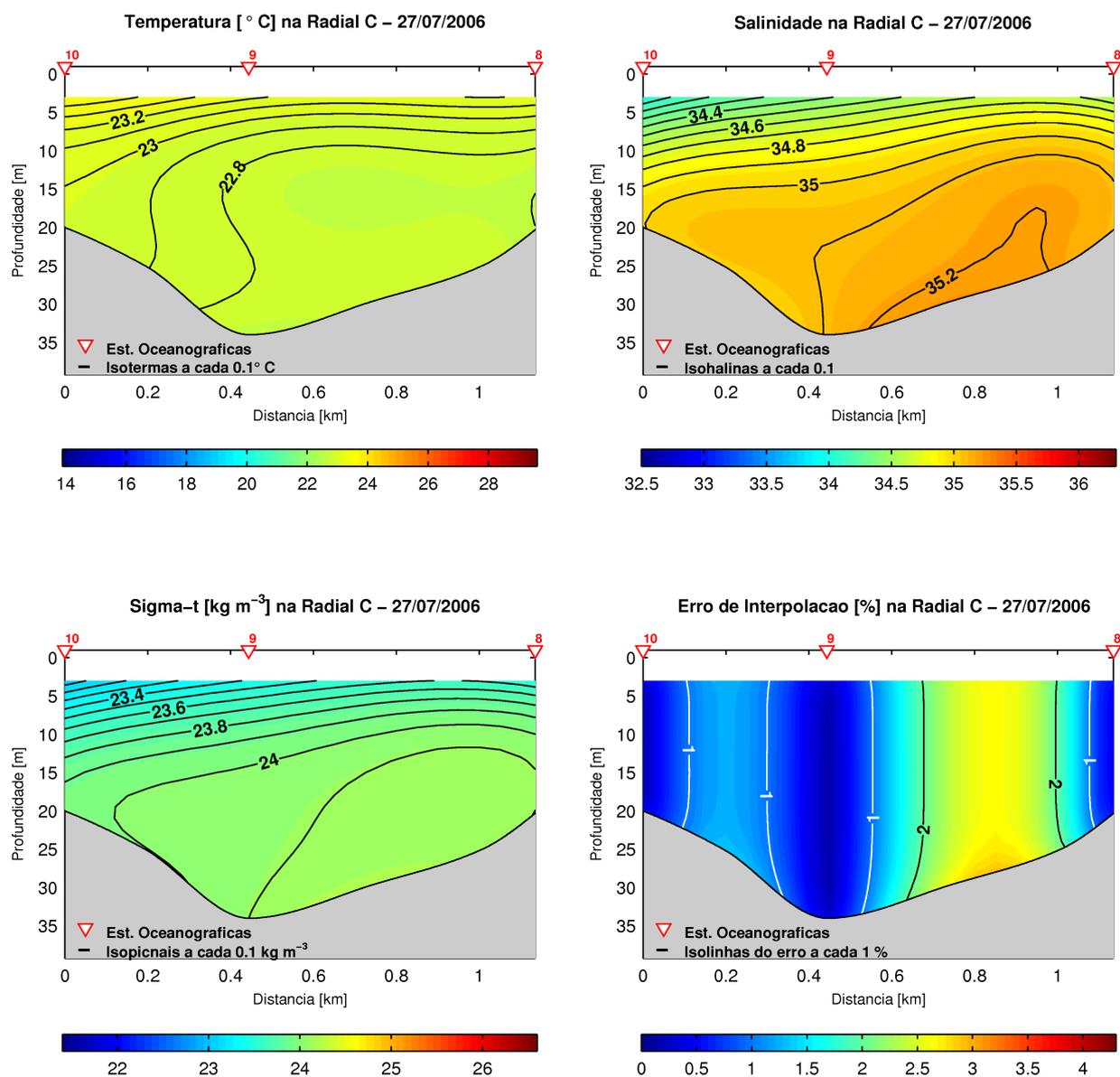


Figura 4.24: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial C e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 27/07/2006.

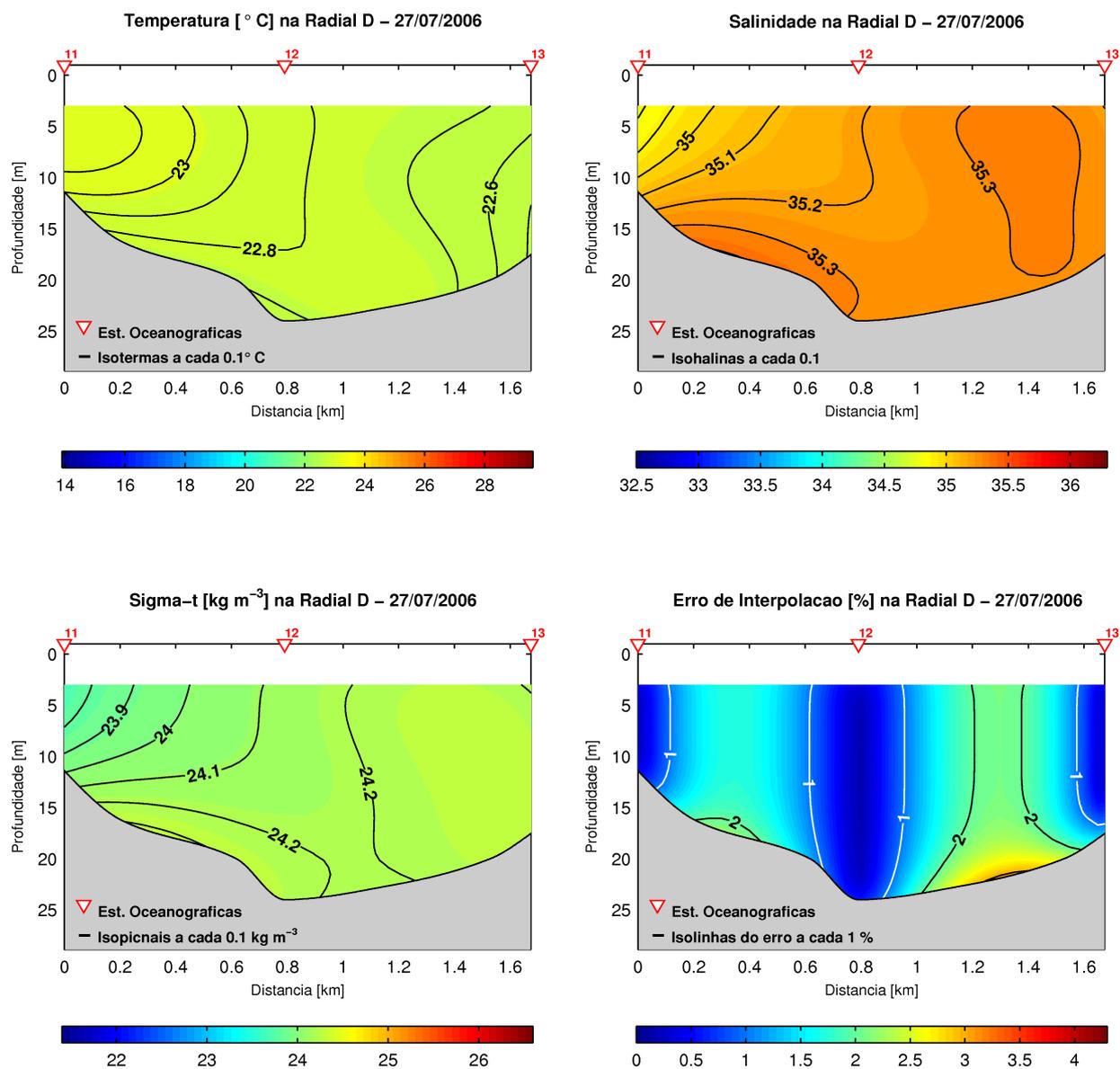


Figura 4.25: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial *D* e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 27/07/2006.

Na radial *C* (Figura 4.24), a salinidade varia entre 34,1, junto à superfície, e 35,2, nas proximidades do fundo. Na radial *D* (Figura 4.25), a salinidade apresenta valores que variam entre 34,8, junto à superfície e nas proximidades da costa continental, e 35,3, no fundo. Em geral, os gradientes de salinidade verticais são da ordem de $0,025 \text{ m}^{-1}$, nas regiões centrais das radiais, e apresentam maior intensificação entre as profundidades de 3 m e 15 m, nas radiais *B* e *C*, onde podem atingir cerca de $0,046 \text{ m}^{-1}$.

A variabilidade espacial de densidade convencional apresenta características semelhantes às encontradas para a temperatura e salinidade, denotando um caráter quase-homogêneo das águas em todas as radiais.

4.2.5 Cruzeiro de 10/10/2006

Distribuições Horizontais dos Campos Termohalinos e de Massa

As estruturas horizontais de temperatura, salinidade e densidade convencional, junto à superfície e ao fundo, para o cruzeiro oceanográfico de 10/10/2006, são mostradas nas Figuras 4.26 e 4.27.

Nas distribuições horizontais de temperatura ao longo do canal observa-se, no nível de 3 m, que essa propriedade apresenta valores mínimos entre $21,8^\circ\text{C}$ e $22,0^\circ\text{C}$, nas proximidades da estação oceanográfica de número 04, e os maiores valores em torno de $23,0^\circ\text{C}$, na região centro-norte do canal (Figura 4.26), enquanto que a distribuição horizontal junto ao fundo é caracterizada por apresentar valores quase-isotérmicos, de cerca de $22,4^\circ\text{C}$ para as águas localizadas entre as radiais *B* e *D* (Figura 4.27). Na região sul do CSS, próximo à superfície, o gradiente térmico horizontal transversal à costa é da ordem de $0,13^\circ\text{C km}^{-1}$, com decréscimo da temperatura em direção ao continente. Ao norte, o gradiente de temperatura horizontal longitudinal à costa apresenta valor da ordem de $0,11^\circ\text{C km}^{-1}$. No fundo, o gradiente térmico horizontal longitudinal, na porção sul do canal, tem valor de cerca de $0,17^\circ\text{C km}^{-1}$, com decréscimo da temperatura em direção ao sul.

A variação espacial da estrutura horizontal de salinidade é pequena, tanto nas proximidades da superfície (Figura 4.26) quanto nas adjacências do fundo (Figura 4.27). Os valores máximos de salinidade, no nível de 3 m, são encontrados na parte norte do canal (cerca de 34,9), junto à margem insular, enquanto que os valores mínimos são

observados na região central do canal e nas cercanias das estações 01 e 04, ao sul (aproximadamente 34,4). Também nas proximidades da superfície, observa-se a existência de um núcleo com salinidade da ordem de 34,7, na porção sul do CSS.

A variabilidade espacial de massa apresenta-se de forma semelhante à variabilidade da salinidade, ou seja, pequena e com a presença de um núcleo, com valores da ordem de $23,9 \text{ kg m}^{-3}$ para a densidade convencional, na parte sul do canal, na profundidade de 3 m. A principal característica da distribuição horizontal do campo de massa é a quase-homogeneidade das águas, nas proximidades da superfície e do fundo, que pode ser constatada nas Figuras 4.26 e 4.27.

Distribuições Verticais dos Campos Termohalinos e de Massa

As distribuições verticais de temperatura, salinidade e densidade convencional, juntamente com os erros de interpolação, são apresentadas nas Figuras 4.28, 4.29, 4.30 e 4.31, onde pode-se observar o caráter quase-homotérmico das águas nas quatro seções verticais. Na radial *A* (Figura 4.28), a temperatura varia entre $21,7^{\circ}\text{C}$ e $22,5^{\circ}\text{C}$, enquanto que na radial *B* (Figura 4.29), os valores estão compreendidos entre $22,3^{\circ}\text{C}$ e $22,6^{\circ}\text{C}$. Nas demais radiais, o intervalo de variação da temperatura também é pequeno e está compreendido entre $22,0^{\circ}\text{C}$ e $23,2^{\circ}\text{C}$, na radial *C* (Figura 4.30), e entre $22,3^{\circ}\text{C}$ e $22,5^{\circ}\text{C}$, na radial *D* (Figura 4.31).

A estrutura vertical de salinidade apresenta um comportamento semelhante à distribuição vertical de temperatura, particularmente, nas radiais *C* e *D*, que constam nas Figuras 4.30 e 4.31, respectivamente. A principal característica dessas distribuições verticais é a pequena variação espacial, com valores entre 34,4 e 35,2.

A distribuição vertical de densidade convencional acompanha a de temperatura e de salinidade e apresenta como característica marcante, também, a sua pequena variação espacial, alcançando o valor mínimo de $23,4 \text{ kg m}^{-3}$ e máximo de $24,4 \text{ kg m}^{-3}$, ambos na radial *C* (Figura 4.30).

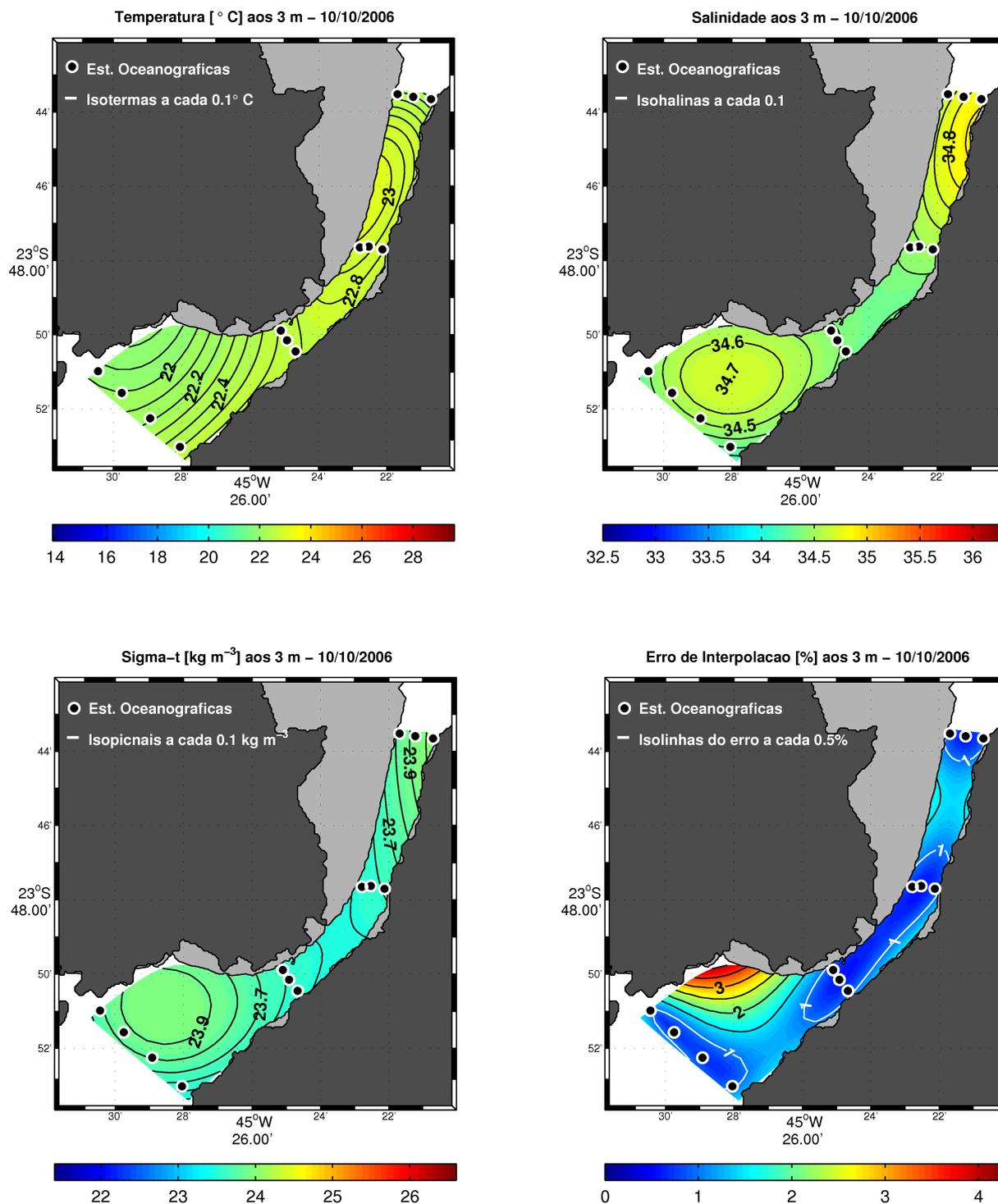


Figura 4.26: Distribuições horizontais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) no nível de 3 m e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 10/10/2006. A máscara cinza representa regiões com profundidades menores que 7 m.

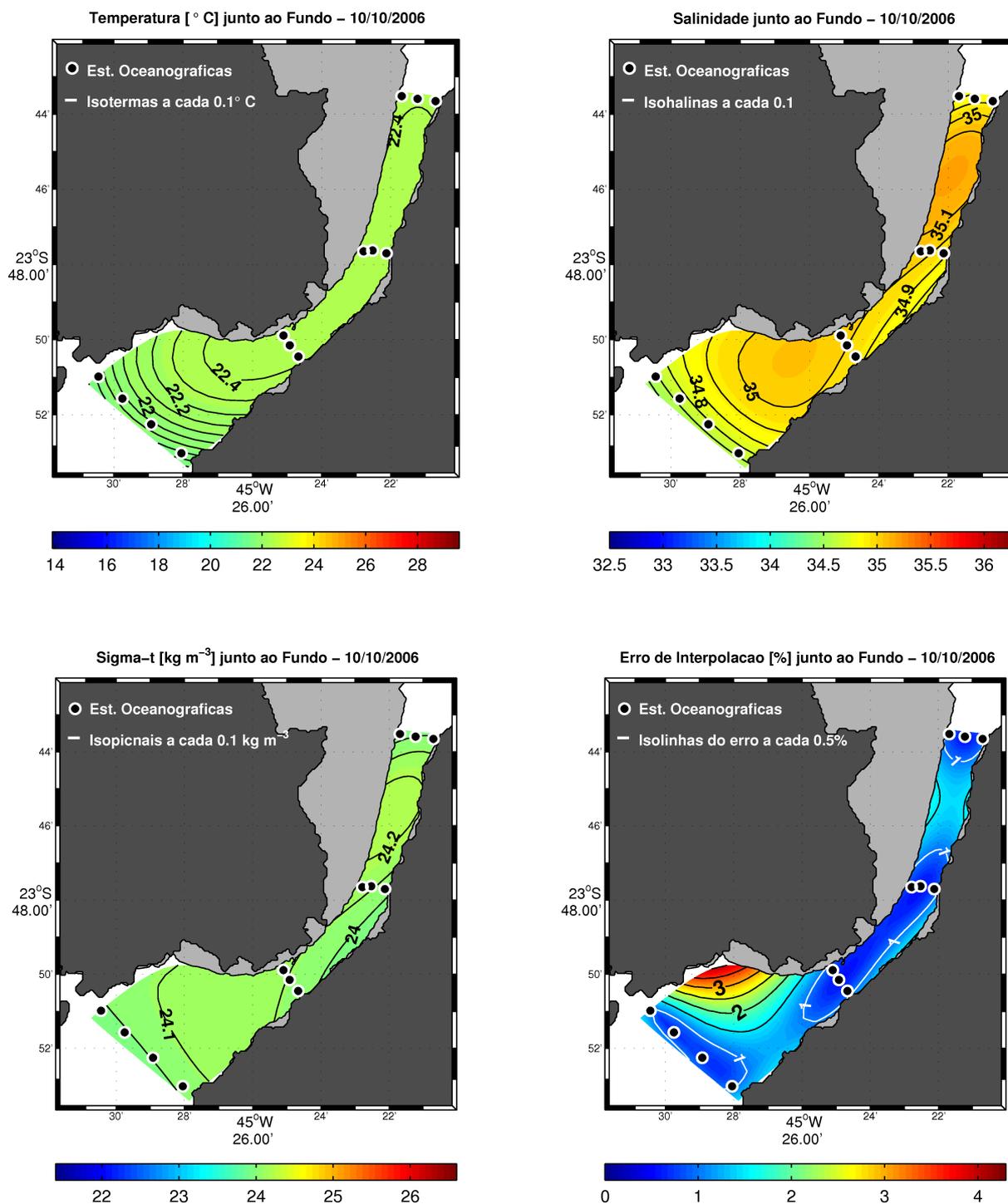


Figura 4.27: Distribuições horizontais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) junto ao fundo e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 10/10/2006. A máscara cinza representa regiões com profundidades menores que 7 m.

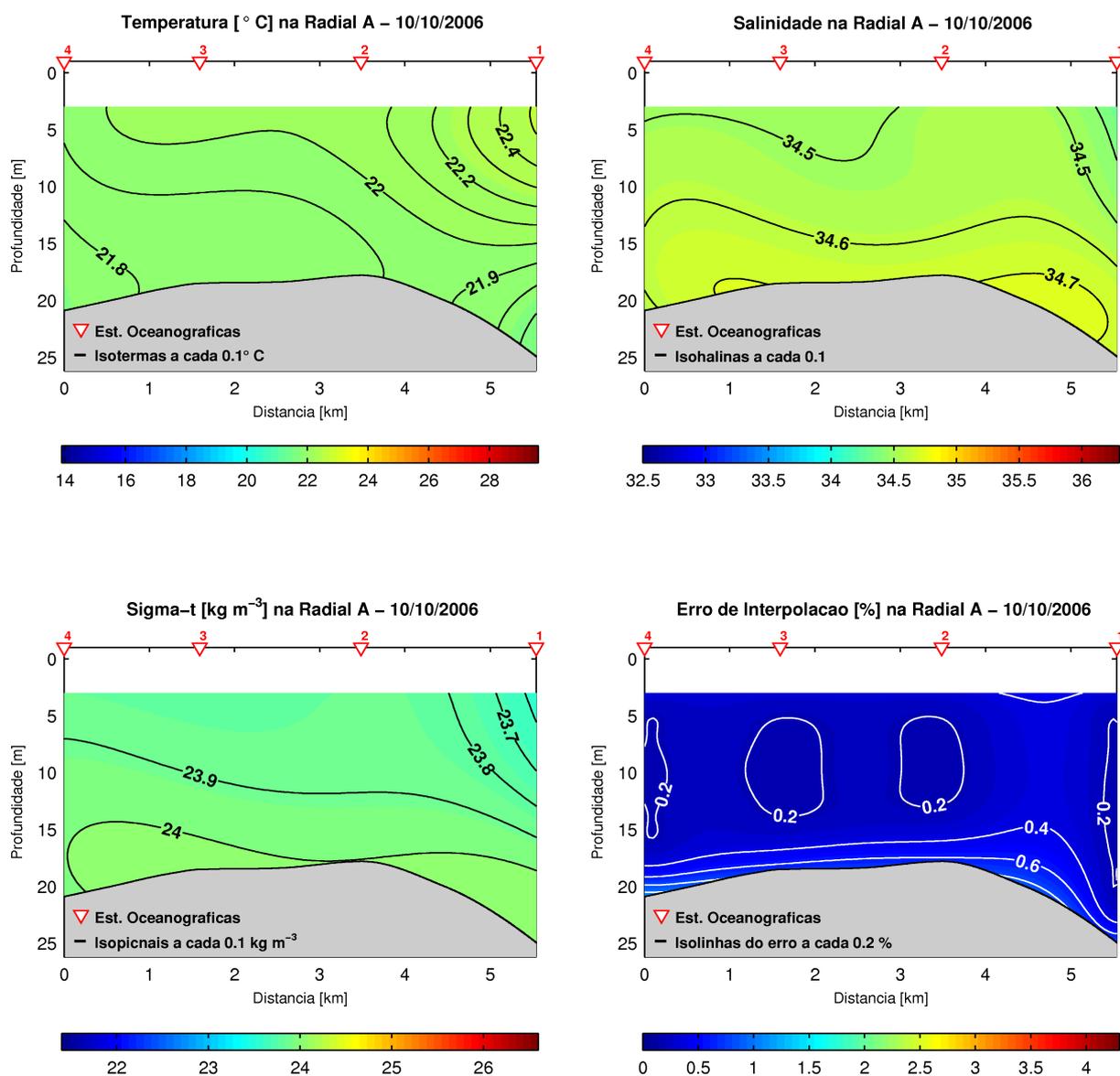


Figura 4.28: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial A e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 10/10/2006.

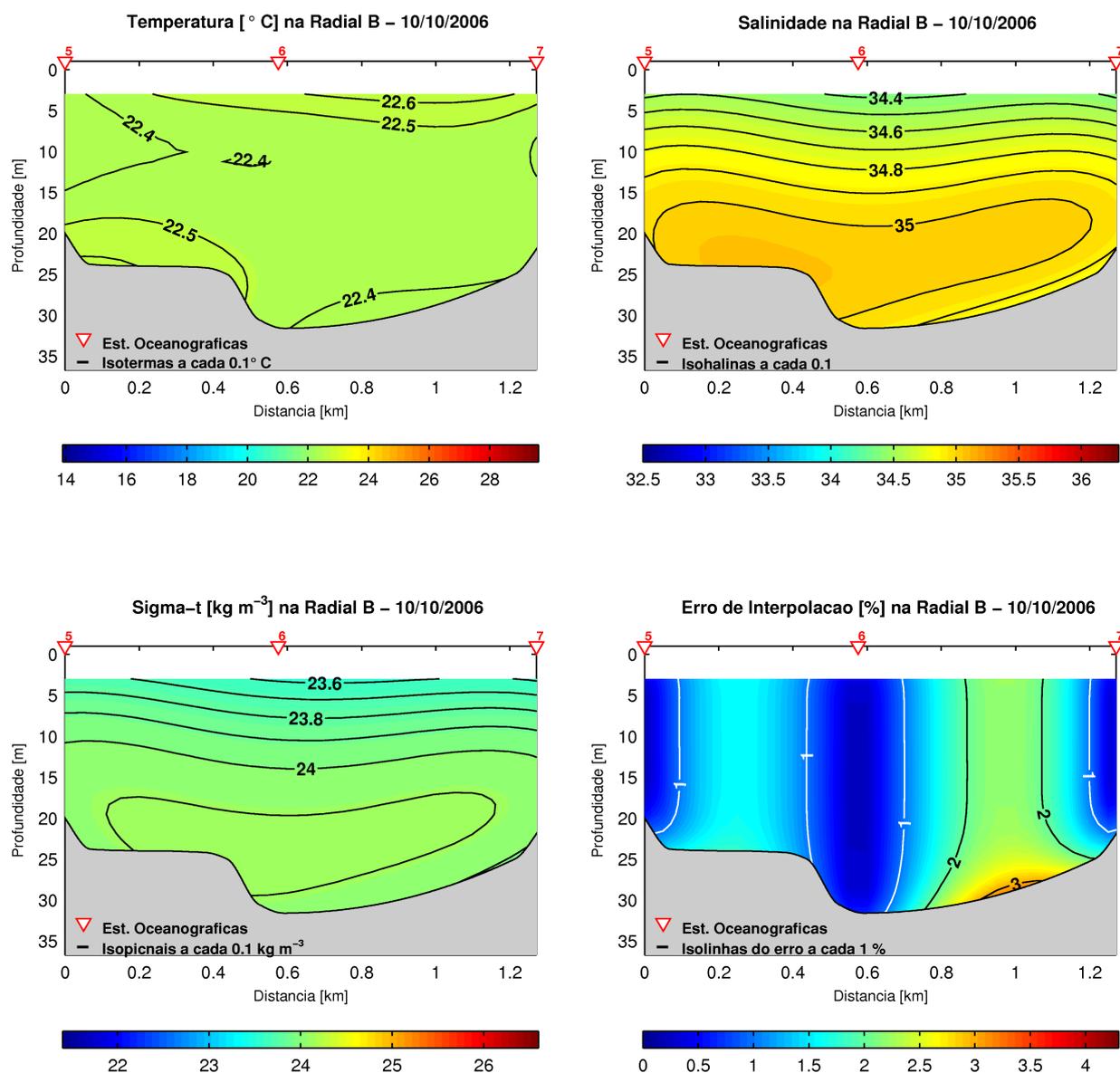


Figura 4.29: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial B e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 10/10/2006.

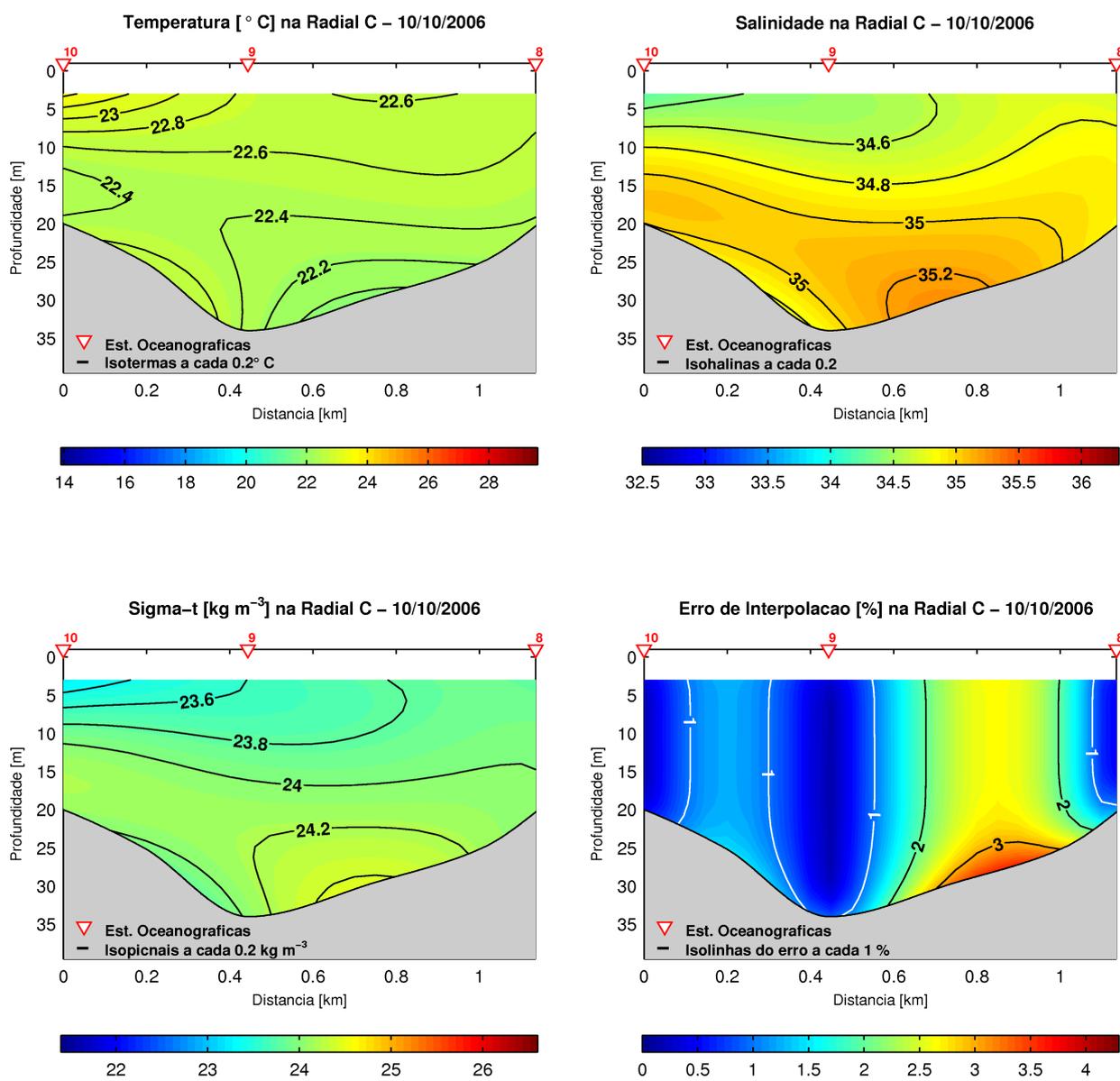


Figura 4.30: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial C e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 10/10/2006.

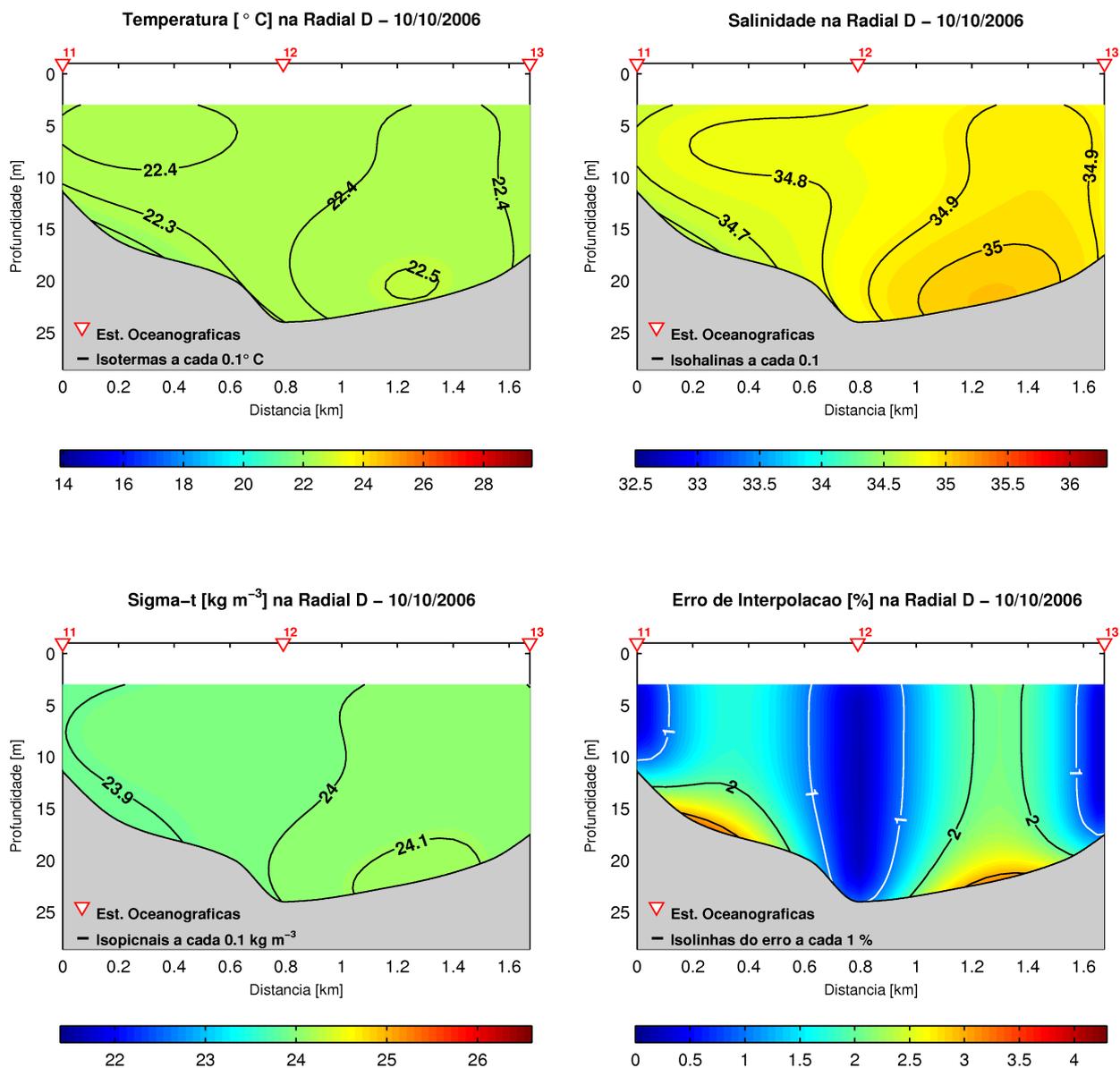


Figura 4.31: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial *D* e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 10/10/2006.

4.2.6 Cruzeiro de 14/12/2006

Distribuições Horizontais dos Campos Termohalinos e de Massa

Para esse cruzeiro oceanográfico realizado no final da primavera de 2006, as distribuições horizontais de temperatura, salinidade e densidade convencional no CSS, nas proximidades da superfície e do fundo, podem ser observadas nas Figuras 4.32 e 4.33.

Nas distribuições horizontais de temperatura (Figuras 4.32 e 4.33) é verificado que há uma variação maior dessa propriedade na região sul do CSS, tanto no nível de 3 m (entre 20°C e 23°C), quanto no fundo (entre 15°C e 19°C), quando comparado com a porção centro-norte do canal, onde as temperaturas variam de 19°C a 21°C no fundo e de 23°C a 24°C, aos 3 m. Como reflexo da grande variação de temperatura aos 3 m, na região sul do canal, observa-se que o gradiente térmico horizontal transversal à costa é forte nessa profundidade, com valor de cerca de 0,44°C km⁻¹, entre as estações 01 e 04, com decréscimo da temperatura em direção à costa continental. Nas proximidades do fundo, também é observado um forte gradiente térmico horizontal na porção sul do CSS, porém, este gradiente é maior na direção longitudinal, com valor da ordem de 0,51°C km⁻¹, com a temperatura aumentando em direção ao norte do canal.

O campo de salinidade no nível de 3 m apresenta pequena variação espacial para esse cruzeiro, sendo que os maiores valores de salinidade, em torno de 35,4, são encontrados em um núcleo entre as radiais *A* e *B*, enquanto que os menores valores, de cerca de 34,8, são observados na região central do CSS (Figura 4.32). Junto ao fundo, a salinidade também possui pouca variação espacial, com valores entre 35,2 (ao centro) e 35,7 (em um núcleo situado na porção sul), como pode ser observado na Figura 4.33.

A variação espacial de densidade convencional, da mesma forma que a variação de temperatura, é grande na porção sul do canal, onde essa propriedade varia, aos 3 m, de 24,2 kg m⁻³ a 25,0 kg m⁻³ entre as proximidades das estações 01 e 04, respectivamente (Figura 4.32). Nessa região, o gradiente de densidade convencional horizontal transversal à costa é significativo, junto à superfície, e possui valor da ordem de 0,14 kg m⁻⁴, nas adjacências da radial *A*, com aumento da densidade em direção à costa continental. Junto ao fundo e da mesma forma que ocorre com a temperatura na região sul do CSS, a densidade convencional apresenta grande variação, entre 25,4 kg m⁻³,

próximo à radial *B*, e $26,2 \text{ kg m}^{-3}$, nas cercanias das estações 02 e 03, proporcionando um forte gradiente horizontal longitudinal à costa, de cerca de $0,13 \text{ kg m}^{-3} \text{ km}^{-1}$, com a densidade reduzindo o seu valor em direção ao norte (Figura 4.33).

Distribuições Verticais dos Campos Termohalinos e de Massa

As estruturas verticais de temperatura, salinidade e densidade convencional para o cruzeiro de 14/12/2006 são mostradas nas Figuras 4.34, 4.35, 4.36 e 4.37.

Nas distribuições verticais de temperatura observa-se uma forte estratificação em todas as quatro seções verticais. Na radial *A* (Figura 4.34), situada na extremidade sul do canal, há a elevação da termoclina entre as cercanias da margem insular e o continente, alcançando as proximidades da superfície na estação oceanográfica de número 04. Nessa radial, a maior temperatura (22°C) é encontrada junto à superfície, na estação 01, enquanto que a menor temperatura ($14,4^\circ\text{C}$) é observada no fundo dessa mesma estação, e pode-se verificar que o gradiente de temperatura vertical é da ordem de $0,30^\circ\text{C m}^{-1}$ junto à ISS. Mais ao norte, na radial *B* (Figura 4.35), observa-se que a termoclina apresenta um comportamento semelhante ao visto na radial *A*, ou seja, soergue-se entre a margem insular e o continente. O intervalo de variação da temperatura é de $23,4^\circ\text{C}$ a $16,6^\circ\text{C}$, e o gradiente de temperatura vertical é de cerca de $0,21^\circ\text{C m}^{-1}$ no centro do canal. Em relação ao comportamento das isotermas, a radial *C* (Figura 4.36) apresenta característica distinta das radiais situadas mais ao sul, pois não é observado uma elevação marcante em direção ao continente em toda a extensão do canal e, sim, entre a margem insular e o centro do CSS, nas profundidades de 3 m a 20 m, porém há forte estratificação em toda a coluna d'água, com temperaturas que variam de $16,0^\circ\text{C}$ a $24,1^\circ\text{C}$. Na extremidade norte do canal, na radial *D* (Figura 4.37), há a elevação das isotermas entre as proximidades da ISS e o centro do canal, e as temperaturas oscilam de $17,0^\circ\text{C}$ a $23,5^\circ\text{C}$. O gradiente térmico vertical observado na radial *D* é de $0,25^\circ\text{C m}^{-1}$ ao centro da radial.

As estruturas verticais de salinidade apresentam, em geral, um comportamento mais complexo, porém com alguma semelhança com as estruturas verticais de temperatura. Na radial *A* (Figura 4.34), a salinidade varia de 35,2 a 35,6, com uma pequena estratificação dessa propriedade e as isohalinas elevando-se entre a margem insular

sul e a costa continental. Na radial *B* (Figura 4.35), a salinidade varia entre 35,2 e 35,5, enquanto que na radial *C* (Figura 4.36), varia de 34,8 e 35,6. No extremo norte do CSS, na radial *D*, a salinidade apresenta intervalo de variação de 35,1 a 35,6.

A densidade convencional, em geral, apresenta características semelhantes à temperatura, em todas as radiais, com alta estratificação e com o soerguimento das isopicnais em direção à costa continental, nas radiais *A* (Figura 4.34) e *B* (Figura 4.35). Nas radiais *C* (Figura 4.36) e *D* (Figura 4.37) há, também, uma forte estratificação e ocorre, em geral, uma elevação das isopicnais em direção ao continente entre as proximidades da ISS e a região central dessas radiais.

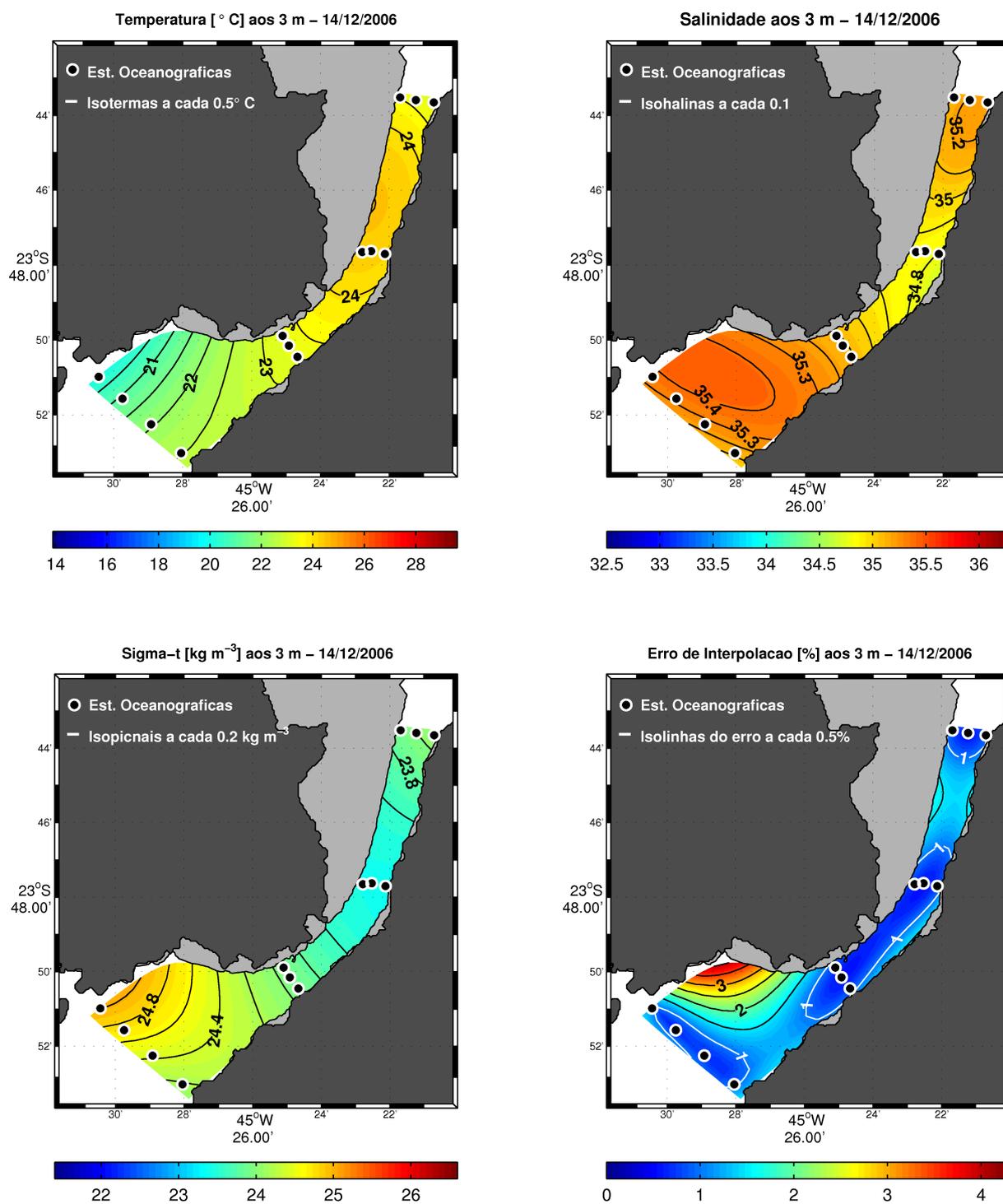


Figura 4.32: Distribuições horizontais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) no nível de 3 m e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 14/12/2006. A máscara cinza representa regiões com profundidades menores que 7 m.

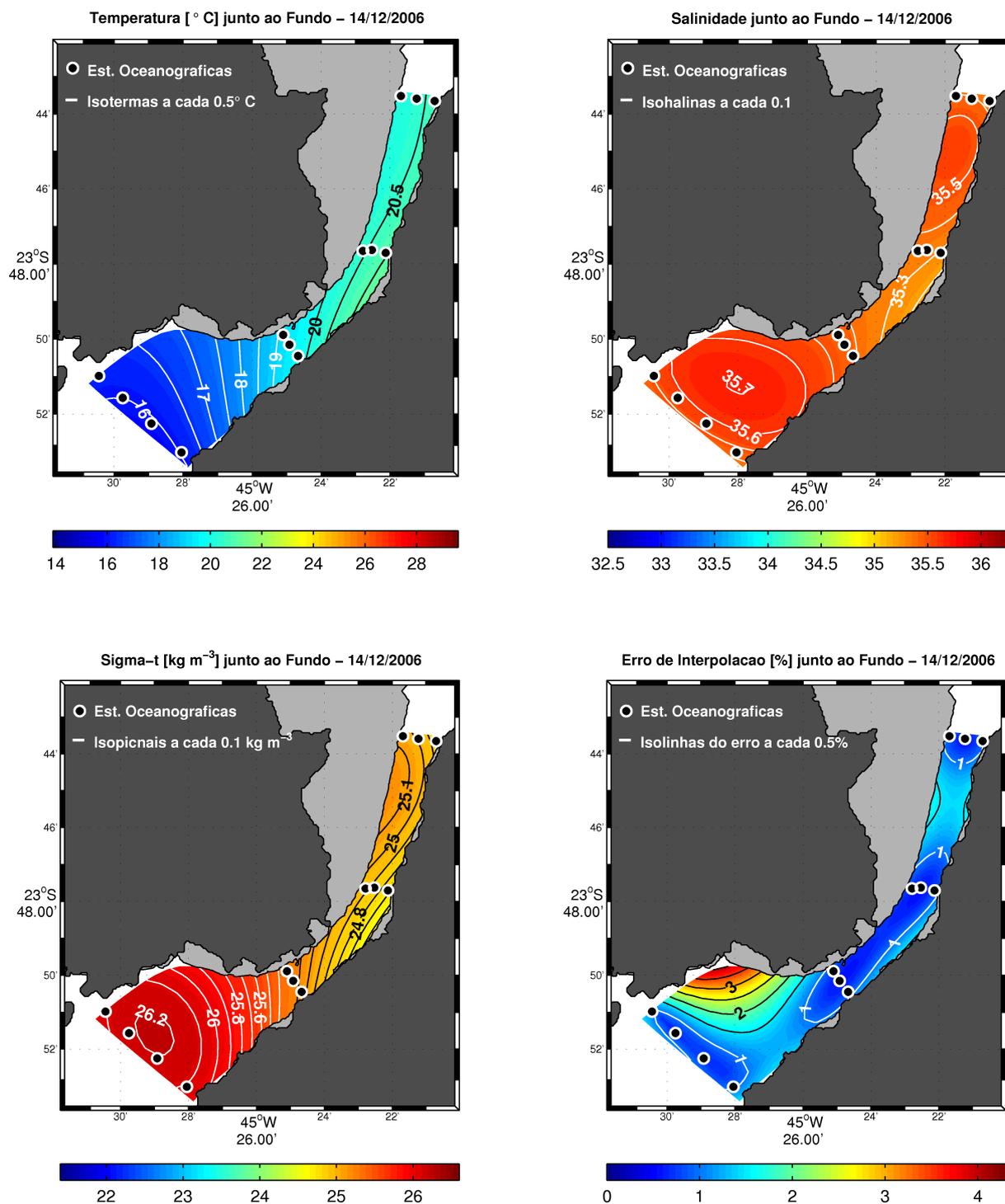


Figura 4.33: Distribuições horizontais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) junto ao fundo e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 14/12/2006. A máscara cinza representa regiões com profundidades menores que 7 m.

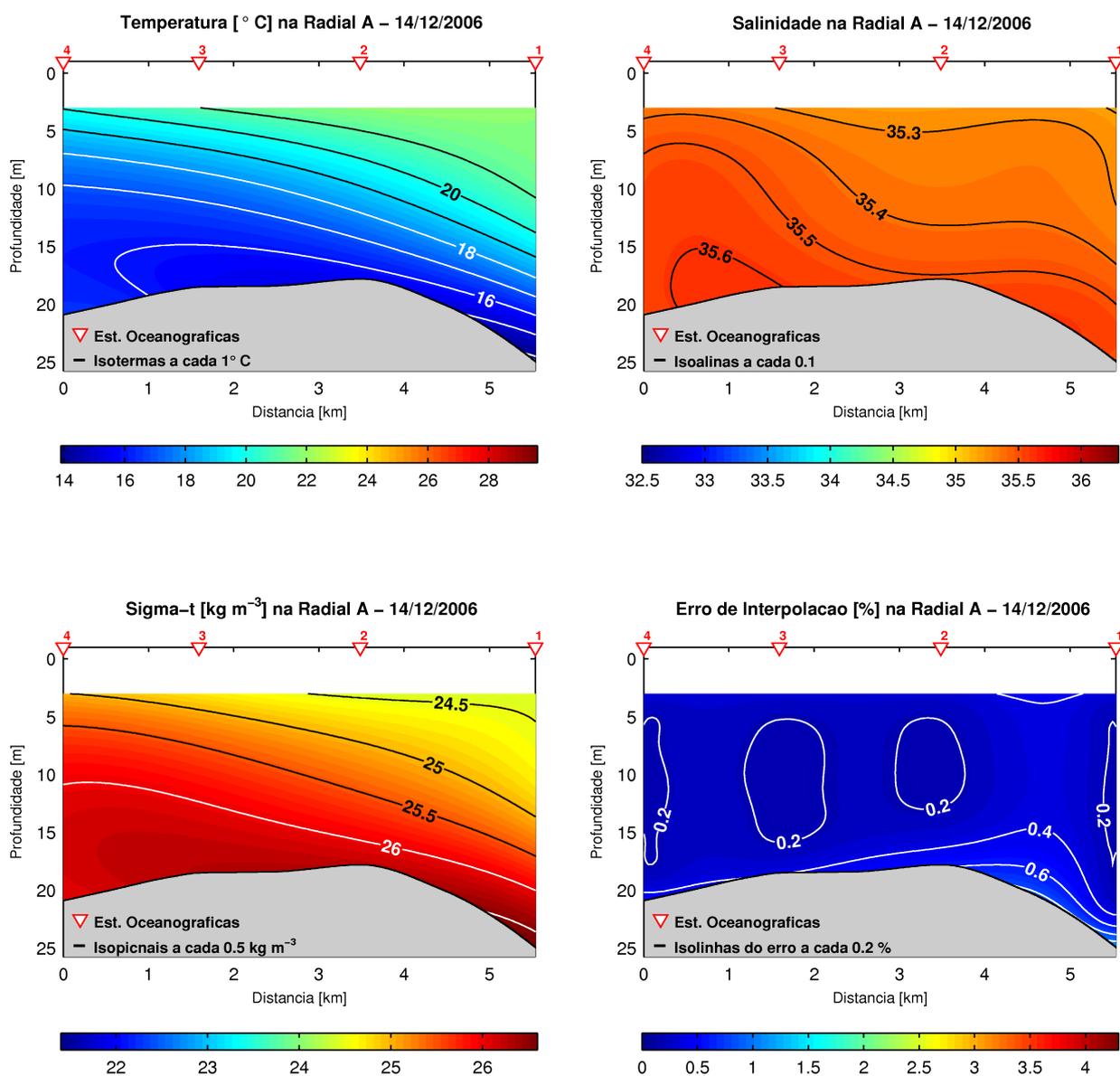


Figura 4.34: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial A e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 14/12/2006.

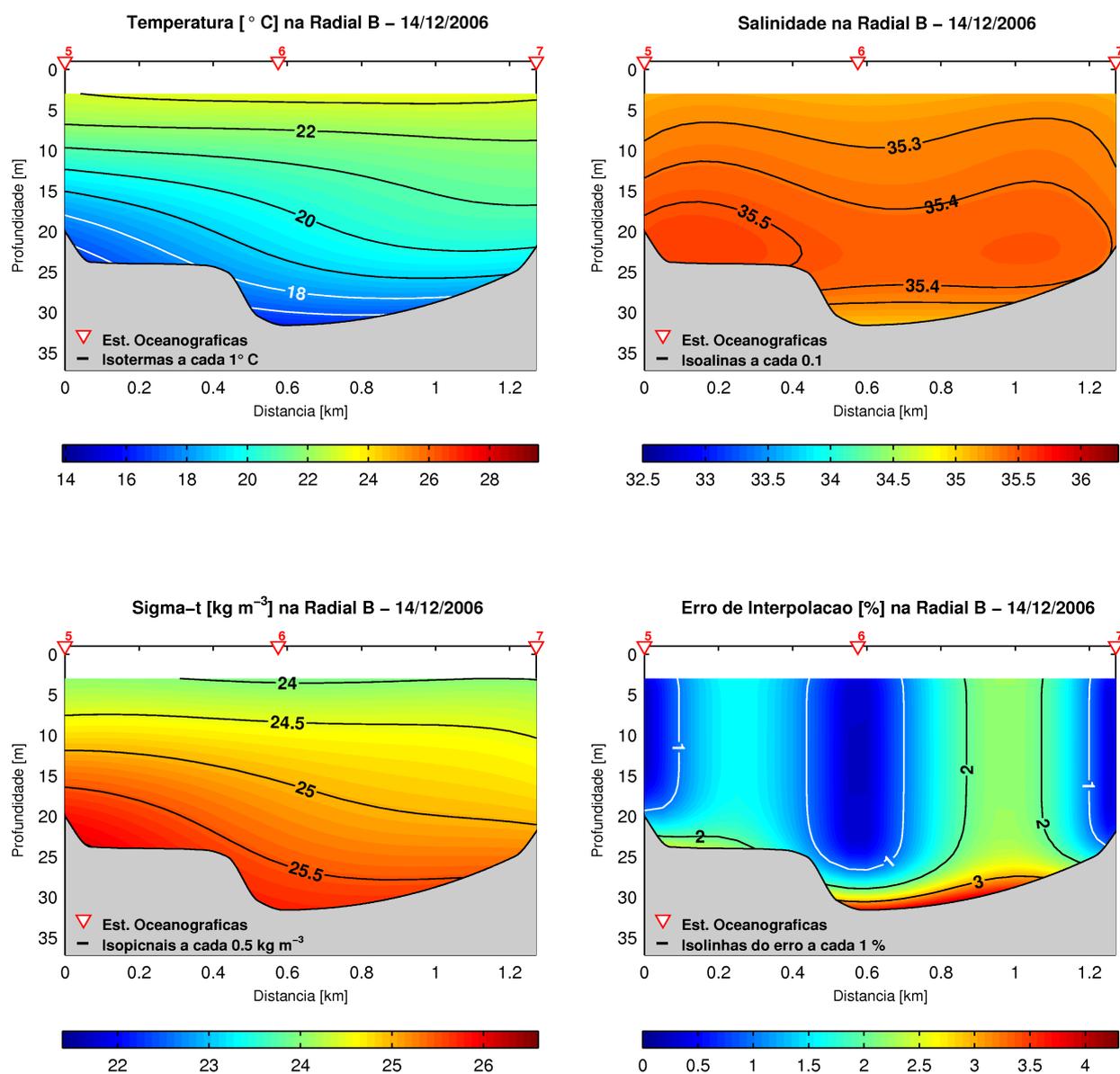


Figura 4.35: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial B e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 14/12/2006.

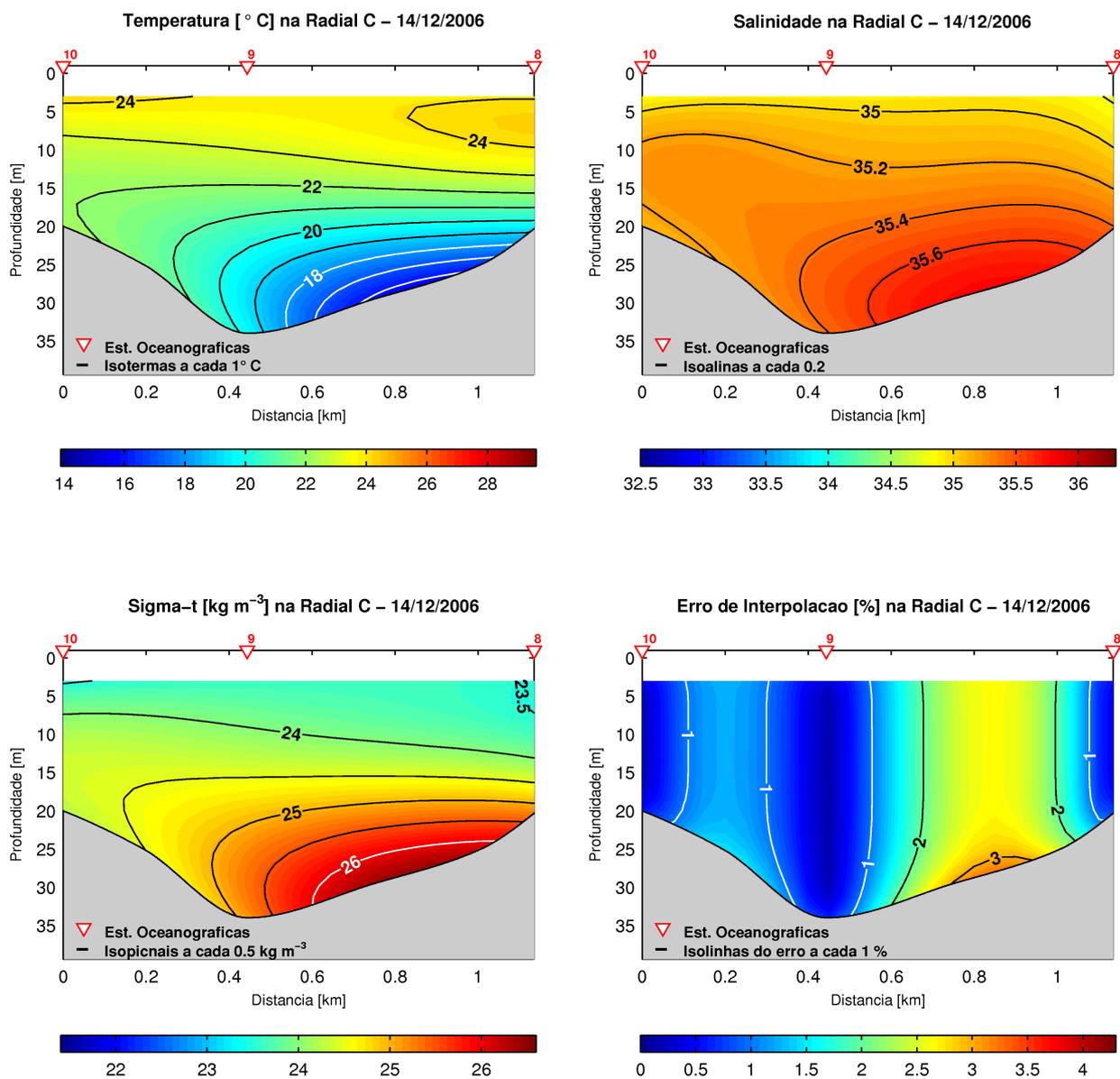


Figura 4.36: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial C e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 14/12/2006.

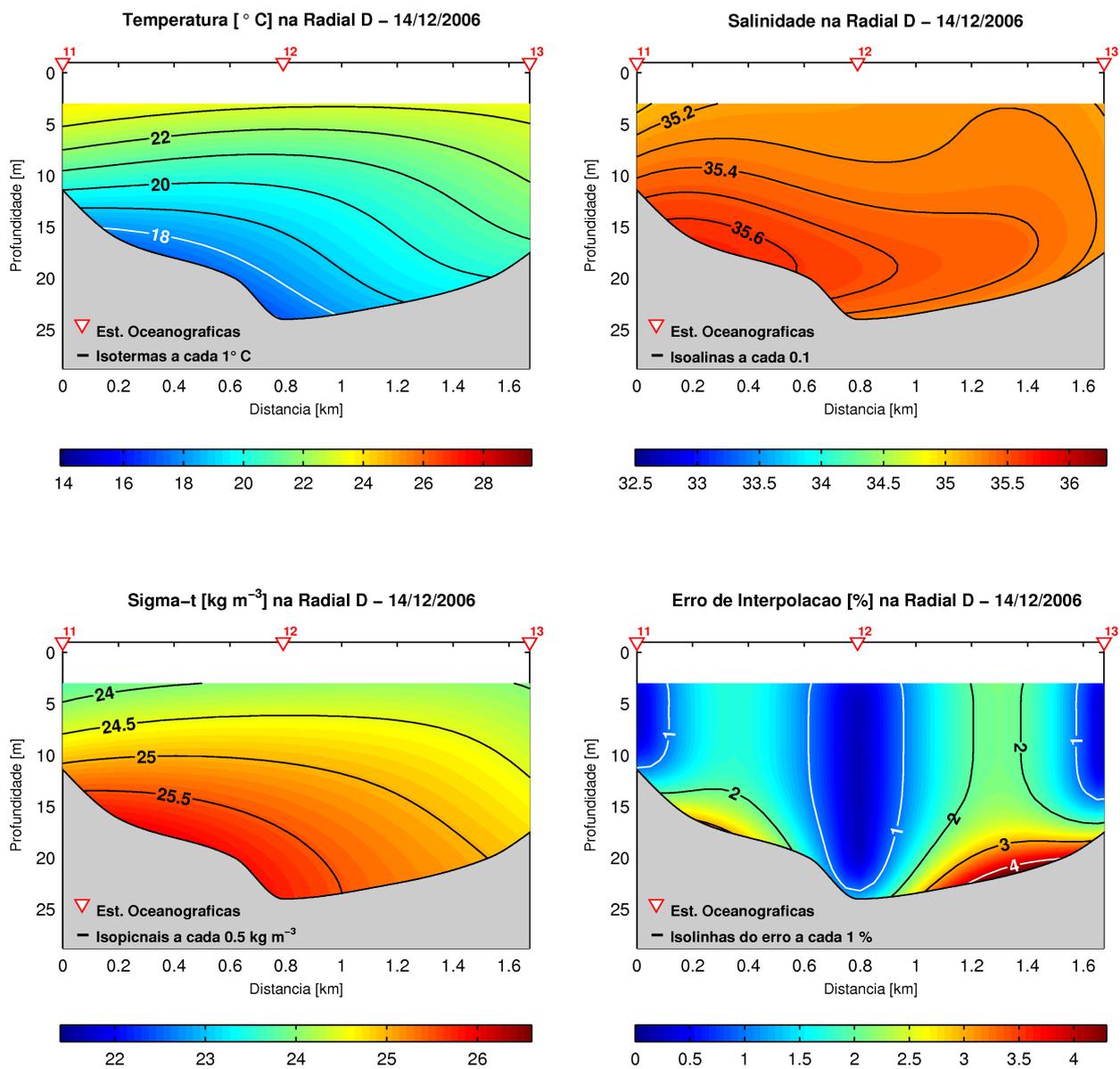


Figura 4.37: Seções verticais dos campos de temperatura [°C] (sup. esq.), salinidade (sup. dir.) e densidade convencional [kg m⁻³] (inf. esq.) na radial *D* e o erro de interpolação [%] (inf. dir.), no cruzeiro oceanográfico de 14/12/2006.

4.3 Campos de Vento na PCSE

Nesta seção serão apresentados os resultados para os campos de vento na PCSE e região oceânica adjacente medidos com o escaterômetro "Quikscat", utilizando a metodologia apresentada no capítulo anterior, entre os dias dos cruzeiros e os dias próximos a esses cruzeiros em que houve a inversão no sentido dos ventos nessas regiões. A isóbata de 200 m é utilizada como referência, pois situa-se relativamente próxima à quebra da plataforma continental e os erros de interpolação calculados indicam que os seus maiores valores estão situados, normalmente, nas adjacências da costa, onde há menos dados do escaterômetro.

4.3.1 Campos de Vento para o Cruzeiro de 25/09/2001

As Figuras 4.38, 4.39 e 4.40 mostram os campos de ventos médios diários de 17 a 26/09/2001. Na Figura 4.38 pode ser constatado que no dia 17/09 o vento sopra de SSW em toda a grade, com intensidade máxima de 15 m s^{-1} nas adjacências de Cabo Frio e de aproximadamente 10 m s^{-1} nas proximidades da ISS, e no dia seguinte, em 18/09, o vento predominante é de NE/SE, com magnitude de até 9 m s^{-1} . A partir de 19/09 até o dia 24/09 (Figuras 4.38 e 4.39), o vento mantém o padrão de direção NE/E em toda a região e a sua intensidade máxima atinge o valor de 13 m s^{-1} entre os dias 20 e 22/09. No dia da realização do cruzeiro oceanográfico, em 25/09/2001, há mudança na orientação do vento, que pode ser constatada na Figura 4.40, em que não há estabelecido um padrão bem definido de direção e de intensidade do vento médio para a região. Porém, no dia seguinte à realização desse cruzeiro, observa-se melhor que o vento passa a soprar de SW, na PCSE, entre o cabo de Santa Marta Grande, em Santa Catarina, e a ilha Grande, no Rio de Janeiro, com magnitude de até 11 m s^{-1} (Figura 4.40).

4.3.2 Campos de Vento para o Cruzeiro de 13/11/2002

Os campos de ventos médios diários de 10 a 13/11/2002 são apresentados na Figura 4.41, onde observa-se que o vento sopra de NE/E em toda a PCSE, no dia 10/11, com intensidade de até 13 m s^{-1} . Porém, no dia 11/11, é constatada uma mudança nos

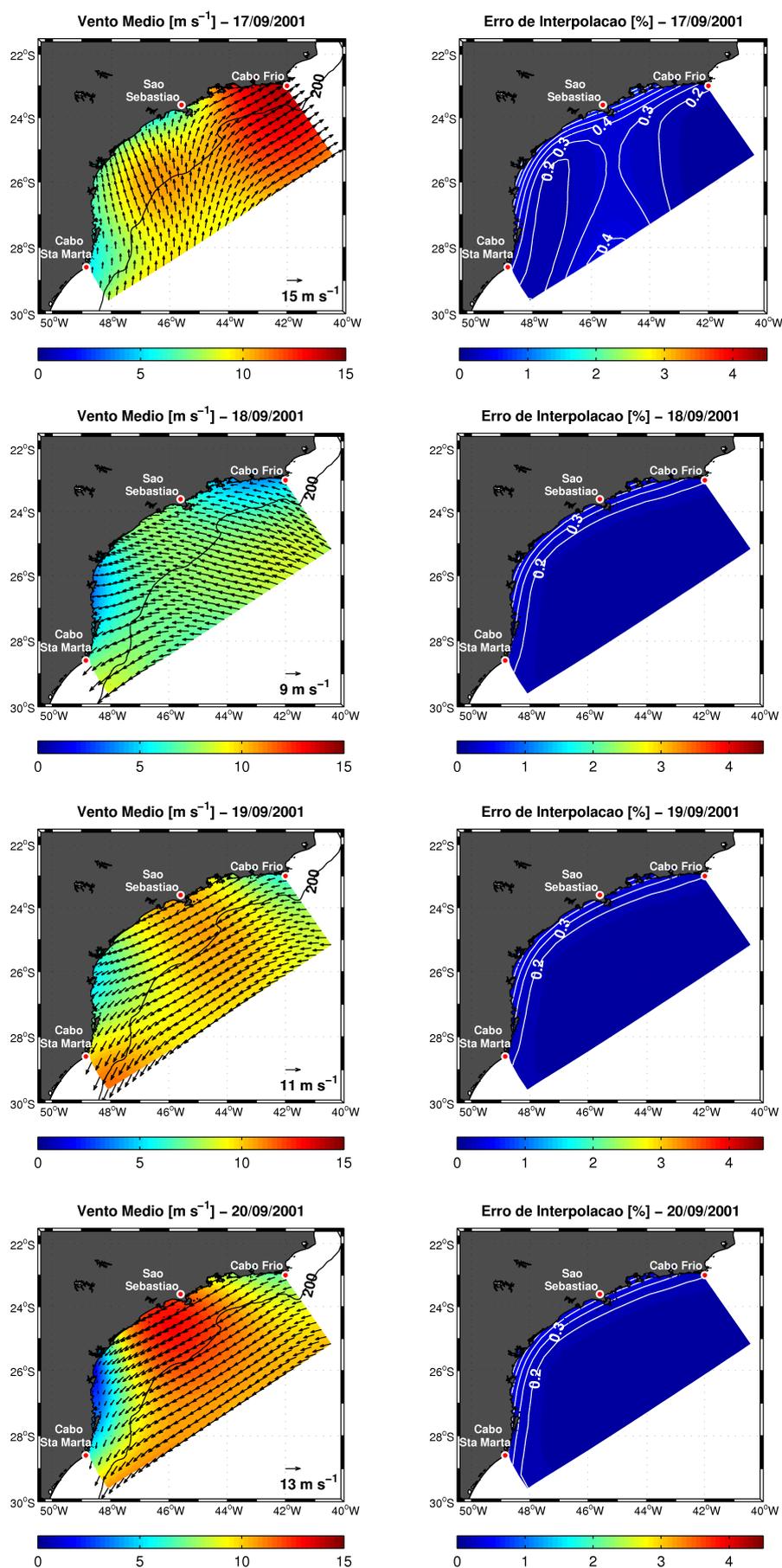


Figura 4.38: Campos de vento [m s^{-1}] entre os dias 17 e 20/09/2001, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, com a isóbata de 200 m, e respectivos erros de interpolação [%].

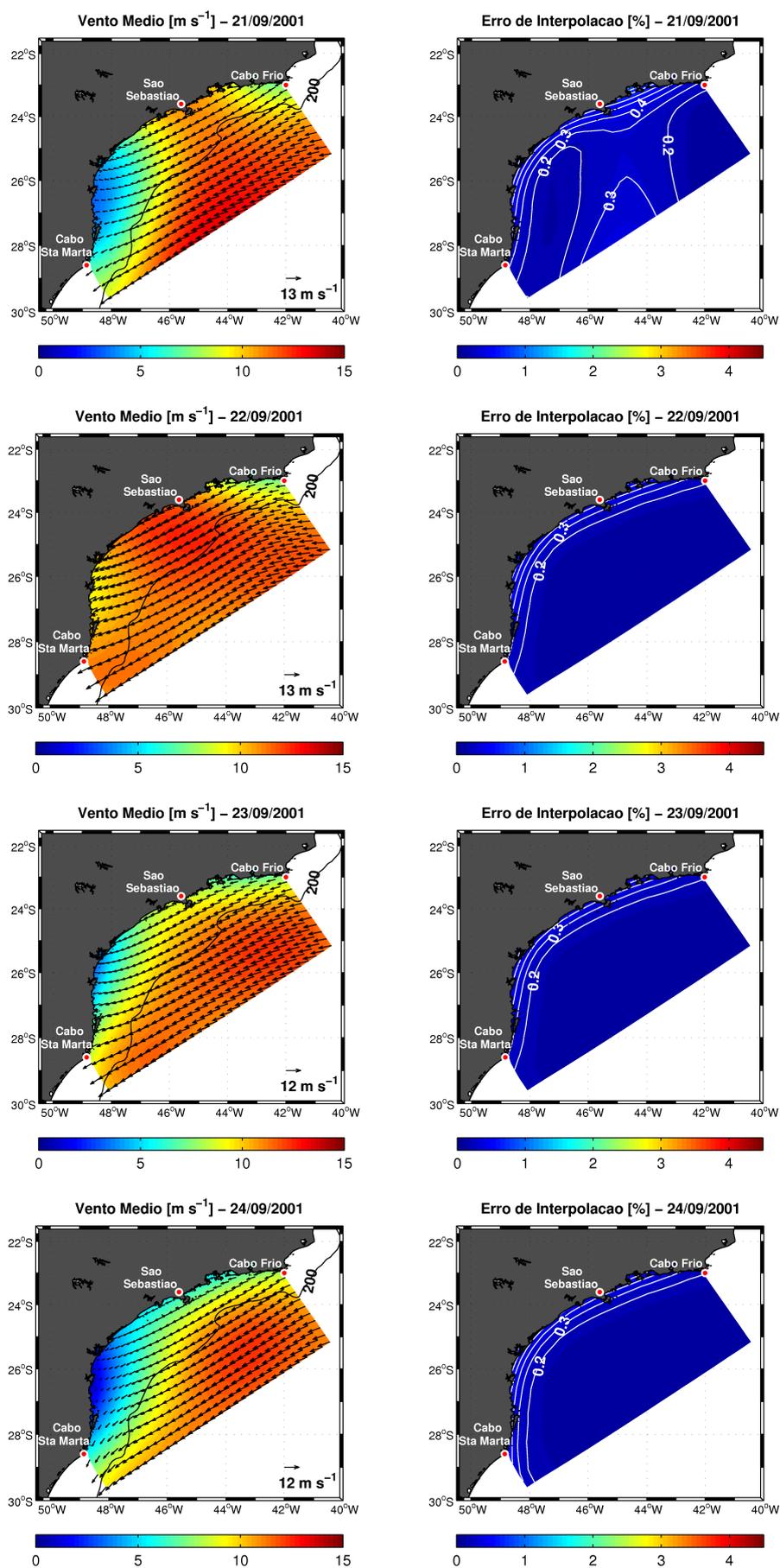


Figura 4.39: Campos de vento [m s^{-1}] entre os dias 21 e 24/09/2001, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, com a isóbata de 200 m, e respectivos erros de interpolação [%].

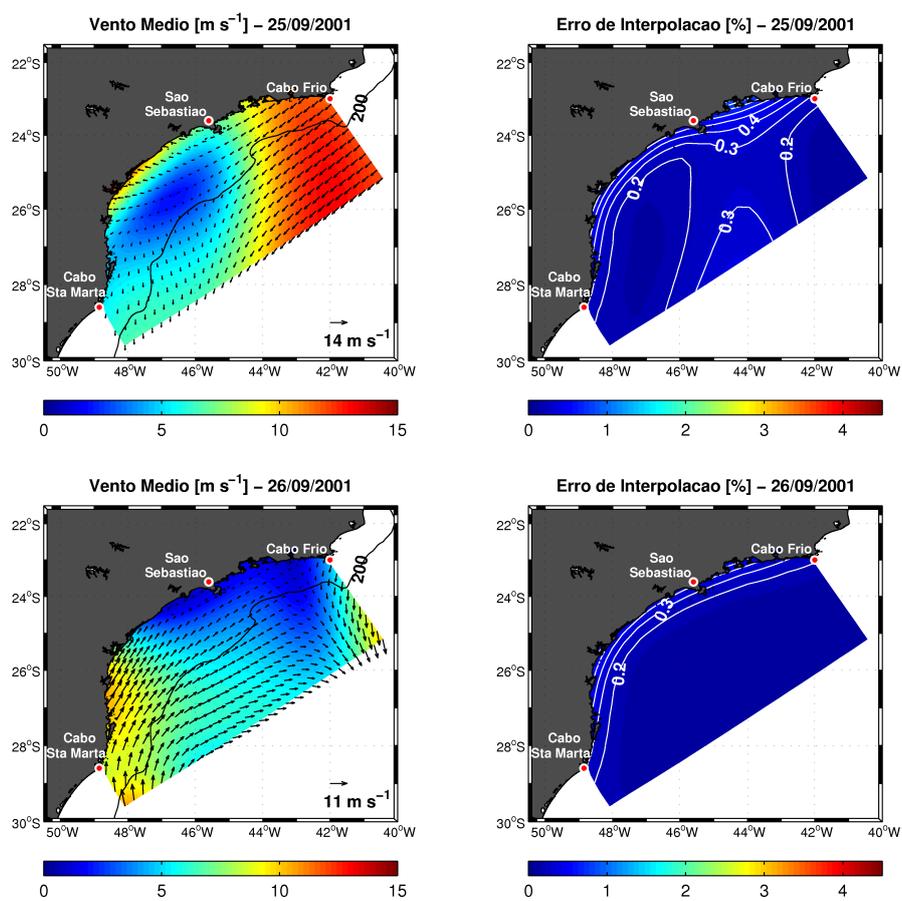


Figura 4.40: Campos de vento [m s^{-1}] nos dias 25 e 26/09/2001, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, com a isóbata de 200 m, e respectivos erros de interpolação [%].

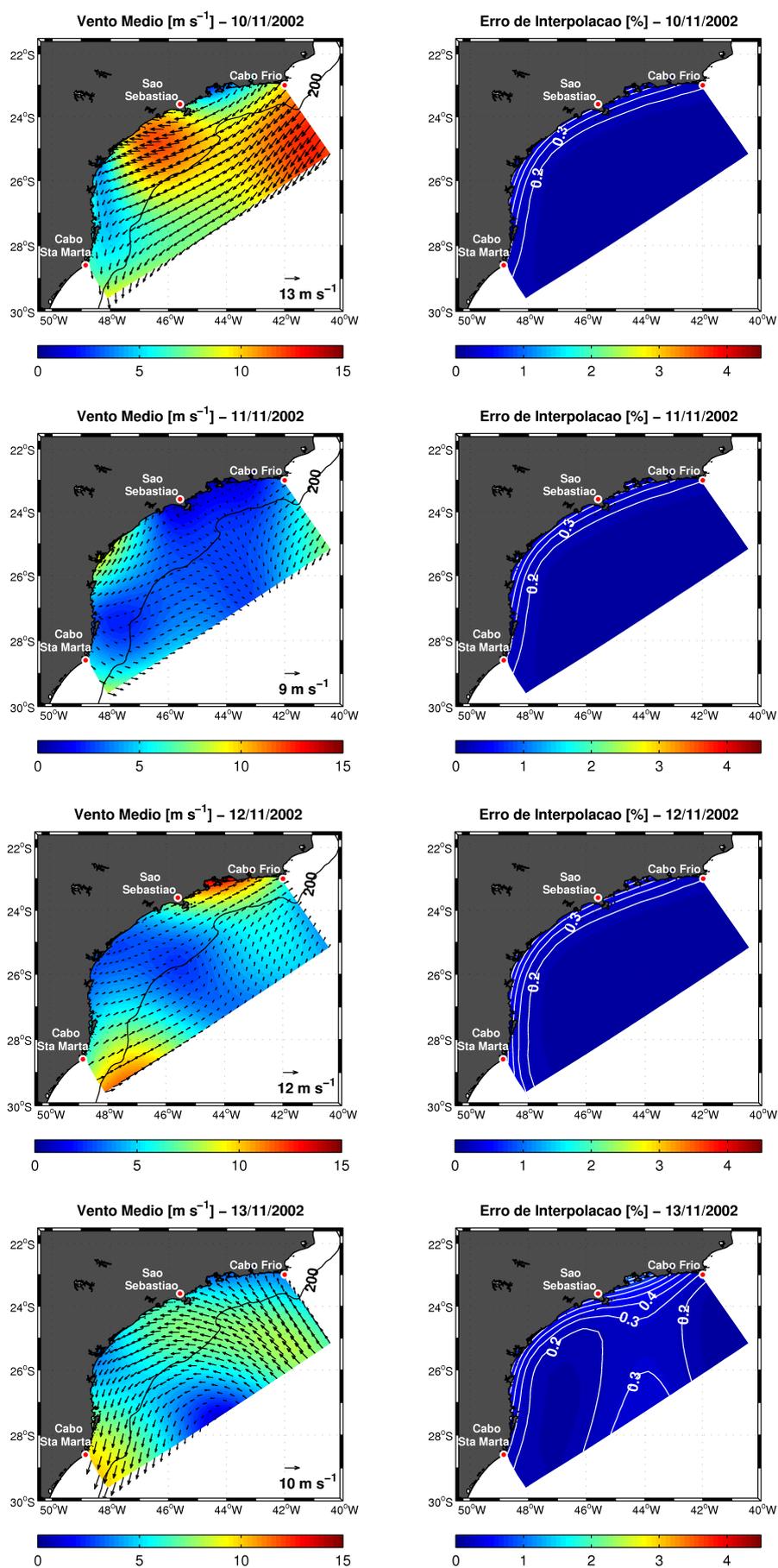


Figura 4.41: Campos de vento [m s⁻¹] entre os dias 10 e 13/11/2002, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, com a isóbata de 200 m, e respectivos erros de interpolação [%].

padrões de direção e intensidade do vento em toda região, que resulta em ventos de SW, com magnitude de até 12 m s^{-1} , na plataforma continental, no dia 12/11. Quando o cruzeiro oceanográfico é realizado, em 13/11/2002, o vento médio está sofrendo mudanças em sua direção (sopram de NE/SE), e não se pode ter uma maior precisão em relação às suas características, na PCSE, por ocasião da coleta dos dados com ADCP e CTD.

4.3.3 Campos de Vento para o Cruzeiro de 22/03/2006

As Figuras 4.42, 4.43, 4.44 e 4.45 mostram os campos de ventos médios diários obtidos com dados de escaterômetro de 10 a 23/03/2006. Na Figura 4.42 pode-se observar que no dia 10/03 o vento médio sopra de SW na PCSE, ao sul da ISS, enquanto que ao norte tem direção proveniente de E/SE. No dia seguinte o vento predominante é de SE, exceto entre a baía de Guanabara e Cabo Frio, cujo vento médio sopra de SW. Na PCSE, entre os dias 12 e 20/03, constata-se através da visualização das Figuras 4.42, 4.43, 4.44 que o vento médio sopra de NE/SE, com intensidade de até 11 m s^{-1} . Nos dias 14 e 15/03 observa-se, na região oceânica situada ao largo da isóbata de 200 m e ao norte da latitude de 27° S que os ventos sopram de NW/SW. Em 21/03, a direção do vento médio está sendo alterada para SW na PCSE, e no dia da realização do cruzeiro oceanográfico, em 22/03/2006, pode-se observar que os padrões de direção e de intensidade do vento médio sofrem nova mudança, com ventos predominantes oriundos de NE/SE, porém apresenta direção SE/SW na porção sul da PCSE, nas adjacências da costa. Essa mudança de configuração do vento médio pode ser comprovada com a observação da Figura 4.45 cujo campo de vento médio no dia 23/03/2006 apresenta-se predominantemente com a orientação geral de NE, com magnitude de até 11 m s^{-1} .

4.3.4 Campos de Vento para o Cruzeiro de 27/07/2006

Os campos de ventos médios diários de 23 a 27/07/2006 são apresentados nas Figuras 4.46 e 4.47. Observa-se que no dia 23/07 (Figura 4.46) o vento tem orientação de NE, com magnitude de até 9 m s^{-1} e no dia seguinte ocorre uma mudança nos padrões de direção do vento, em que pode ser constatada a existência de um vórtice ciclônico na região centro-sul da grade, com intensidade de até 9 m s^{-1} . Nos dois dias que se

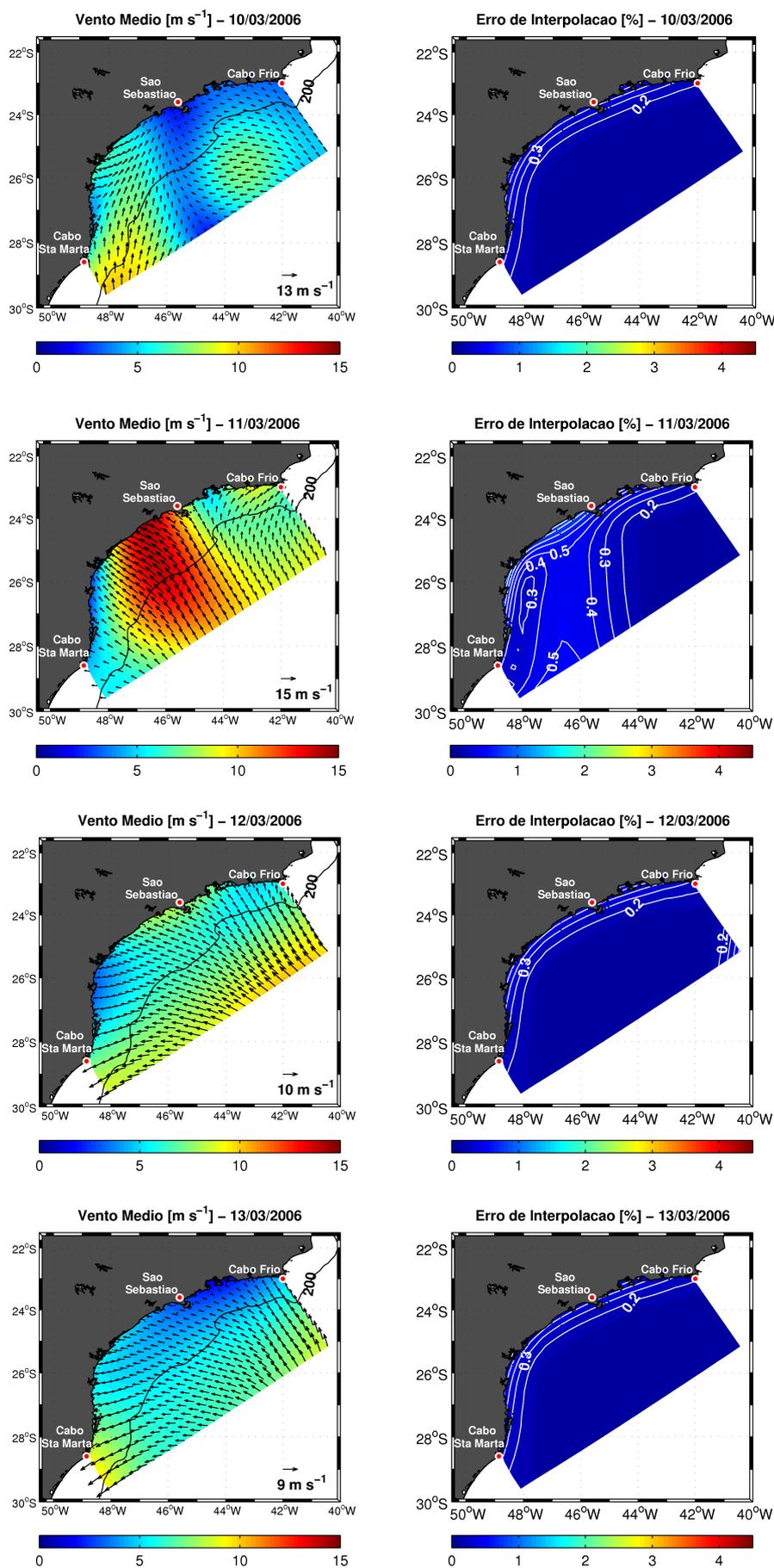


Figura 4.42: Campos de vento [m s^{-1}] entre os dias 10 e 13/03/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, com a isóbata de 200 m, e respectivos erros de interpolação [%].

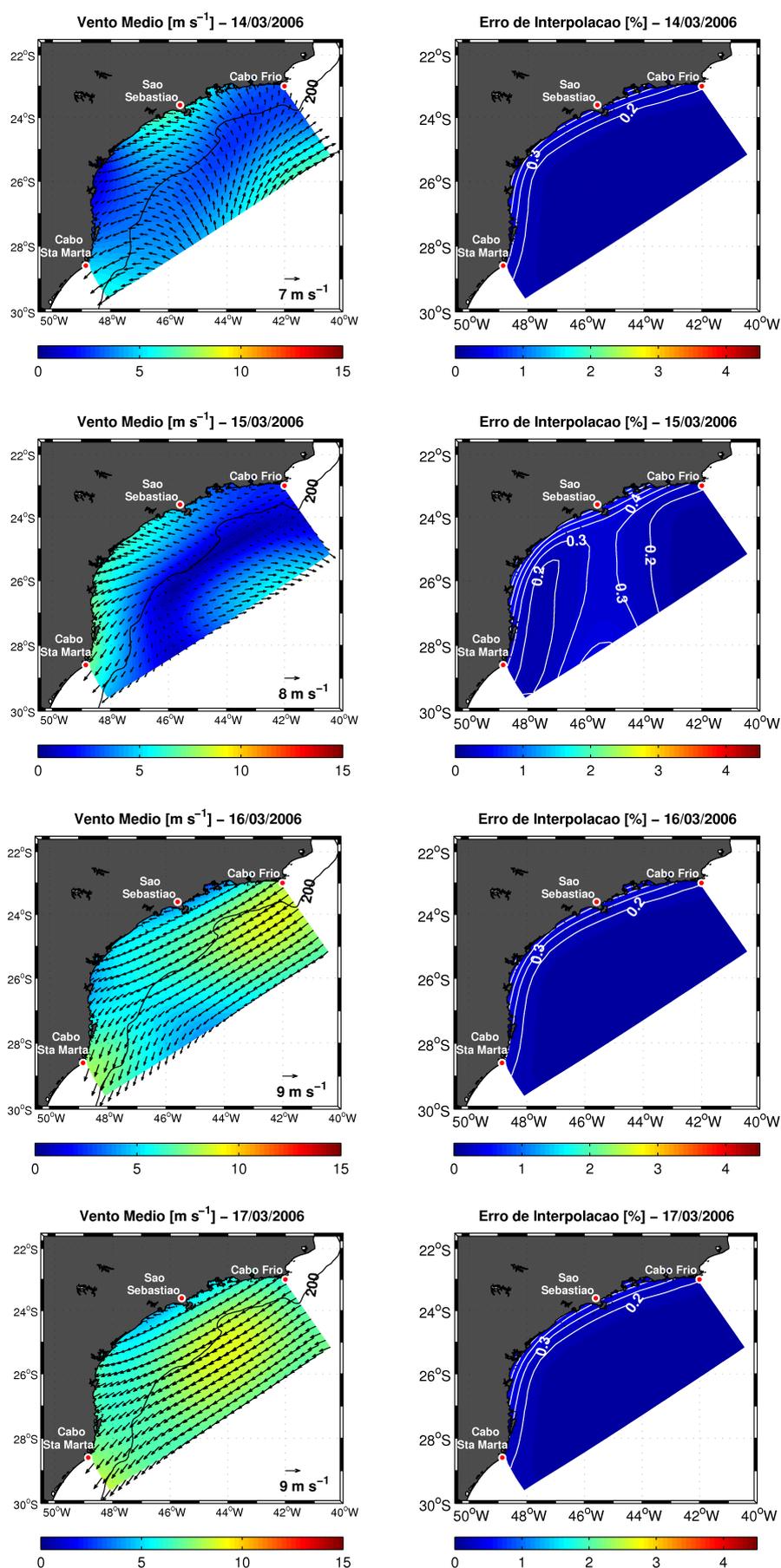


Figura 4.43: Campos de vento [m s^{-1}] entre os dias 14 e 17/03/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, com a isóbata de 200 m, e respectivos erros de interpolação [%].

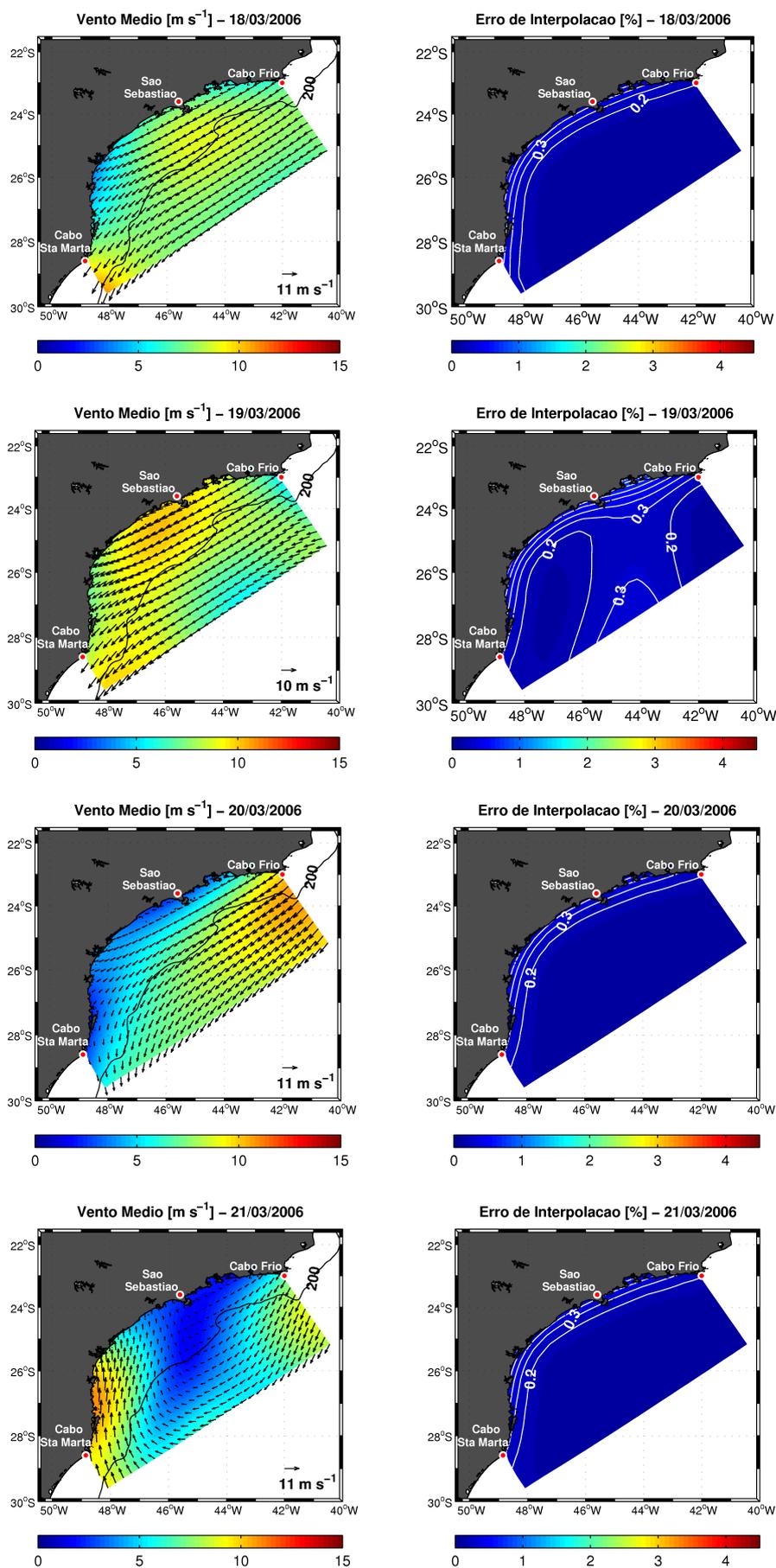


Figura 4.44: Campos de vento [m s^{-1}] entre os dias 18 e 21/03/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, com a isóbata de 200 m, e respectivos erros de interpolação [%].

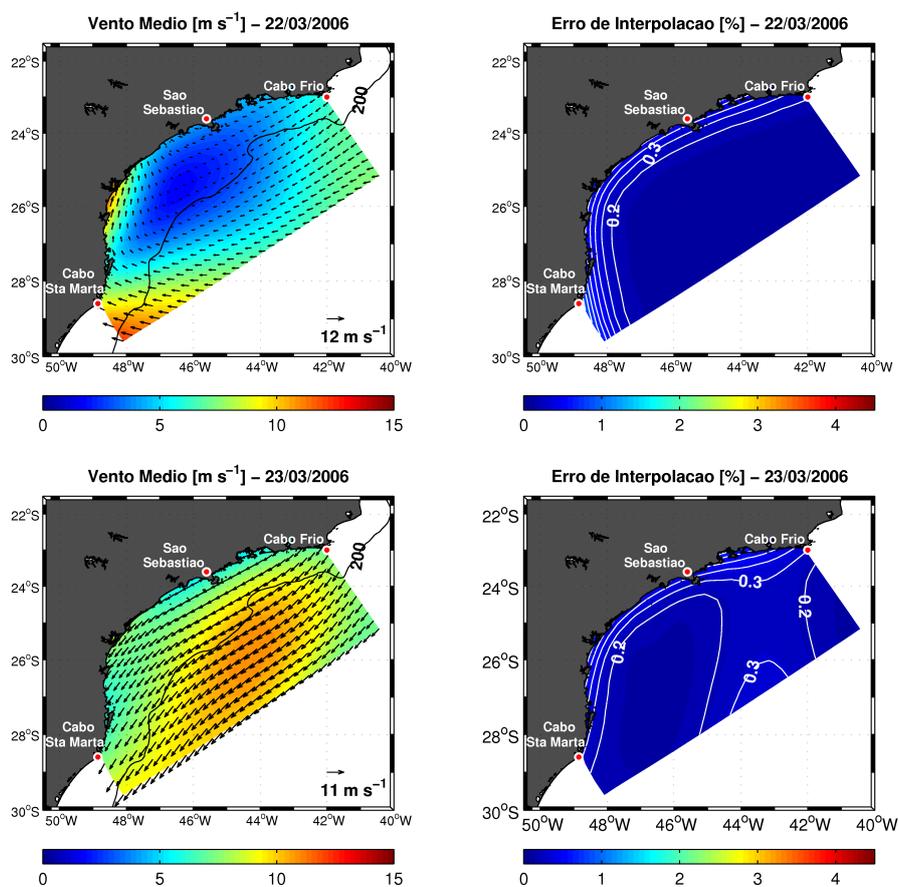


Figura 4.45: Campos de vento [m s^{-1}] nos dias 22 e 23/03/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, com a isóbata de 200 m, e respectivos erros de interpolação [%].

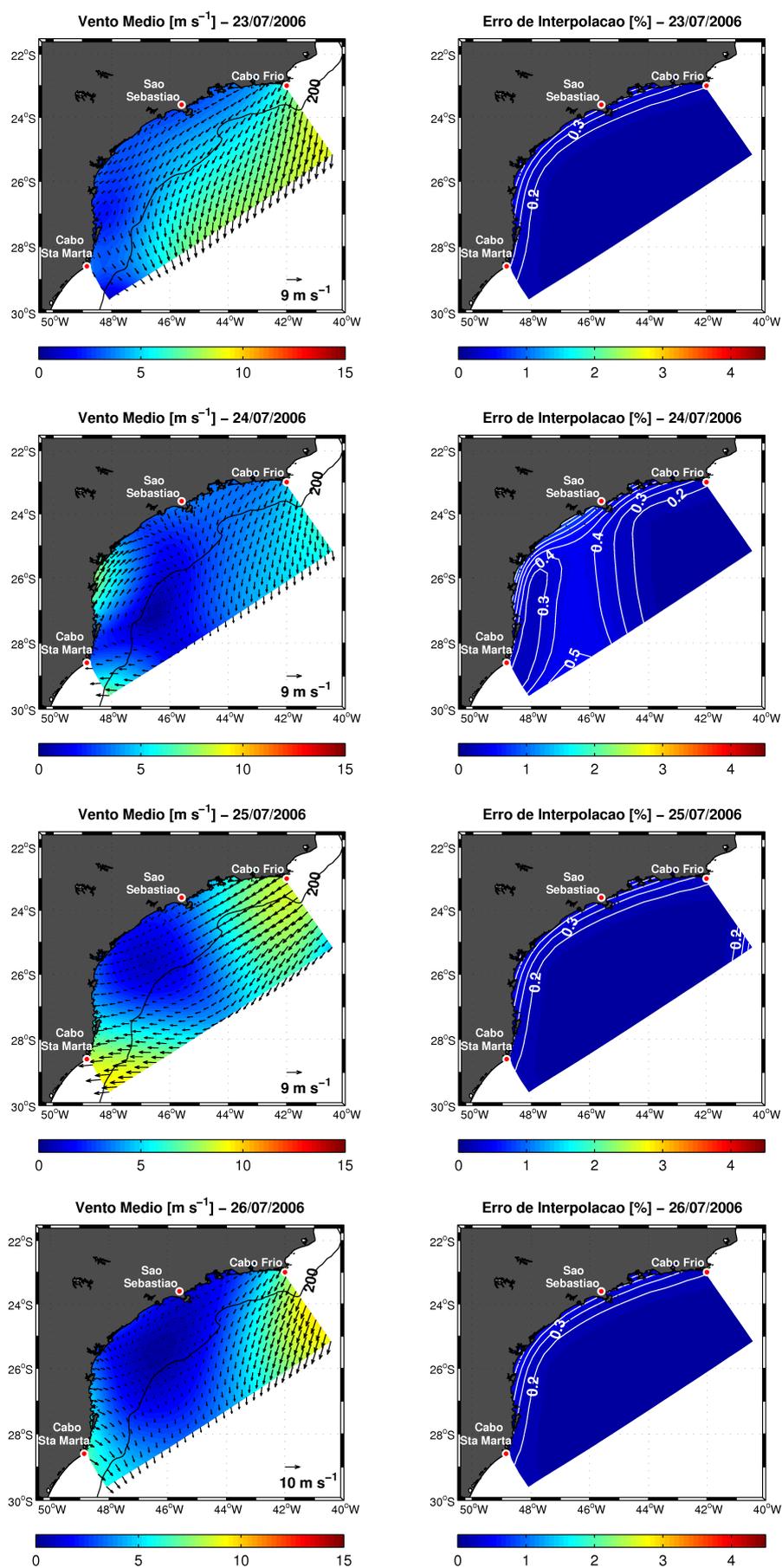


Figura 4.46: Campos de vento [m s^{-1}] entre os dias 23 e 26/07/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, com a isóbata de 200 m, e respectivos erros de interpolação [%].

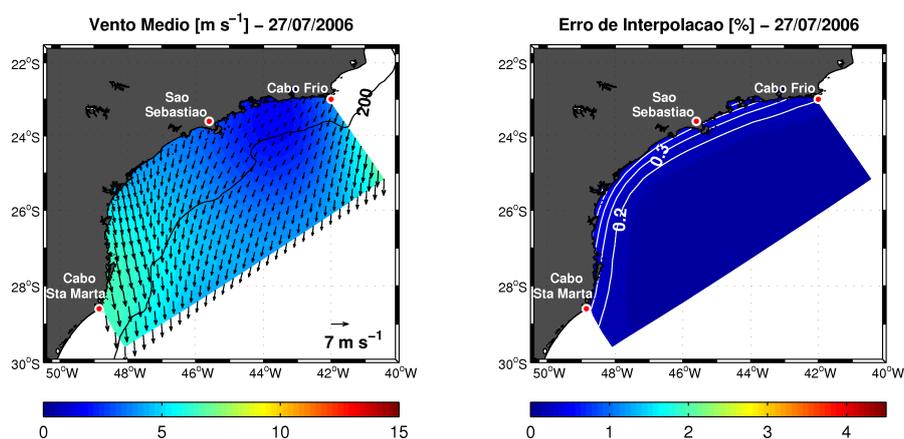


Figura 4.47: Campo de vento [m s^{-1}] no dia 27/07/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, com a isóbata de 200 m, e erro de interpolação [%].

seguem, em 25 e 26/07, a intensidade do vento médio apresenta valores relativamente pequenos (abaixo de 6 m s^{-1}) na região adjacente à ISS e o vento sofre nova mudança de orientação, e passa a soprar, em geral, de NNE. O campo de vento médio no dia do cruzeiro oceanográfico, em 27/07/2006, apresenta como característica principal a predominância dos ventos que sopram de NNE na plataforma continental adjacente à ISS, com magnitude de até 4 m s^{-1} (Figura 4.47).

4.3.5 Campos de Vento para o Cruzeiro de 10/10/2006

Na Figura 4.48, onde constam os campos de ventos médios para os dias 07, 08, 09 e 10/10/2006, pode ser observado que, no dia 07/10, não há um padrão muito bem definido para a direção do vento e que, no dia 08/10, o vento predominante em toda a região da grade sopra de SE/SW, com a intensidade atingindo o valor de 7 m s^{-1} . No dia seguinte, o vento médio tem orientação geral de SE na plataforma continental adjacente à ISS, ou seja, quase perpendicular à costa, e no dia do cruzeiro, em 10/10/2006, há predominância dos ventos de NE/E, com intensidade de até 11 m s^{-1} em toda grade e de aproximadamente 8 m s^{-1} nas proximidades de São Sebastião.

4.3.6 Campos de Vento para o Cruzeiro de 14/12/2006

Os campos de ventos médios diários de 07 a 14/12/2006, são mostrados nas Figuras 4.49 e 4.50. No dia 07/12, conforme mostrado na Figura 4.49, o vento possui

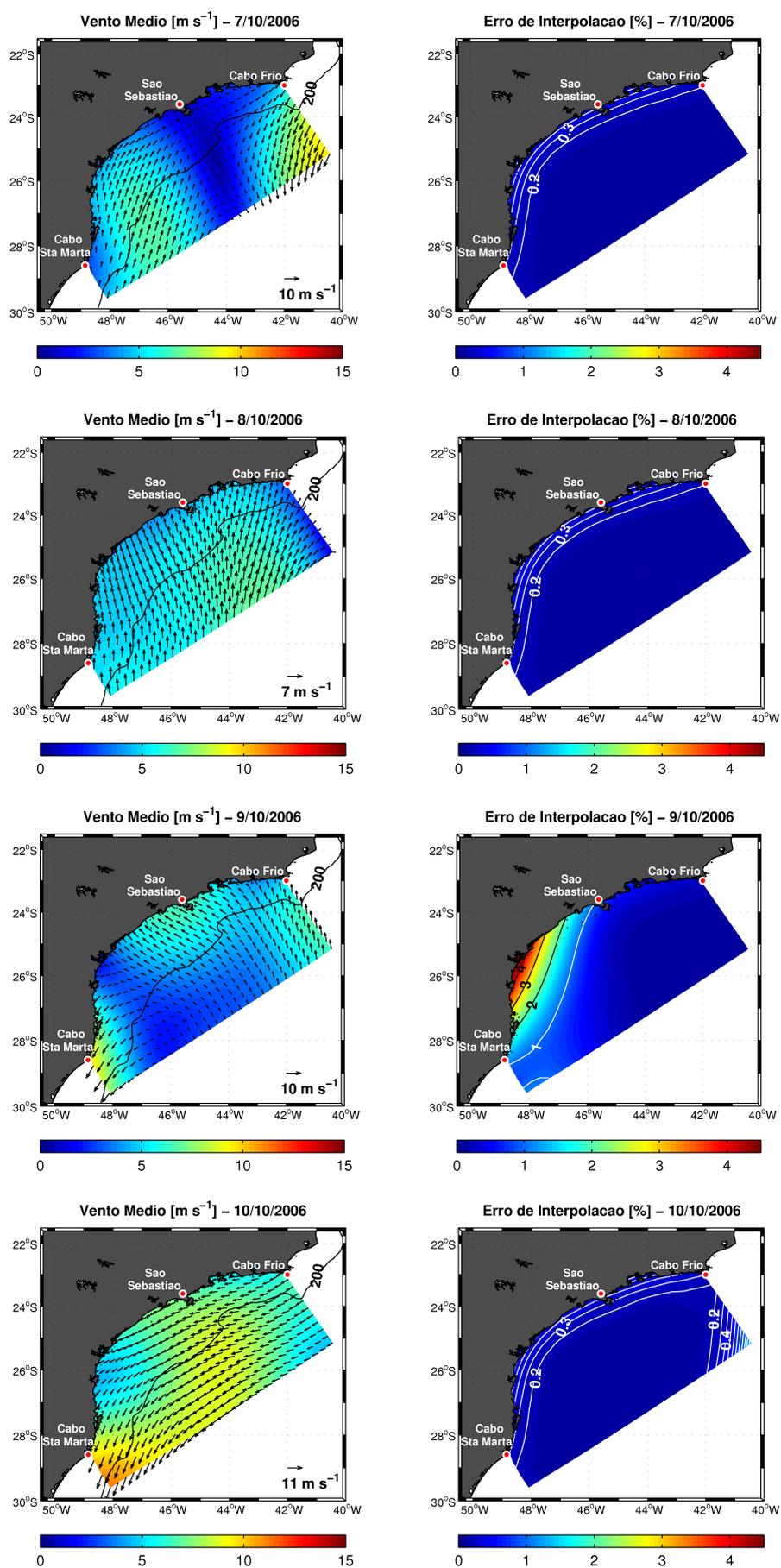


Figura 4.48: Campos de vento [m s^{-1}] entre os dias 07 e 10/10/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, com a isóbata de 200 m, e respectivos erros de interpolação [%].

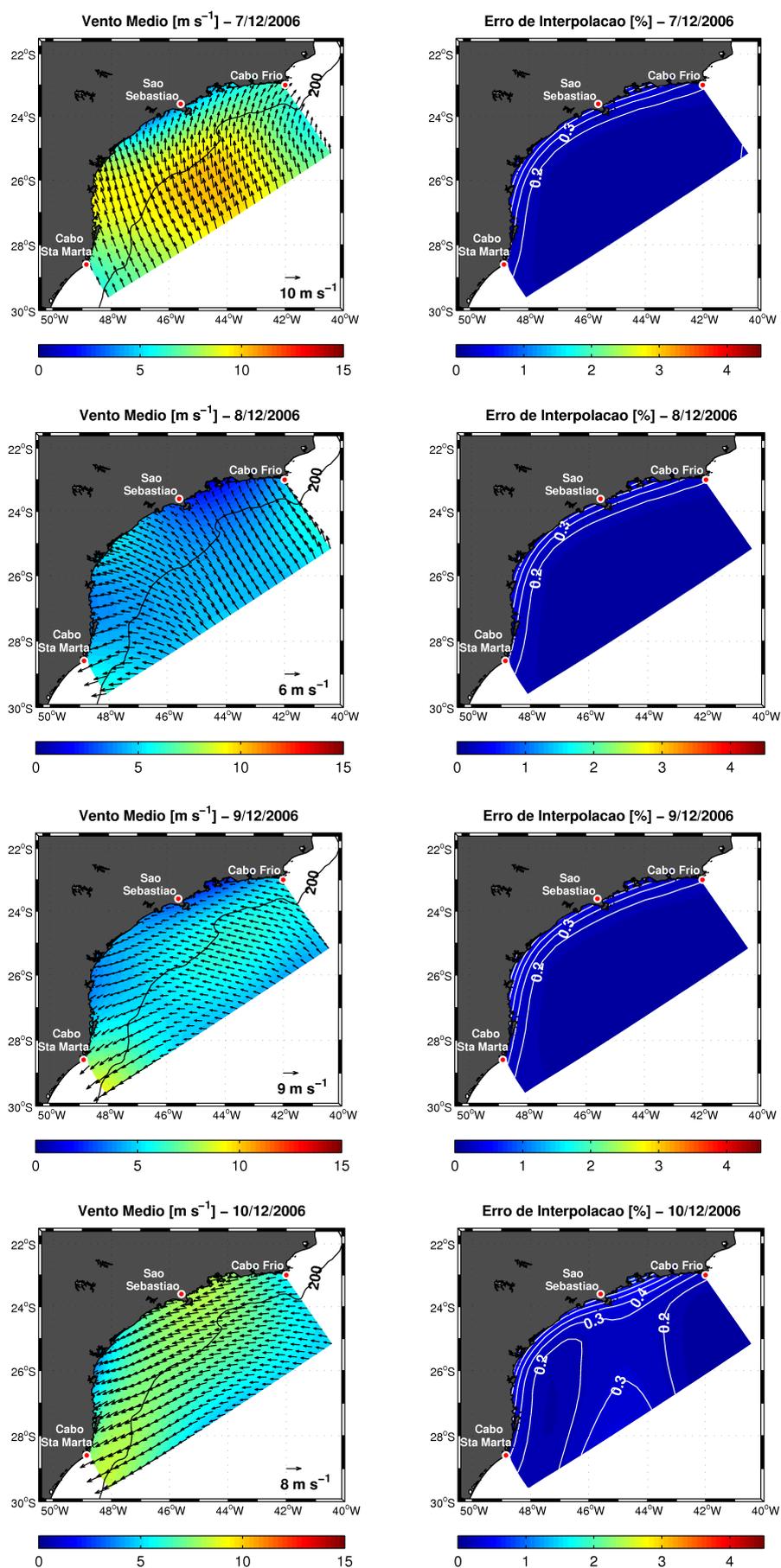


Figura 4.49: Campos de vento [m s⁻¹] entre os dias 07 e 10/12/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, com a isóbata de 200 m, e respectivos erros de interpolação [%].

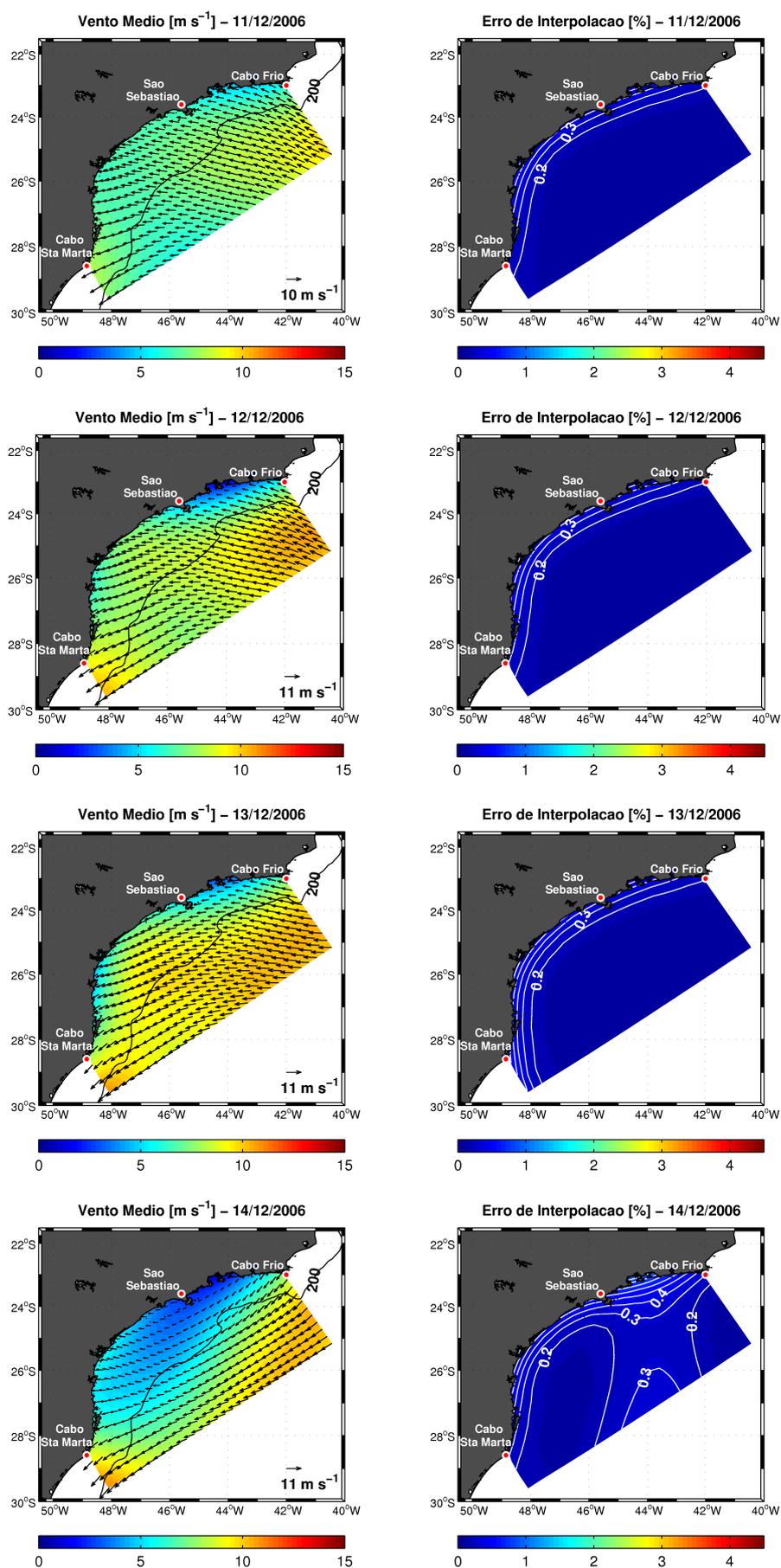


Figura 4.50: Campos de vento [m s^{-1}] entre os dias 11 e 14/12/2006, na PCSE e regiões oceânicas adjacentes, com a isóbata de 200 m, e respectivos erros de interpolação [%].

orientação de SE/SW em toda a plataforma continental e no dia seguinte sofre mudança, para a direção E/SE, soprando praticamente perpendicular à costa. Em 09/12, ocorre nova alteração em sua direção e, desta vez, sopra predominantemente de NE/E na PCSE, com intensidade de até 9 m s^{-1} . Posteriormente, entre os dias 10 e 13/12 (Figuras 4.49 e 4.50), o padrão de direção do vento é de NE/SE, apresentando magnitude de até 11 m s^{-1} . No dia da realização do cruzeiro oceanográfico, em 14/12/2006, o vento médio predominante é de NE/E, porém há uma desintensificação do mesmo, que apresenta nas adjacências da ISS o valor aproximado de 5 m s^{-1} .

4.4 Campos de Velocidade

Os resultados obtidos para o mapeamento horizontal e vertical dos campos de velocidade, por cruzeiro oceanográfico, serão apresentados nesta seção. No mapeamento horizontal são visualizadas nas respectivas figuras de cada cruzeiro o campo de velocidade na profundidade de 6 m, o erro de interpolação na grade curvilinear e as trajetórias percorridas com o ADCP. Em relação ao mapeamento vertical, podem ser observadas as velocidades normais e transversais às seções verticais *A*, *B*, *C* e *D* para cada cruzeiro. Os erros de interpolação para as velocidades normais e transversais para essas seções também serão apresentados ao término de cada subseção. Ressalta-se, neste momento, que nas seções verticais as velocidades normais positivas representam fluxo de sul para norte, enquanto que as negativas representam correntes de norte para sul; e as velocidades transversais positivas denotam movimentos do continente para a ISS, ao passo que as negativas referem-se ao fluxo em sentido oposto. Observe-se, ainda, que a vista a partir da extremidade sul do canal foi utilizada como referência na visualização de todas as seções verticais.

4.4.1 Mapeamento dos Campos de Velocidade em 25/09/2001

Mapeamento Horizontal dos Campos de Velocidade

No cruzeiro oceanográfico realizado em 25/09/2001, foram percorridas as trajetórias denominadas de *A*, *B*, *C*, *D*, *J*, *K* e *M* (Figura 4.51), com o ADCP, cujo período para serem totalmente realizadas foi de 5 horas e 41 minutos. Após a aplicação do

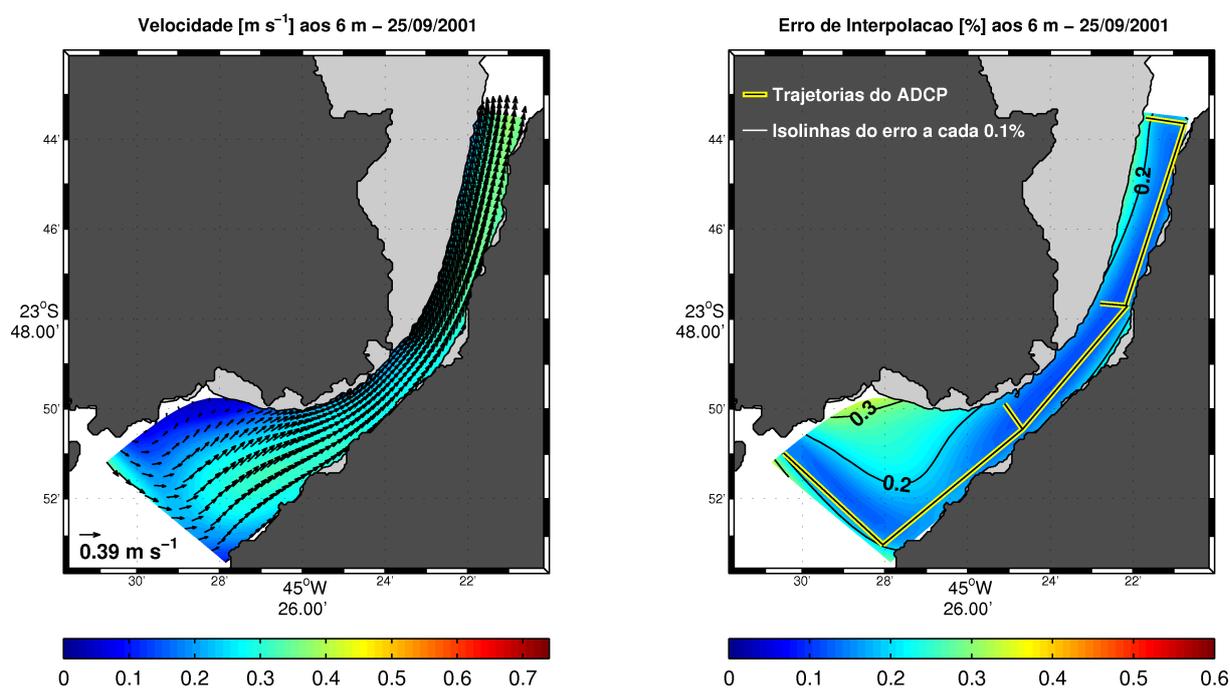


Figura 4.51: Mapeamento horizontal do campo de velocidade [m s^{-1}] aos 6 m (esq.) e o erro de interpolação [%] e as trajetórias efetuadas com ADCP (dir.) para o cruzeiro de 25/09/2001. As regiões com profundidades menores que 7 m são representadas pela máscara cinza.

método da AO "à priori" para interpolar os dados tratados do ADCP, obteve-se o mapeamento do campo de velocidade aos 6 m de profundidade e o seu respectivo mapa de erros de interpolação, que podem ser visualizados na Figura 4.51. Em geral, a corrente flui para NE ao longo do canal com intensidade que varia de $0,03 \text{ m s}^{-1}$ (na região sul, próximo à costa continental e à isóbata de 7 m) a $0,39 \text{ m s}^{-1}$ (na extremidade norte). Porém, pode-se visualizar a ocorrência de recirculação anticiclônica na região sudoeste do CSS, com centro nas proximidades da ponta da Varanda (este ponto notável é discriminado na Figura 1.2).

Mapeamento Vertical dos Campos de Velocidade

Na seção vertical de velocidade na radial A, constante na Figura 4.52, observa-se que a componente normal da velocidade apresenta movimento predominante para norte, com intensidade de até $0,20 \text{ m s}^{-1}$, nas adjacências da margem insular. A intensidade dessa componente decresce com a profundidade e em direção ao continente, apresentando valor nulo à meia-água, nas proximidades da estação oceanográfica de

número 04, onde ocorrem movimentos para sul com magnitude de até $-0,06 \text{ m s}^{-1}$ entre as profundidades de 11 m e 18 m. A componente transversal à seção vertical *A* (Figura 4.52) apresenta configuração distinta quando comparada à componente normal, com movimento que decresce em intensidade do continente para a ISS, na camada superior, e movimento em sentido oposto, com magnitude da ordem de $-0,05 \text{ m s}^{-1}$, na camada inferior. Essas características apresentadas das componentes longitudinal e transversal denotam um significativo cisalhamento vertical e lateral da intensidade dessas componentes de velocidade nessa seção, além de indicar a existência de recirculação anticiclônica na parte oeste desta radial.

Na Figura 4.53, que representa a seção vertical de velocidade na radial *B*, constata-se que a componente longitudinal à esta seção tem direção para norte em toda a coluna d'água e a sua intensidade é maior quanto mais próxima à superfície e à margem insular. A magnitude da componente longitudinal alcança o seu maior valor ($0,30 \text{ m s}^{-1}$) aos 6 m de profundidade, junto à ISS, e os menores valores são encontrados nas proximidades do fundo, no centro dessa radial. A componente transversal à seção vertical *B* (Figura 4.53) apresenta movimento em duas camadas. Na camada superior, o movimento é fraco, com $\cong 0,02 \text{ m s}^{-1}$ e sentido do continente para a ilha, enquanto que na camada inferior, o movimento das águas tem sentido oposto, com as maiores intensidades, da ordem de $-0,10 \text{ m s}^{-1}$, observadas nas proximidades do contorno submarino. Nesta seção vertical, os movimentos longitudinais são predominantes quando comparados aos transversais e observa-se que há um cisalhamento vertical e lateral importante da intensidade da componente longitudinal.

De forma semelhante à seção vertical *B*, na radial *C* (Figura 4.54), a componente normal flui em sua totalidade para norte, apresentando as maiores intensidades na camada superficial, de cerca de $0,32 \text{ m s}^{-1}$, e os menores valores nas regiões mais profundas dessa seção, em seu centro. O cisalhamento lateral da componente normal da velocidade é menor nesta seção vertical do que na seção *B* (Figura 4.53). Na seção *C*, a componente de velocidade transversal à seção (Figura 4.54) apresenta intensidades muito pequenas, de cerca de $0,02 \text{ m s}^{-1}$, tanto do continente para a ISS (camada inferior), quanto em sentido oposto (camada superior), indicando um movimento predominantemente longitudinal.

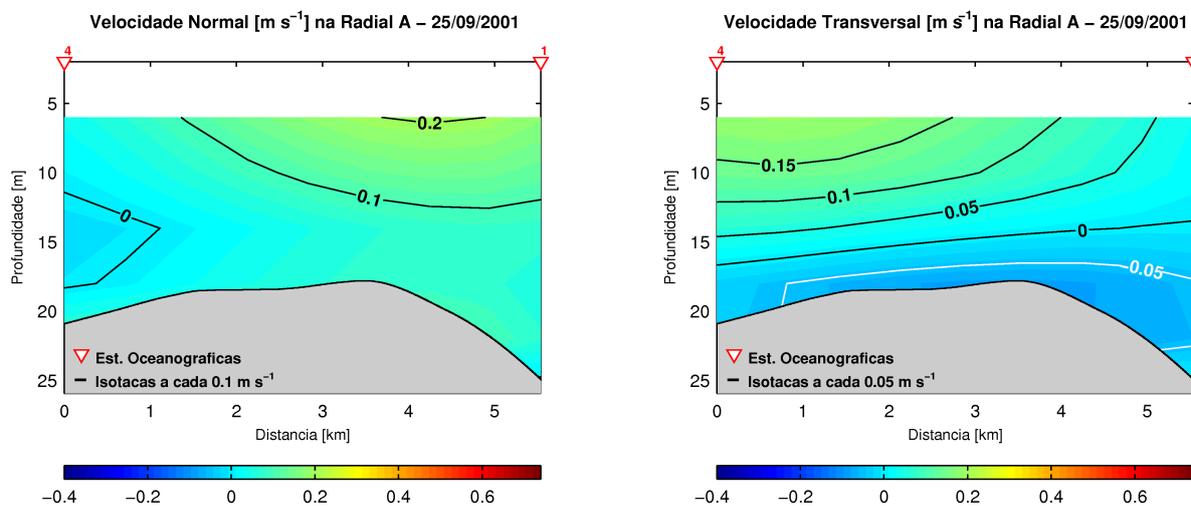


Figura 4.52: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial A, em $m s^{-1}$, para o cruzeiro de 25/09/2001. Valores positivos de velocidade representam correntes normais à seção para norte (esq.) e correntes transversais à seção do continente para a ISS (dir.).

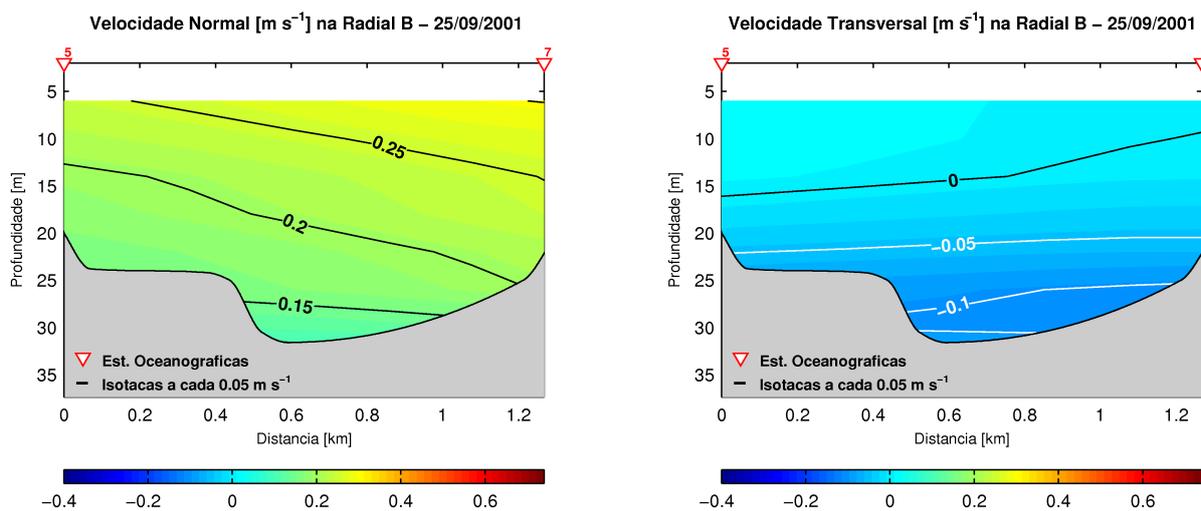


Figura 4.53: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial B, em $m s^{-1}$, para o cruzeiro de 25/09/2001. Valores positivos de velocidade representam correntes normais à seção para norte (esq.) e correntes transversais à seção do continente para a ISS (dir.).

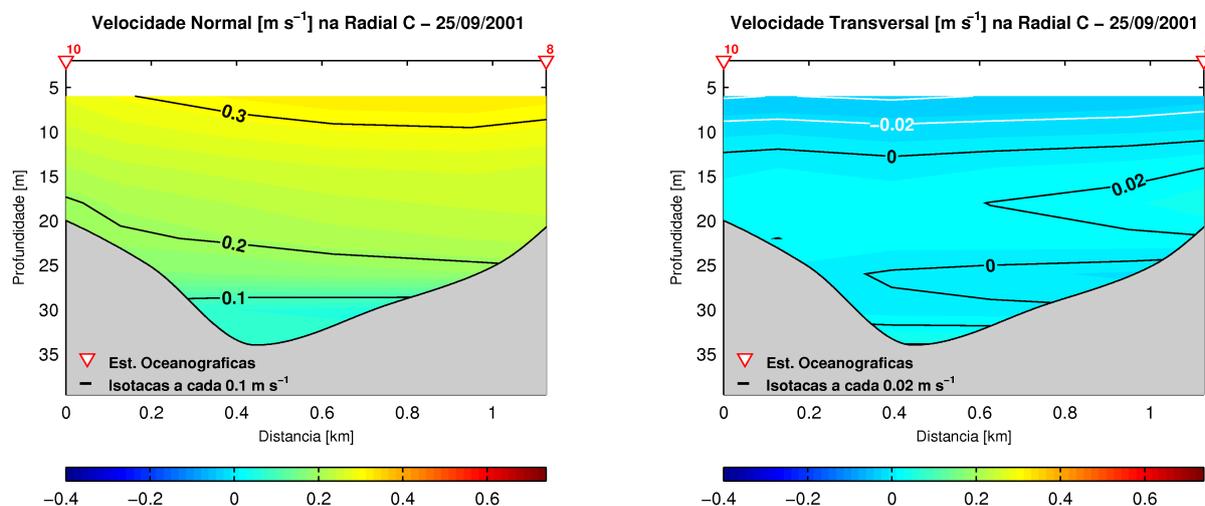


Figura 4.54: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial C, em m s^{-1} , para o cruzeiro de 25/09/2001. Valores positivos de velocidade representam correntes normais à seção para norte (esq.) e correntes transversais à seção do continente para a ISS (dir.).

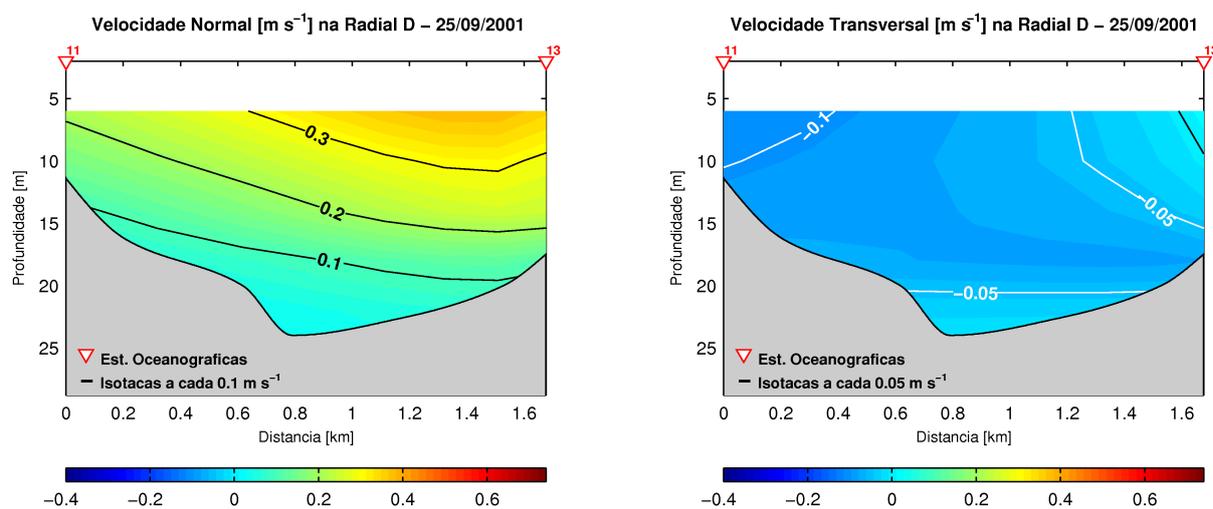


Figura 4.55: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial D, em m s^{-1} , para o cruzeiro de 25/09/2001. Valores positivos de velocidade representam correntes normais à seção para norte (esq.) e correntes transversais à seção do continente para a ISS (dir.).

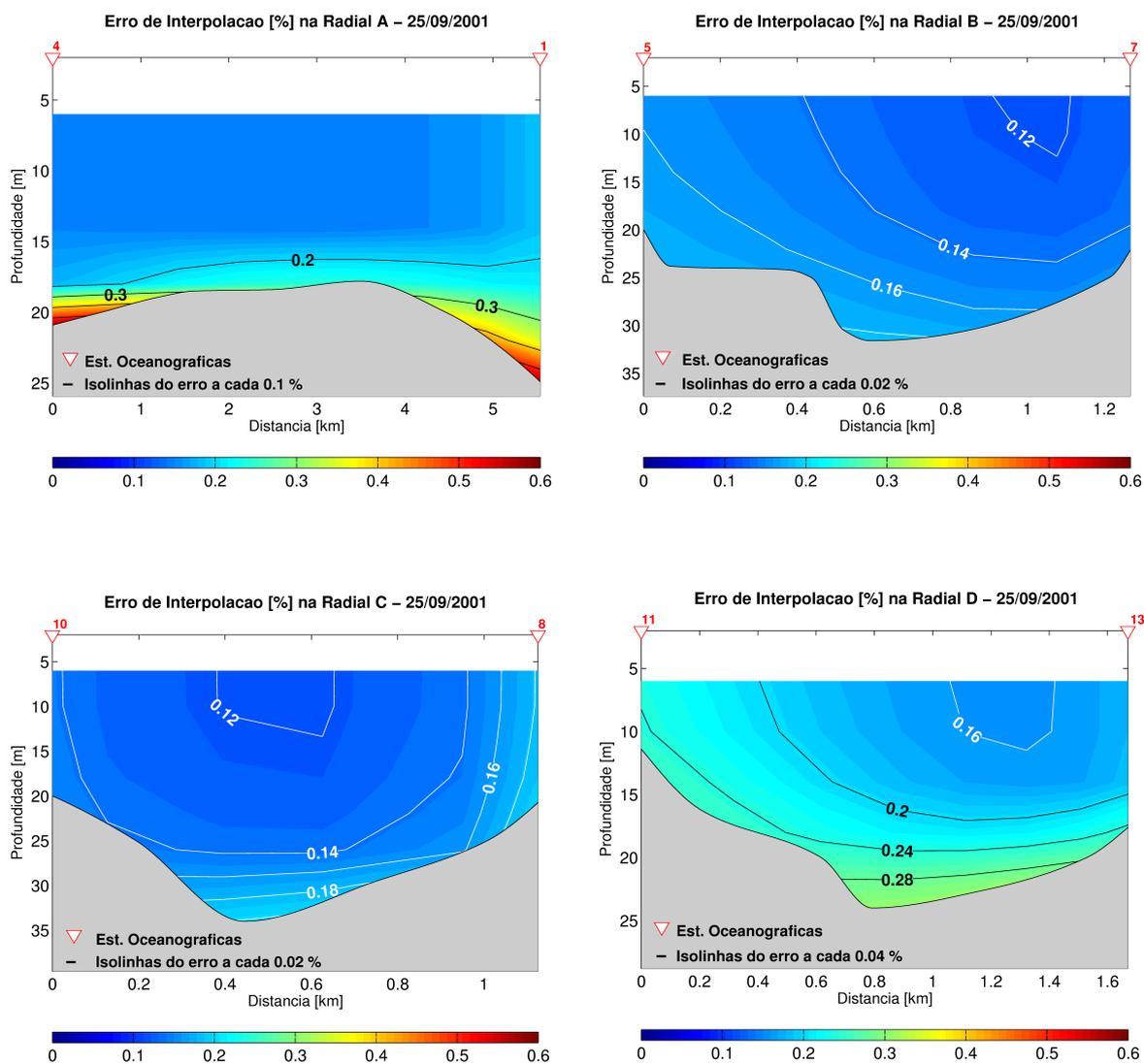


Figura 4.56: Erros de interpolação [%] para as seções verticais A (sup. esq.), B (sup. dir.), C (inf. esq.) e D (inf. dir.) dos campos de velocidade normal e transversal às respectivas radiais para o cruzeiro de 25/09/2001.

Na radial *D*, situada na extremidade norte do CSS, a componente normal à seção vertical (Figura 4.55) apresenta as mesmas características observadas nas seções verticais *B* (Figura 4.53) e *C* (Figura 4.54), em que esta flui em sua totalidade com direção para o norte, porém há um cisalhamento vertical e lateral pouco mais intenso quando comparado a essas seções. Na seção vertical *D* as maiores magnitudes das correntes normais são observadas nas proximidades da margem insular norte (da ordem de $0,35 \text{ m s}^{-1}$), enquanto que as menores intensidades são encontradas nas porções mais profundas dessa seção vertical. Pode-se observar na Figura 4.55 que a componente transversal de velocidade possui a sua maior intensidade, de cerca de $-0,10 \text{ m s}^{-1}$, na parte oeste da radial *D*, nas proximidades da superfície. Em praticamente toda a extensão dessa radial essa componente tem movimento negativo, ou seja, com orientação da ilha para o continente e é evidente a maior importância dos movimentos longitudinais nesta seção vertical.

A análise das quatro seções verticais denota significantes cisalhamentos verticais e laterais da intensidade da componente normal e uma aceleração advectiva do movimento em direção ao norte do CSS, com o aumento da intensidade máxima da componente normal de velocidade de $0,20 \text{ m s}^{-1}$, na radial *A*, para $0,35 \text{ m s}^{-1}$, na radial *D*.

Os erros de interpolação referentes aos campos de velocidade normal e transversal às seções verticais *A*, *B*, *C* e *D* podem ser observados na Figura 4.56.

4.4.2 Mapeamento dos Campos de Velocidade em 13/11/2002

Mapeamento Horizontal dos Campos de Velocidade

As trajetórias denominadas de *A* a *K*, que são mostradas na Figura 4.57, foram efetuadas pelo B/Pq Veliger II, que rebocou o perfilador de corrente durante o período de 6 horas e 47 minutos, no dia 13/11/2002. No mapeamento horizontal do campo de velocidade nas proximidades da superfície (Figura 4.57), em geral, a corrente tem sentido para NE e possui intensidade que varia de $0,05 \text{ m s}^{-1}$, na região noroeste, até $0,72 \text{ m s}^{-1}$, em sua porção central. Nesse mapeamento não são encontradas células de recirculação em nenhuma das extremidades do canal. Porém, a pequena intensidade e a direção para NNE da corrente na extremidade sudoeste, junto à costa continental, pode ser um indício da existência de recirculação anticiclônica nessa localidade.

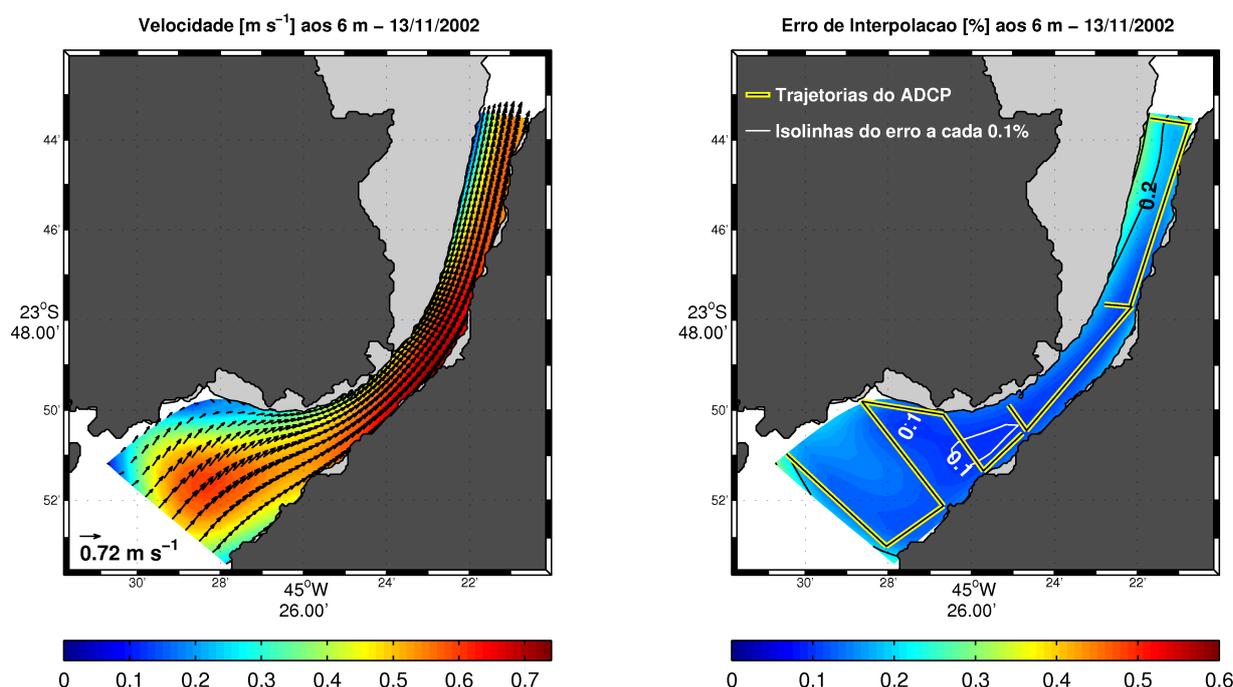


Figura 4.57: Mapeamento horizontal do campo de velocidade [m s^{-1}] aos 6 m (esq.) e o erro de interpolação [%] e as trajetórias efetuadas com ADCP (dir.) para o cruzeiro de 13/11/2002. As regiões com profundidades menores que 7 m são representadas pela máscara cinza.

Mapeamento Vertical dos Campos de Velocidade

A Figura 4.58 mostra o mapeamento vertical de velocidade normal e transversal à seção vertical na radial *A*. Em toda a coluna d'água dessa seção a corrente normal flui para norte, e as maiores intensidades, de $0,54 \text{ m s}^{-1}$, são encontradas na camada superficial, no entorno da região central da radial, enquanto que as menores intensidades, de $0,09 \text{ m s}^{-1}$, podem ser observadas no fundo, nas adjacências da ISS, e à meia-água nas proximidades da costa continental. Observa-se nesta seção vertical um intenso cisalhamento vertical e lateral da componente normal de velocidade e o seu decréscimo desde a região central da radial até as proximidades da estação oceanográfica de número 04, que pode indicar a ocorrência de fluxos com sentido oposto à oeste dessa estação. A componente transversal à seção apresenta valores pequenos, com intensidade máxima de $-0,15 \text{ m s}^{-1}$, quando comparados com a componente normal, indicando que os movimentos longitudinais são mais significativos nesta seção.

Na seção vertical da radial *B* (Figura 4.59), as características marcantes da componente normal à seção são o fluxo em direção ao norte em toda extensão da radial e a

elevação das isotacas da margem insular em direção ao continente, indicando um significativo cisalhamento vertical e lateral dessa componente de velocidade. Desta forma, as maiores velocidades normais, da ordem de $0,56 \text{ m s}^{-1}$, são observadas junto à ISS, nas proximidades da superfície, enquanto que as menores magnitudes, de cerca de $0,20 \text{ m s}^{-1}$, podem ser visualizadas junto ao fundo, no centro do canal. Na radial *B*, a componente transversal de velocidade (Figura 4.59) apresenta movimentos em duas camadas pouco intensos, com magnitude máxima de $0,04 \text{ m s}^{-1}$ do continente para a ISS, na camada superficial, e intensidade de até $-0,10 \text{ m s}^{-1}$, em sentido contrário, na camada de fundo.

O mapeamento vertical da componente normal à radial *C* (Figura 4.60) apresenta comportamento semelhante em relação à radial *B* (Figura 4.59), com as isotacas soerguendo-se da ISS para a costa continental e as correntes fluindo para norte em toda a coluna d'água. O intervalo de variação da magnitude das correntes normais está entre $0,64 \text{ m s}^{-1}$, na camada superficial e no entorno da ISS, e $0,15 \text{ m s}^{-1}$, na região mais profunda da radial. Quanto à componente transversal de velocidade (Figura 4.60), ela apresenta como característica principal o movimento em direção à margem insular, em toda a coluna d'água, com intensidades maiores (da ordem de $0,15 \text{ m s}^{-1}$) na camada superficial, nas proximidades da ISS. Ou seja, os movimentos longitudinais nesta seção têm maior relevância quando comparados aos fluxos transversais.

Na extremidade norte do CSS, onde está situada a seção vertical *D*, observa-se que o mapeamento vertical do campo de velocidade normal à seção (Figura 4.61) apresenta características parecidas com as apresentadas na radial *A*, com as correntes normais fluindo em sua totalidade para norte e as isotacas elevando-se entre a região onde as correntes são mais intensas e a margem insular e o continente. As maiores correntes normais, de cerca de $0,54 \text{ m s}^{-1}$, podem ser encontradas na profundidade de 6 m, nas proximidades da estação oceanográfica de número 13, e as correntes normais com as menores magnitudes são visualizadas nas proximidades do fundo submarino, no centro da radial. O comportamento das isotacas da componente transversal de velocidade (Figura 4.61) é semelhante ao observado na radial *C* (Figura 4.60), isto é, apresenta movimento em direção à ISS em toda sua extensão, com intensidades maiores (da ordem de $0,10 \text{ m s}^{-1}$) nas proximidades da margem insular, na camada superficial.

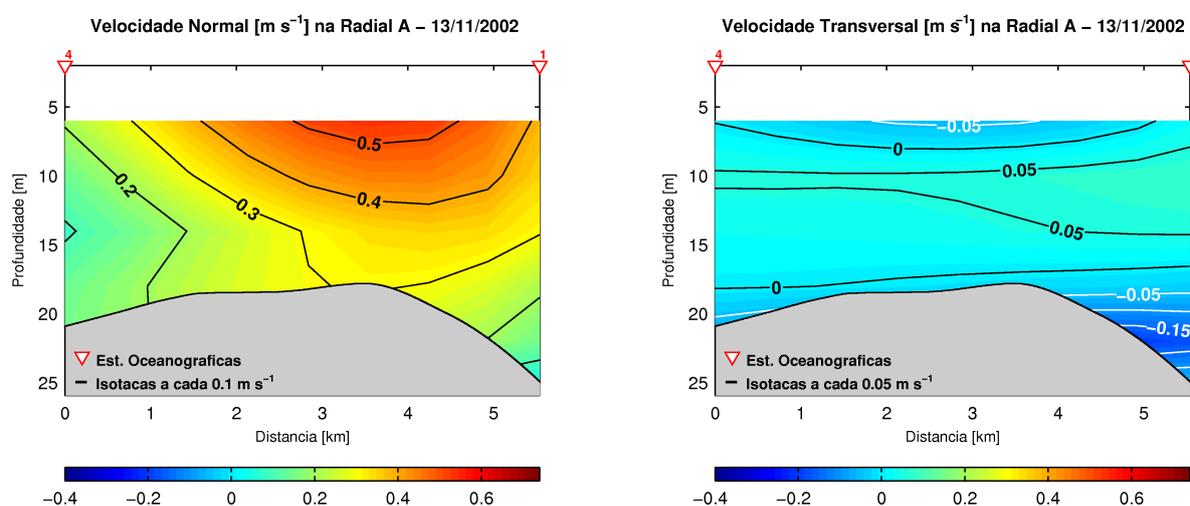


Figura 4.58: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial A, em $m s^{-1}$, para o cruzeiro de 13/11/2002. Valores positivos de velocidade representam correntes normais à seção para norte (esq.) e correntes transversais à seção do continente para a ISS (dir.).

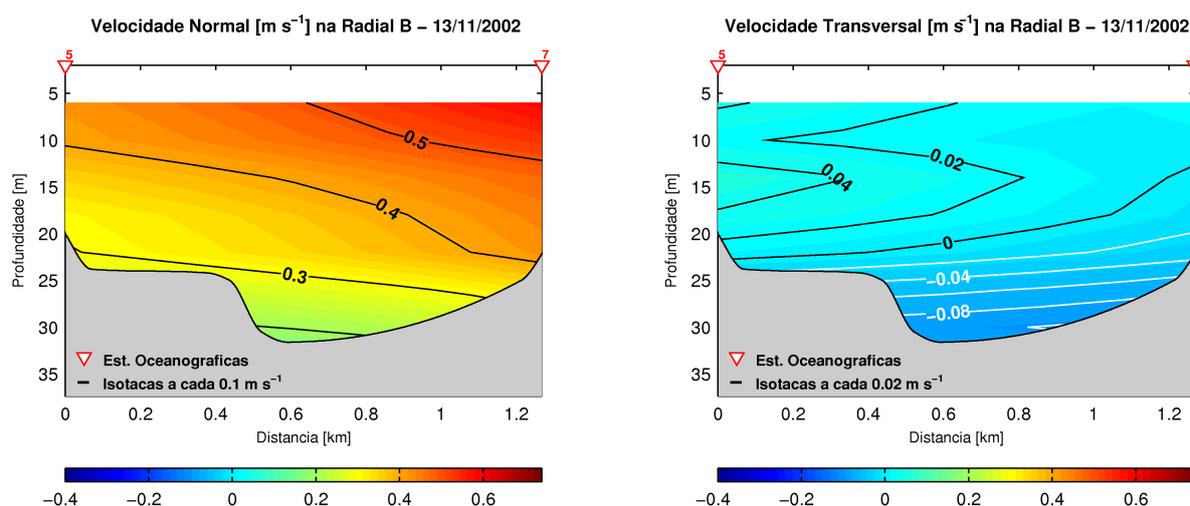


Figura 4.59: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial B, em $m s^{-1}$, para o cruzeiro de 13/11/2002. Valores positivos de velocidade representam correntes normais à seção para norte (esq.) e correntes transversais à seção do continente para a ISS (dir.).

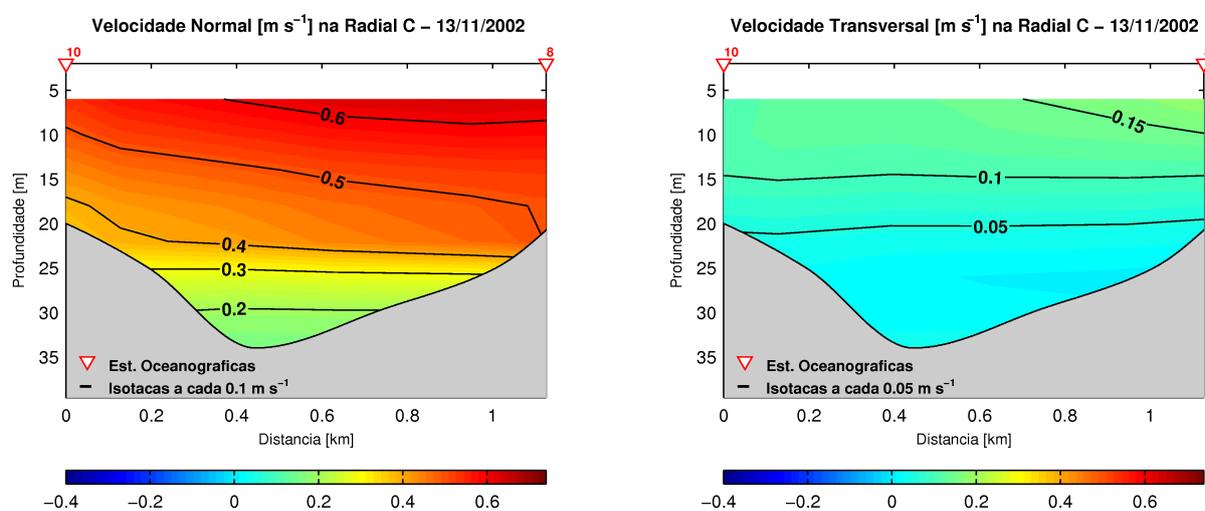


Figura 4.60: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial C, em m s^{-1} , para o cruzeiro de 13/11/2002. Valores positivos de velocidade representam correntes normais à seção para norte (esq.) e correntes transversais à seção do continente para a ISS (dir.).

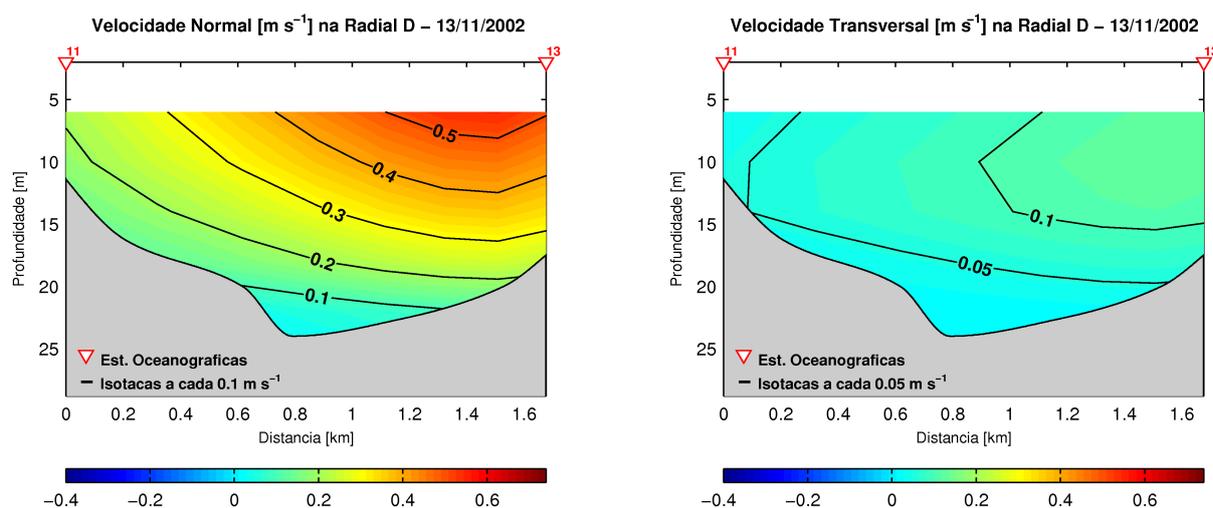


Figura 4.61: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial D, em m s^{-1} , para o cruzeiro de 13/11/2002. Valores positivos de velocidade representam correntes normais à seção para norte (esq.) e correntes transversais à seção do continente para a ISS (dir.).

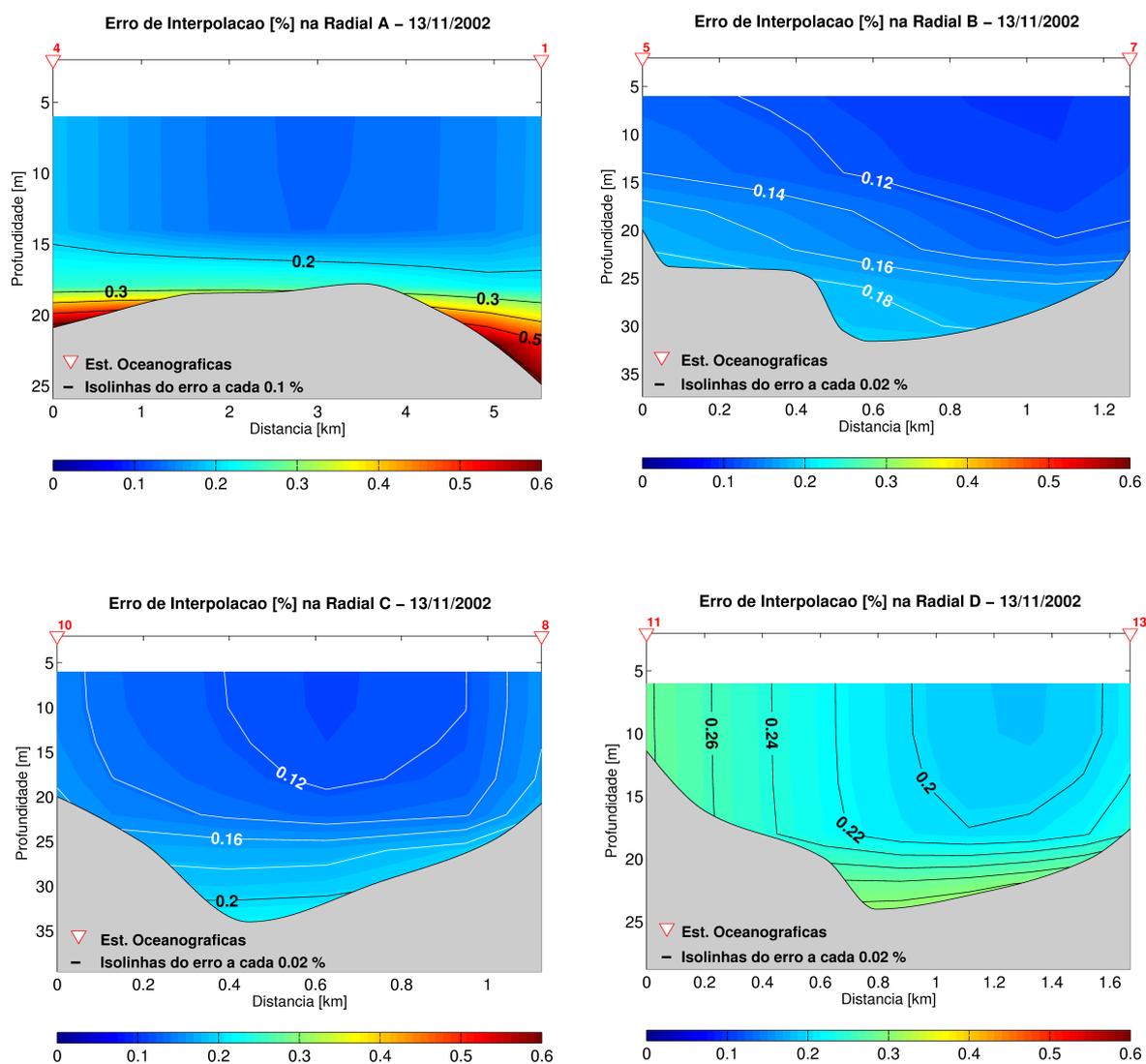


Figura 4.62: Erros de interpolação [%] para as seções verticais A (sup. esq.), B (sup. dir.), C (inf. esq.) e D (inf. dir.) dos campos de velocidade normal e transversal às respectivas radiais para o cruzeiro de 13/11/2002.

Uma aceleração advectiva das correntes normais em direção ao norte pode ser verificada entre as seções verticais *A*, *B* e *C*, em que essas correntes apresentam acréscimo em sua intensidade máxima, de $0,54 \text{ m s}^{-1}$, na radial *A*, para $0,64 \text{ m s}^{-1}$, na radial *C*. Entre as radiais *C* e *D* há um decréscimo na magnitude máxima dessas correntes, de $0,64 \text{ m s}^{-1}$ para $0,54 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente.

O mapeamento dos erros de interpolação nas seções verticais *A*, *B*, *C* e *D* podem ser observados na Figura 4.62.

4.4.3 Mapeamento dos Campos de Velocidade em 22/03/2006

Mapeamento Horizontal dos Campos de Velocidade

Para realizar o mapeamento das correntes em 22/03/2006 foram efetuadas as trajetórias *A*, *B*, *C*, *D*, *F* e *L* com o ADCP, em um período de 7 horas e 16 minutos, no CSS. Na Figura 4.63 essas trajetórias podem ser visualizadas, bem como o mapeamento horizontal de velocidade aos 6 m de profundidade e o erro de interpolação calculado na grade. O cenário observado nesse mapeamento é de corrente fluindo para NE em todo o canal, com magnitude de até $0,46 \text{ m s}^{-1}$, exceto na extremidade sul da grade em que as correntes fluem para NW e nas adjacências do continente, na região sul do CSS, onde fluem para S-SE. Esse fluxo para NW na extremidade sul da grade, com intensidade de até $0,20 \text{ m s}^{-1}$, pode indicar a presença de recirculação anticiclônica na região.

Mapeamento Vertical dos Campos de Velocidade

O mapeamento vertical de velocidade normal e transversal à seção vertical na radial *A* podem ser observados na Figura 4.64. Nessa seção vertical, a característica marcante é a existência de um núcleo com valores máximos da componente normal à seção, da ordem de $0,25 \text{ m s}^{-1}$, situado nas adjacências da margem insular sul do canal, com o centro na profundidade de 13 m. A componente normal flui para norte em toda a seção e apresenta um forte cisalhamento lateral, com decréscimo de sua intensidade do núcleo até as proximidades da estação oceanográfica de número 04, onde apresenta valor nulo na profundidade de 6 m, indicando a possibilidade de ocorrerem

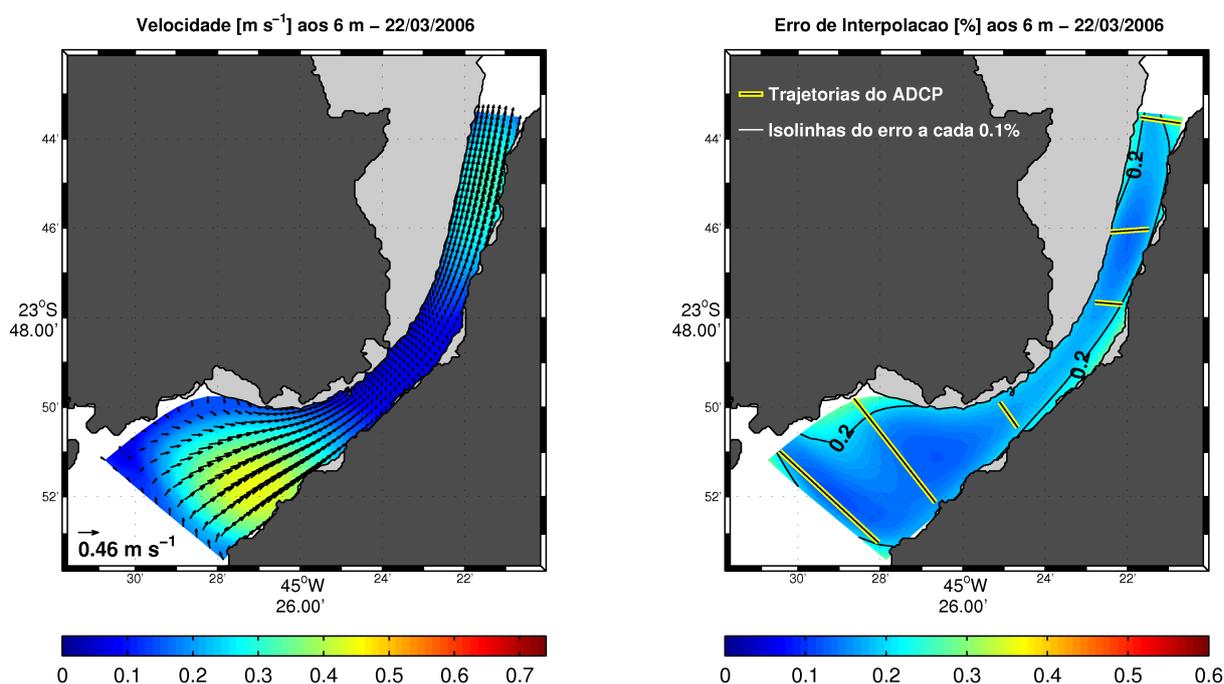


Figura 4.63: Mapeamento horizontal do campo de velocidade [m s^{-1}] aos 6 m (esq.) e o erro de interpolação [%] e as trajetórias efetuadas com ADCP (dir.) para o cruzeiro de 22/03/2006. As regiões com profundidades menores que 7 m são representadas pela máscara cinza.

movimentos em direção ao sul na região situada a oeste dessa estação oceanográfica. A componente transversal à esta seção (Figura 4.64) apresenta os maiores valores, da ordem de $-0,10 \text{ m s}^{-1}$ na parte oeste da seção vertical, junto ao fundo. Entre 6 m e 7 m essa componente transversal de velocidade tem direção da ilha para o continente, com magnitude de até $-0,06 \text{ m s}^{-1}$ próximo à ISS; e apresenta valores positivos com núcleo de $0,03 \text{ m s}^{-1}$, que denotam movimento do continente para a ilha, à meia-água. Observa-se que a intensificação dos movimentos transversais com direção para a costa continental coincide com a tendência da ocorrência de movimentos longitudinais para sul, na região oeste da seção.

A Figura 4.65 apresenta o mapeamento vertical do campo de velocidade normal à seção vertical na radial B. Essa seção vertical é caracterizada pela corrente longitudinal fluindo para norte em toda sua extensão e também pelas maiores intensidades dessa corrente ocorrerem em um núcleo de valor máximo de $0,24 \text{ m s}^{-1}$, situado entre as profundidades de 13 m e 20 m, na região centro-leste da seção. O cisalhamento lateral da componente normal de velocidade é menos significativo do que o cisalhamento verti-

cal dessa mesma componente. As correntes normais menos intensas (de $\cong 0,08 \text{ m s}^{-1}$) são observadas nas proximidades da costa continental, na camada superficial, e no centro da radial, no fundo. Nessa seção vertical constata-se que a componente transversal de velocidade (Figura 4.65) possui movimento com sentido da ilha para a costa continental na camada de fundo e movimento nos dois sentidos na camada de superfície. Os movimentos transversais apresentam pouca intensidade comparados aos movimentos longitudinais, com valor máximo de $-0,08 \text{ m s}^{-1}$.

Na radial *C*, constata-se que o mapeamento vertical da componente normal à seção (Figura 4.66) apresenta um comportamento semelhante às seções verticais *A* (Figura 4.64) e *B* (Figura 4.65), com as correntes normais fluindo, em toda a sua extensão, para norte e com a presença de um núcleo com intensidade máxima de $0,22 \text{ m s}^{-1}$, situado entre 12 m e 16 m de profundidade, na porção centro-oeste da seção. Há, também, cisalhamento vertical mais importante que o cisalhamento lateral para a componente normal de velocidade. Na seção vertical *C*, a componente normal possui as menores intensidades, da ordem de $0,05 \text{ m s}^{-1}$, no centro da radial, nas proximidades do leito marinho. A componente transversal (Figura 4.66) apresenta movimento em duas camadas e bidirecional, com direção para leste na camada superior, com magnitude de até $0,05 \text{ m s}^{-1}$, e para oeste na camada inferior, com intensidade máxima de $-0,04 \text{ m s}^{-1}$.

Mais ao norte, onde está localizada a seção vertical *D*, a componente de velocidade normal à seção (Figura 4.67) apresenta característica semelhante às demais radiais, com fluxo para norte em toda seção e com a ocorrência de núcleo de valor máximo com intensidade de $0,22 \text{ m s}^{-1}$, situado na camada superficial e na região central da radial. Observa-se, ainda, cisalhamento vertical da componente normal, bem como o cisalhamento lateral dessa componente, com decréscimo da intensidade em direção ao continente a partir de seu núcleo de máximo valor. A componente transversal é pouco intensa, da ordem de $-0,02 \text{ m s}^{-1}$ para os movimentos da ilha para a costa continental e apresenta núcleo de máxima velocidade de $0,04 \text{ m s}^{-1}$ para os movimentos de sentido oposto, próximo à margem insular. A predominância dos movimentos longitudinais nessa seção é evidente.

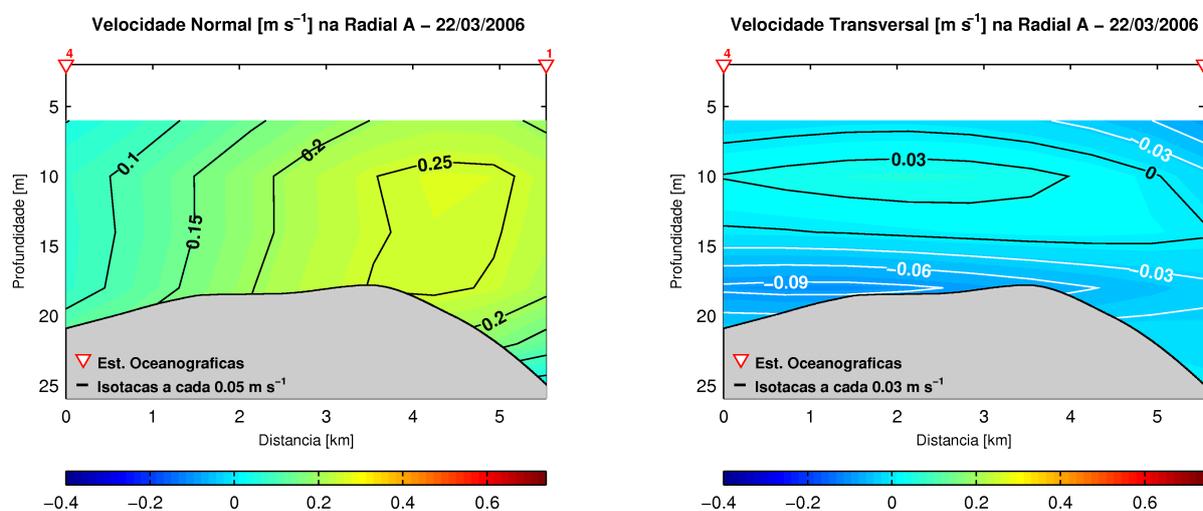


Figura 4.64: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial A, em $m s^{-1}$, para o cruzeiro de 22/03/2006. Valores positivos de velocidade representam correntes normais à seção para norte (esq.) e correntes transversais à seção do continente para a ISS (dir.).

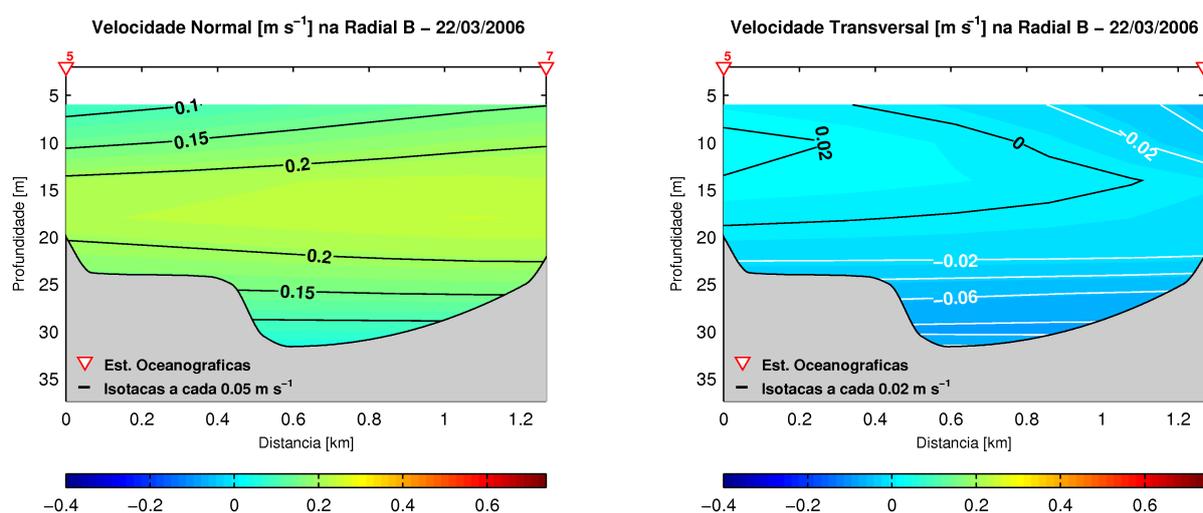


Figura 4.65: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial B, em $m s^{-1}$, para o cruzeiro de 22/03/2006. Valores positivos de velocidade representam correntes normais à seção para norte (esq.) e correntes transversais à seção do continente para a ISS (dir.).

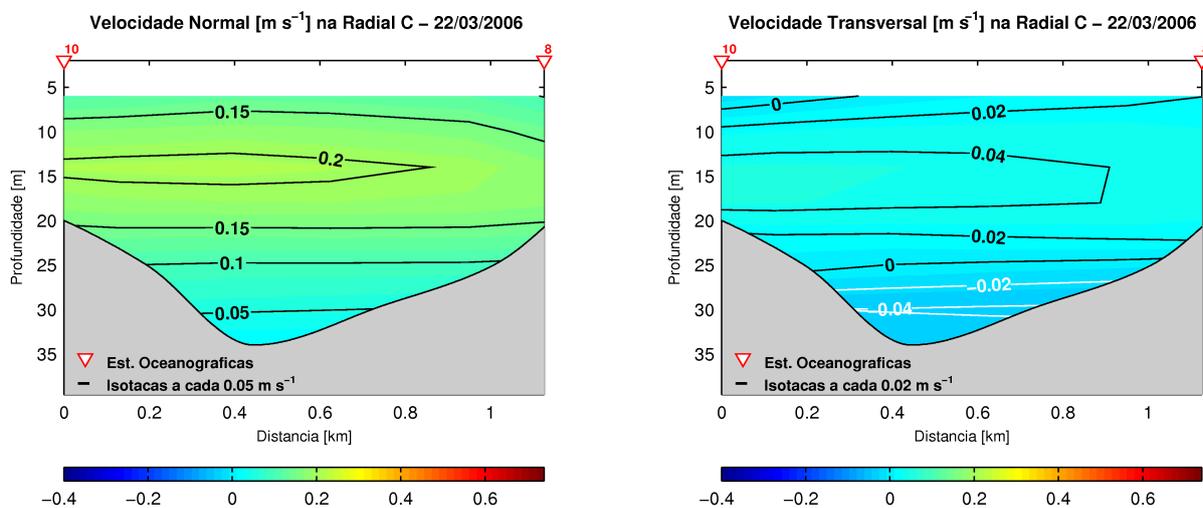


Figura 4.66: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial *C*, em m s^{-1} , para o cruzeiro de 22/03/2006. Valores positivos de velocidade representam correntes normais à seção para norte (esq.) e correntes transversais à seção do continente para a ISS (dir.).

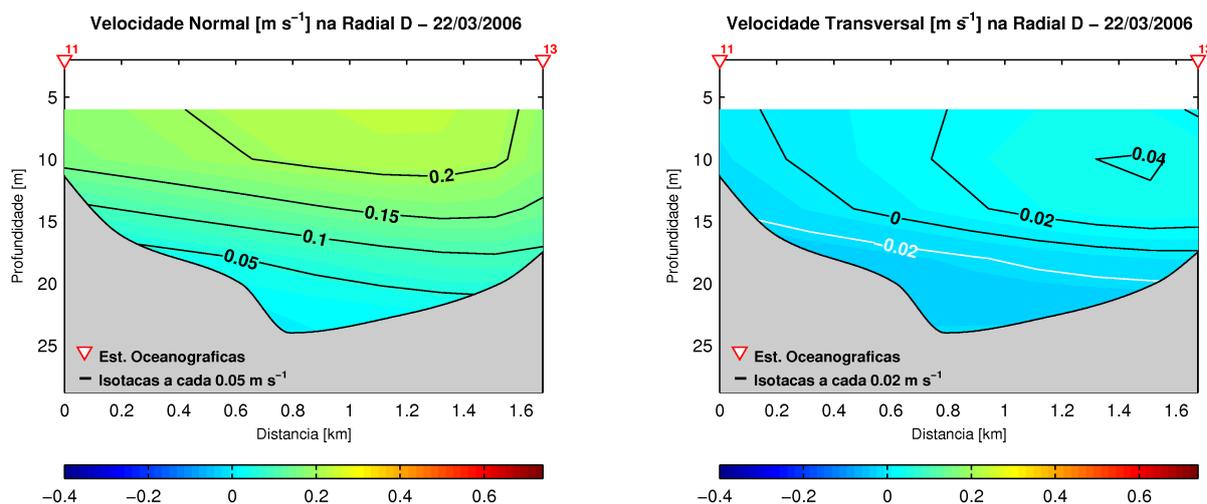


Figura 4.67: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial *D*, em m s^{-1} , para o cruzeiro de 22/03/2006. Valores positivos de velocidade representam correntes normais à seção para norte (esq.) e correntes transversais à seção do continente para a ISS (dir.).

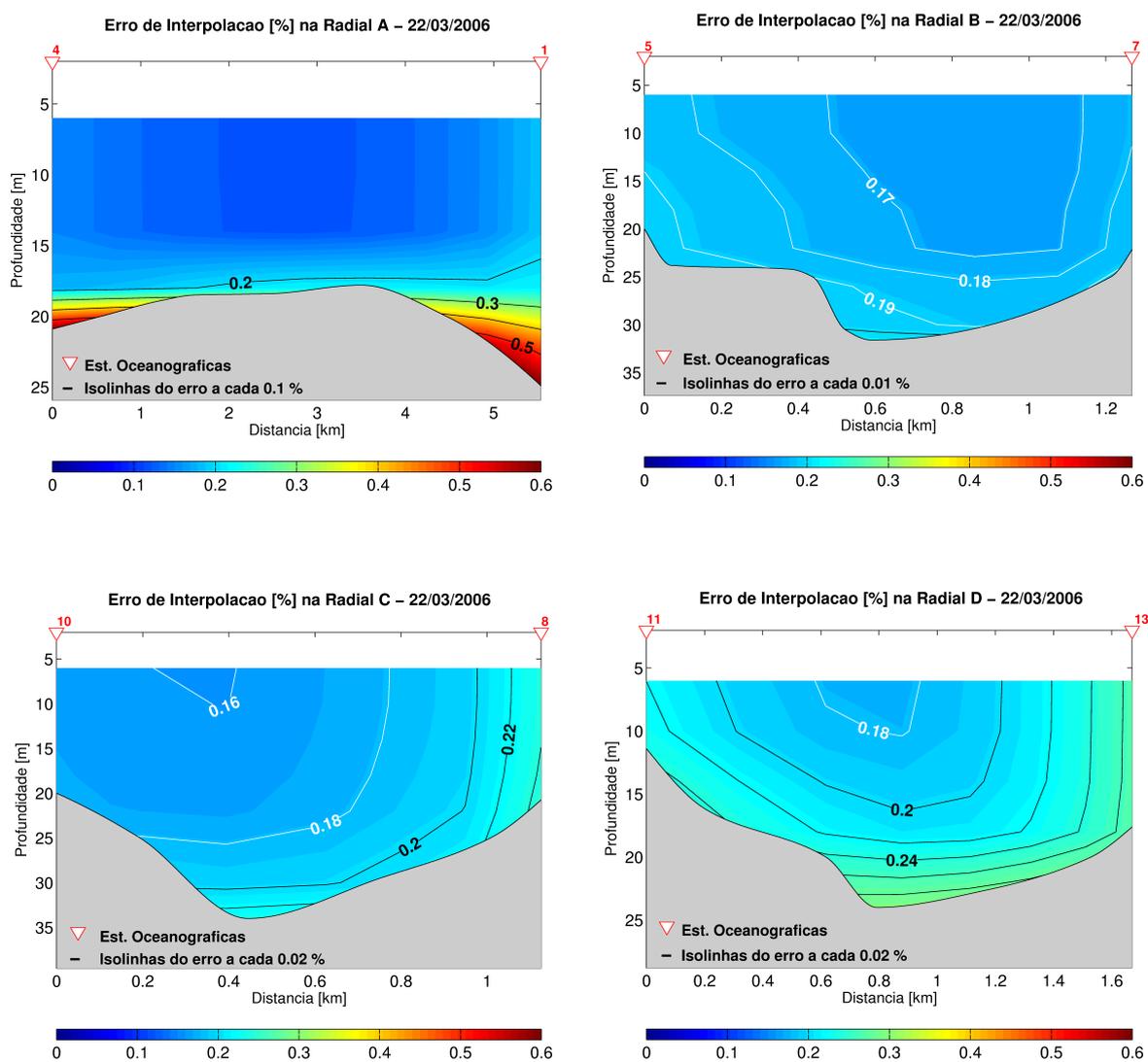


Figura 4.68: Erros de interpolação [%] para as seções verticais A (sup. esq.), B (sup. dir.), C (inf. esq.) e D (inf. dir.) dos campos de velocidade normal e transversal às respectivas radiais para o cruzeiro de 22/03/2006.

Nesse cruzeiro é observado que as correntes normais apresentam decréscimo em intensidade máxima entre as radiais *A* e *C*, de $0,25 \text{ m s}^{-1}$, na radial *A*, para $0,22 \text{ m s}^{-1}$, na radial *C*, mantendo-se constante entre as radiais *C* e *D*.

Os erros de interpolação nas seções verticais *A*, *B*, *C* e *D* são apresentados na Figura 4.68.

4.4.4 Mapeamento dos Campos de Velocidade em 27/07/2006

Mapeamento Horizontal dos Campos de Velocidade

Nesse levantamento oceanográfico realizado no inverno de 2006, as trajetórias chamadas de *A* a *K* (Figura 4.69) foram percorridas com o perfilador de corrente em um período de 7 horas e 36 minutos. O campo de velocidade mapeado horizontalmente aos 6 m de profundidade apresenta valores pouco intensos das velocidades em todo o canal, sendo o maior valor, de $0,26 \text{ m s}^{-1}$, encontrado na região centro-norte do canal, nas proximidades da isóbata de 7 m, no lado continental. De acordo com a Figura 4.69, o cenário desse cruzeiro oceanográfico é caracterizado por correntes fluindo para SW em todo o canal, excetuando-se na região ao sul do CSS, próximo ao continente, onde pode ser observada a ocorrência de um giro ciclônico centrado na posição geográfica de latitude $23^\circ 51,1' \text{ S}$ e longitude $045^\circ 27,3' \text{ W}$, situado a cerca de 2,6 km e na direção SSW da ponta do Guaecá (este ponto de referência é discriminado na Figura 1.2). Na extremidade norte do canal não é constatada a presença de vórtices ou meandros.

Mapeamento Vertical dos Campos de Velocidade

O mapeamento de velocidade normal e transversal à seção vertical em toda a coluna d'água na radial *A*, pode ser verificado na Figura 4.70. Na seção vertical de velocidade normal à seção é observada, na entrada sul insular, uma circulação em duas camadas e bidirecional, com as correntes normais superficiais fluindo para sul, da ordem de $-0,10 \text{ m s}^{-1}$, e as correntes normais profundas fluindo para norte, com cerca de $0,04 \text{ m s}^{-1}$. Em direção ao continente, a componente normal de velocidade anula-se na região central da radial *A* e desta região até as proximidades da costa continen-

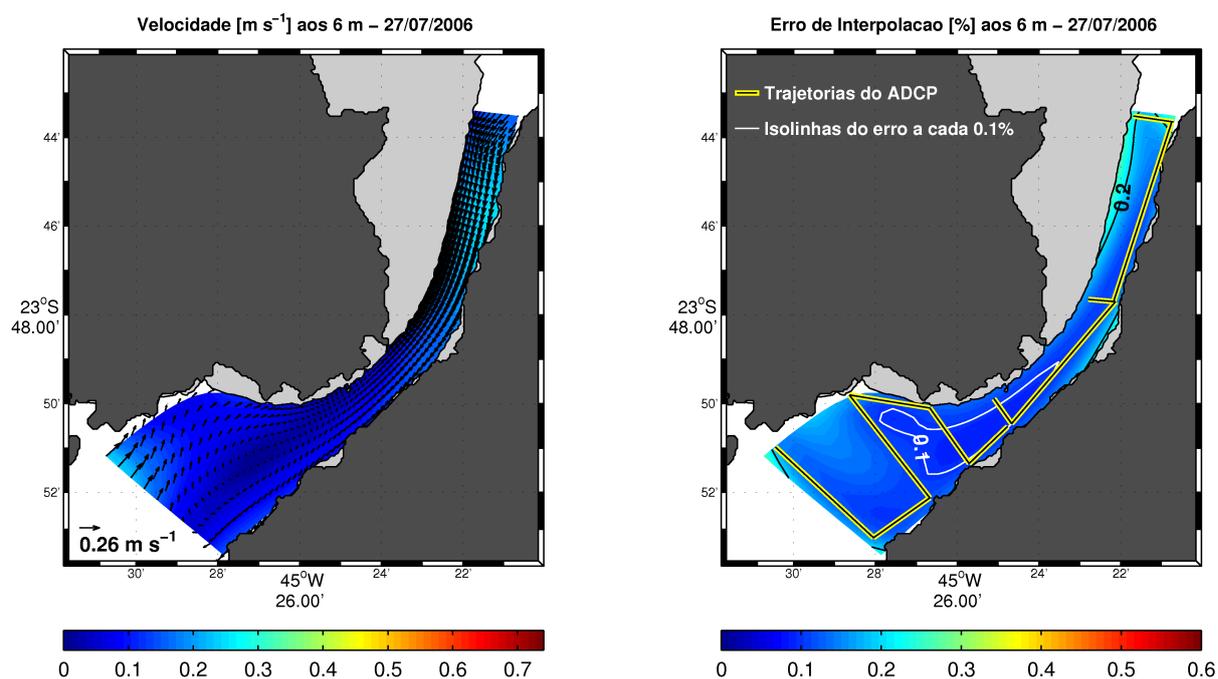


Figura 4.69: Mapeamento horizontal do campo de velocidade [m s^{-1}] aos 6 m (esq.) e o erro de interpolação [%] e as trajetórias efetuadas com ADCP (dir.) para o cruzeiro de 27/07/2006. As regiões com profundidades menores que 7 m são representadas pela máscara cinza.

tal o movimento tem sentido oposto, ou seja, flui para norte, configurando a existência de recirculação ciclônica nesta localidade, entre a superfície e a profundidade de 20 m. Essas características da intensidade da componente normal de velocidade, com movimento bidirecional em duas camadas e ocorrência de giro ciclônico, evidenciam o grande cisalhamento vertical e lateral de velocidade nesta seção. A componente transversal à seção vertical *A* caracteriza-se por apresentar em toda a coluna d'água fluxo negativo, que indica movimentos da ISS para o continente associados à presença do giro ciclônico, com intensidades que variam de $-0,05 \text{ m s}^{-1}$, na camada superior, a $-0,20 \text{ m s}^{-1}$, situada em um núcleo de máxima velocidade, ao centro da radial e nas proximidades do contorno do fundo marinho, de acordo com a Figura 4.70. Nesta seção vertical, a componente transversal de velocidade apresenta a mesma ordem de grandeza da componente normal, indicando a importância dessas duas componentes nessa localidade.

Na seção vertical da radial *B*, a principal característica observada para a componente normal à seção (Figura 4.71) é a existência de circulação em duas camadas e bidirecional, delimitada pela isotaca zero, nas profundidades entre 20 m e 23 m. Na

camada mais profunda o fluxo é para norte, com intensidade da corrente longitudinal muito pequena, da ordem de $0,02 \text{ m s}^{-1}$, enquanto que na camada superficial as correntes longitudinais têm direção para sul e apresentam intensidades entre zero e $-0,08 \text{ m s}^{-1}$. A componente transversal à seção vertical *B* (Figura 4.71) tem pequena intensidade e apresenta, também, movimentos bidirecionais em duas camadas. Na camada superior, a componente transversal tem fluxo do continente para a ISS, com intensidade máxima de $0,04 \text{ m s}^{-1}$ e, na camada inferior, tem fluxo em sentido oposto, com magnitude de até $-0,06 \text{ m s}^{-1}$. Diferentemente da seção vertical *A* (Figura 4.70), situada mais ao sul, na radial *B*, não há ocorrência de recirculação.

A característica marcante na seção vertical da radial *C*, que consta na Figura 4.72, é a componente normal de velocidade com sentido sul em toda a coluna d'água, com intensidade máxima de $-0,26 \text{ m s}^{-1}$, nas proximidades da margem insular, aos 15 m de profundidade. A componente transversal nesta seção tem sentido da ISS para o continente em toda a coluna d'água, com intensidade que varia entre $-0,02 \text{ m s}^{-1}$ na camada superficial e $-0,06 \text{ m s}^{-1}$ na camada inferior, como pode ser visualizado na figura supracitada. Os movimentos longitudinais apresentam-se mais importantes do que os fluxos transversais na seção vertical *C*.

O comportamento das correntes normais à seção vertical *D* (Figura 4.73), situada na boca norte do CSS, é semelhante ao da radial *C* (Figura 4.72), ou seja, fluem para sul em toda coluna d'água. As correntes normais são pouco intensas, com valores de até $-0,14 \text{ m s}^{-1}$, encontradas na margem insular norte, na camada superficial. Observa-se nesta seção um relevante cisalhamento vertical e lateral da componente normal, com decréscimo de seus valores em direção ao fundo e à costa continental. Nesta seção vertical, constata-se, também, que as isotacas da componente transversal de velocidade apresentam valores negativos ao longo de toda a sua extensão, indicando movimentos da ilha para o continente. As componentes transversal e longitudinal de velocidade apresentam, nesta localidade, mesma ordem de grandeza, denotando a significância dessas duas componentes.

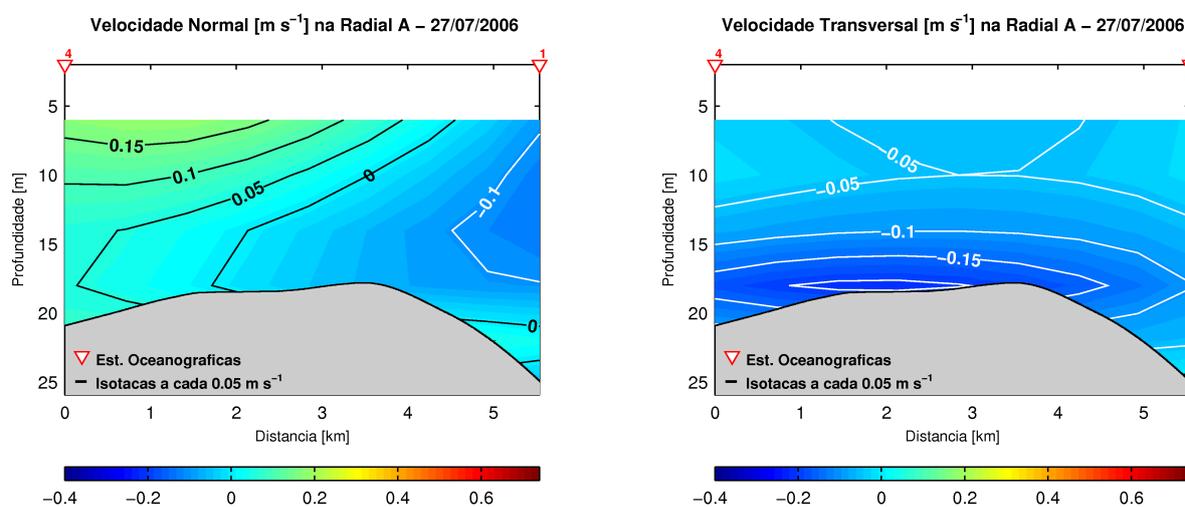


Figura 4.70: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial A, em $m s^{-1}$, para o cruzeiro de 27/07/2006. Valores negativos de velocidade representam correntes normais à seção para sul (esq.) e correntes transversais à seção da ISS para o continente (dir.).

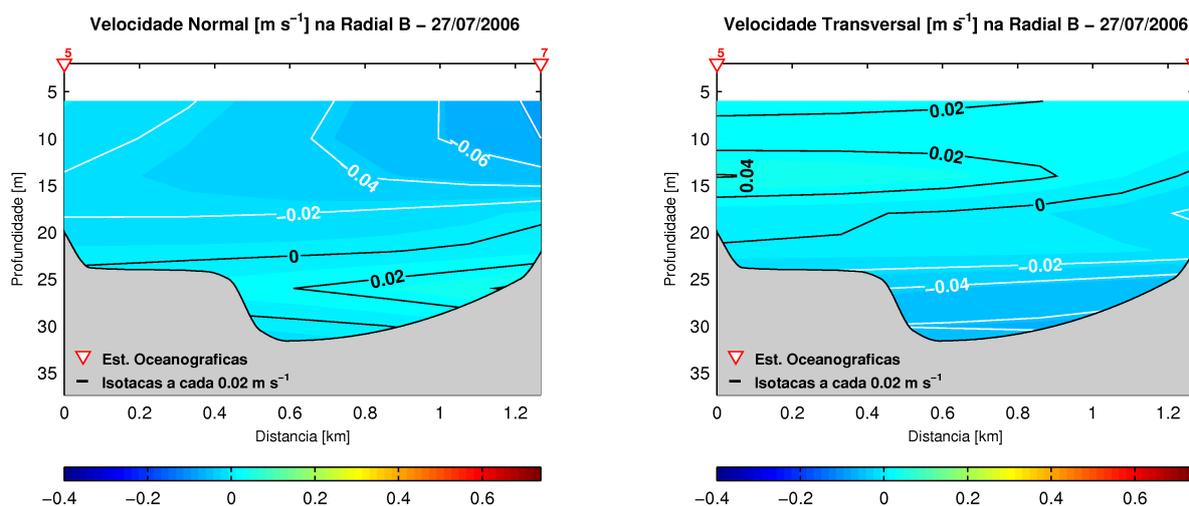


Figura 4.71: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial B, em $m s^{-1}$, para o cruzeiro de 27/07/2006. Valores negativos de velocidade representam correntes normais à seção para sul (esq.) e correntes transversais à seção da ISS para o continente (dir.).

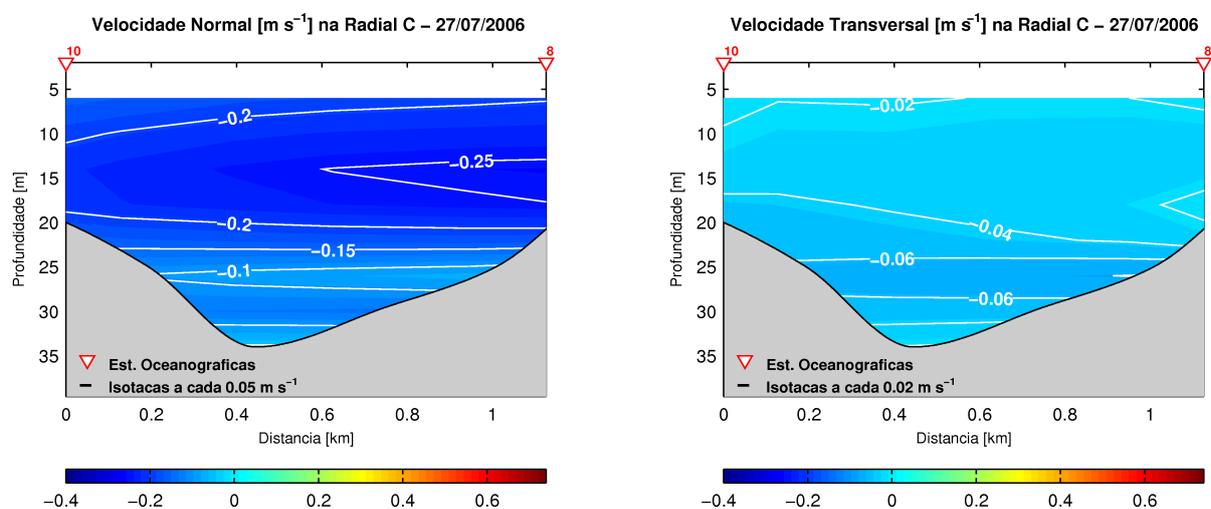


Figura 4.72: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial *C*, em m s^{-1} , para o cruzeiro de 27/07/2006. Valores negativos de velocidade representam correntes normais à seção para sul (esq.) e correntes transversais à seção da ISS para o continente (dir.).

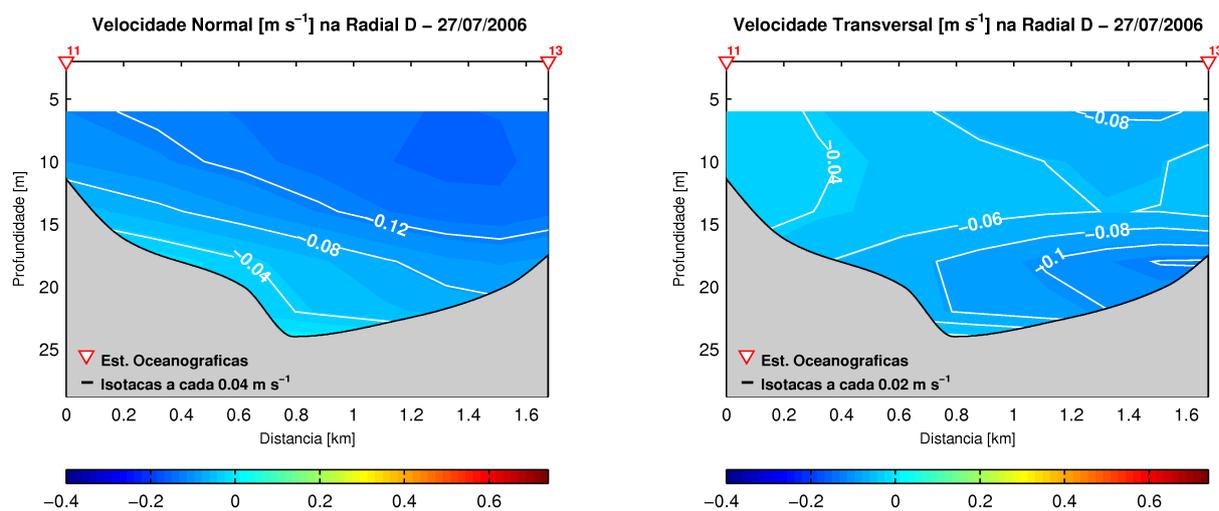


Figura 4.73: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial *D*, em m s^{-1} , para o cruzeiro de 27/07/2006. Valores negativos de velocidade representam correntes normais à seção para sul (esq.) e correntes transversais à seção da ISS para o continente (dir.).

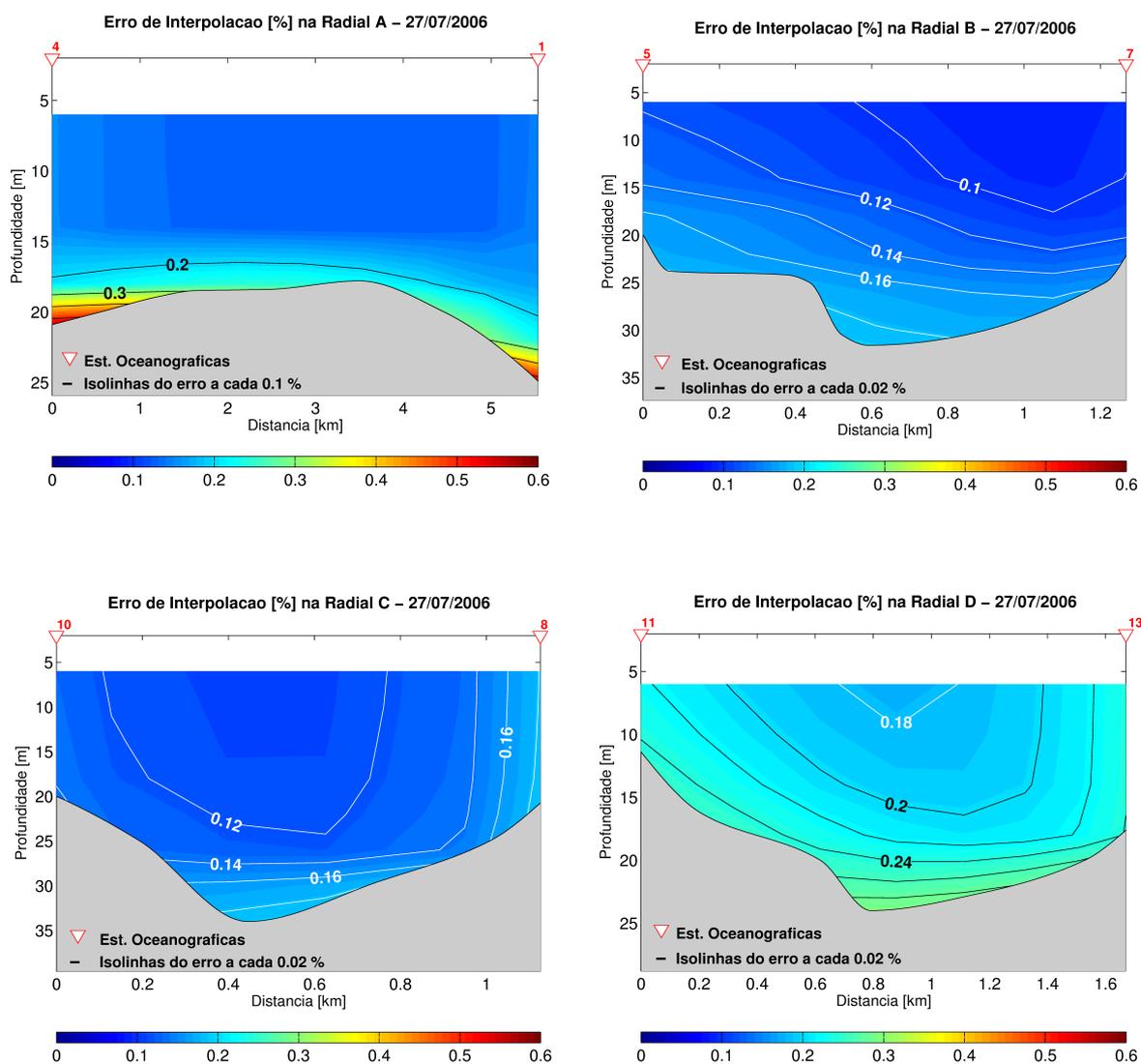


Figura 4.74: Erros de interpolação [%] para as seções verticais *A* (sup. esq.), *B* (sup. dir.), *C* (inf. esq.) e *D* (inf. dir.) dos campos de velocidade normal e transversal às respectivas radiais para o cruzeiro de 27/07/2006.

Nesse cruzeiro, que apresenta movimentos longitudinais predominantes para SW, são observadas acelerações advectivas nessa direção entre as radiais *D* e *C*, que mostram intensidade máxima de $-0,14 \text{ m s}^{-1}$ e $-0,26 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente, e entre as radiais *B* e *A*, que têm magnitude de até $-0,08 \text{ m s}^{-1}$ e $-0,12 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente. Para os movimentos longitudinais em direção ao norte, observados nas seções verticais *A* e *B*, há um decréscimo da intensidade máxima da componente normal de velocidade da radial *A* ($0,04 \text{ m s}^{-1}$) para a radial *B* ($0,03 \text{ m s}^{-1}$).

O mapeamento dos erros de interpolação calculados para este cruzeiro nas seções verticais das radiais *A*, *B*, *C* e *D* são observados na Figura 4.74.

4.4.5 Mapeamento dos Campos de Velocidade em 10/10/2006

Mapeamento Horizontal dos Campos de Velocidade

As trajetórias mostradas na Figura 4.75 duraram 10 horas e 13 minutos para serem percorridas, no cruzeiro oceanográfico de 10/10/2006. Nessa mesma figura pode-se visualizar o cenário do campo de velocidade aos 6 m de profundidade, em que as correntes têm pouca intensidade e fluxo predominante para SW, exceto na porção sul do CSS, onde existe recirculação ciclônica, centrada na latitude $23^{\circ} 51,8' \text{ S}$ e longitude $045^{\circ} 29,8' \text{ W}$, a cerca de 5,9 km e a SW da ponta do Guaecá (este ponto notável é apresentado na Figura 1.2). Na extremidade norte do canal não é observada a ocorrência de recirculações. No mapeamento horizontal de velocidade observa-se, também, que as correntes que apresentam maiores magnitudes (da ordem de $0,24 \text{ m s}^{-1}$) estão situadas na região centro-norte do CSS, enquanto que as menores intensidades (cerca de $0,02 \text{ m s}^{-1}$) são encontradas na porção sul do CSS, nas proximidades da costa continental.

Mapeamento Vertical dos Campos de Velocidade

Situada na entrada sul do CSS, a seção vertical de velocidade normal à radial *A* (Figura 4.76) apresenta como característica importante a ocorrência de fluxos em duas camadas e bidirecionais nas proximidades da margem insular, além da ocorrência de giro ciclônico entre as proximidades da superfície e a profundidade de 20 m, em toda

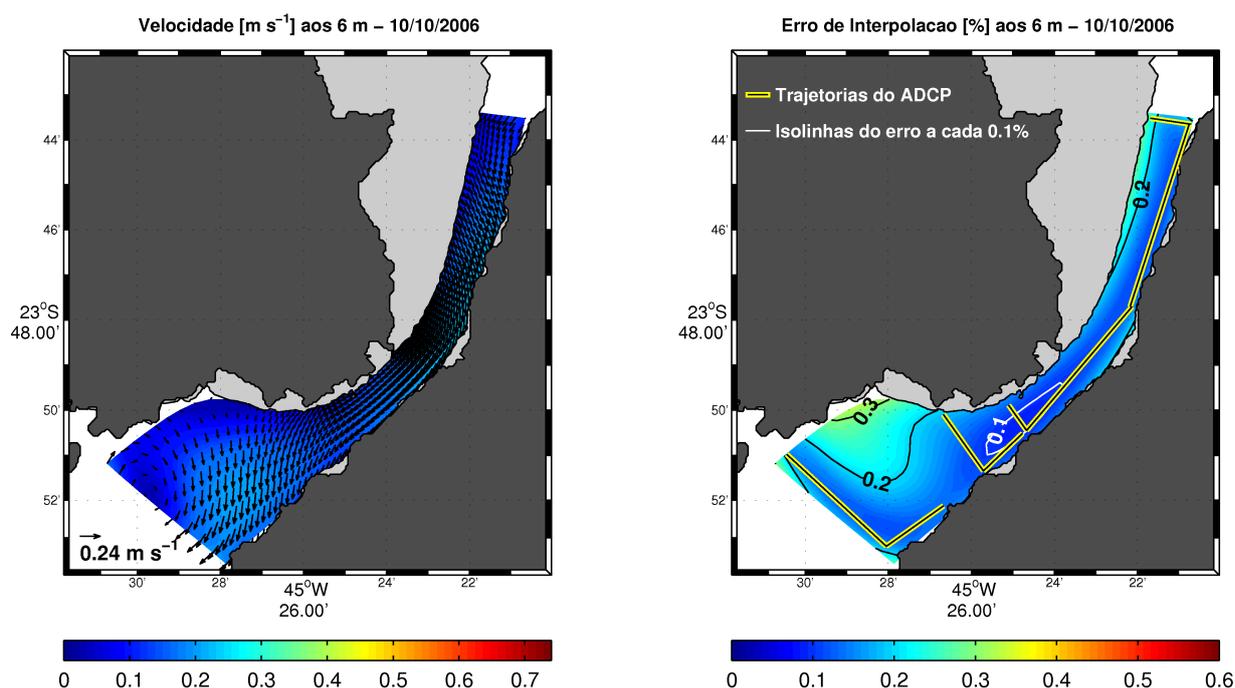


Figura 4.75: Mapeamento horizontal do campo de velocidade [m s^{-1}] aos 6 m (esq.) e o erro de interpolação [%] e as trajetórias efetuadas com ADCP (dir.) para o cruzeiro de 10/10/2006. As regiões com profundidades menores que 7 m são representadas pela máscara cinza.

extensão da radial. Nas proximidades da margem insular, a corrente normal segue para sul, com intensidade de até $-0,18 \text{ m s}^{-1}$ entre a superfície e a profundidade de 20 m, quando atinge a isotaca zero e, a partir dessa profundidade até o fundo, a corrente normal tem direção para norte, com intensidade de até $0,04 \text{ m s}^{-1}$. Nas adjacências da costa continental, as correntes normais à seção fluem para norte em toda a coluna d'água e apresentam magnitudes pequenas, da ordem de $0,05 \text{ m s}^{-1}$. O comportamento da corrente normal à esta seção comprova a importância do cisalhamento vertical e lateral dessa componente de velocidade. As correntes transversais à seção vertical *A* (Figura 4.76) têm pequena intensidade, da ordem de $0,05 \text{ m s}^{-1}$, e fluem da costa continental para a ilha nos primeiros 11 m e abaixo dos 22 m de profundidade e se movimentam com sentido contrário entre essas profundidades.

No centro do canal, localiza-se a radial *B*, cuja seção vertical de velocidade normal (Figura 4.77) apresenta como característica marcante um fluxo de correntes para sul, com intensidade máxima de $-0,16 \text{ m s}^{-1}$, à meia-água e nas adjacências da ISS, e menores magnitudes nas regiões mais profundas. Nesta seção vertical, observa-se que

a componente transversal de velocidade (Figura 4.77) apresenta pouca intensidade, da ordem de $0,05 \text{ m s}^{-1}$, com movimento do continente para a ilha nos primeiros 25 m e com sentido oposto nas regiões mais profundas.

No mapeamento vertical de velocidade normal à seção *C* (Figura 4.78), as correntes normais apresentam fluxo para sul em toda a coluna d'água, com um núcleo de magnitude máxima de $-0,27 \text{ m s}^{-1}$, situado na profundidade de 15 m, na porção centro-oeste da seção. As correntes transversais à esta seção fluem do continente para a ilha nos primeiros 7 m e da ISS para a costa continental abaixo dessa profundidade.

As correntes normais à seção vertical da radial *D* (Figura 4.79) apresentam comportamento semelhante às radiais *B* e *C*, com fluxo unidirecional para sul em toda a coluna d'água, além de possuírem intensidades pequenas, da ordem de $-0,12 \text{ m s}^{-1}$, nas proximidades da ISS. Diferentemente das demais seções verticais, o comportamento da componente transversal na seção vertical *D* (Figura 4.79) apresenta como característica principal movimentos da ilha para o continente em toda a coluna d'água, com maior intensidade nas proximidades da margem insular, de $-0,06 \text{ m s}^{-1}$.

Em 10/10/2006, os movimentos longitudinais predominantes são para SW, e podem ser observadas acelerações advectivas entre as radiais *D* e *C*, que apresentam intensidade da componente longitudinal de até $-0,12 \text{ m s}^{-1}$ e $-0,27 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente, e entre as radiais *B* e *A*, que possuem magnitude de até $-0,16 \text{ m s}^{-1}$ e $-0,18 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente.

Os erros de interpolação obtidos para as velocidades normal e transversal às seções verticais *A*, *B*, *C* e *D* são apresentados na Figura 4.80.

4.4.6 Mapeamento dos Campos de Velocidade em 14/12/2006

Mapeamento Horizontal dos Campos de Velocidade

Nesse cruzeiro realizado na primavera de 2006, as trajetórias percorridas, bem como o mapeamento dos campos de velocidade e os erros de interpolação, são apresentadas na Figura 4.81. A realização de todo esse percurso ao longo do canal durou 9 horas e 28 minutos e permitiu alcançar os resultados apresentados no mapeamento horizontal de velocidade, em que as correntes fluem, em geral, para SSW no canal, com exceção da região sul do mesmo, nas proximidades da costa continental, onde

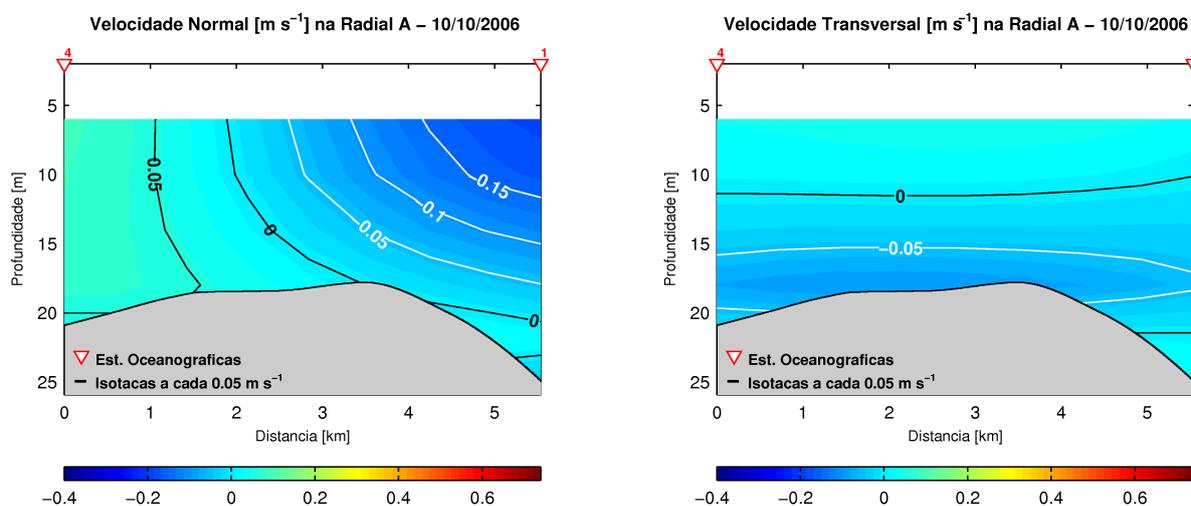


Figura 4.76: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial A, em $m s^{-1}$, para o cruzeiro de 10/10/2006. Valores negativos de velocidade representam correntes normais à seção para sul (esq.) e correntes transversais à seção da ISS para o continente (dir.).

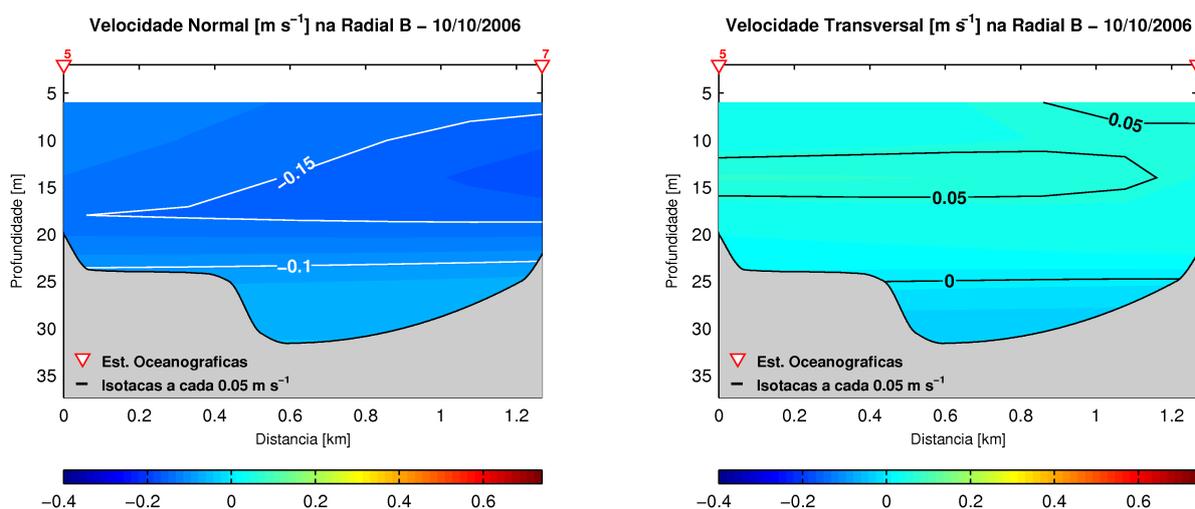


Figura 4.77: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial B, em $m s^{-1}$, para o cruzeiro de 10/10/2006. Valores negativos de velocidade representam correntes normais à seção para sul (esq.) e correntes transversais à seção da ISS para o continente (dir.).

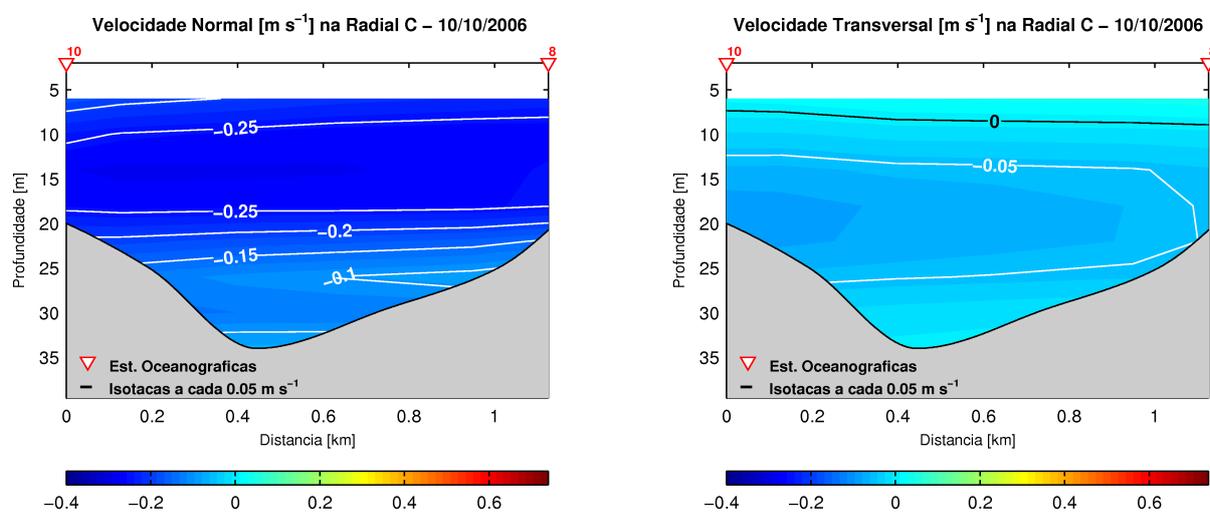


Figura 4.78: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial *C*, em m s^{-1} , para o cruzeiro de 10/10/2006. Valores negativos de velocidade representam correntes normais à seção para sul (esq.) e correntes transversais à seção da ISS para o continente (dir.).

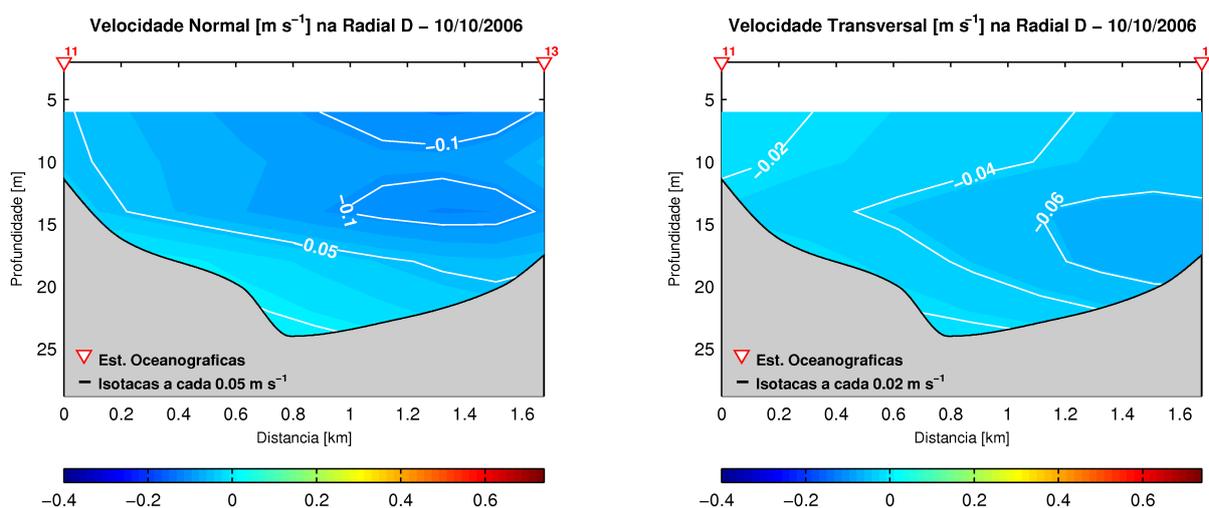


Figura 4.79: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial *D*, em m s^{-1} , para o cruzeiro de 10/10/2006. Valores negativos de velocidade representam correntes normais à seção para sul (esq.) e correntes transversais à seção da ISS para o continente (dir.).

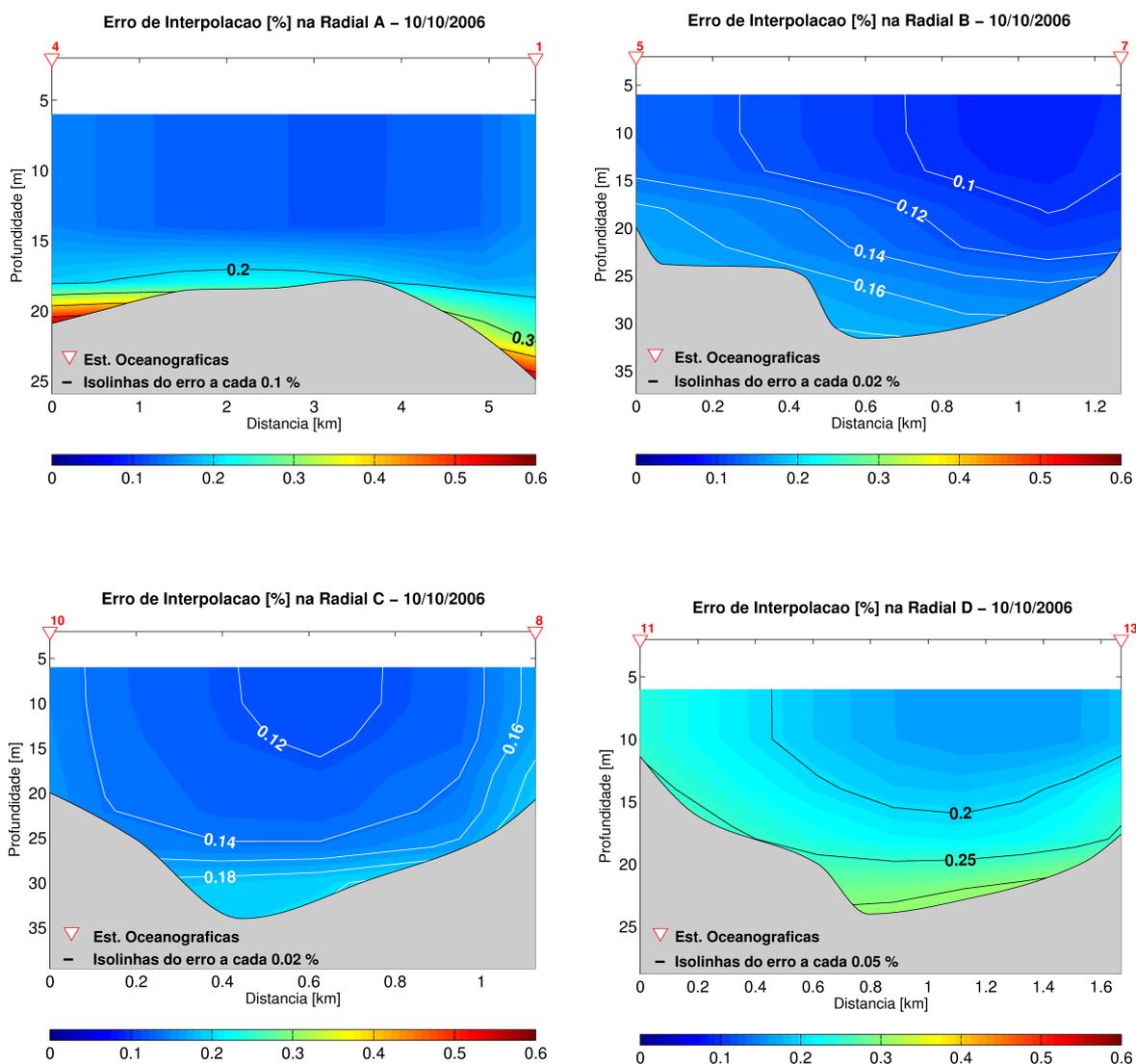


Figura 4.80: Erros de interpolação [%] para as seções verticais *A* (sup. esq.), *B* (sup. dir.), *C* (inf. esq.) e *D* (inf. dir.) dos campos de velocidade normal e transversal às respectivas radiais para o cruzeiro de 10/10/2006.

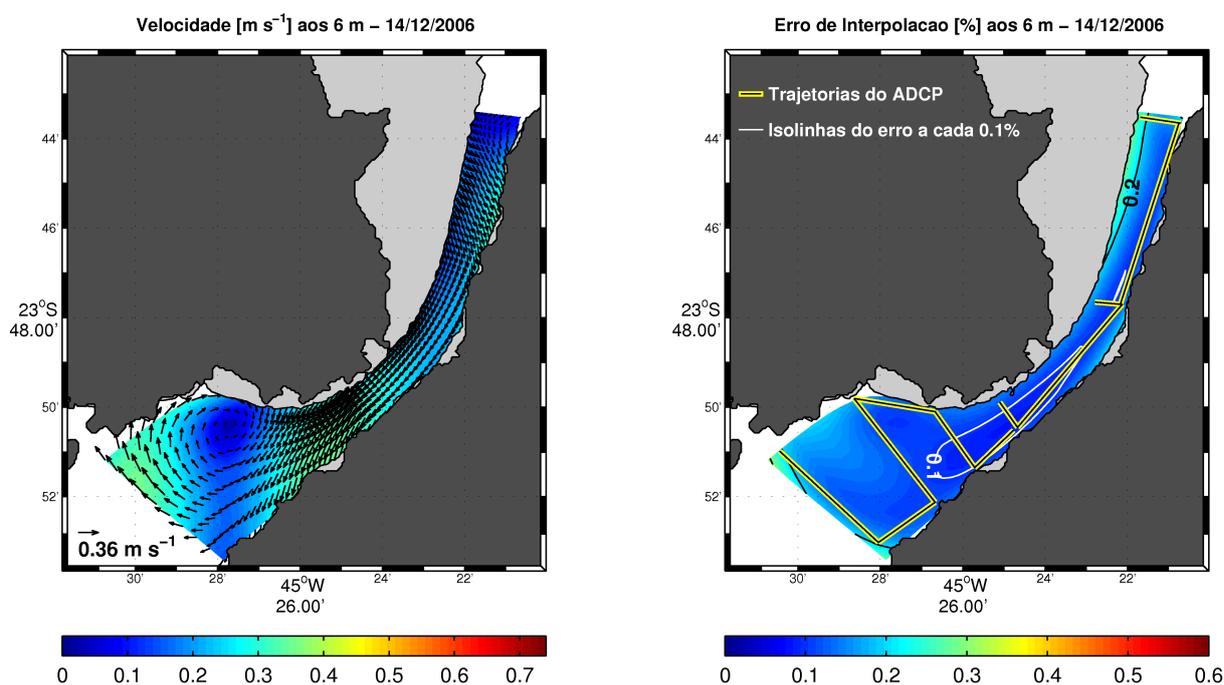


Figura 4.81: Mapeamento horizontal do campo de velocidade [m s^{-1}] aos 6 m (esq.) e o erro de interpolação [%] e as trajetórias efetuadas com ADCP (dir.) para o cruzeiro de 14/12/2006. As regiões com profundidades menores que 7 m são representadas pela máscara cinza.

ocorre um vórtice ciclônico, com o seu centro situado na posição geográfica de latitude $23^{\circ} 50,5' \text{ S}$ e longitude $045^{\circ} 27,8' \text{ W}$, a aproximadamente 1,5 km e a SW da ponta do Guaecá (este ponto de referência é apresentado na Figura 1.2). Diferentemente da extremidade sul, na porção mais ao norte do CSS não ocorrem vórtices. As correntes ao longo do canal não são fortes e possuem intensidade mínima de $0,04 \text{ m s}^{-1}$, no norte do canal, e máxima de $0,36 \text{ m s}^{-1}$, na extremidade sudoeste.

Mapeamento Vertical dos Campos de Velocidade

As correntes normais à seção vertical na radial *A* são apresentadas na Figura 4.82, onde pode-se verificar um fluxo bidirecional em duas camadas, entre o centro da radial e as proximidades da ISS. Na camada superficial, há correntes normais para sul, com intensidade de até $-0,16 \text{ m s}^{-1}$, e na camada de fundo, nas regiões situadas abaixo da profundidade de 17 m, as correntes normais fluem para norte, com intensidade de até $0,15 \text{ m s}^{-1}$. Nessa mesma figura observa-se, também, a ocorrência de um fluxo para norte, entre a costa continental e a região central da radial, em toda a coluna

d'água. Desta forma, uma célula de recirculação ciclônica é caracterizada nesta seção vertical, com a ocorrência de fluxos longitudinais de sentidos opostos nos primeiros 17 m de profundidade. O cisalhamento vertical e lateral da componente longitudinal de velocidade é intenso nesta seção devido à existência do fluxo bidirecional em duas camadas e ao giro ciclônico. A componente transversal à seção vertical *A*, que pode ser visualizada na Figura 4.82, apresenta como principal característica intensidade relativamente grande, da ordem de $-0,35 \text{ m s}^{-1}$, com movimento, em toda a coluna d'água, da ilha para o continente, associada ao giro ciclônico supracitado. As menores intensidades da componente transversal de velocidade encontram-se nas proximidades da margem insular, da ordem de $-0,10 \text{ m s}^{-1}$.

O mapeamento vertical do campo de velocidade normal e transversal à seção em toda a coluna d'água na radial *B* pode ser visualizado na Figura 4.83. O mapeamento de velocidade normal à seção apresenta como característica marcante a existência de circulação em duas camadas e bidirecional. Na camada superior, nos primeiros 23 m, a corrente flui para sul, com magnitude de até $-0,28 \text{ m s}^{-1}$, enquanto que na camada inferior, situada abaixo da isotaca zero, a corrente normal tem direção para norte e apresenta intensidade máxima de $0,07 \text{ m s}^{-1}$. Nesta seção observa-se a significância do cisalhamento vertical da componente longitudinal de velocidade. Diferentemente da seção vertical *A*, na seção *B* (Figura 4.83), a componente transversal de velocidade apresenta movimentos bidirecionais e em duas camadas, com fluxo da ilha para o continente na camada de fundo e fluxo em sentido contrário na camada superior.

Na Figura 4.84 pode ser visualizada a seção vertical de velocidade normal à radial *C*, que apresenta, de forma semelhante à radial *B* (Figura 4.83), fluxos normais bidirecionais e em duas camadas, indicando o forte cisalhamento vertical dessa componente da velocidade. Nas regiões com profundidades superiores a 20 m, as correntes fluem para norte, com intensidades de até $0,06 \text{ m s}^{-1}$ e, nas regiões mais rasas que 20 m, as correntes fluem para sul, com magnitude de até $-0,24 \text{ m s}^{-1}$, nas proximidades da superfície e da margem insular. Inversamente ao observado na seção vertical *B* (Figura 4.83), as correntes transversais à seção vertical *C* (Figura 4.84) fluem da ISS para o continente na camada superficial e em sentido oposto na camada de fundo.

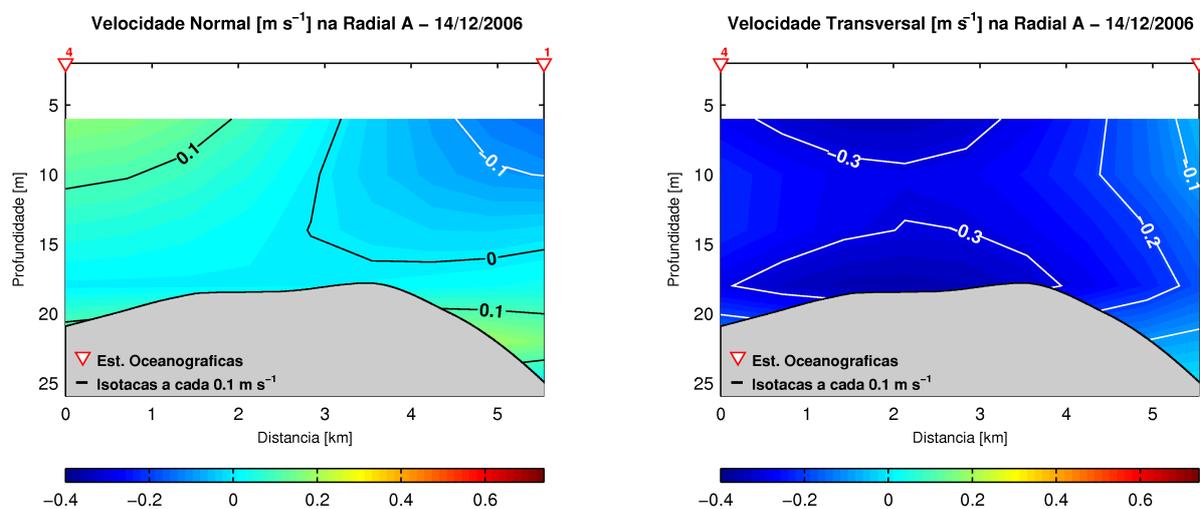


Figura 4.82: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial A, em $m s^{-1}$, para o cruzeiro de 14/12/2006. Valores negativos de velocidade representam correntes normais à seção para sul (esq.) e correntes transversais à seção da ISS para o continente (dir.).

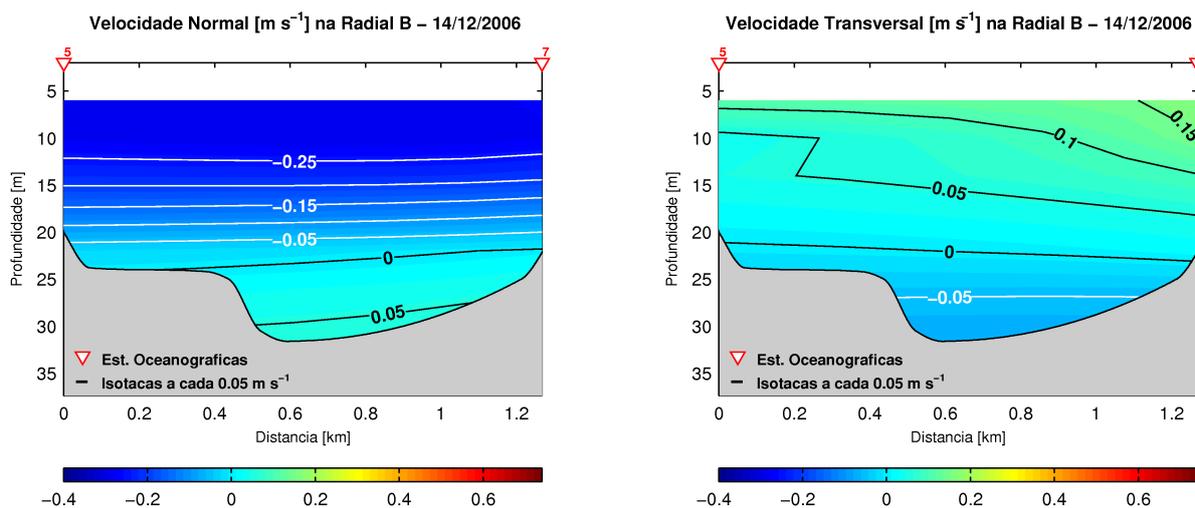


Figura 4.83: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial B, em $m s^{-1}$, para o cruzeiro de 14/12/2006. Valores negativos de velocidade representam correntes normais à seção para sul (esq.) e correntes transversais à seção da ISS para o continente (dir.).

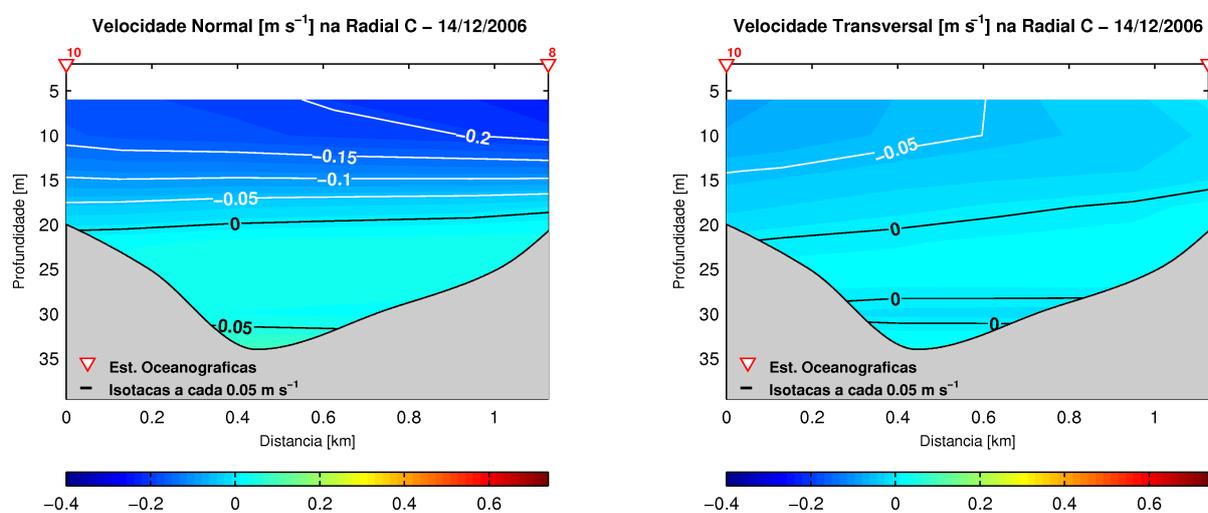


Figura 4.84: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial *C*, em m s^{-1} , para o cruzeiro de 14/12/2006. Valores negativos de velocidade representam correntes normais à seção para sul (esq.) e correntes transversais à seção da ISS para o continente (dir.).

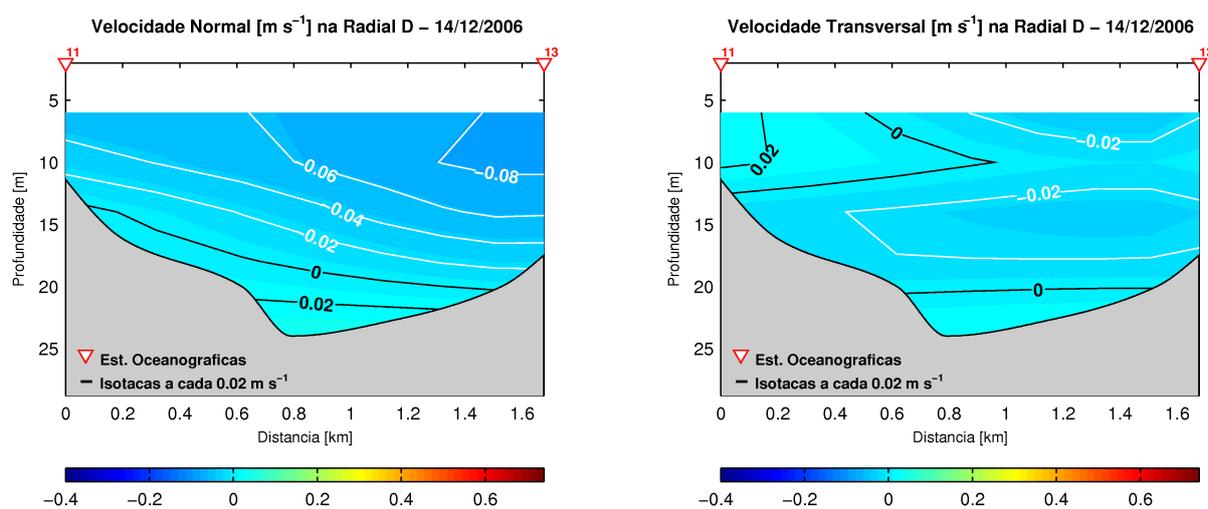


Figura 4.85: Seções verticais dos campos de velocidade normal (esq.) e transversal (dir.) à Radial *D*, em m s^{-1} , para o cruzeiro de 14/12/2006. Valores negativos de velocidade representam correntes normais à seção para sul (esq.) e correntes transversais à seção da ISS para o continente (dir.).

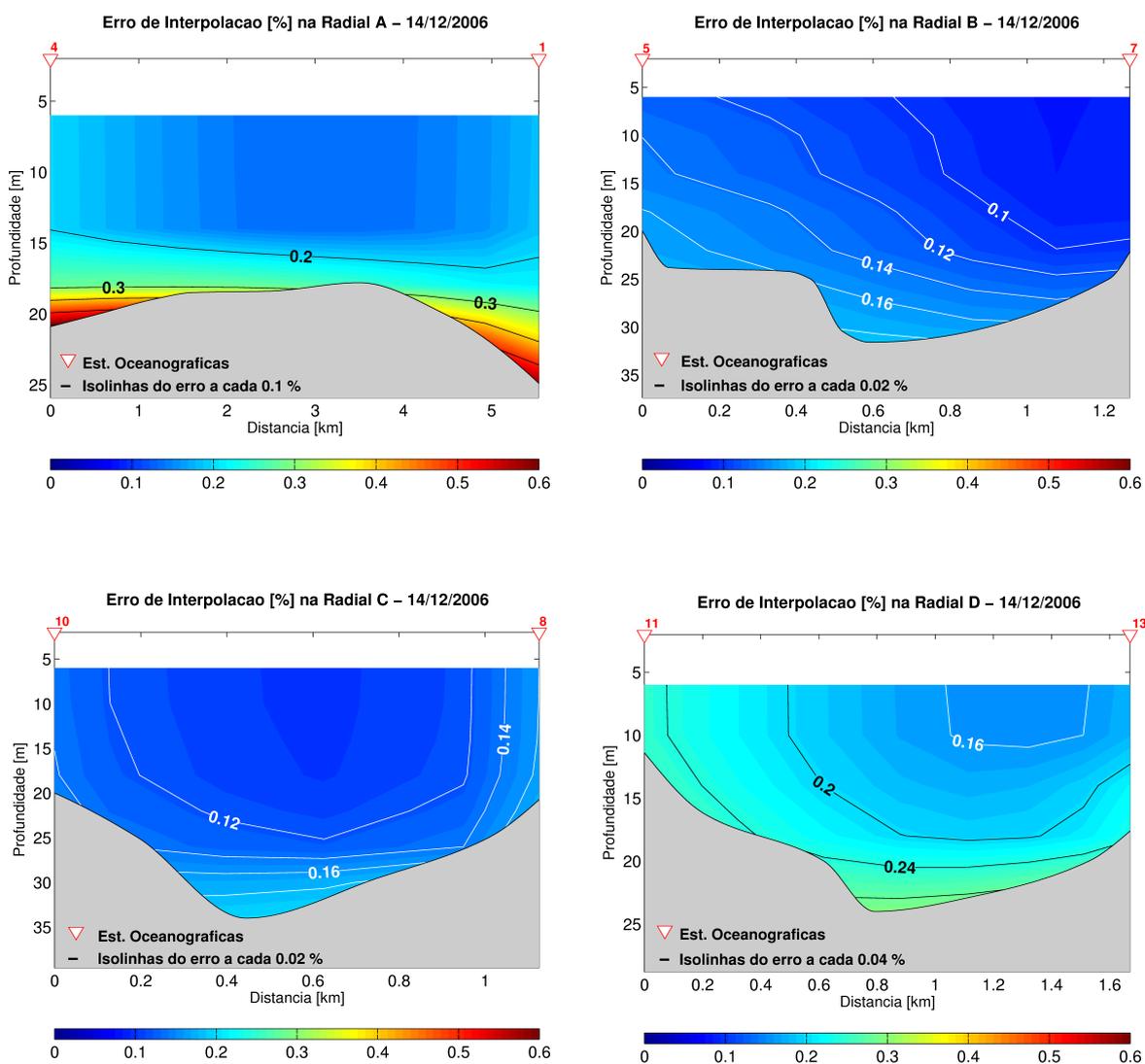


Figura 4.86: Erros de interpolação [%] para as seções verticais A (sup. esq.), B (sup. dir.), C (inf. esq.) e D (inf. dir.) dos campos de velocidade normal e transversal às respectivas radiais para o cruzeiro de 14/12/2006.

O mesmo comportamento observado para as correntes normais às seções verticais *B* e *C* é encontrado na seção vertical da radial *D* (Figura 4.85), cuja circulação também apresenta-se de forma bidirecional e em duas camadas, com cisalhamento vertical importante. As correntes normais à seção na camada inferior têm magnitudes muito pequenas, com valor máximo de $0,03 \text{ m s}^{-1}$, e direção para norte, enquanto que na camada superior, situada acima da isotaca zero, as correntes podem atingir a intensidade de até $-0,09 \text{ m s}^{-1}$, nas proximidades da ISS, aos 6 m de profundidade. A componente transversal à seção *D* apresenta intensidade pouco significativa, da ordem de $0,02 \text{ m s}^{-1}$, com fluxos nos dois sentidos, ao longo de toda a sua extensão, como pode ser visualizado na Figura 4.85.

No cruzeiro de 14/12/2006, observa-se a ocorrência de movimentos longitudinais bidirecionais e em duas camadas nas quatro seções verticais, denotando grande cisalhamento vertical da componente normal de velocidade. Na camada superior, o fluxo é para SW e apresenta aceleração advectiva nessa direção entre as radiais *D*, *C* e *B*, que apresentam intensidade máxima de $-0,09 \text{ m s}^{-1}$, $-0,24 \text{ m s}^{-1}$ e $-0,28 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente. Para os movimentos longitudinais em direção ao norte observados na camada de fundo, há um decréscimo da componente normal de velocidade nessa direção, com as magnitudes máximas de $0,15 \text{ m s}^{-1}$, $0,07 \text{ m s}^{-1}$, $0,06 \text{ m s}^{-1}$ e $0,03 \text{ m s}^{-1}$, nas seções verticais *A*, *B*, *C* e *D*, respectivamente.

Na Figura 4.86 podem ser visualizados os erros de interpolação calculados para as velocidades normal e transversal às quatro seções verticais estudadas.

4.5 Funções de Corrente e Campos de Velocidade Não-Divergente

Nesta seção, serão apresentados os resultados alcançados para o mapeamento horizontal das funções de corrente e dos campos de velocidade não-divergente para cada cruzeiro. Os mapas de erro de interpolação de cada cruzeiro, porém, são os mesmos já apresentados na Seção 4.4, visto que foram utilizados os mesmos dados de ADCP e aplicados os mesmos valores de l_c ($0,2^\circ$) e de ε^2 (0,01).

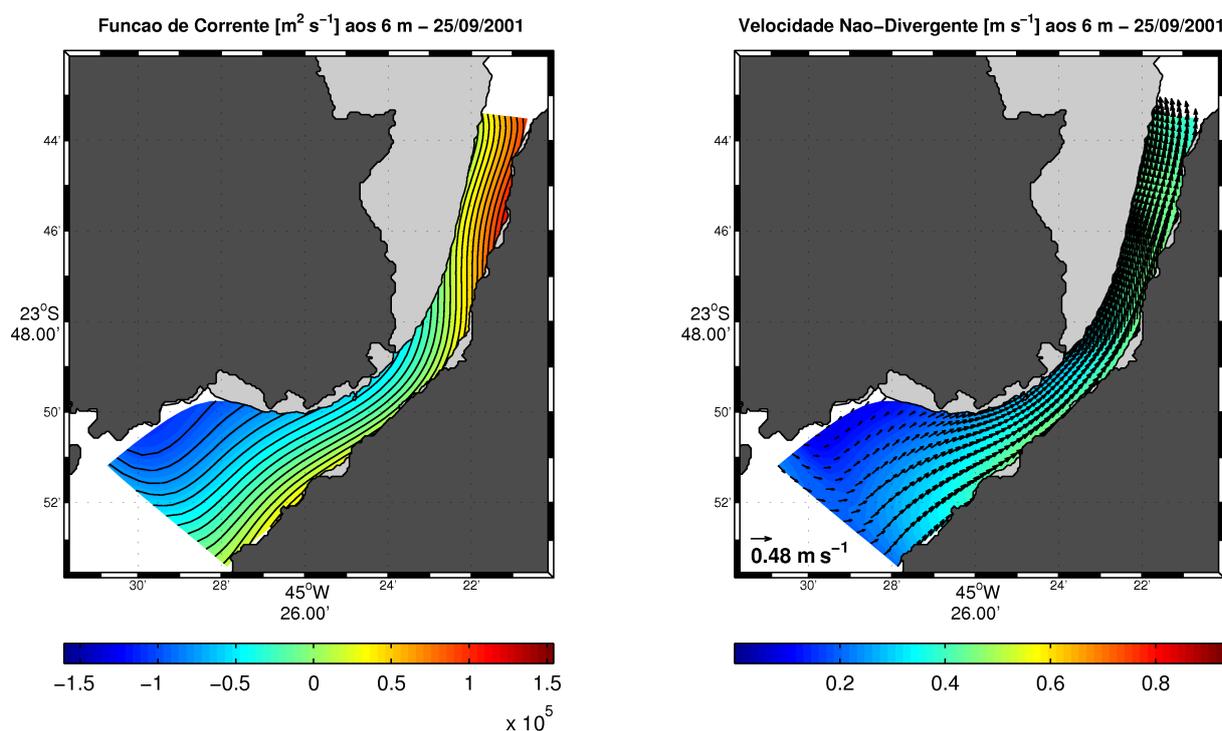


Figura 4.87: Mapeamento horizontal da função de corrente [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$] (esq.) e do campo de velocidade não-divergente [m s^{-1}] (dir.) aos 6 m para o cruzeiro de 25/09/2001. As regiões com profundidades menores que 7 m são representadas pela máscara cinza.

4.5.1 Mapeamento Horizontal da Função de Corrente e do Campo de Velocidade Não-Divergente em 25/09/2001

Na Figura 4.87 pode-se observar o mapeamento horizontal da função de corrente e do campo de velocidade não-divergente aos 6 m para o cruzeiro de 25/09/2001, onde constata-se que a água flui para NE ao longo de todo o canal, com intensidade máxima de $0,48 \text{ m s}^{-1}$ em sua porção centro-norte, excetuando-se na extremidade sudoeste do CSS devido à ocorrência de recirculação anticiclônica, onde as correntes não-divergentes apresentam as menores intensidades, da ordem de $0,10 \text{ m s}^{-1}$. O valor do percentual de contribuição do campo de velocidade não-divergente em relação ao campo de velocidade total (CONT) obtido para esse campo de velocidade foi de 68,0%, o que quantifica a maior importância das correntes não-divergentes dentro do CSS.

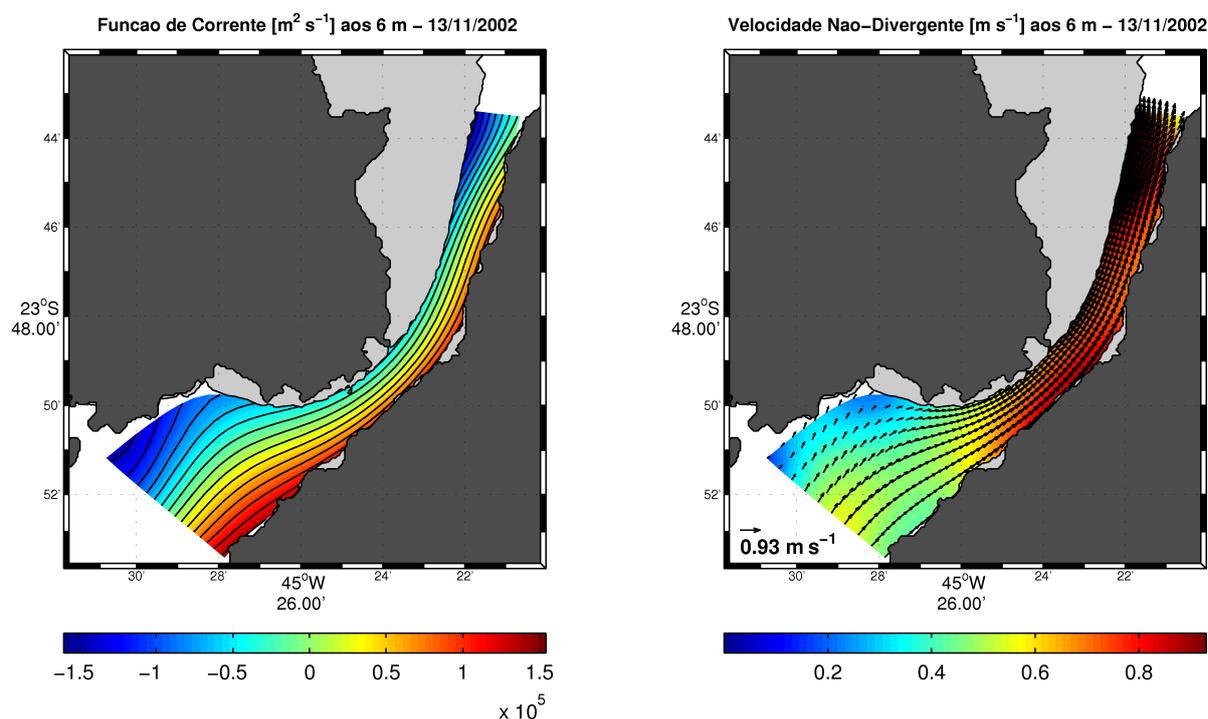


Figura 4.88: Mapeamento horizontal da função de corrente [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$] (esq.) e do campo de velocidade não-divergente [m s^{-1}] (dir.) aos 6 m para o cruzeiro de 13/11/2002. As regiões com profundidades menores que 7 m são representadas pela máscara cinza.

4.5.2 Mapeamento da Função de Corrente e do Campo de Velocidade Não-Divergente em 13/11/2002

O mapeamento da função de corrente e do campo de velocidade não-divergente, em 13/11/2002, nas proximidades da superfície podem ser visualizados na Figura 4.88. As correntes não-divergentes fluem para NE, com intensidade de até $0,93 \text{ m s}^{-1}$ na região centro-norte do canal, e há indícios da existência de recirculação anticiclônica na porção sudoeste do canal, com movimentos de cerca de $0,30 \text{ m s}^{-1}$ e com tendência ao sentido anti-horário, como pode ser constatado, também, no mapeamento da função de corrente. A importância do campo não-divergente dentro do CSS é quantificada com a obtenção do valor de CONT, de 62,5%, ou seja, há uma predominância das velocidades não-divergentes em relação às velocidades divergentes nessa região.

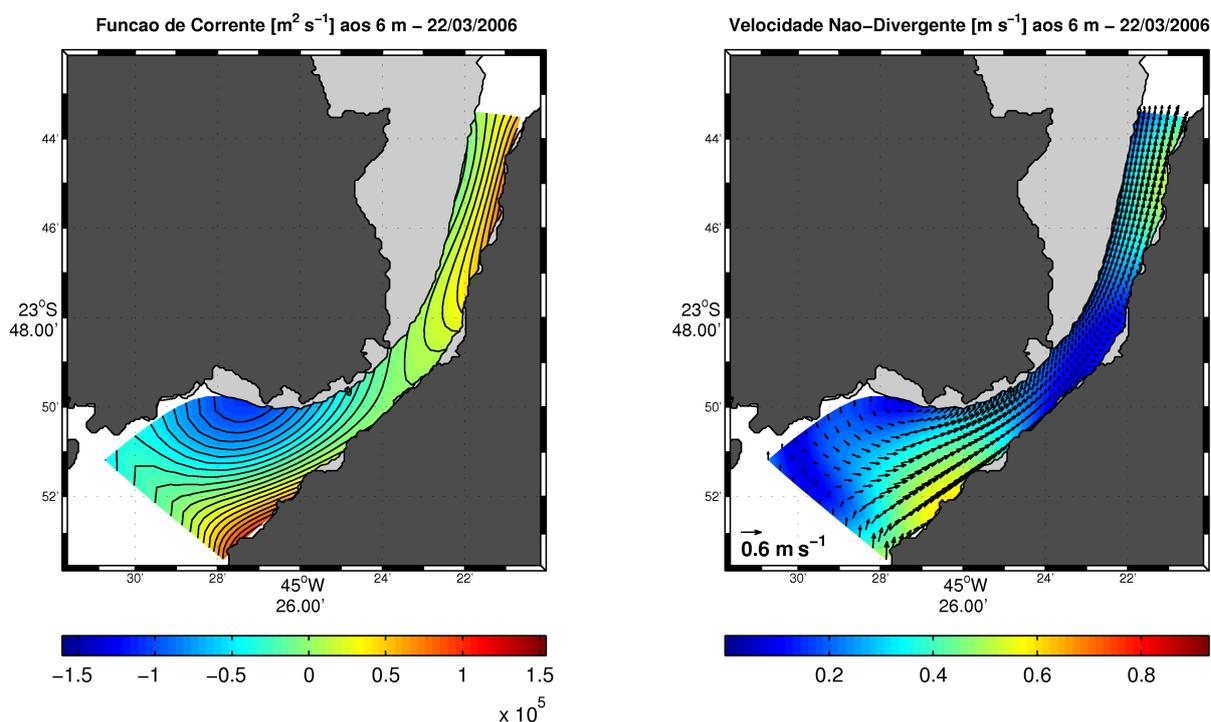


Figura 4.89: Mapeamento horizontal da função de corrente [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$] (esq.) e do campo de velocidade não-divergente [m s^{-1}] (dir.) aos 6 m para o cruzeiro de 22/03/2006. As regiões com profundidades menores que 7 m são representadas pela máscara cinza.

4.5.3 Mapeamento da Função de Corrente e do Campo de Velocidade Não-Divergente em 22/03/2006

As correntes não-divergentes observadas aos 6 m no cruzeiro oceanográfico realizado em 22/03/2006, apresentam-se de forma mais complexa, com fluxos de pequena intensidade, da ordem de $0,05 \text{ m s}^{-1}$, na região central, junto à margem insular, e na porção sudoeste do canal. Em geral, os movimentos têm direção para NE, todavia, a configuração da função de corrente mostra a existência de recirculação anticiclônica na região sudoeste do CSS, com o centro nas proximidades da ponta do Guaecá (este ponto notável é discriminado na Figura 1.2). Esse comportamento das correntes não-divergentes e da função de corrente podem ser observados na Figura 4.89. A importância dos campos de velocidade não-divergente e divergente, no CSS, é significativa, sendo o CONT obtido com o valor de 56,3%.

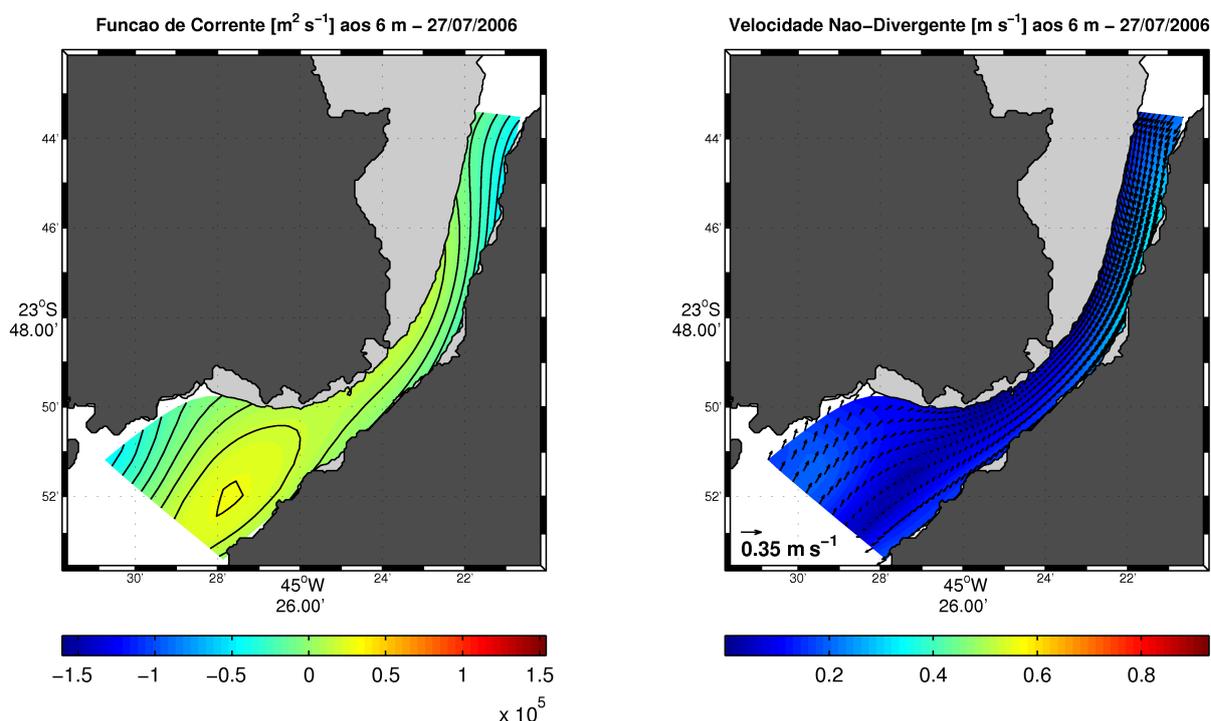


Figura 4.90: Mapeamento horizontal da função de corrente [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$] (esq.) e do campo de velocidade não-divergente [m s^{-1}] (dir.) aos 6 m para o cruzeiro de 27/07/2006. As regiões com profundidades menores que 7 m são representadas pela máscara cinza.

4.5.4 Mapeamento da Função de Corrente e do Campo de Velocidade Não-Divergente em 27/07/2006

A existência de um vórtice ciclônico com centro na posição geográfica de latitude $23^\circ 52,0' \text{ S}$ e longitude $045^\circ 27,7' \text{ W}$ é evidente, no mapeamento da função de corrente para o cruzeiro oceanográfico realizado em 27/07/2006 (Figura 4.90). As correntes não-divergentes, que têm intensidade máxima de $0,35 \text{ m s}^{-1}$, no centro-norte do canal, apresentam-se com fraca magnitude, da ordem de $0,03 \text{ m s}^{-1}$, na região onde é observada a célula de recirculação ciclônica, na porção sul do canal. Em geral, as correntes não-divergentes fluem para SW, com exceção dos movimentos associados a esse vórtice. O CONT calculado para esse mapeamento de velocidade é de 90,6%, que expressa a maior significância das velocidades não-divergentes quando comparadas com os movimentos divergentes, no CSS.

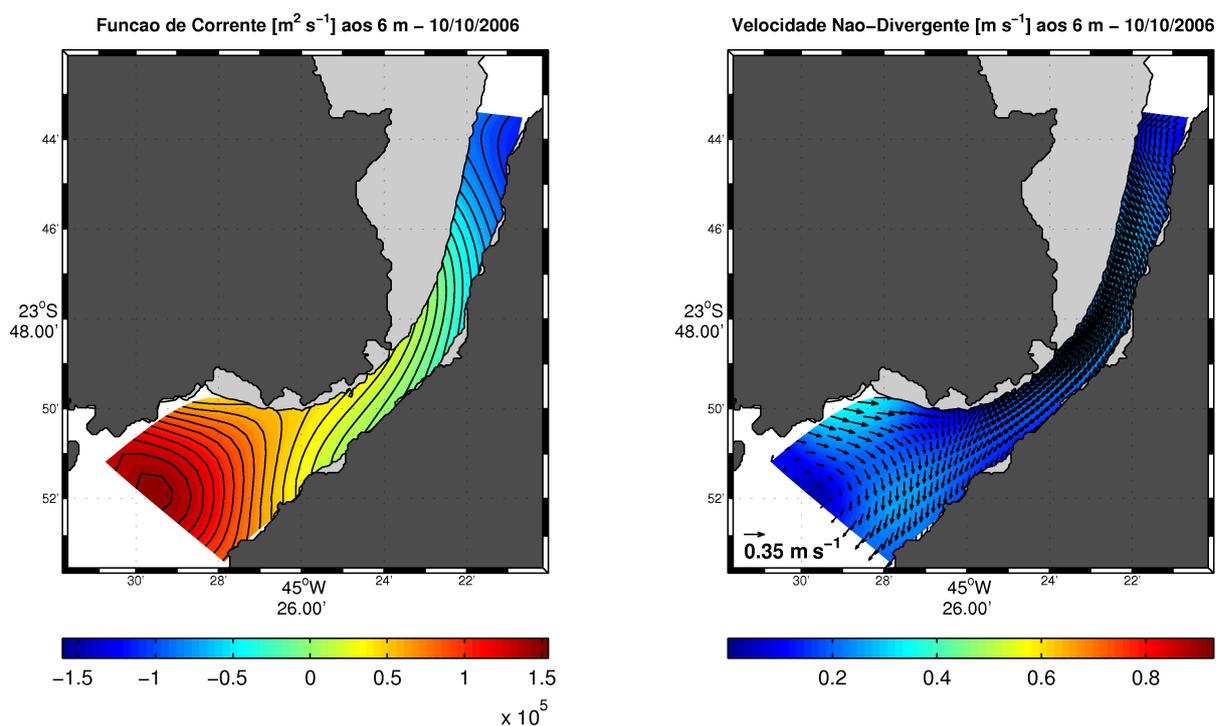


Figura 4.91: Mapeamento horizontal da função de corrente [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$] (esq.) e do campo de velocidade não-divergente [m s^{-1}] (dir.) aos 6 m para o cruzeiro de 10/10/2006. As regiões com profundidades menores que 7 m são representadas pela máscara cinza.

4.5.5 Mapeamento da Função de Corrente e do Campo de Velocidade Não-Divergente em 10/10/2006

Para o cruzeiro de 10/10/2006, o mapeamento da função de corrente e do campo de velocidade não-divergente são apresentados na Figura 4.91. A ocorrência de célula de recirculação ciclônica na porção sul do CSS é evidente nessa figura, e possui o centro na posição geográfica de latitude $23^\circ 52,0' \text{ S}$ e longitude $045^\circ 29,6' \text{ W}$. Em geral, as correntes fluem para SSW, com intensidade máxima de $0,35 \text{ m s}^{-1}$, excetuando-se nessa região em que ocorre o vórtice ciclônico, onde apresentam sentido horário. O CONT calculado para esse campo é de 65,0%, e reflete a maior importância dos movimentos não-divergentes dentro do CSS.

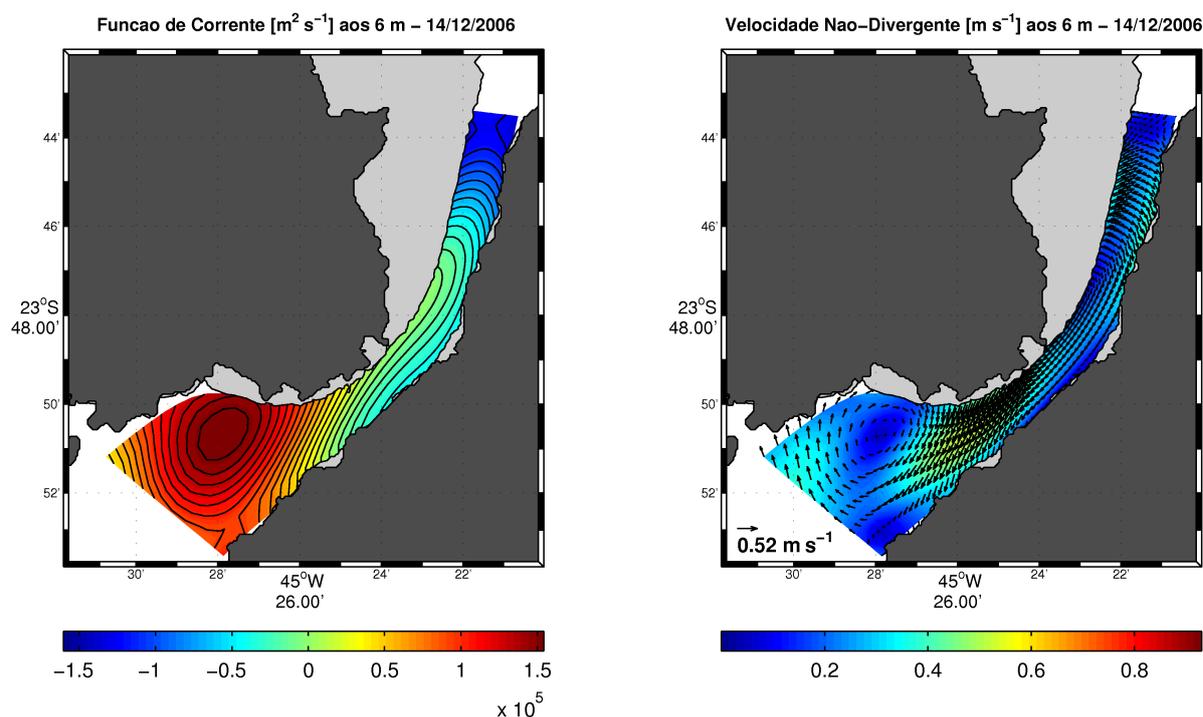


Figura 4.92: Mapeamento horizontal da função de corrente [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$] (esq.) e do campo de velocidade não-divergente [m s^{-1}] (dir.) aos 6 m para o cruzeiro de 14/12/2006. As regiões com profundidades menores que 7 m são representadas pela máscara cinza.

4.5.6 Mapeamento da Função de Corrente e do Campo de Velocidade Não-Divergente em 14/12/2006

Na Figura 4.92 pode ser visualizado o mapeamento da função de corrente e do campo de velocidade não-divergente para o cruzeiro oceanográfico de 14/12/2006. Nessa figura é flagrante a ocorrência de célula de recirculação ciclônica, que está centrada na posição geográfica de latitude $23^\circ 50,6' \text{ S}$ e longitude $045^\circ 28,0' \text{ W}$, na porção sul do canal. Observa-se ainda que, em geral, os movimentos têm direção para SW, excetuando-se a região de ocorrência do vórtice ciclônico, onde fluem em sentido horário, e na porção norte do CSS, onde fluem para E-SE. Na profundidade de 6 m, as maiores correntes não-divergentes, da ordem de $0,52 \text{ m s}^{-1}$, estão localizadas na porção sudoeste do canal, associadas ao vórtice ciclônico, enquanto que as correntes menos intensas, de cerca de $0,04 \text{ m s}^{-1}$, estão localizadas no centro do vórtice e nas proximidades da radial D . As correntes não-divergentes têm grande importância no CSS, que pode ser quantificada com o CONT calculado de 82,3%.

4.6 Transporte de Volume e Tempo de Residência

Os transportes de volume em cada radial e o tempo de residência das águas, por cruzeiro oceanográfico estudado, são apresentados nesta seção e as discussões à respeito dos valores obtidos serão detalhadas no capítulo seguinte.

4.6.1 Transporte de Volume e Tempo de Residência em 25/09/2001

Para o cruzeiro oceanográfico realizado em 25/09/2001, os valores obtidos para os transportes de volume em cada seção vertical, expressos em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, bem como a média desses transportes, estão relacionados na Tabela 4.1.

Considerando-se o volume de água dentro do canal sendo de $13,23 \times 10^8 \text{ m}^3$, de acordo com a metodologia apresentada na Seção 3.6, e a média dos transportes de volume das seções verticais constante na Tabela 4.1, de $8089 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, obtém-se o valor de 1,89 dias para o tempo de residência das águas no CSS.

Tabela 4.1: Transportes de volume [$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$] nas seções verticais *A*, *B*, *C* e *D*, e a média desses transportes, no cruzeiro de 25/09/2001.

	A	B	C	D	Média
Transporte de Volume [$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$]	9686	7638	7671	7364	8089

4.6.2 Transporte de Volume e Tempo de Residência em 13/11/2002

Os valores obtidos para os transportes de volume, em 13/11/2002, nas seções verticais *A*, *B*, *C* e *D*, e a média desses valores, são apresentados na Tabela 4.2.

O valor calculado para o tempo de residência das águas no CSS, a partir da média dos transportes de volume e do volume de água do canal, é de 0,81 dias.

Tabela 4.2: Transportes de volume [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] nas seções verticais *A*, *B*, *C* e *D*, e a média desses transportes, no cruzeiro de 13/11/2002.

	A	B	C	D	Média
Transporte de Volume [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$]	36100	14101	15014	10404	18904

4.6.3 Transporte de Volume e Tempo de Residência em 22/03/2006

Para o cruzeiro de 22/03/2006, os transportes de volume calculados para as seções verticais *A*, *B*, *C* e *D*, e a média desses valores, são mostrados na Tabela 4.3.

O tempo de residência das águas no CSS obtido para esse cruzeiro é de 1,99 dias.

Tabela 4.3: Transportes de volume [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] nas seções verticais *A*, *B*, *C* e *D*, e a média desses transportes, no cruzeiro de 22/03/2006.

	A	B	C	D	Média
Transporte de Volume [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$]	14784	6013	4626	5319	7685

4.6.4 Transporte de Volume e Tempo de Residência em 27/07/2006

Os transportes de volume obtidos para o cruzeiro de 27/07/2006, nas seções verticais *A*, *B*, *C* e *D*, e a sua média, são observados na Tabela 4.4.

Nesse dia, o tempo de residência das águas no CSS obtido é de 7,81 dias.

Tabela 4.4: Transportes de volume [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] nas seções verticais *A*, *B*, *C* e *D*, e a média desses transportes, no cruzeiro de 27/07/2006.

	A	B	C	D	Média
Transporte de Volume [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$]	2834	-817	-6062	-3793	-1959

4.6.5 Transporte de Volume e Tempo de Residência em 10/10/2006

No cruzeiro de 10/10/2006, os transportes de volume, em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, calculados para as seções verticais *A*, *B*, *C* e *D*, bem como a sua média, são visualizados na Tabela 4.5.

O tempo de residência das águas no CSS obtido para esse cruzeiro é de 3,56 dias.

Tabela 4.5: Transportes de volume [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] nas seções verticais *A*, *B*, *C* e *D*, e a média desses transportes, no cruzeiro de 10/10/2006.

	A	B	C	D	Média
Transporte de Volume [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$]	-3463	-4505	-6868	-2355	-4297

4.6.6 Transporte de Volume e Tempo de Residência em 14/12/2006

Os transportes de volume obtidos para o cruzeiro de 14/12/2006, nas quatro seções verticais estudadas, e a média desses valores, são relacionados na Tabela 4.6.

Para esse cruzeiro oceanográfico, o tempo de residência das águas no CSS obtido é de 7,55 dias.

Tabela 4.6: Transportes de volume [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] nas seções verticais *A*, *B*, *C* e *D*, e a média desses transportes, no cruzeiro de 14/12/2006.

	A	B	C	D	Média
Transporte de Volume [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$]	2206	-5944	-2933	-1436	-2026

Capítulo 5

Discussão

5.1 Considerações Oceanográficas Sobre o Canal de São Sebastião

Neste capítulo serão realizadas discussões, por cruzeiros, sobre todas as seções apresentadas no capítulo anterior, a fim de sintetizar e interpretar os resultados obtidos, comparando-os com os estudos já efetuados na região de São Sebastião.

5.1.1 Cruzeiro de 25/09/2001

No cruzeiro de 25/09/2001, em geral, as correntes fluem para NE ao longo do CSS, com intensidade de até $0,39 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 4.51), associadas aos prováveis ventos de SW, corroborando *Emílsson* [1962], *Castro* [1985], *Castro et al.* [1987], *Castro* [1990], *Miranda & Castro* [1995], *Fontes* [1995], *Castro* [1996], *Assad* [2000] e outros autores. Apesar de o vento médio na grade não apresentar um padrão de direção bem definido na data de realização do cruzeiro, por estar sofrendo mudança em sua direção, pode-se supor que esse vento sopra de SW, tendo em vista que no dia seguinte ao cruzeiro o vento médio sopra nessa direção na PCSE, com intensidade de até 11 m s^{-1} (Figura 4.40). A existência de recirculação anticiclônica na parte sul do canal, nas proximidades da costa continental, também é observada, ainda associada a esses ventos, corroborando *Castro* [1990], *Miranda & Castro* [1995], *Silva* [1995], *Coelho* [1997], *Leandro* [1999] e *Assad* [2000]. O centro desse giro anticiclônico está situado nas adjacências da ponta da

Varanda, na parte sudoeste do canal (este ponto notável é discriminado na Figura 1.2). Fluxos com sentido contrário às correntes predominantes de NE e intensificação das correntes transversais, com direção do continente para a ISS, na parte oeste da seção vertical *A*, indicam forte cisalhamento lateral da intensidade da componente longitudinal de velocidade e a presença desse giro anticiclônico na radial *A*, como pode ser visualizado na Figura 4.52. Essa recirculação anticiclônica também pode ser observada no mapeamento horizontal da função de corrente e no campo de velocidade não-divergente, constantes na Figura 4.87, sendo quantificada, inclusive, a grande importância dessas correntes não-divergentes nos movimentos observados no canal. Na extremidade norte do canal não foram observados indícios da existência de células de recirculação ou meandros, tanto no mapeamento do campo de velocidade total quanto no campo de velocidade não-divergente.

Nos campos termohalinos e de massa observa-se que, principalmente, na seção vertical *A* (Figura 4.4), há um soerguimento das isotermas, isohalinas e isopicnais em direção à costa continental, nas proximidades da estação oceanográfica de número 04. Como os ventos de NE/SE sopraram em toda a PCSE no período de 18 a 24/09/2001, com intensidade máxima de 13 m s^{-1} (Figuras 4.38 e 4.39), pode-se inferir que houve, antes do dia 25/09, o início do processo de penetração de massa de água relativamente mais fria pela margem sul insular do CSS. O conseqüente soerguimento das isotermas, isohalinas e das isopicnais foi interrompido pela alteração na direção dos ventos, de NE para SW. Portanto, no dia 25/09 estaria em curso o fenômeno da subsidência costeira, com o afastamento das águas mais frias e densas em direção ao largo, não sendo as mesmas observadas dentro do canal, de acordo com o modelo de circulação que ocorre na PCSE apresentada por *Castro et al.* [1987].

As estruturas verticais de temperatura, salinidade e densidade convencional apresentam, em geral, pequena estratificação neste cruzeiro de início de primavera, sendo observados gradientes térmicos verticais que podem alcançar $0,09^\circ\text{C m}^{-1}$ na seção vertical *A* e da ordem de $0,04^\circ\text{C m}^{-1}$ nas seções *B*, *C* e *D*, que são valores típicos de outono, de acordo com *Leandro* [1999], e gradientes de salinidade verticais de cerca de $0,11 \text{ m}^{-1}$ na seção vertical *A* e de $0,06 \text{ m}^{-1}$ nas demais seções e gradiente de densidade convencional vertical maior na seção *A* ($0,09 \text{ kg m}^{-4}$) do que nas demais seções ($0,06 \text{ kg m}^{-4}$).

Em virtude da provável ocorrência de ventos de SW em 25/09 e de vento médio de NE relativamente fraco, da ordem de 6 m s^{-1} na plataforma continental entre a ISS e Santos em 24/09, pode-se concluir que as águas com baixos valores de salinidade observadas na região sul do CSS (Figura 4.2) são oriundas de descargas estuarinas situadas ao sul de São Sebastião, como Santos e Bertiooga, em concordância com os trabalhos anteriores de *Miranda* [1982], *Silva* [1995], *Coelho* [1997] e *Leandro* [1999]. Conforme *Castro et al.* [in press], a descarga estuarina, que apresenta águas com baixa salinidade, gera uma força de gradiente de pressão normal à costa na PCI, que, por conseguinte, impulsiona movimentos para a esquerda da descarga, no hemisfério sul, para que se mantenha o equilíbrio geostrófico na direção normal à costa. A descarga da pluma estuarina estará confinada nas proximidades da costa, com deslocamento para NE, caso não haja outras forças. Porém, com a alternância entre a importância do gradiente baroclínico de densidade e o vento, as águas de baixa salinidade podem ser advectadas para NE (com ventos de SW ou ventos fracos de NE) ou para SW (com ventos fortes de NE).

Os transportes de volume calculados para cada uma das quatro seções verticais, *A*, *B*, *C* e *D*, que constam na Tabela 4.1, apresentam como característica principal a quase-continuidade dos valores entre as radiais situadas nas porções centro e norte do CSS (*B*, *C* e *D*). Na extremidade sul, constata-se que apenas uma parcela do transporte de volume que passa pela seção vertical *A* flui em direção ao norte do canal. A diferença, de $2048 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, entre os transportes de volume nas seções verticais *A* e *B* pode ser justificada pela recirculação das águas no giro anticiclônico situado nas proximidades do continente, na radial *A*, corroborando os estudos de *Miranda & Castro* [1995], que observaram diferença de $\cong 45 \%$ entre os transportes de volume nas seções *A* e *B*, nos experimentos quase-sinóticos de 04/03/1980; e *Assad* [2000], que em seu estudo numérico sobre o CSS obteve uma pequena descontinuidade no transporte de volume na parte sul do canal, associando-a a uma célula de recirculação anticiclônica gerada com vento de SW. Em estudo realizado por *Silva* [1995] sobre as condições oceanográficas no CSS, esse autor chegou à conclusão de que no cruzeiro de julho de 1994, a diferença do transporte de volume entre as seções verticais *A* ($2600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e *B* ($4700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) é decorrente da aceleração advectiva em direção ao norte entre essas seções e da recirculação junto

a seção *A*.

Para realizar uma análise minuciosa do fluxo das correntes na região centro-sul do CSS, particularmente nas radiais *A* e *B* e adjacências, foram calculadas as áreas das seções verticais e as extensões entre as estações oceanográficas extremas (01, 04, 05 e 07) e o continente e a ISS. Desta forma, na extremidade sul, obteve-se a área da seção vertical situada entre a estação 04 e a ponta do Toque-Toque (continente) de 23727 m² e extensão de 1156 m, enquanto que entre a estação 01 e a ponta da Sela (ilha) obteve-se a área da seção vertical de 13271 m² e comprimento de 720 m. Mais ao centro do CSS, na radial *B*, a área da seção vertical localizada entre a estação 05 e a ponta do Baleeiro (continente) é de 6.513 m² e sua extensão é de 520 m, ao passo que entre a estação oceanográfica de número 07 e a praia da Fazenda (ilha) a área é de 5445 m² e a distância, de 475 m (esses pontos notáveis são discriminados na Figura 1.2). Analisando essas informações, pode-se verificar que as áreas entre as estações oceanográficas extremas da radial *A* e as suas respectivas margens continental e insular são maiores do que essas áreas na radial *B*, ou seja, essa diferença pode contribuir para a descontinuidade entre os valores dos transportes de volume estimados entre as seções verticais *A* e *B*, inclusive quando ocorrem fluxos de sentido contrários nas extremidades leste e oeste da radial *A*.

Significantes cisalhamentos verticais e laterais da intensidade da componente longitudinal e uma aceleração advectiva do movimento em direção ao norte do CSS são observados neste cruzeiro. Constata-se que ocorre o aumento da intensidade máxima da componente longitudinal de velocidade de 0,20 m s⁻¹, na radial *A*, para 0,35 m s⁻¹, na radial *D*. Esse cenário apresentado corrobora parcialmente os estudos de *Emilsson* [1962], em que a intensificação das correntes na parte central do canal é devida ao seu afunilamento. Essa característica geomorfológica de afunilamento não é observada na parte norte do canal, porém as correntes na radial *D* têm a mesma ordem de grandeza que nas radiais *B* e *C*.

Considerando-se a média dos valores obtidos para os transportes de volume nas quatro seções verticais ao longo do CSS, constante na Tabela 4.1, e o volume de água dentro do canal de 13,23×10⁸ m³, de acordo com a Seção 3.6, obtém-se o valor estimado para o tempo de residência das águas no CSS, de 1,89 dias, ou seja, esse é o intervalo de

tempo necessário para que haja a renovação do volume de água do CSS desde que as características da circulação local não sejam alteradas durante esse período. Esse valor encontrado, de 1,89 dias, está entre os números obtidos por *Silva et al.* [2001], de 1,6 e 4,7 dias, apesar desses autores utilizarem um valor diferente para o volume do CSS, de $24,4 \times 10^8 \text{ m}^3$.

5.1.2 Cruzeiro de 13/11/2002

Em 13/11/2002, a corrente tem sentido para NE no canal, com magnitude de até $0,72 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 4.57), associada aos prováveis ventos oriundos de SW, confirmando *Emílsson* [1962], *Castro* [1985], *Castro et al.* [1987], *Castro* [1990], *Miranda & Castro* [1995], *Fontes* [1995], *Castro* [1996], *Assad* [2000] e outros autores. A predominância dos ventos médios de SW nos dias 11 e 12/11 e a alteração de sua direção no dia 13/11 reflete uma provável ocorrência de passagem de um sistema meteorológico frontal entre os dias 11 e 13/11, em concordância com o modelo conceitual de frente fria para a PCSE elaborado por *Stech & Lorenzetti* [1992] cuja velocidade de deslocamento de sudeste para nordeste do sistema frontal é de aproximadamente 500 km/dia. O vento médio no dia anterior ao cruzeiro, em 12/11, era de SW com intensidade máxima de 12 m s^{-1} (Figura 4.41) em toda a PCSE, porém no dia 13/11, apresentou alteração, com sentido predominante para SE na plataforma continental adjacente ao CSS, ou seja, é possível que tenha ocorrido mudança de direção do vento, no CSS, durante a realização do cruzeiro (Figura 4.41). Em relação à existência de vórtices nas extremidades do canal, os mesmos não foram observados, porém na extremidade sul há possíveis indícios da ocorrência de recirculação anticiclônica, junto à costa continental, onde a corrente apresenta pouca intensidade, da ordem de $0,10 \text{ m s}^{-1}$, e tem direção para NNE (Figura 4.57), confirmando *Castro* [1990], *Miranda & Castro* [1995], *Silva* [1995], *Coelho* [1997], *Leandro* [1999] e *Assad* [2000]. Esses indícios de existência de recirculação anticiclônica na porção sul do canal ficam mais fortes após a observação da seção vertical A (Figura 4.58), onde constata-se intenso cisalhamento vertical e lateral da componente longitudinal de velocidade e o seu decréscimo desde a região central da radial até as proximidades da estação oceanográfica de número 04, que pode indicar a ocorrência de movimentos com sentidos opostos à oeste dessa estação. Mais indícios podem

ser observados na Figura 4.88, que mostra o mapeamento da função de corrente e do campo de velocidade não-divergente, pois neles são constatados, nessa mesma região do CSS, movimentos com intensidade de cerca de $0,35 \text{ m s}^{-1}$, com direção anti-horária, indicando uma tendência a movimentos de sentido oposto à corrente predominante no canal. A importância das correntes não-divergentes dentro do CSS é quantificada com a obtenção do valor de CONT, de 62,5% e conclui-se que em toda extensão do canal as contribuições mais significativas para as correntes totais são dos fluxos não-divergentes.

As águas do CSS apresentam em toda sua extensão tendência à homogeneidade térmica ($23,4^\circ\text{C}$ a $24,1^\circ\text{C}$), halina (entre 33,1 e 34,0) e de massa (valores de densidade convencional de $22,2 \text{ kg m}^{-3}$ a $23,09 \text{ kg m}^{-3}$), características estas típicas de inverno, conforme *Castro et al.* [1987], *Castro* [1996], *Coelho* [1997], *Leandro* [1999], *Silva et al.* [2001] e *Silva et al.* [2004], e observa-se que em sua porção sul, os valores de salinidade e de massa apresentam-se, nas proximidades da superfície, relativamente pouco menores (salinidade e densidade convencional mínimas de 33,1 e $22,2 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente) quando comparados com a região norte do canal (salinidade de até 33,7 e densidade convencional máxima em torno de $22,8 \text{ kg m}^{-3}$), de acordo com a Figura 4.8, e pode-se inferir que está em curso a entrada de águas oriundas de regiões estuarinas situadas ao sul do CSS, associadas aos ventos médios de SW, que sopraram na região entre os dias 11 e 13/11, de acordo com *Miranda* [1982], *Silva* [1995], *Coelho* [1997] e *Leandro* [1999] e *Castro et al.* [in press].

Em relação ao transporte de volume, de acordo com a Tabela 4.2, nota-se que não há continuidade entre as seções *A* e *B* e entre as seções *C* e *D*, porém há uma razoável conservação desse transporte entre as estações situadas no centro do canal (*B* e *C*). A possível existência de recirculação anticiclônica na extremidade sul do CSS, nas proximidades do continente, associada aos ventos de SW poderia justificar a diferença entre os valores obtidos para o transporte de volume das duas seções localizadas mais ao sul. Assim, essa significativa diferença de $21999 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, entre os transportes de volume nas seções verticais *A* e *B* não escoam em direção ao norte do canal e poderia recircular na porção sul no CSS, nas proximidades do continente, em concordância com os estudos de *Miranda & Castro* [1995] e *Assad* [2000]. Os transportes de volume que não foram

contabilizadas nas áreas situadas entre as estações oceanográficas extremas da radial *A* e as suas respectivas margens continental e insular podem ter contribuído parcialmente para a descontinuidade dos valores de transporte de volume entre as seções verticais *A* e *B*, bem como a quase-sinopticidade na coleta dos dados, principalmente quando se detecta a mudança de direção e intensidade dos ventos na região, como ocorre no dia da realização deste cruzeiro. Desta forma, como o cruzeiro oceanográfico durou 6 horas e 47 minutos, no dia 13/11/2002, pode-se supor que a não conservação dos valores do transporte, principalmente entre as radiais *C* e *D*, que foram as últimas a serem percorridas, deve-se parcialmente às alterações dos padrões de direção do vento, que é a principal forçante das correntes no CSS [Castro, 1990]. Nesse contexto, as variações das correntes de maré no período de coleta também devem ter contribuído, em menor escala, para a descontinuidade dos valores do transporte de volume, apesar de ser notório em estudos anteriores que as correntes de maré têm papel quase negligenciável no CSS, conforme *Kvinge* [1967], *Fontes* [1995] e [Castro, 1990]. Diferenças significantes no cálculo dos transportes de volume, principalmente entre as seções verticais *A* e *B*, também foram observados por *Silva* [1995], que obteve os valores de transporte para norte nessas seções de $7700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $13100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, respectivamente, para o cruzeiro de outubro de 1994.

Conforme *Emilsson* [1962], que observou a intensificação das correntes na região central do CSS, obtiveram-se os maiores valores de corrente longitudinal nas seções verticais *B* ($0,56 \text{ m s}^{-1}$) e *C* ($0,64 \text{ m s}^{-1}$) e, em geral, a corrente longitudinal flui com maior intensidade nas proximidades da superfície e da margem insular, ao longo de todo o canal, ou seja, no canal de navegação, indicando a grande intensidade do cisalhamento vertical e lateral dessa componente de velocidade nesse cruzeiro.

O valor calculado para o tempo de residência das águas no CSS, a partir da média dos transportes de volume (Tabela 4.2) e do volume de água do canal, é de 0,81 dias, ou seja, de 19 horas e 26 minutos. Pode-se concluir, então, que os ventos de SW podem gerar correntes relativamente fortes na região e, conseqüentemente, aumentar o transporte de volume e reduzir significativamente o intervalo de tempo para a renovação das águas do CSS.

5.1.3 Cruzeiro de 22/03/2006

Em geral, no cruzeiro realizado em 22/03/2006, as correntes fluem para NE, com intensidade máxima de $0,46 \text{ m s}^{-1}$, porém a ocorrência de fluxos para NW, nas extremidades sul e sudoeste do CSS (Figura 4.63) indicam a existência de recirculação anticiclônica nessa localidade, enquanto que na extremidade norte do canal, não há indícios da presença de giros no canal. Essa recirculação não é evidente, porém através da Figura 4.64 percebe-se um forte cisalhamento lateral da componente longitudinal de velocidade, com decréscimo de sua intensidade do núcleo de $0,25 \text{ m s}^{-1}$ até as proximidades da estação oceanográfica de número 04, onde apresenta valor nulo, nas proximidades da superfície, indicando uma tendência à valores em sentido oposto entre essa extremidade e a costa continental. Nessa mesma figura observa-se, também, que a intensificação dos movimentos transversais com direção ao continente coincide com a tendência da ocorrência de movimentos longitudinais para sul, na região oeste da seção. Essa recirculação anticiclônica situada na porção sul do canal está associada aos prováveis ventos oriundos de SW, que sopraram na PCSE desde o dia 21/03, corroborando *Castro [1990]*, *Miranda & Castro [1995]*, *Silva [1995]*, *Coelho [1997]*, *Leandro [1999]* e *Assad [2000]*. Entretanto, no dia da realização das perfilagens de velocidade, o vento sofre mudanças em sua direção e intensidade (Figura 4.45), o que pode ter acontecido durante o cruzeiro oceanográfico. Em virtude da ocorrência de ventos médios de SW nos dias 21 e 22/03, pode-se inferir que houve a passagem de uma frente fria entre esses dias, em concordância com o modelo conceitual de frente fria elaborado por *Stech & Lorenzetti [1992]*.

Através da Figura 4.89 pode-se observar que as correntes não-divergentes aos 6 m de profundidade apresentam-se de forma complexa, com valor máximo de $0,60 \text{ m s}^{-1}$ na porção sul e com fluxos de pequena intensidade, da ordem de $0,05 \text{ m s}^{-1}$, na região central, junto à margem insular, e na porção sudoeste do canal. Entretanto, na configuração da função de corrente visualiza-se a existência de recirculação anticiclônica na região sudoeste do CSS, com o centro localizado nas adjacências da ponta do Guaecá (este ponto de referência é apresentado na Figura 1.2). As correntes não-divergentes e divergentes são importantes na composição das correntes totais no CSS para este cruzeiro, sendo obtido o CONT de 56,3%, que comprova a predominância dos fluxos

não-divergentes.

A característica marcante deste cruzeiro em relação aos campos de temperatura, de massa e de salinidade é a forte estratificação dessas propriedades físicas da água do mar (principalmente das duas primeiras) observada em toda extensão do canal, que é típica de verão, de acordo com *Castro et al.* [1987], *Castro* [1996], *Coelho* [1997] e *Leandro* [1999]. Essa estratificação está associada aos ventos médios de NE/SE, que sopraram com intensidade de até 11 m s^{-1} na PCSE, entre os dias 12 e 20/03/2006 (Figuras 4.42, 4.43 e 4.44), apesar da passagem de um sistema meteorológico frontal ao largo da PCSE nos dias 14 e 15/03. Os prováveis ventos de SW entre os dias 21 e 22/03 não foram suficientes para homogeneizar as águas do CSS até 22/03.

Nas radiais *A* (Figura 4.16), *B* (Figura 4.17) e *F* (Figura 4.19), situadas nas porções centro-sul do canal, observa-se o soergimento das isotermas e isopicnais em direção à costa continental, que deve estar associado aos ventos médios predominantes de NE/SE supracitados. A intrusão de massa de água relativamente mais fria e densa pela boca sul do canal deve ter sido interrompida pela mudança de orientação dos ventos, que passaram a soprar de SW a partir do dia 21/03 e, por conseguinte, poderia estar em curso o afastamento das águas mais frias e densas em direção ao largo, na camada inferior, corroborando *Castro et al.* [1987]. Por outro lado, diferentemente dos cruzeiros de 25/09/2001 (Figura 4.2) e de 13/11/2002 (Figura 4.8), não é constatada a existência de águas com valores relativamente baixos de salinidade, nas proximidades da superfície, na porção sul do CSS (Figura 4.14) apesar da ocorrência de ventos de SW nos dias 21 e 22/03.

O transporte de volume obtido para cada uma das quatro seções verticais (Tabela 4.3) apresenta como características marcantes a não conservação de seus valores entre as seções verticais *A* e *B* e a quase-continuidade entre as demais seções verticais. A existência de recirculação anticiclônica na porção sudoeste do CSS, nas adjacências da costa continental pode causar essa forte descontinuidade do transporte de volume observada entre as seções *A* e *B*, ou seja, a diferença entre os valores, de $8771 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, pode estar recirculando nessa região, corroborando *Miranda & Castro* [1995] e *Assad* [2000]. A quase-continuidade entre as demais seções pode ser justificada pela quase-sinopticidade na coleta dos dados de ADCP, que durou 7 horas e 16 minutos, em cujo

período podem ter ocorrido alterações de direção e intensidade dos ventos na região, como pode ser visualizado nas Figuras 4.44 e 4.45 e, também, variações das correntes de maré.

Diferentemente dos cruzeiros oceanográficos de 25/09/2001 e 13/11/2002, no cruzeiro realizado em 22/03/2006 é observado que o movimento longitudinal apresenta decréscimo da intensidade máxima entre as radiais *A* ($0,25 \text{ m s}^{-1}$) e *C* ($0,22 \text{ m s}^{-1}$), o que reforça a hipótese sobre a mudança de comportamento da principal forçante do CSS, que é o vento local, durante a realização da coleta de dados com o ADCP.

O tempo de renovação das águas do CSS, calculado para este cruzeiro, a partir do conhecimento do volume do canal e da média dos transportes de volume relacionados na Tabela 4.3, é de 1,99 dias, que está entre valores obtidos por *Silva et al.* [2001], de 1,6 e 4,7 dias, para o CSS.

5.1.4 Cruzeiro de 27/07/2006

No dia 27/07/2006, as correntes superficiais fluem para SW em todo o canal, com exceção da porção sul, onde uma célula de recirculação ciclônica pode ser observada, e apresentam intensidade relativamente pequena, com valor máximo de $0,26 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 4.69). Esse vórtice ciclônico possui o centro na posição geográfica de latitude $23^\circ 51,1' \text{ S}$ e longitude $045^\circ 27,3' \text{ W}$ e está associado ao fraco vento médio que sopra predominantemente de NE na plataforma continental adjacente à ISS a partir de 25/07, com intensidade máxima de 5 m s^{-1} (4.47), corroborando os estudos de *Furtado et al.* [1987], [Castro, 1990], *Coelho* [1997], *Leandro* [1999], [Assad, 2000] e [Silva et al., 2001]. O grande cisalhamento lateral da componente longitudinal de velocidade e os relevantes movimentos transversais à seção vertical *A*, da ISS para o continente em toda a coluna d'água, que podem ser visualizados na Figura 4.70, caracterizam também a ocorrência desse vórtice ciclônico na parte sul do CSS.

A maior importância de fluxos não-divergentes, quando comparados com os movimentos divergentes nesse cruzeiro, pode ser constatada com o CONT obtido de 90,6%. Na Figura 4.90 pode-se visualizar o vórtice ciclônico na porção sul do CSS nos mapeamentos da função de corrente e da velocidade não-divergente, comprovando a grande semelhança entre as correntes totais e os fluxos não-divergentes nessa região.

A principal característica desse cruzeiro de inverno, em relação aos campos termohalinos e de massa, é a quase-homogeneidade das águas ao longo de todo o canal, que é típica dessa estação do ano, conforme *Castro et al.* [1987], *Castro* [1996], *Coelho* [1997], *Leandro* [1999], *Silva et al.* [2001] e *Silva et al.* [2004]. Essa quase-homogeneidade observada em 27/07, deve sofrer alterações em virtude da ocorrência dos ventos de NE que, apesar de fracos, propiciaram o início do processo de intrusão de águas mais densas e frias pela margem sul insular, ratificando *Silva* [1995], *Furtado et al.* [1996], *Castro & Miranda* [1998], *Leandro* [1999], *Silva* [2001], *Silva et al.* [2001], *Rezende* [2003], *Silva et al.* [2004] e *Silva et al.* [2005]. O comportamento das isotermas, isohalinas e isopicnais na seção vertical *A* (Figura 4.22), com uma leve tendência à estratificação em toda a coluna d'água, pode estar associada à circulação bidirecional em duas camadas observada nas seções verticais *A* (Figura 4.70) e *B* (Figura 4.71). Essa estrutura vertical em duas camadas é típica do primeiro modo baroclínico, e apresenta um fluxo para sul, na camada superior, associado à tensão de cisalhamento do vento de NE, e advecção de águas próximas ao fundo com movimento para norte, com intensidade da ordem de $0,02 \text{ m s}^{-1}$, associado à intrusão da massa de água mais densa e fria, em concordância com os estudos realizados por *Miranda & Castro* [1995], *Fontes* [1995], *Coelho* [1997], *Castro & Miranda* [1998], *Silva* [2001], *Silva et al.* [2001] e *Silva et al.* [2005].

A descontinuidade dos valores do transporte de volume entre as seções verticais que ocorre neste cruzeiro oceanográfico pode ser constatada na Tabela 4.4. Provavelmente essa falta de conservação do transporte entre as seções *A* e *B*, e entre *B* e *C* é devida à existência do giro ciclônico que esteve presente desde a extremidade sul do canal até as proximidades da radial *B*. A descontinuidade do transporte de volume entre as seções *C* e *D* pode ser em decorrência da falta de sinopticidade da coleta dos dados (durou 7 horas e 36 minutos), quando podem ocorrer mudanças nas características das forçantes no CSS.

Neste cruzeiro não é observada a intensificação das correntes longitudinais para SW na seção vertical *B* (Figura 4.71). Entretanto, na radial *C* (Figura 4.72), observa-se essa característica, corroborando parcialmente *Emílsson* [1962].

Considerando-se a média dos transportes de volume relacionados na Tabela 4.4, obtém-se o tempo de residência das águas do CSS de 7,81 dias, que é muito alto quando

comparado com os demais cruzeiros em estudo. Entretanto, pode ser justificado, principalmente, pelos fracos ventos de NE observados nessa região durante a realização do cruzeiro.

5.1.5 Cruzeiro de 10/10/2006

No cruzeiro oceanográfico realizado em 10/10/2006, em geral, as correntes fluem para a direção SW, com intensidade máxima de $0,24 \text{ m s}^{-1}$, mas há a presença de recirculação ciclônica na região sul do canal, centralizada na latitude $23^\circ 51,8' \text{ S}$ e longitude $045^\circ 29,8' \text{ W}$, como pode ser visualizado na Figura 4.75. A ocorrência desse vórtice ciclônico está associado aos ventos médios predominantes de NE/SE, que sopram na plataforma continental adjacente à ISS, a partir do dia 09/10, com intensidade máxima de 9 m s^{-1} (Figura 4.48), corroborando os estudos elaborados por *Furtado et al.* [1987], [Castro, 1990], *Coelho* [1997], *Leandro* [1999], [Assad, 2000] e [Silva et al., 2001]. Na seção vertical A, constante na Figura 4.76, é possível observar a existência do giro ciclônico, com os movimentos da componente longitudinal de velocidade para direções opostas entre as regiões leste e oeste da seção, nos primeiros 20 m de profundidade, indicando significativo cisalhamento lateral dessa componente de velocidade. Esse giro ciclônico também pode ser visualizado no mapeamento da função de corrente e do campo de velocidade não-divergente, que são apresentados na Figura 4.91, cujas correntes não-divergentes têm importância muito significativa no CSS, com CONT de 65,0%.

Os campos termohalinos e de massa apresentam um caráter quase-homogêneo, como observa-se nas Figuras 4.28, 4.29, 4.30 e 4.31, característica esta típica de inverno, de acordo com *Castro et al.* [1987], *Castro* [1996], *Coelho* [1997], *Leandro* [1999], *Silva et al.* [2001] e *Silva et al.* [2004]. Como os ventos sopram, em geral, de SSW entre os dias 06 e 08/10, com intensidade máxima de 8 m s^{-1} , pode-se concluir que as águas do canal estavam em processo de homogeneização durante esse período, porém, com a alteração dos padrões de direção do vento para NE/SE nos dias 09 e 10/10, iniciou-se a intrusão de águas mais densas pela entrada sul insular (radial A), como pode ser visualizado na Figura 4.76, de acordo com *Silva* [1995], *Furtado et al.* [1996], *Castro & Miranda* [1998], *Leandro* [1999], *Silva* [2001], *Silva et al.* [2001], *Rezende* [2003], *Silva et al.* [2004] e *Silva et al.* [2005], onde constata-se a ocorrência de circulação em duas camadas e bidire-

cional nas proximidades da margem insular. Essa circulação bidirecional apresenta, na camada superior, correntes fluindo para SW, com intensidade de $-0,15 \text{ m s}^{-1}$ associadas aos ventos predominantes de NE/SE, e, na camada inferior (abaixo de 20 m), correntes com fluxo na direção para NE, com magnitude da ordem de $0,04 \text{ m s}^{-1}$, em decorrência da força de gradiente de pressão baroclínica associada à intrusão de águas mais densas e frias, de acordo com *Castro et al.* [1987], *Miranda & Castro* [1995], *Fontes* [1995], *Coelho* [1997], *Castro & Miranda* [1998], *Silva* [2001], *Silva et al.* [2001] e *Silva et al.* [2005].

Neste cruzeiro foi observada a quase-continuidade no transporte de volume entre as seções verticais *A* e *B*, de acordo com a Tabela 4.5. Porém, possivelmente devido a falta de dados na radial *C*, que não foram inseridos neste estudo, pois não passaram nos critérios estabelecidos para discriminar os dados de boa qualidade, e à falta de sinopticidade na coleta dos dados (durou 10 horas e 13 minutos), constata-se que o transporte de volume dessa seção vertical apresenta-se de forma não contínua em relação às seções adjacentes. O transporte de volume médio obtido foi de $-4297 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e, conseqüentemente, o tempo de renovação das águas do canal calculado foi de 3,56 dias, que está dentro do intervalo de valores (1,6 e 4,7 dias) obtidos por *Silva et al.* [2001].

Semelhantemente ao que ocorreu no cruzeiro de 27/07/2006, não é constatada a intensificação das correntes longitudinais para SW na seção vertical *B* (Figura 4.77), porém na radial *C* (Figura 4.78), observa-se essa intensificação, com acréscimo da intensidade máxima da componente longitudinal de $-0,12 \text{ m s}^{-1}$ para $-0,27 \text{ m s}^{-1}$, entre as radiais *D* e *C*, respectivamente, de acordo parcialmente com os estudos realizados por *Emílsson* [1962].

5.1.6 Cruzeiro de 14/12/2006

Para o cruzeiro de 14/12/2006 observa-se, no CSS, que há a intrusão da ACAS, que é relativamente mais fria e densa que a AC [*Miranda*, 1982], pela entrada sul insular, corroborando os estudos de *Silva* [1995], *Furtado et al.* [1996], *Castro & Miranda* [1998], *Leandro* [1999], *Silva* [2001], *Silva et al.* [2001], *Rezende* [2003], *Silva et al.* [2004] e *Silva et al.* [2005]. Constata-se uma circulação em duas camadas e bidirecional, com as correntes superficiais fluindo para SW, com intensidade máxima de $0,36 \text{ m s}^{-1}$, diretamente forçadas pelos ventos de NE, e as correntes profundas, que transportam a ACAS

para as regiões central e norte do CSS, fluindo para NE. Assim, a penetração da ACAS pela entrada sul do CSS está associada à circulação em duas camadas e bidirecional, sendo resultante da tensão de cisalhamento do vento na superfície, proveniente de NE, e da força de gradiente de pressão baroclínica associada à presença da ACAS, em concordância com os trabalhos anteriores de *Castro et al.* [1987], *Miranda & Castro* [1995], *Fontes* [1995], *Coelho* [1997], *Silva* [2001], *Silva et al.* [2001] e *Silva et al.* [2005]. Esse movimento bidirecional pode ser observado nas seções verticais de velocidade normal às radiais *A* (Figura 4.82), *B* (Figura 4.83), *C* (Figura 4.84) e *D* (Figura 4.85). Movimentos transversais à seções verticais *A* e *B*, com direção da ilha para o continente, em suas respectivas camadas de fundo, podem caracterizar a intrusão da ACAS nessa região, como pode ser observado nas Figuras 4.82 e 4.83, porém com a menor intensidade da ACAS e com a curvatura do canal tendendo para a orientação norte-sul em direção ao norte, nas seções *C* (Figura 4.84) e *D* (Figura 4.85) não fica evidente esse movimento das componentes de velocidade transversais a essas seções, da ISS para o continente.

Nesse mesmo cruzeiro, que apresenta características típicas de verão, é verificada a existência de uma célula de recirculação ciclônica na parte sul do canal, que está associada aos ventos predominantes de NE, confirmando estudos anteriores realizados por *Furtado et al.* [1987], [*Castro*, 1990], *Coelho* [1997], *Leandro* [1999], [*Assad*, 2000] e [*Silva et al.*, 2001]. Essa célula de recirculação tem o centro situado na posição geográfica de latitude 23° 50,5' S e longitude 045° 27,8' W e pode ser observada na seção vertical da radial *A*, constante na Figura 4.82, bem como no mapeamento do campo de velocidade aos 6 m de profundidade, apresentado na Figura 4.81. As correntes transversais à seção vertical *A*, que são relativamente fortes (da ordem de $-0,35 \text{ m s}^{-1}$) e têm movimento, em toda a coluna d'água, da ilha para o continente, também caracterizam a ocorrência desse vórtice ciclônico, bem como o intenso cisalhamento lateral da componente longitudinal de velocidade nos primeiros 17 m, como podem ser observados na Figura 4.82. Na extremidade norte do canal não é observada a ocorrência de giros no campo de velocidade. A grande contribuição dos movimentos não-divergentes em relação às correntes totais no CSS para esse cruzeiro é comprovada com CONT de 82,3% e com a visualização do mapeamento da função de corrente e do campo de velocidade não-divergente, que consta na Figura 4.92, cuja configuração é semelhante ao apresentado

no mapeamento das correntes totais.

Constata-se, também, que ventos oriundos de NE/SE, com intensidade máxima de 11 m s^{-1} , influenciam toda a PCSE entre os dias 8 e 14/12/2006, e propiciam a intrusão bem desenvolvida da ACAS no CSS, que por ocasião deste cruzeiro está situado hidrodinamicamente na PCM, de acordo com a regionalização dinâmica elaborada por *Castro* [1996]. Esses ventos regulares de NE/SE foram suficientes para ocasionar o fenômeno da ressurgência costeira, com a divergência unilateral do transporte de deriva do vento, na costa, o bombeamento de Ekman em direção à superfície e o conseqüente afloramento da ACAS na margem continental sul do CSS, corroborando o estudo sobre as massas de água e a circulação no CSS realizado por *Coelho* [1997], além de estar em concordância com *Coelho et al.* [2002] e *Castro et al.* [2006]. A Figura 4.34 mostra a distribuição vertical dos campos de temperatura e densidade convencional na radial *A*, com o afloramento da termoclina e da picroclina próximo à estação 04, situada junto ao continente. A distribuição horizontal de temperatura e de densidade convencional nas proximidades da superfície também apresenta de forma evidente a ressurgência costeira na porção sul do CSS, junto ao continente, de acordo com a Figura 4.32. Conforme *Coelho* [1997], durante o processo da ressurgência costeira, com a intrusão da ACAS na boca sul do CSS, há também a intrusão da Frente Térmica Profunda (FTP) e da Frente Térmica Superficial (FTS). A FTP está, inicialmente, situada nas proximidades do fundo, apresentando águas mais frias nas adjacências da margem insular, como pode ser visualizado na Figura 4.33, e a medida que o fenômeno da ressurgência se intensifica, a FTP se desloca para a superfície, originando a FTS, com a ocorrência, na camada superficial, de águas mais frias nas proximidades da costa continental, como pode ser observado na Figura 4.32.

De acordo com *Emilsson* [1962], em seu estudo sobre as correntes no CSS, estas apresentam-se mais intensas nas seções verticais *B* (Figura 4.83) e *C* (Figura 4.84), que estão situadas na região central do canal, quando comparadas com as demais seções. As componentes longitudinais de velocidade têm intensidade máxima de $-0,28 \text{ m s}^{-1}$, na seção *B*, e de $-0,24 \text{ m s}^{-1}$, na seção *C*.

Os valores de transportes de volume, constantes na Tabela 4.6 apresentam descontinuidade entre as seções *A* e *B*, que pode ser decorrente da presença do vórtice ciclônico

na porção sul do CSS e da quase-sinopticidade da coleta dos dados de todo cruzeiro, que durou 9 horas e 28 minutos, e por conseguinte, de alterações das forçantes dos movimentos das águas no canal. A descontinuidade entre as seções *B*, *C* e *D* pode ser justificada pelo segundo motivo apresentado anteriormente, ou seja, com a tendência ao enfraquecimento dos ventos na PCSE entre os dias 13 e 14/12, que pode ser observado na Figura 4.50, pode-se supor que no dia 14/12 o vento médio reduziu de intensidade ao longo das trajetórias que foram percorridas de sul para norte. Desta forma, os valores encontrados para os transportes de volume nas seções centro-norte do canal, com redução de sul para norte, estariam coerentes quando comparados com as supostas alterações de magnitude dos ventos durante o cruzeiro. Em menor escala, as variações das correntes de maré devidas à quase-sinopticidade na coleta de dados também devem ter contribuído para a descontinuidade dos valores do transporte de volume entre as seções, apesar de estudos anteriores apontarem que as correntes de maré têm pouca importância no CSS, de acordo com *Kvinge* [1967], *Fontes* [1995] e [*Castro*, 1990].

O tempo de residência das águas do canal para esse cruzeiro foi de 7,55 dias, que é relativamente grande, porém coerente com a pequena intensidade das correntes observadas ao longo do CSS. Esse resultado é maior do que o encontrado por *Soares* [1994], que utilizou um modelo numérico de dispersão oceânica no CSS, com ventos constantes de SW, para calcular o espalhamento de uma mancha formada a partir do derramamento de 250.000 toneladas de uma substância no ponto central do CSS. *Soares* [1994] obteve o resultado de 4 dias para que as águas do canal ficassem praticamente limpas dessa substância. Considerando-se que os ventos de SW normalmente são mais intensos que os de NE nessa região, o valor de 7,55 dias, com ventos predominantes de NE parece ser coerente, quando comparado aos 4 dias com ventos de SW.

5.2 Síntese das Principais Características dos Cruzeiros Oceanográficos

Em síntese, as principais características dos cruzeiros oceanográficos são apresentadas na Tabela 5.1. São elas: movimento predominante das águas; recirculação observada na entrada sul do CSS; média do transporte de volume [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] das seções verticais *A*, *B*, *C* e *D*; tempo de residência, em dias; ocorrência de intrusão da ACAS; ocorrência de movimentos bidirecionais em duas camadas normais às seções verticais; característica dos campos termohalinos e de massa em relação à estratificação das águas; e vento predominante.

Tabela 5.1: Síntese das principais características dos cruzeiros oceanográficos. A média do transporte de volume para as seções verticais *A*, *B*, *C* e *D* está expressa em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ e o tempo de residência, em dias.

	Cruzeiro de 25/09/2001	Cruzeiro de 13/11/2002	Cruzeiro de 22/03/2006	Cruzeiro de 27/07/2006	Cruzeiro de 10/10/2006	Cruzeiro de 14/12/2006
Mov. predom. das águas	NE	NE	NE	SW	SW	SW
Recirc. entrada Sul	Anticiclôn.	Anticiclôn. (Indícios)	Anticiclôn. (Indícios)	Ciclônica	Ciclônica	Ciclônica
Transp. vol. médio	8089	18904	7685	-1959	-4297	-2026
Tempo resid.	1,89	0,81	1,99	7,81	3,56	7,55
Intrusão ACAS	Não	Não	Não	Início do processo	Início do processo	Sim
Mov. bidirec. 2 camadas	Não	Não	Não	Radiais A e B	Radial A	Todas radiais
Estratif.	Pequena estratif.	Quase-homogênea	Estratif.	Quase-homogênea	Quase-homogênea	Estratif.
Vento	SW (Provável)	SW (Provável)	SW (Provável)	NE	NE	NE

Capítulo 6

Conclusões

Nos seis cruzeiros oceanográficos realizados no CSS e contidos neste estudo, buscou-se aplicar uma metodologia adequada para o tratamento dos dados de ADCP rebocado por uma pequena embarcação. Os resultados obtidos, que corroboram em grande parte estudos anteriores efetuados na região, refletem a coerência dessa metodologia empregada. Ressalta-se, no entanto, que uma das principais limitações inerentes ao dispositivo rebocado é o estado do mar. Como, em geral, no CSS as águas são mais abrigadas do que ao largo, o ADCP rebocado pelo B/Pq Veliger II apresenta normalmente boa qualidade dos dados.

Embora muitos estudos relacionados a Oceanografia Física do CSS tenham se desenvolvido ao longo de algumas décadas, o que faz o CSS provavelmente a região mais estudada da América do Sul, este trabalho apresentado é muito relevante para a compreensão das características hidrodinâmicas e termohalinas do CSS, elucidando aspectos importantes do fenômeno da ressurgência costeira e intrusão da ACAS. Este fenômeno é estritamente físico, porém de conseqüências fundamentais em outras disciplinas: Biologia (transporte de nutrientes e produção primária, migrações, etc.); Química (transporte de substâncias e fluxos ou trocas de gases com a atmosfera); e Geologia (erosão, transporte e deposição de sedimentos). Ainda, tem importância sócio-ambiental e econômica, no que diz respeito a qualidade de água, balneabilidade, doenças de veiculação hídricas, usos múltiplos da água e dispersão de poluentes, sobretudo óleos e esgotos. O fenômeno da ressurgência costeira foi observado no CSS, em 14/12/2006, associado aos ventos médios da PCSE oriundos de NE/SE, com intensi-

dade de até 11 m s^{-1} , entre os dias 8 e 14/12/2006. Nessa ocasião, a ACAS aflorou à superfície nas proximidades da costa continental sul do CSS.

Os transportes de volume foram calculados para as quatro seções verticais dispostas radialmente no canal. Em todos os cruzeiros houve quase-continuidade ou descontinuidade entre os valores estimados cujas causas foram atribuídas principalmente à ocorrência de recirculação ciclônica ou anticiclônica na porção sul do canal e à quase-sinopticidade da aquisição dos dados, que duraram até 10 horas e 13 minutos, no cruzeiro de 10/10/2006. Importantes mudanças nos padrões de direção e intensidade dos ventos médios na PCSE foram detectadas em 25/09/2001, 13/11/2002, 22/03/2006 e 14/12/2006 e, desta forma, podem ter ocorrido alterações significativas na circulação dentro do CSS, apesar de estudos anteriores apontarem o vento local como principal forçante no CSS. Ainda devido à coleta de dados quase-sinóptica, as variações das correntes de maré também devem ter contribuído, em menor escala, para a descontinuidade do transporte de volume entre as seções. Além dessas prováveis causas da não conservação dos valores do transporte de volume, as extrapolações efetuadas no cálculo para os primeiros 6 metros de profundidade podem ter contribuído para essas diferenças de resultado, bem como as defasagens das áreas entre os extremos das radiais e as margens continental e insular, principalmente, para as seções verticais *A* e *B*.

As maiores médias entre as seções verticais para o transporte de volume foram obtidas nos cruzeiros com movimentos em direção para o norte em 25/09/2001, com $8089 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; 13/11/2002, com $18904 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; e 22/03/2006, com $7685 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, associados às fortes correntes para NE e aos prováveis ventos de SW. A maior intensidade de corrente observada nesses dias tem magnitude de $0,72 \text{ m s}^{-1}$ e direção para NE e ocorreu na região central do CSS, em 13/11/2002. Por outro lado, as médias dos transportes de volume nos dias em que foram observados fluxos em direção sul são de $-1959 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, em 27/07/2006; de $-4297 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, em 10/10/2006; e de $-2026 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, em 14/12/2006. As correntes para SW têm intensidade máxima de $-0,36 \text{ m s}^{-1}$ observada em 14/12/2006, na extremidade sudoeste do canal.

As correntes normais às seções verticais, em geral, têm intensidades maiores que as correntes transversais a essas seções. Porém, quando há forte influência de um vórtice

na seção vertical observada, este pode fazer com que os movimentos transversais sejam até maiores que os movimentos normais à seção, como ocorreu em 14/12/2006, em que devido à influência da recirculação ciclônica observaram-se valores de até $-0,35 \text{ m s}^{-1}$ para o fluxo transversal e de até $-0,16 \text{ m s}^{-1}$ para a corrente normal à seção vertical A.

As células de recirculação foram observadas somente na porção sul do CSS. As células eram ciclônicas, associadas aos ventos de NE, e anticiclônicas quando os ventos sopraram de SW. A recirculação anticiclônica é mais evidente no cruzeiro de 25/09/2001, quando apresenta o seu centro nas adjacências da ponta da Varanda, no continente. No cruzeiro de 22/03/2006 essa recirculação não é bem caracterizada, porém no mapeamento da função de corrente é possível visualizá-la melhor, e em 13/11/2002 há indícios de sua existência na extremidade sudoeste do CSS. Os vórtices ciclônicos são evidentes nos três cruzeiros com vento de NE. Em 27/07/2006, a célula de recirculação está localizada na região central da porção sul do CSS, a 2,6 km e na direção SSW da ponta do Guaecá. No dia 10/10/2006, essa célula recircula as águas com o seu centro posicionado no extremo sul da grade a aproximadamente 5,9 km e a SW da ponta do Guaecá. O giro ciclônico que ocorre em 14/12/2006 é caracterizado por apresentar-se centralizado nas proximidades da costa continental, a cerca de 1,7 km e a SW da ponta do Guaecá.

A presença da ISS e as características geomorfológicas do fundo submarino em suas proximidades, com fortes variações batimétricas, sugerem a influência de efeitos topográficos sobre a circulação no CSS, que podem ser responsáveis pela ocorrência desses vórtices ciclônicos e anticiclônicos na porção sul do canal.

O tempo estimado de renovação das águas do CSS para os cruzeiros estudados varia de 0,81 dias, em 13/11/2002, a 7,81 dias, em 27/07/2006. Pode-se concluir que os ventos de SW, que sopraram na região em 25/09/2001, 13/11/2002 e 22/03/2006, geraram correntes mais intensas, que proporcionaram um transporte de volume médio maior e, por conseguinte, um tempo de residência das águas com menor valor. De forma contrária, os movimentos gerados pelos ventos predominantes de NE, que ocorreram em 27/07/2006, 10/10/2006 e 14/12/2006, acarretaram em valores menores para o transporte de volume médio e, conseqüentemente, maiores tempos para a renovação das águas dentro do canal.

Circulação em duas camadas e bidirecional, com movimentos superficiais para SW, forçados pelos ventos médios de NE na PCSE, e movimentos profundos em direção norte do CSS foram observados nas seções verticais *A* e *B*, em 27/07/2006; na seção *A*, em 10/10/2006; e em todas as seções, em 14/12/2006. A ACAS preencheu toda a camada de fundo do CSS em 14/12/2006, enquanto que nos dois outros cruzeiros houve apenas o estágio inicial de sua intrusão.

Forte estratificação dos campos termohalinos e de massa nas águas no CSS foram observadas nos dois cruzeiros que tiveram longo período que os antecederam com ventos predominantes de NE/SE, na PCSE. Para o cruzeiro de 22/03/2006, os ventos de SW que sopraram nos dias 21 e 22/03 não foram suficientes para homogeneizar as águas do CSS, que estavam estratificadas devido aos ventos predominantes de NE, que sopraram entre 12 e 20/03. No cruzeiro de 14/12/2006, os ventos apresentaram direção NE/SE no período de 8 a 14/12.

Na porção sul do CSS foi observada a ocorrência de águas superficiais com baixos valores de salinidade oriundas das descargas estuarinas de Santos e Bertioga em dois cruzeiros. No cruzeiro de 25/09/2001, associada provavelmente aos fracos ventos de NE, que sopraram em 24/09, e aos ventos de SW, em 25/09. Para o cruzeiro de 13/11/2002, essas águas devem estar associadas aos ventos de SW, que sopraram entre 11 e 13/11.

A obtenção dos campos de velocidade não-divergente e da quantificação de suas contribuições em relação aos campos de velocidade total, com valores de CONT entre 56,3%, em 22/03/2006, e 90,6%, em 27/07/2006, permitiu efetuar comparações qualitativas entre os mapeamentos horizontais dos campos de velocidade não-divergente e total para cada cruzeiro e facilitou a visualização das recirculações na porção sul do CSS, principalmente, através dos mapeamentos horizontais da função de corrente. Entretanto, com base no conjunto de dados deste estudo, não se pode inferir sobre causas e conseqüências dos movimentos não-divergentes e divergentes no CSS, sendo, desta forma, uma sugestão para trabalhos futuros.

Referências Bibliográficas

- Assad, L. P. F., 2000: Circulação no Canal de São Sebastião (SP) durante o inverno: estudos numéricos. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 138 pp.
- Bretherton, F. P., E. D. Russ, & C. B. Fandry, 1976: A technique for Objective Analysis and design of oceanographic experiments applied to MODE-73. *Deep-Sea Res.*, 23(7), 559–582.
- Calado, L., 2006: Dinâmica da interação da atividade de meso-escala da Corrente do Brasil com o fenômeno de ressurgência costeira ao largo de Cabo Frio e Cabo de São Tomé, RJ. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 159 pp.
- Carter, E. F. & A. R. Robinson, 1987: Analysis models for the estimation of oceanic fields. *J. Atmos. Oc. Tech.*, 4(1), 49–74.
- Castro, B. M., 1990: Wind driven currents in the Channel of São Sebastião: winter, 1979. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 38(2), 111–132.
- Castro, B. M., 1996: Correntes e massas de água da plataforma continental norte de São Paulo. Tese de Livre-Docência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 248 pp.
- Castro, B. M. & T. N. Lee, 1995: Wind-forced sea level variability on the Southeast Brazilian Shelf. *J. Geophys. Res.*, 100(C8), 16.045–16.056.
- Castro, B. M., J. A. Lorenzetti, I. C. A. Silveira, & L. B. Miranda, 2006: Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B. & Madureira, L. S. (orgs). O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil. São Paulo, Edusp, 11–120.

- Castro, B. M. & L. B. Miranda, 1998: Hydrographic properties in the São Sebastião Channel: daily variations observed in March 1980. *Rev. bras. oceanogr.*, 46(2), 111–123.
- Castro, B. M., L. B. Miranda, R. F. C. Fontes, A. F. Pereira, & A. L. Coelho, in press: Processos físicos: hidrografia, circulação e transporte. In: Pires-Vanin, A. M. S. (org). Oceanografia de um ecossistema subtropical: plataforma de São Sebastião (SP).
- Castro, B. M., L. B. Miranda, & S. Y. Miyao, 1987: Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 35(2), 135–151.
- Castro, M., B, 1985: Subtidal response to wind forcing in the South Brazil Bight during winter. Tese de Doutorado, University of Miami, Florida, 211 pp.
- Coelho, A. L., 1997: Massas de água e circulação no Canal de São Sebastião (SP). Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 244 pp.
- Coelho, A. L., B. M. Castro, & L. B. Miranda, 2002: Ressurgência costeira ao sul da Ilha de São Sebastião (SP). *Anais Hidrográficos, Tomo LIX*, 79–86.
- Conti, L. A., 2004: Geomorfologia da plataforma continental do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 179 pp.
- Dyer, K., 1997: *Estuaries: A Physical Introduction*. Wiley, Chichester, 2ª edição, 210 pp.
- Emery, W. J. & R. E. Thomson, 2001: *Data analysis methods in physical oceanography*. Elsevier, Great Britain, 2ª edição, 638 pp.
- Emílsson, I., 1956: Relatório e resultados físico-químicos de três cruzeiros oceanográficos em 1956. *Contr. Inst. Oceanogr.*, 1(sér. Oceanogr. física), 1–70.
- Emílsson, I., 1959: Alguns aspectos físicos e químicos das águas marinhas brasileiras. *Ciênc. Cult.*, 11(2), 44–54.
- Emílsson, I., 1961: The shelf and coastal waters off Southern Brazil. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 11(2), 101–112.

- Emílsson, I., 1962: As correntes marítimas no Canal de São Sebastião. *Ciênc. Cult.*, 14(4), 269–270.
- Fontes, R. F. C., 1995: As correntes no Canal de São Sebastião. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 159 pp.
- FSI, 1997: 3-Dimension Acoustic Current Meter - High Accuracy CTD Option. *Falmouth Scientific, Inc.*, 59 pp.
- FSI, 2005: NXIC CTD - User Manual. *Falmouth Scientific, Inc.*, 69 pp.
- FSI, 2006: 2-Dimension Acoustic Current Meter - User Manual. *Falmouth Scientific, Inc.*, 74 pp.
- Furtado, V. V., J. Bonetti Filho, & L. A. Conti, 1996: Paleo river valley morphology and sea level changes at Southeastern Brazilian Continental Shelf. *An. Acad. bras. Ci.*, 68(Supl. 1), 163–169.
- Furtado, V. V., J. Gallo, & E. F. Luedemann, 1987: Análise do comportamento de correntes através de corpos de deriva no Canal de São Sebastião. *Anais do 1º Congresso da ABEQUA*, pp 93–102.
- Kundu, P. K. & I. M. Cohen, 1990: *Fluid mechanics*. Academic Press, San Diego, 2ª edição, 730 pp.
- Kvinge, T., 1967: On the special current and water level variations in the Channel of São Sebastião. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 16(1), 23–38.
- Leandro, R. P., 1999: Climatologia das águas do Canal de São Sebastião (SP). Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 162 pp.
- Miranda, L. B., 1982: Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) a Ilha de São Sebastião (SP). Tese de Livre-Docência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 194 pp.
- Miranda, L. B., 1985: Forma da correlação T-S de massas de água das regiões costeira e oceânica entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP). *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 33(2), 105–119.

- Miranda, L. B. & B. M. Castro, 1995: Variabilidade da circulação e do transporte de volume no Canal de São Sebastião (SP). *Publção esp. Inst. oceanogr.*, (11), 1–9.
- Miranda, L. B., B. M. Castro, & B. Kjerfve, 2002: *Princípios de oceanografia física de estuários*. Edusp, São Paulo, 411 pp.
- Miranda, L. B. & M. Katsuragawa, 1991: Estrutura térmica na região sudeste do Brasil (outubro/novembro de 1988). *Publção esp. Inst. oceanogr.*, (8), 1–14.
- Pereira, A. F., B. M. Castro, L. Calado, & I. C. A. Silveira, 2007: Numerical simulation of M₂ internal tides in the South Brazil Bight and their interaction with the Brazil Current. *J. Geophys. Res.*, 112(C04009), 1–17.
- Rezende, J. H. M., 2003: Intrusões da Água Central do Atlântico Sul na plataforma continental sudeste durante o verão. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 120 pp.
- Silva, L. S., 1995: Condições oceanográficas no Canal de São Sebastião e na região costeira adjacente: variações sazonais entre fevereiro de 1994 e março de 1995. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 128 pp.
- Silva, L. S., 2001: Estudo numérico da circulação e da estrutura termohalina no Canal de São Sebastião. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 256 pp.
- Silva, L. S., L. B. Miranda, & B. M. Castro, 2001: Relatório do projeto "Oceanografia da Plataforma Interna de São Sebastião"(OPISS) - Subprograma Oceanografia Física. *Relat. téc. Inst. oceanogr.*, (47), 1–31.
- Silva, L. S., L. B. Miranda, & B. M. Castro, 2004: Análise de massas de água no Canal de São Sebastião entre fevereiro de 1994 e março de 1995. *Anais Hidrográficos*, Tomo LXI, 76–99.
- Silva, L. S., L. B. Miranda, & B. M. Castro, 2005: Numerical study of circulation and thermohaline structure in the São Sebastião Channel. *Rev. Bras. Geofis.*, 23(4), 407–425.

- Silveira, I. C. A., W. S. Brown, & G. R. Flierl, 2000: Dynamics of the North Brazil Current retroflection from the WESTRAX observations. *J. Geophys. Res.*, 105(C12), 28.559–28.583.
- Soares, I. D., 1994: Um modelo numérico de dispersão oceânica: aplicações ao Canal de São Sebastião e adjacências. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 126 pp.
- Sontek, 2000: Acoustic Doppler Profiler Principles of Operation. *Sontek*, 28 pp.
- Sontek, 2001: Acoustic Doppler Profiler Operational Manual Firmware Version 7.1. *Sontek*, 100 pp.
- Sontek/YSI, 2005: CurrentSurveyor System Manual Software Version 4.30. *Sontek/YSI*, 160 pp.
- Soutelino, R. G., S. V. Paixão, F. S. C. Oliveira, P. R. S. Barros, D. P. C. Pereira, & I. Brizotti, 2006: Estudo quase-sinótico de hidrografia e correntografia no Canal de São Sebastião. *III Simpósio Brasileiro de Oceanografia*, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Stech, J. L. & J. A. Lorenzetti, 1992: The response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. *J. Geophys. Res.*, 97(C6), 9507–9520.
- UNESCO, 1981: Background papers and supporting data on the International Equation of State of Seawater 1980. *UNESCO Tech. Pap. in Mar. Sci.*, 38 pp.
- Valeport, 1994: Model 108 MkIII/308 Current Meters - Installation and Operation Manual. *Valeport*, 26 pp.
- Zembruski, S., 1979: Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das baías oceânicas adjacentes. In: Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira. PETROBRAS/DNPM/CPRM/DHN/CNPq (sér. Projeto REMAC nº 7), Rio de Janeiro, 129–177.