

II.5.1.2 – Oceanografia

Regime de Correntes

As principais forçantes da circulação na Bacia de Santos são: vento, maré e variações termohalinas.

As marés têm influência relativamente pequena, dominando a circulação apenas em situações de calmaria. Na região oceânica, sua influência decresce ainda mais. O regime predominante é o semidiurno (ondas de maré com periodicidade predominante de 12 horas e 54 minutos), sendo a M2 a componente de maior influência. Harari (1985), a partir de simulações numéricas, determinou para a componente M2 uma circulação elíptica, com semi-eixo maior na direção normal as isóbatas e magnitude média de 0,03 m/s, com máxima de 0,11 m/s. Uma melhor caracterização do regime de maré pode ser vista no item regime de maré adiante.

Os ventos locais influenciam principalmente a circulação na plataforma interna. Ventos do quadrante sul forçam correntes para nordeste, enquanto ventos do quadrante norte forçam correntes para sudoeste (FUNDESPA, 1994a). Isto pode ser comprovado pelos picos dos espectros das correntes de superfície, que se localizam nos períodos de 9,5 e 5,7 dias, evidenciando a influência das variações do campo de vento, que apresentam períodos dessa ordem, como a principal determinante da circulação superficial costeira (FUNDESPA, 1994b).

Segundo Castro Filho (1996), na plataforma continental interna, a circulação é essencialmente forçada pelo vento dominante. O transporte observado para a plataforma interna foi, no entanto, uma ordem de grandeza menor que o da externa. O autor analisou dados correntográficos em lâminas d'água de 40 e 70 m, ao largo de Ubatuba. A distribuição de frequência mostrou um comportamento bipolar, paralelo à costa, confirmando a influência dos ventos locais. As intensidades foram da ordem de 0,20-0,30 m/s, para SW, e na direção oposta, foram ligeiramente inferiores.

Segundo André (1990), a velocidade da corrente costeira superficial em direção a Cabo Frio durante ventos SW, e das águas ressurgidas, para oeste,

durante ventos E e NE, variam, em geral, entre 0,20 e 1,00 m/s e entre 0,20 e 0,80 m/s, respectivamente.

Medições de corrente feitas por MMA/Petrobras/AS/PEG (2002) nos dias 28 e 29 de março de 2002 mostraram correntes para sudoeste com velocidade entre 0,14 e 0,30 m/s.

Há, entretanto, uma influência sazonal na circulação da plataforma continental interna. De acordo com os trabalhos de Luedeman (1971) e Matsuura (1975), a circulação média nesta região tem o seguinte padrão: (1) durante o verão, correntes fluindo para sudoeste, acima da picnoclina, e para nordeste, abaixo da mesma, (2) e durante o inverno, fluxo para nordeste ao longo de toda a coluna d'água. A picnoclina formada no verão é oriunda do avanço da ACAS (Água Central do Atlântico Sul) sobre a plataforma.

De acordo com Cartas da DHN, as correntes médias superficiais na região para os meses de inverno mostram-se predominantemente no sentido NE com valores médios entre 0,25 e 0,45 m/s sobre a plataforma continental. Já sobre a área oceânica, a CB flui em direção SW com valores médios de 0,35 m/s. Para uma situação de verão, as correntes mostram-se fluindo para SW com valores médios de intensidade de 0,35 a 0,50 m/s, tanto sobre a plataforma continental, quanto sobre a região da CB, podendo alcançar 0,75 m/s (DHN, 1969; DHN, 1974).

Esta alternância na plataforma interna pode ser explicada por um modelo conceptual sugerido por Castro Filho (1990). Durante o verão, os ventos do quadrante N-E geram um transporte superficial de águas na direção oceânica, com duas conseqüências: penetração, em subsuperfície, da ACAS em direção à costa e um abaixamento do nível do mar na costa. O abaixamento do nível do mar gera na superfície uma força gradiente de pressão apontada para a costa, tendo como resultado correntes paralelas à costa na mesma direção do vento, isto é, para SW. Abaixo da picnoclina, com a subida da ACAS, ocorre o inverso: força gradiente de pressão apontada para o oceano, originando correntes para nordeste.

Durante o inverno, os ventos do quadrante S-W causam um transporte do mar para a costa, na camada superficial, tendo como conseqüências o afastamento para o largo das águas situadas em subsuperfície e a elevação do

nível do mar na costa. Como resultado, têm-se correntes geostróficas para NE em toda a coluna d'água, devido à homogeneização das características físicas, com o recuo da ACAS. Esta inversão ocorre no outono ou no início do inverno.

Este transporte de massa promovido por vento (transporte de Ekman) é responsável pelo aparecimento de uma importante feição oceanográfica nesta região: a ressurgência costeira. Ela ocorre principalmente na primavera e verão, quando ventos constantes de nordeste empurram as águas superficiais na direção oceânica, provocando a subida de águas frias de fundo (ACAS) (Rodrigues, 1997). De acordo com imagens de temperatura da superfície do mar obtidas diariamente pela Oceansat, desde 1997, o ponto mais importante de ressurgência costeira na Bacia de Santos fica na região de Cabo Frio, onde são observados núcleos de água fria de até 15°C. No entanto, também foram observados nestas imagens processos de ressurgência em Ilhabela e Cabo de Santa Marta.

Existe também a contribuição da variação sazonal da intensidade da radiação solar, causando aquecimento das águas superficiais durante o verão, e resfriamento e conseqüente desaparecimento da termoclina, durante o inverno. Assim, os dois mecanismos de interação oceano-atmosfera, tensão de cisalhamento do vento e radiação solar, atuam harmoniosamente gerando a variação sazonal observada nas propriedades físicas das águas da plataforma interna.

É válido citar um outro fator importante para a circulação local: o aporte de águas de origem continental, devido principalmente à descarga de água doce dos estuários do Rio Grande e do Rio da Prata, que atinge o seu máximo no inverno e no início da primavera, quando ocorrem os maiores índices de precipitação nesta região (Guerrero *et al.*, 1997).

Ocorrem, portanto, fortes gradientes horizontais de densidade ao sul da Bacia de Santos, que provavelmente atuam como forçantes significativas na circulação, especialmente na plataforma interna. Em termos barotrópicos, Guerrero e colaboradores (1997) descreveram o fluxo do Rio da Prata sendo defletido para norte pela força de Coriolis ao atingirem a plataforma continental, alcançando a Bacia de Santos.

Já na plataforma externa, talude e oceano profundo, a circulação é controlada pelo giro subtropical, que é a circulação em larga escala forçada pelo vento. Esse sistema de circulação anticiclônica (anti-horária no hemisfério sul) inclui a Corrente de Benguela, que flui ao longo da costa africana para norte em direção ao equador; a Corrente Sul Equatorial, que flui do Continente Africano para o Continente Sul-Americano; a Corrente do Brasil (CB), originária da bifurcação da Corrente Sul Equatorial e fluindo em direção ao Sul; e, completando o giro anticiclônico, a Corrente do Atlântico Sul, que flui para leste. Esta corrente é uma extensão da CB, imediatamente após sua confluência com a corrente das Malvinas (Peterson & Stramma, 1991).

O Giro Subtropical pode ser visualizado na Figura II.5.1.2-1. O limite norte deste giro vai se deslocando para sul, conforme a lâmina d'água vai aumentando. Assim, a bifurcação da Corrente Sul Equatorial ocorre cada vez mais ao sul, ou seja, a lâmina d'água da CB aumenta conforme ela atinge latitudes maiores. Como consequência, tem-se um progressivo aumento do volume transportado por ela, à medida que flui para sul. A CB é formada com um volume inicial de aproximadamente 2 a 4 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$), e a partir de 24°S, seu volume passa a crescer a uma taxa de cerca de 5% a cada 100 km (Moreira, 1997).

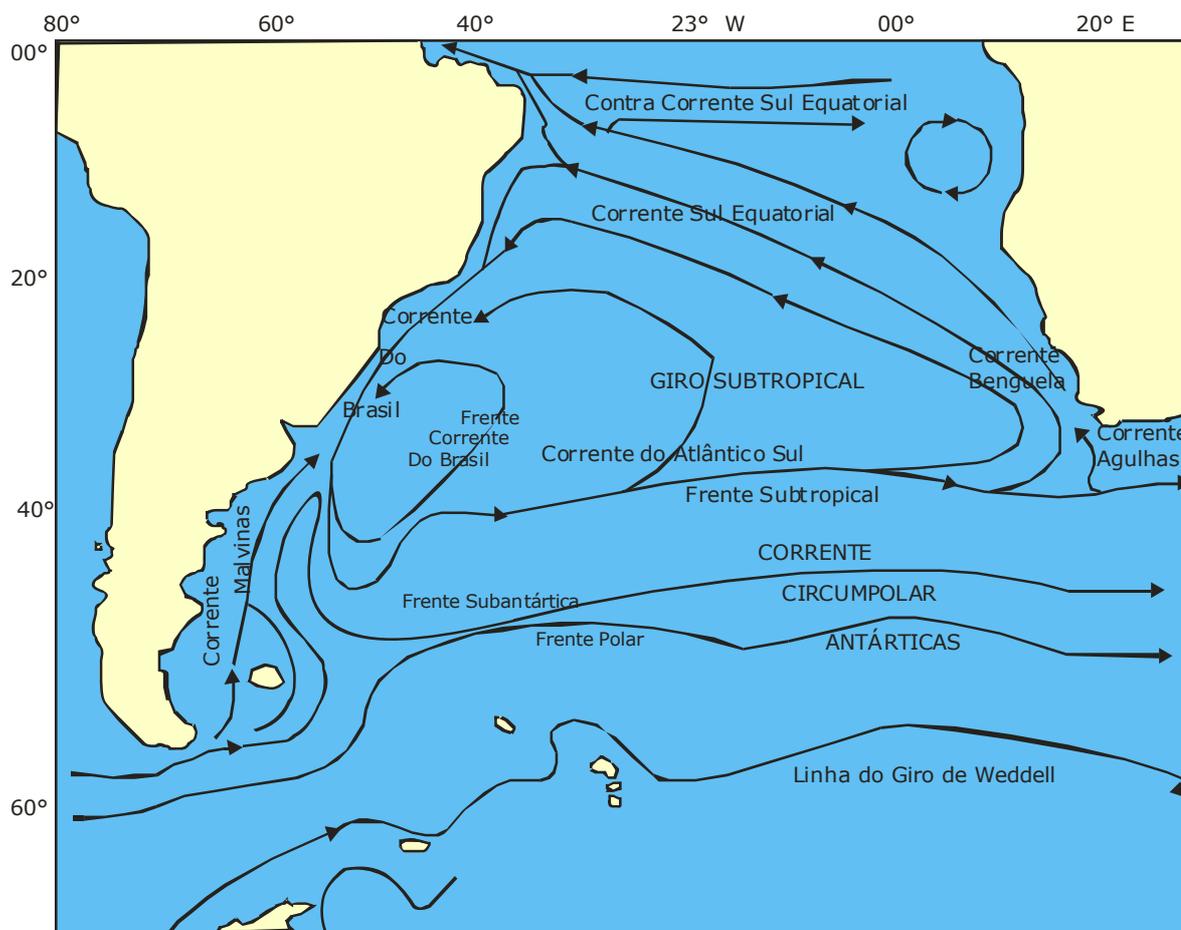


Figura II.5.1.2-1: Circulação forçada por vento em larga escala no Atlântico Sul, destacando o Giro Subtropical. Fonte: Peterson & Stramma, 1991.

Portanto, a Corrente do Brasil, originada pela bifurcação da Corrente Sul-Equatorial em cerca de 10°S na superfície, controla a circulação na região oceânica na Bacia de Santos e é caracterizada por altas temperaturas e salinidade e por um fluxo no sentido sul/sudoeste, acompanhando a direção da quebra de plataforma. Análise de imagens de satélite feitas por Garfield (1988) mostraram a CB numa posição média próxima a isóbata de 200 m, com a borda externa confinada a regiões com menos de 2000 m, limite inferior do talude continental, com cerca de metade do transporte de volume ocorrendo sobre a plataforma. Souza e Cabral (1996) observaram derivadores seguindo a CB entre as isóbatas de 500 e 2.500 m até 29°S.

Castro Filho e Moreira (1994) fizeram uma análise preliminar dos dados de corrente do projeto COROAS, referentes a um fundeio de correntógrafos numa

lâmina d'água de 200 m. As componentes zonais e meridionais foram predominantemente negativas, indicando fluxo para SW com valores de intensidade média entre 0,40 e 0,60 m/s na superfície, diminuindo com a lâmina d'água. Observou-se ainda uma pequena energia das correntes de maré.

A Corrente do Brasil flui para sul até a latitude de 38°S, aproximadamente, onde encontra a Corrente das Malvinas, num fenômeno conhecido como Convergência Subtropical. Esta corrente é de origem subantártica, apresenta baixas salinidade e temperatura, ocupa a Plataforma Continental e possui um ramo que flui para norte junto à costa, misturado com as águas continentais do Rio da Prata. O limite norte deste ramo tem um alcance máximo no inverno, quando atinge o norte da Bacia de Santos, ocupando principalmente a região da plataforma interna. Embora o alcance norte varie de ano para ano, a análise de imagens de infravermelho sugere que, para anos de *El Niño*, a penetração é maior (Lino & Mascarenhas Jr., 1985; Silva Jr. *et al.*, 1996).

Desta forma, a maior influência deste ramo costeiro de águas subantárticas ocorre no inverno. O contato desta corrente com a CB gera na Bacia de Santos, portanto, uma zona frontal, com intensos gradientes térmico e salino, entre as isóbatas de 100 e 200 m. Além disso, o cisalhamento destas águas pode produzir vórtices e meandros, que terão grande influência na dinâmica local. Vórtices ciclônicos podem, inclusive, originar a subida da ACAS, no verão ou no inverno, num fenômeno conhecido como ressurgência de quebra de plataforma.

Mais ao norte, outro fator que exerce grande influência na formação de vórtices é a brusca variação na orientação das isóbatas em Cabo Frio, quando a linha de costa passa da direção NE-SW para E-W. Com este súbito aumento da coluna d'água, o fluxo da CB tende a girar para conservar a vorticidade potencial, dando origem aos meandros e vórtices que freqüentemente ocorrem na região.

Garfield (1990) menciona que os vórtices ciclônicos são formados a partir do meandramento da CB na região de Cabo Frio e advectados para sul no fluxo principal da CB. Apesar disso, o autor cita que o eixo da CB se comporta como um fluxo contínuo ao longo da linha de quebra de plataforma e que os vórtices formados na corrente não chegam a quebrar esse fluxo em uma seqüência de vórtices discretos.

A CB, no entanto, rege a circulação superficial. Com o aumento da lâmina d'água, cresce a importância da circulação termohalina, cujos movimentos hidrodinâmicos são forçados pelas características de densidade das massas d'água. No entanto, o giro subtropical forçado por vento em larga escala ainda influencia as camadas intermediárias. Esta influência aumenta com o aumento da latitude.

De uma forma geral, tem-se o seguinte padrão de massas d'água, em ordem crescente de lâmina d'água: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA), Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) e Água Antártica de Fundo (AAF). Gonçalves (2000) aponta a lâmina d'água de 200 m como limite entre a AT e a ACAS, e a de 680 como limite entre a ACAS e a AIA. O início da APAN fica entre 1000 e 1300 m, conforme sugere Zangenberg (1995, apud Muller *et al.*, 1998).

Uma melhor descrição do perfil de corrente na área de interesse pode ser feita a partir dos resultados do projeto WOCE (World Ocean Circulation Experiment), referentes a 2 anos de dados de correntômetros instalados na Bacia de Santos.

Muller e colaboradores (1998) apresentaram algumas estatísticas feitas a partir das médias diárias de dados dos correntômetros do WOCE, para as posições: (1) 27,91°S e 46,71°W; e (2) 27,99°S e 46,34°W. Estes resultados podem ser vistos na Tabela II.5.1.2-1.

Tabela II.5.1.2-1: Variação da corrente ao longo da lâmina d'água em 2 posições do WOCE (Muller *et al.*, 1998).

POSIÇÃO 1			POSIÇÃO 2		
PROF. (M)	VEL. (M/S)	DIR. (°N)	PROF. (M)	VEL. (M/S)	DIR. (°N)
50	0,45	213	280	0,10	214
120	0,34	208	530	0,08	218
170	0,32	208	930	0,04	218
220	0,30	209	1430	0,03	202
460	0,16	212	2137	0,01	15
670	0,06	212			
875	0,02	296			

O eixo da CB passa sobre a quebra da plataforma (posição 1), onde as velocidades superficiais são maiores. Com exceção das últimas lâmina d'água em cada posição, todos os fluxos apontam para sudoeste. Este fato sugere que parte da AIA (Água Intermediária Antártica) entra no giro subtropical anticiclônico, também apresentando direção sudoeste nessa região, o que resultaria em uma única camada, desde a superfície até a base da APAN (Água Profunda do Atlântico Norte), fluindo para sudoeste. Nota-se ainda um decréscimo de intensidade em direção ao fundo em ambas posições.

Para uma melhor caracterização da CB e do comportamento da AIA, foi feito o processamento dos dados dos moorings do WOCE para as lâmina d'água de 220 e 875 m (de acordo com os parâmetros físico-químicos para a região oceânica da Bacia de Santos, esta lâmina d'água é referente à AIA). Os resultados são histogramas direcionais de freqüência para cada estação do ano que podem ser vistos nas Figuras II.5.1.2-2 e II.5.1.2-3.

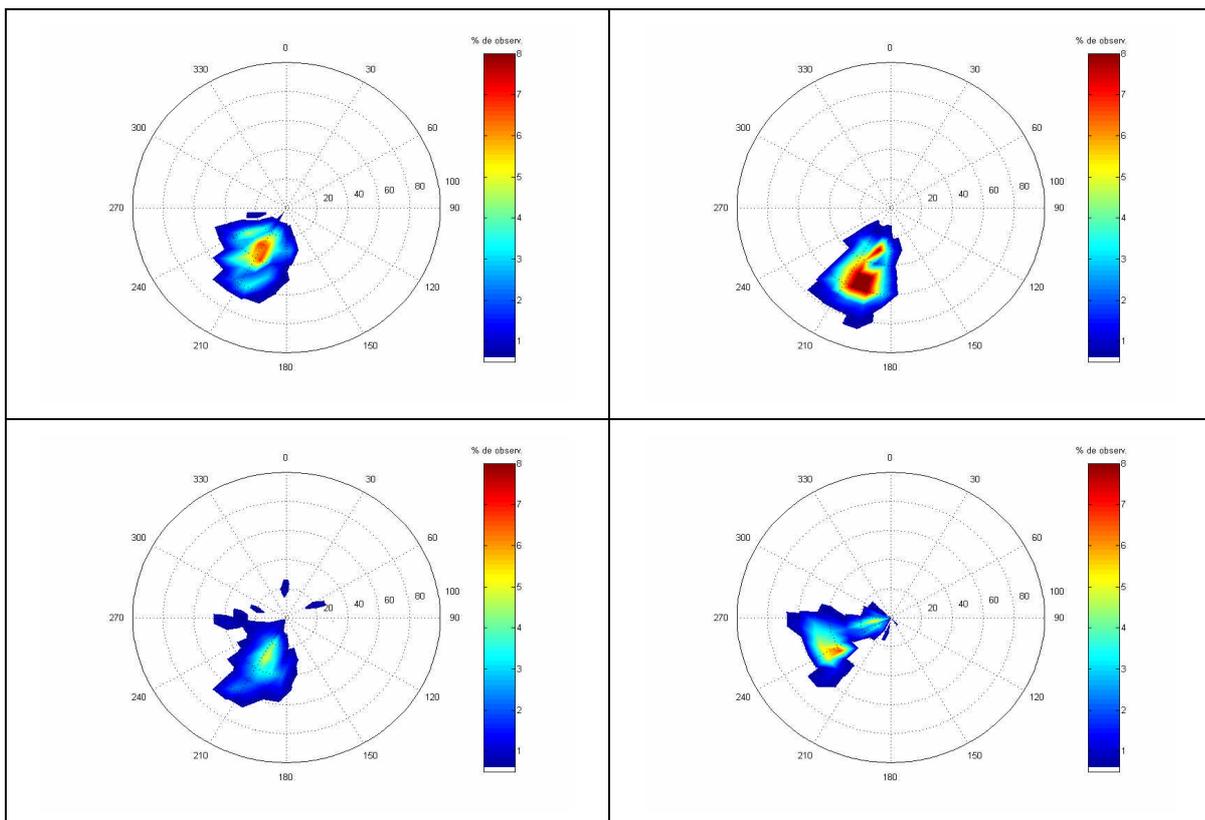


Figura II.5.1.2-2: Histograma direcional de freqüência de corrente a 220 m. Superior esquerdo: inverno; Superior direito: primavera; Inferior esquerdo: verão; Inferior direito: outono. Fonte: WOCE, 2003.

Tendo em vista a posição e a lâmina d'água, este resultado expressa o comportamento da CB. O fluxo em todas as estações é predominantemente para sudoeste. No verão, entretanto, nota-se a presença de componentes apontando para outras direções, podendo indicar a influência de vórtices. As velocidades mais freqüentes no verão e no inverno ficaram em torno de 0,35 m/s. Na primavera, os valores predominantes foram próximos a 0,50 m/s. No outono, há um comportamento intermediário, com valores mais freqüentes em torno de 0,40 m/s.

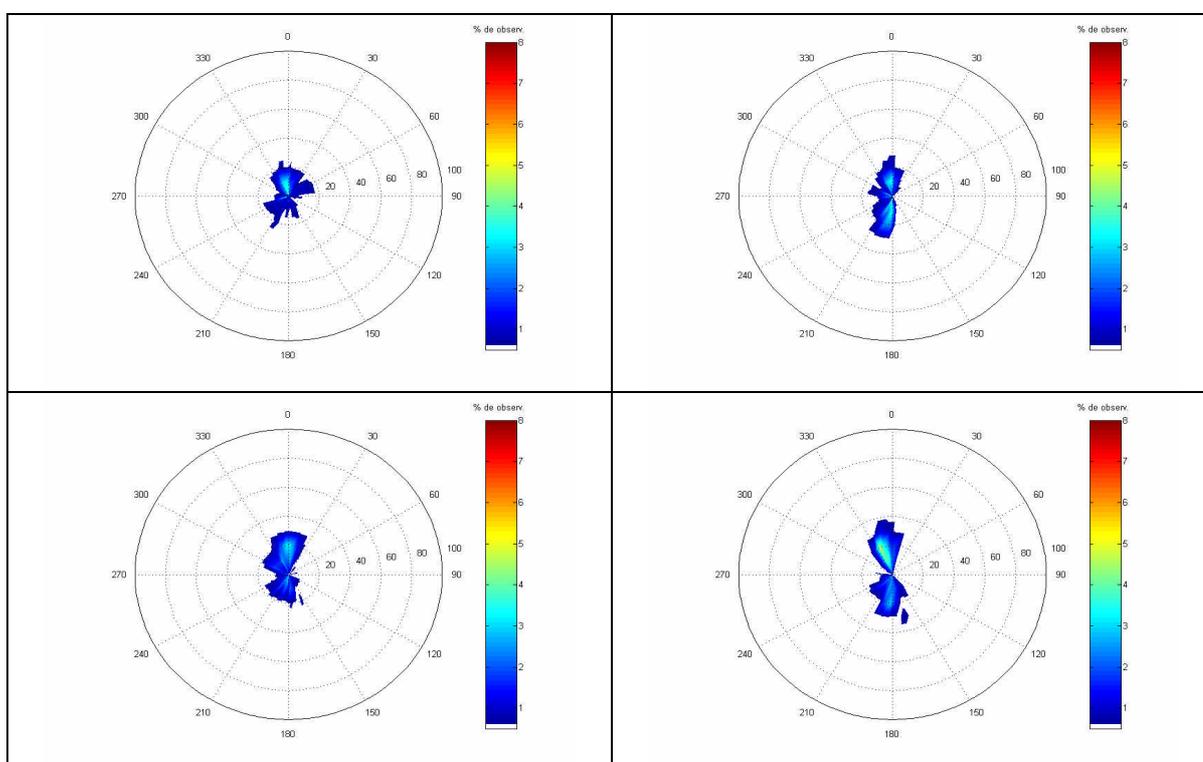


Figura II.5.1.2-3: Histograma direcional de freqüência de corrente a 875 m. Superior esquerdo: inverno; Superior direito: primavera; Inferior esquerdo: verão; Inferior direito: outono. Fonte: WOCE, 2003.

Não há, na literatura, uma definição precisa em relação à direção da AIA. Isto porque, apesar de ela ser formada nas altas latitudes e inicialmente fluir para norte, parte dela entra no giro subtropical anticiclônico, fazendo com que o fluxo seja para sul, enquanto a outra parte mantém o fluxo original para norte.

Esta situação é evidenciada na Figura II.5.1.2-3. Nota-se um padrão bipolar de fluxo, principalmente na primavera e no outono, com leve predominância no sentido norte. Os maiores valores ocorreram no verão e no outono, predominando fluxo para norte em torno de 0,20 m/s. No inverno e primavera, as velocidades ficaram em torno de 0,10 m/s.

Para a lâmina d'água de 220 m, foi feito o gráfico da série temporal de velocidade média e máxima (Figura II.5.1.2-4), permitindo obter informações sobre condições extremas de corrente. A velocidade média oscilou entre 0,20 e 0,50 m/s e o valor máximo ocorreu em janeiro de 1992: 0,93 m/s.

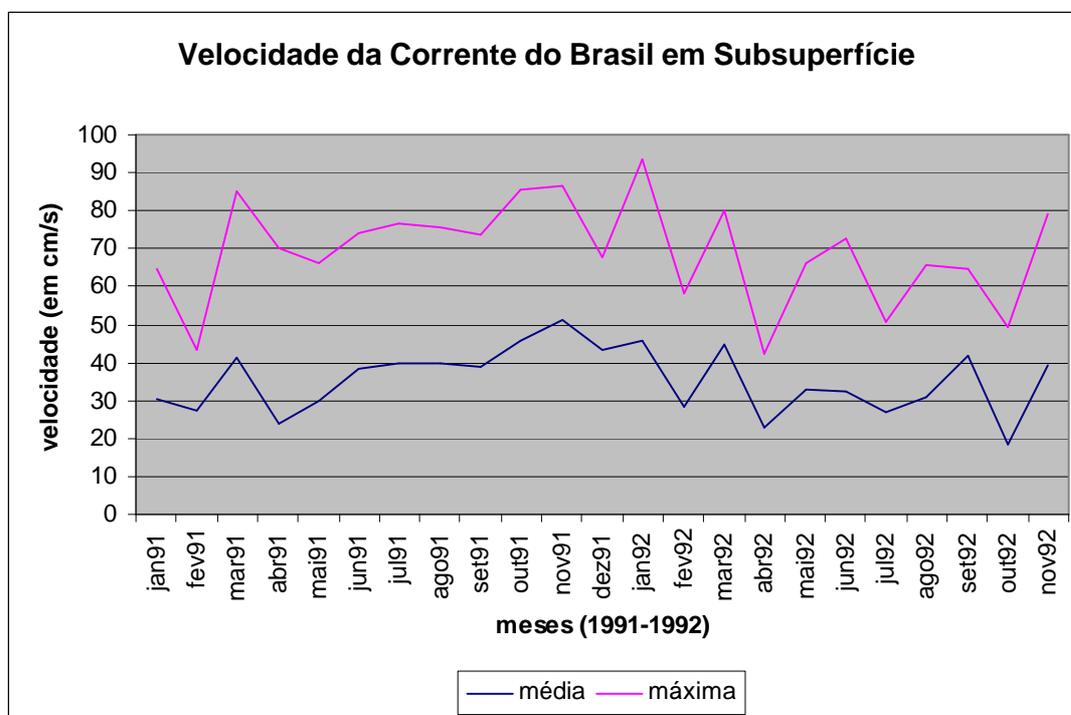


Figura II.5.1.2-4: Série temporal de corrente na lâmina d'água de 220 m.

Fonte: WOCE, 2003.

Em resumo, portanto, a circulação na plataforma externa e no talude é controlada pela CB, com fluxo para sul/sudoeste ao longo de todo o ano, mas sob influência de vórtices e meandros. Na região costeira, tem-se uma maior influência dos ventos locais na direção das correntes. Em termos sazonais, existe uma corrente costeira para norte no outono e inverno. Este cenário é exposto na Figura II.5.1.2-19, que apresenta a Carta de Corrente superficial para a área de interesse.

Propriedades Físico-Químicas e Massas d'água

A descrição das características de temperatura e salinidade para a Bacia de Santos foi feita a partir do processamento de dados de CTD coletados nos últimos 15 anos, provenientes do BNDO. Utilizando estes dados, foram feitos gráficos mensais (para alguns meses não havia dados disponíveis), para a região costeira e oceânica. Os resultados podem ser vistos nas Figuras II.5.1.2-5 (costeira) e II.5.1.2-6 (oceânica). Os perfis de temperatura e salinidade foram plotados num mesmo gráfico (os perfis de temperatura ficam à esquerda). As unidades são °C e ppm, respectivamente.

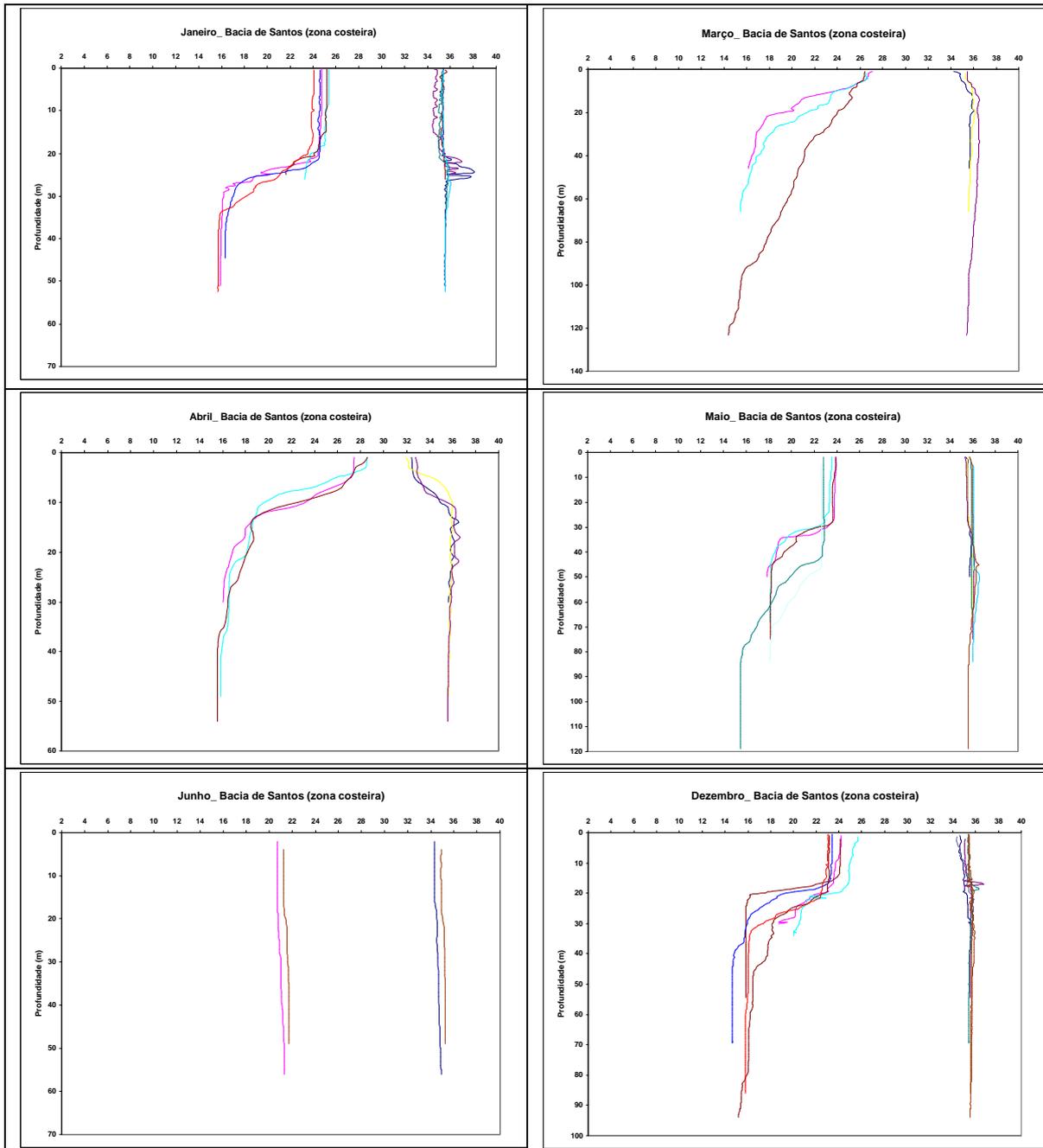


Figura II.5.1.2-5: Perfis de temperatura e salinidade na região costeira da Bacia de Santos em janeiro, março, abril, maio, junho e dezembro.

Fonte: BNDO, 2003.

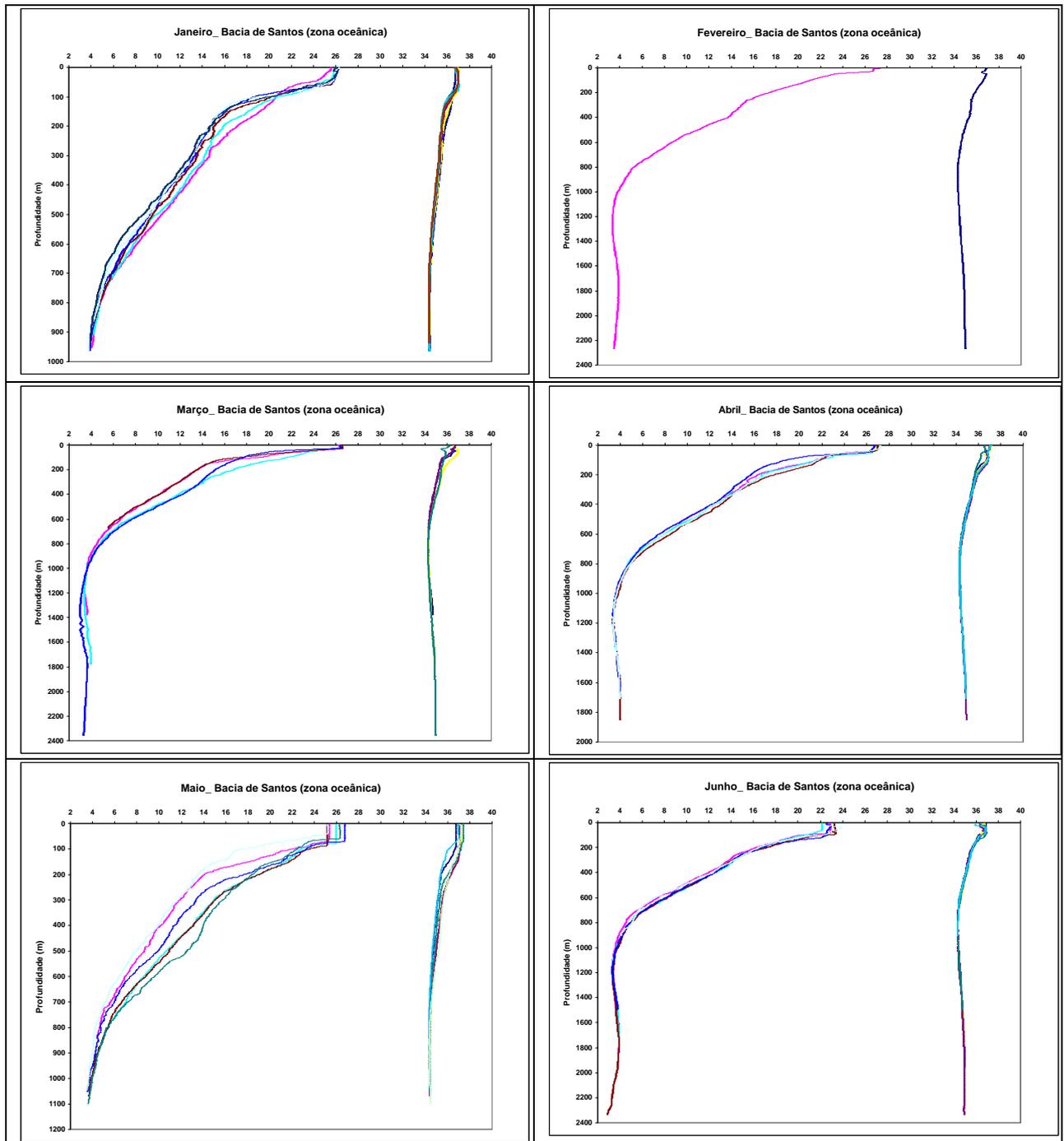


Figura II.5.1.2-6: Perfis de temperatura e salinidade na região oceânica da Bacia de Santos em janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho.

Fonte: BNDO, 2003.

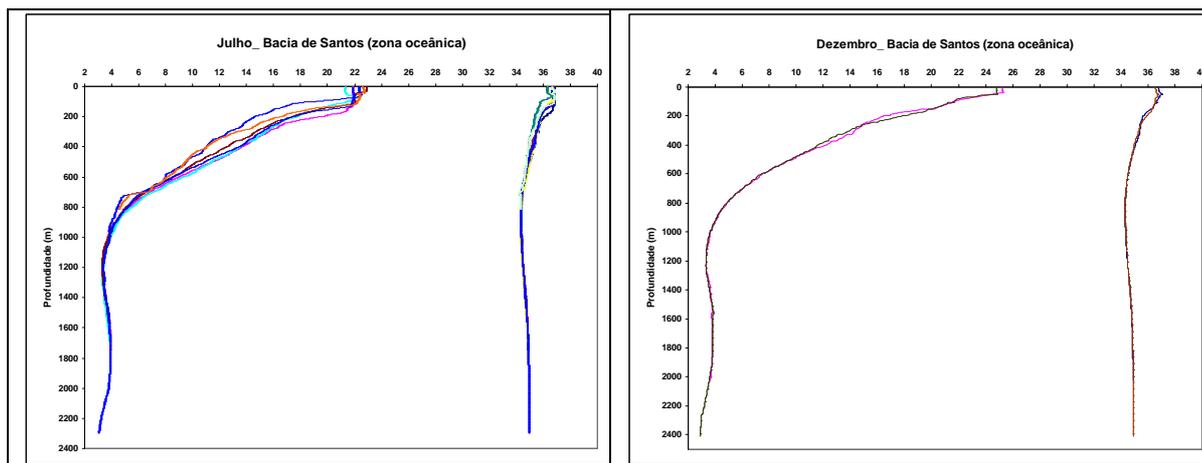


Figura II.5.1.2-6 (continuação): Perfis de temperatura e salinidade na região oceânica da Bacia de Santos em julho e dezembro.

Fonte: BNDO, 2003.

A partir destes dados, foi elaborada a Tabela II.5.1.2-2 com os valores máximos e mínimos de temperatura e salinidade na superfície e a lâmina d’água da camada de mistura. Não há perfis disponíveis para os meses de agosto, setembro, outubro e novembro. No mês de fevereiro, há apenas 1 perfil oceânico. Em julho, não há perfis costeiros.

Tabela II.5.1.2-2: Máximos e mínimos de temperatura e salinidade superficiais e lâmina d’água da camada de mistura, para as regiões costeira e oceânica da Bacia de Santos

	TEMPERATURA (°C)				SALINIDADE (PPM)				CAMADA DE MISTURA (M)
	COSTEIRO		OCEÂNICO		COSTEIRO		OCEÂNICO		
	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	
Jan	25,4	24,1	26,2	25,5	35,59	34,63	36,86	36,65	50
Fev			27,1	27,1			36,80	36,80	30
Mar	27,1	26,4	26,5	26,3	35,47	34,29	36,66	36,09	25
Abr	28,6	27,4	27,2	26,7	32,78	31,93	37,11	36,52	35
Mai	23,9	22,9	26,7	25,2	35,73	35,39	37,42	36,72	75
Jun	21,2	20,7	23,2	22,3	34,90	34,34	36,86	35,91	90
Jul			22,8	21,2			36,78	36,22	120
Dez	25,6	23,1	25,3	24,8	35,38	34,31	36,81	36,62	50

Fonte: BNDO, 2003.

Observa-se uma variação sazonal destes parâmetros, principalmente quanto à temperatura. No verão, a camada de mistura chega a 25 m, aproximadamente, enquanto no inverno esta lâmina d'água chega a 120 m, em julho. O início da ACAS foi identificado em torno de 150 m, no verão, e de 200 m, no inverno, evidenciando a tendência de subida dessa massa d'água no verão.

Na região oceânica, os valores máximos e mínimos observados na superfície foram de 27,1 e 25,5°C, no verão, e de 22,8 e 21,2°C, no inverno, para temperatura. O comportamento da salinidade superficial foi mais homogêneo, com valores oscilando entre 36,1 e 36,8 ppm, no verão, e entre 36,2 e 36,8 ppm, no inverno.

Na região costeira, os limites de temperatura foram 20,7°C (junho) e 28,6°C (abril), e os de salinidade foram 34,29 (março) e 35,73 (maio). Os valores observados em abril estão bastante reduzidos, indicando uma situação extremamente atípica de influência de águas de origem continental.

A Petrobras/Sampling (2002) disponibilizou para este estudo dados de temperatura e salinidade para a área de Merluza, obtidos em março de 2002 em 2 posições: (1) 25°14'44,0"S e 45°14'00,9"W; (2) 25°15'42,2"S e 45°14'58,2"W. Os resultados dos perfis podem ser vistos na Figura II.5.1.2-7.

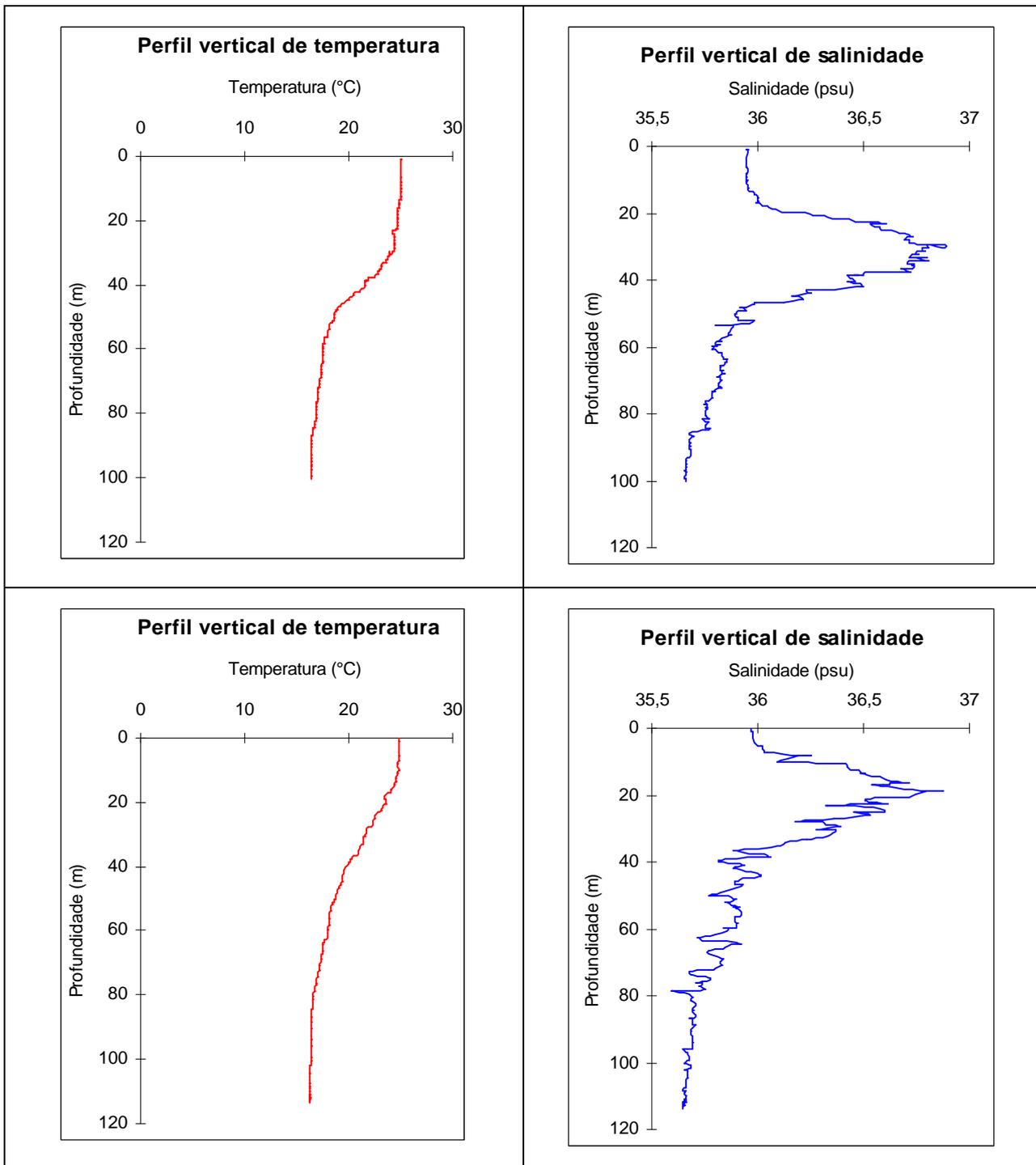


Figura II.5.1.2-7: Perfis de temperatura (esquerda) e salinidade nas posições (1) 25°14'44,0"S e 45°14'00,9"W (acima) e (2) 25°15'42,2"S e 45°14'58,2"W. Fonte: Petrobras/Sampling (2002)

Nota-se a lâmina d'água da camada de mistura em torno de 20-30 metros, seguida de uma termoclina sazonal. Quanto à salinidade, observa-se um pico na mesma lâmina d'água.

Isto pode indicar um avanço da AT sobre a plataforma externa em sub-superfície. Com o meandramento da Corrente do Brasil, a AT, originalmente encontrada na superfície, longe da costa, ao ser transportada sobre a plataforma, encontra-se com a Água Costeira (AC), menos densa. Dessa forma, a AT, mais salina e mais densa, é obrigada a afundar-se por debaixo da AC. Na superfície, a mistura dessas duas águas é usualmente denominada Água de Plataforma.

Foram elaborados mapas climatológicos mensais de temperatura. Para superfície, foram utilizados os dados do sensor TMI, a bordo do satélite TRMM. Para as lâmina d'água de 50 e 200 m, foram utilizados os dados da base WOA01 (World Ocean Atlas – 2001). Os resultados podem ser vistos nas Figuras II.5.1.2-8 a II.5.1.2-13.

De uma forma geral, tem-se o campo de temperatura decrescendo de norte para sul na região oceânica, em termos espaciais, e, sazonalmente, do verão para o inverno. Na região costeira, pode-se notar um mínimo de temperatura nos meses de verão na parte norte da Bacia, devido à influência da ressurgência de Cabo Frio. Ao sul, nos meses de inverno, nota-se a influência da corrente costeira fria vinda de latitudes maiores.

Analisando os mapas de 50 e 200 metros na região oceânica, percebe-se que a temperatura decresce com a lâmina d'água. No entanto, comparando-se as temperaturas em superfície e em 50 m, nota-se uma pequena variação no inverno, enquanto no verão há uma diferença em torno de 2°C. Isto evidencia a maior espessura da camada de mistura no inverno. É interessante notar nos mapas de temperatura a 200 metros que alguns meses de inverno têm valores ligeiramente superiores aos de verão, indicando a subida da ACAS nesta estação.

Na região costeira, é possível notar a presença da ACAS nos mapas de 50 metros, comprovando o avanço desta massa d'água sobre a plataforma no verão.

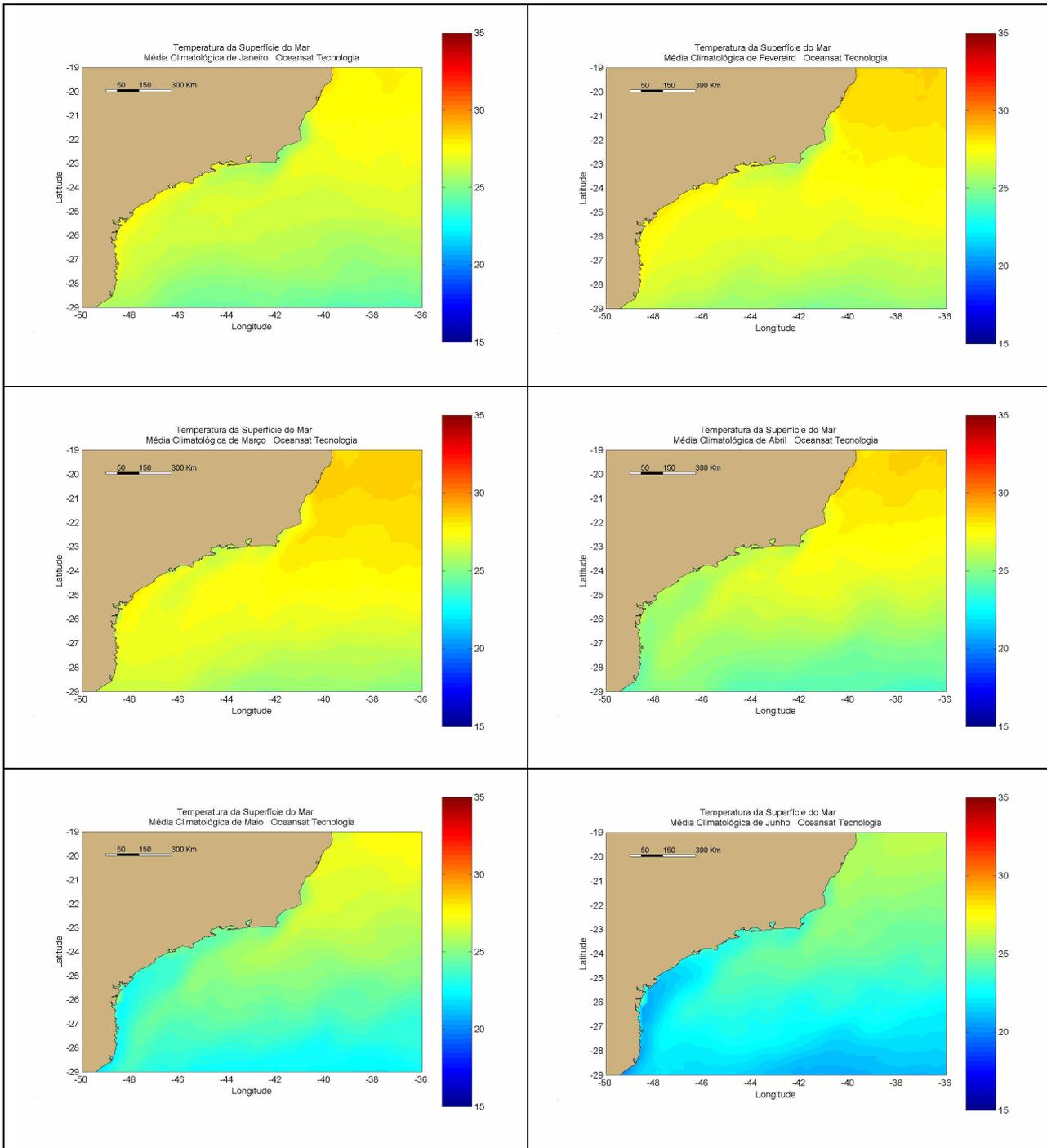


Figura II.5.1.2-8: Climatologia mensal de temperatura superficial, a partir dos dados do sensor TMI: janeiro a junho. Fonte: Remote Sensing Systems, 2003.

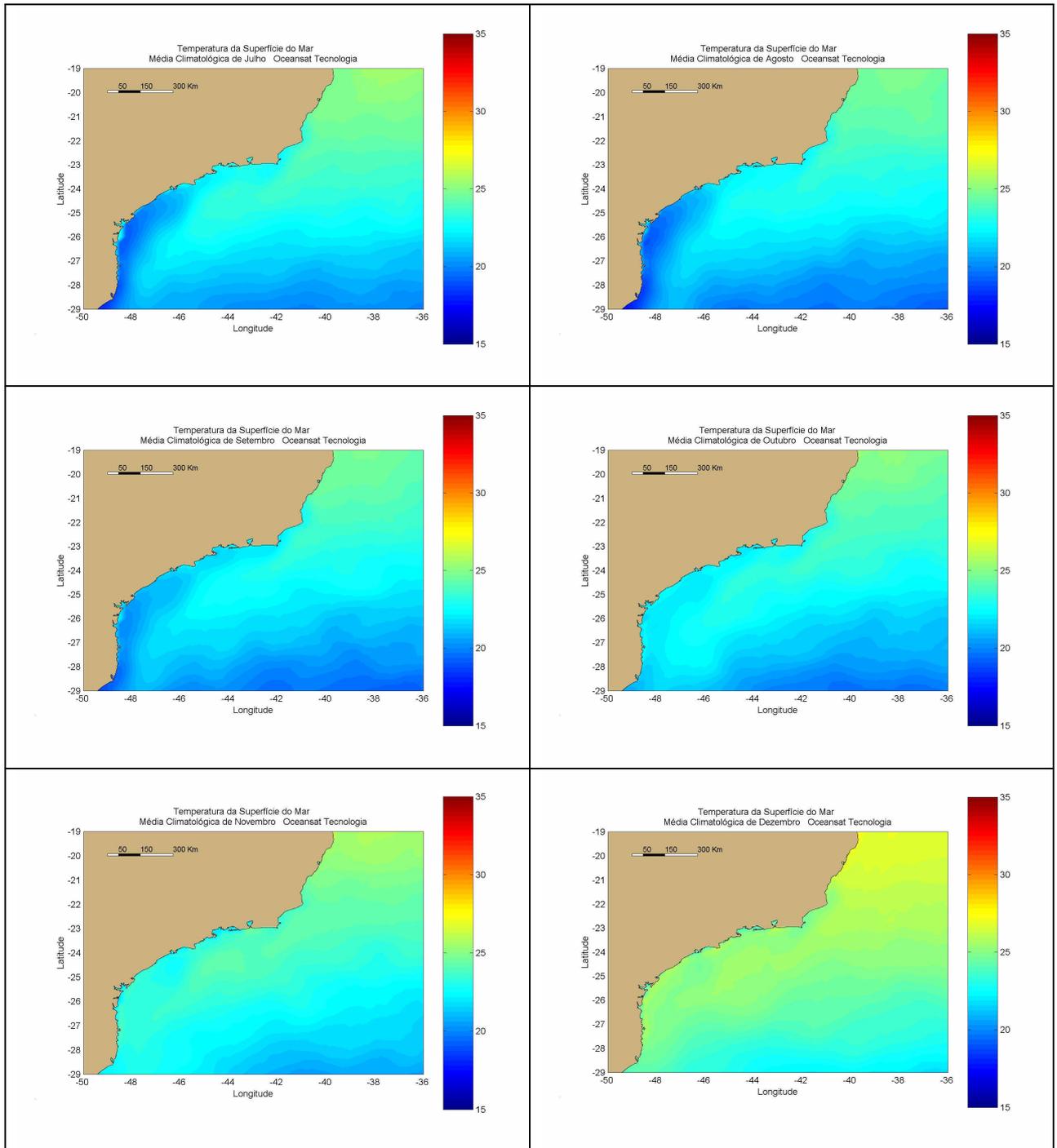


Figura II.5.1.2-9: Climatologia mensal de temperatura superficial, a partir dos dados do sensor TMI: julho a dezembro. Fonte: Remote Sensing Systems, 2003.

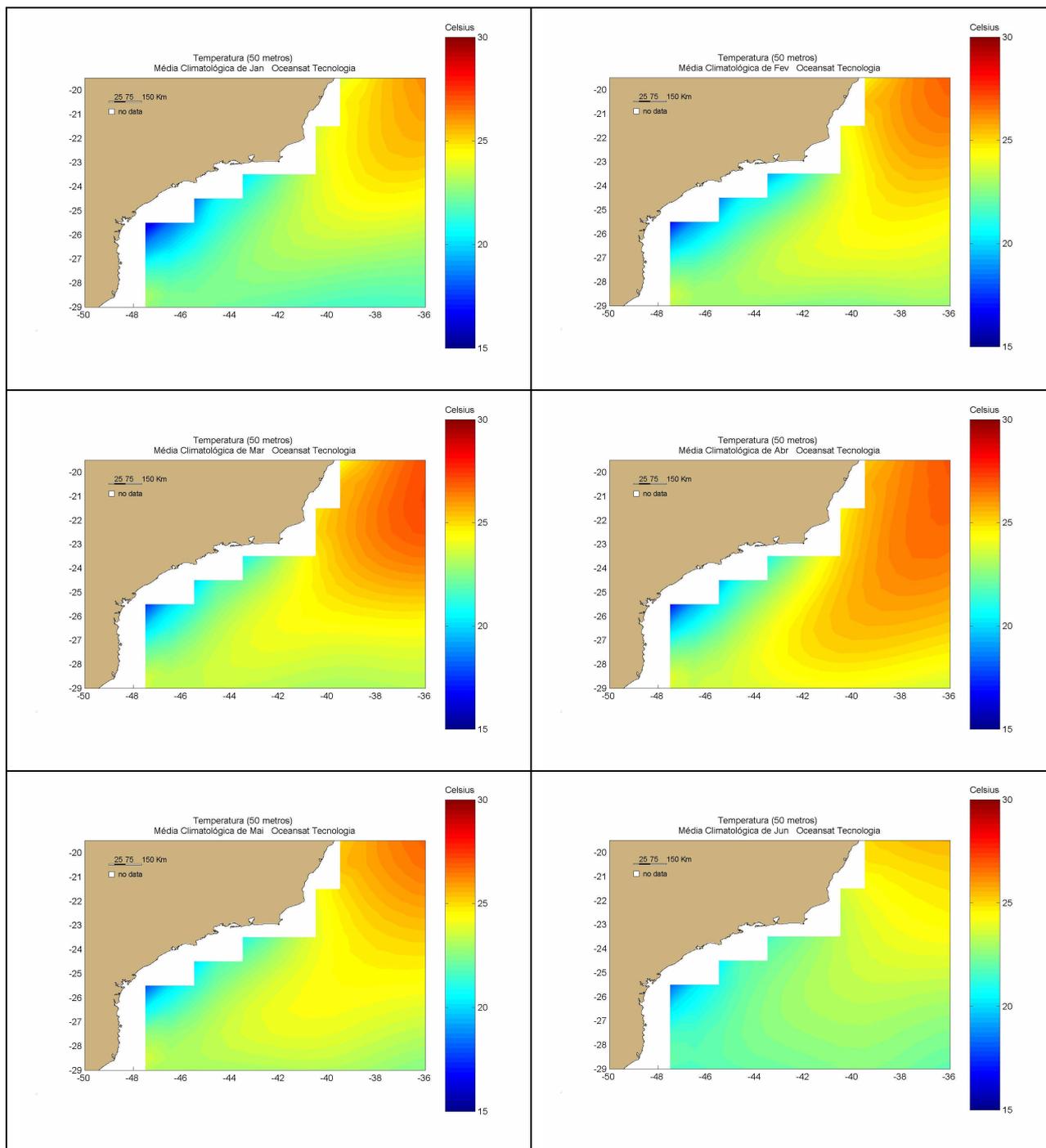


Figura II.5.1.2-10: Climatologia mensal de temperatura a 50 metros, a partir dos dados do WOA01: janeiro a junho.

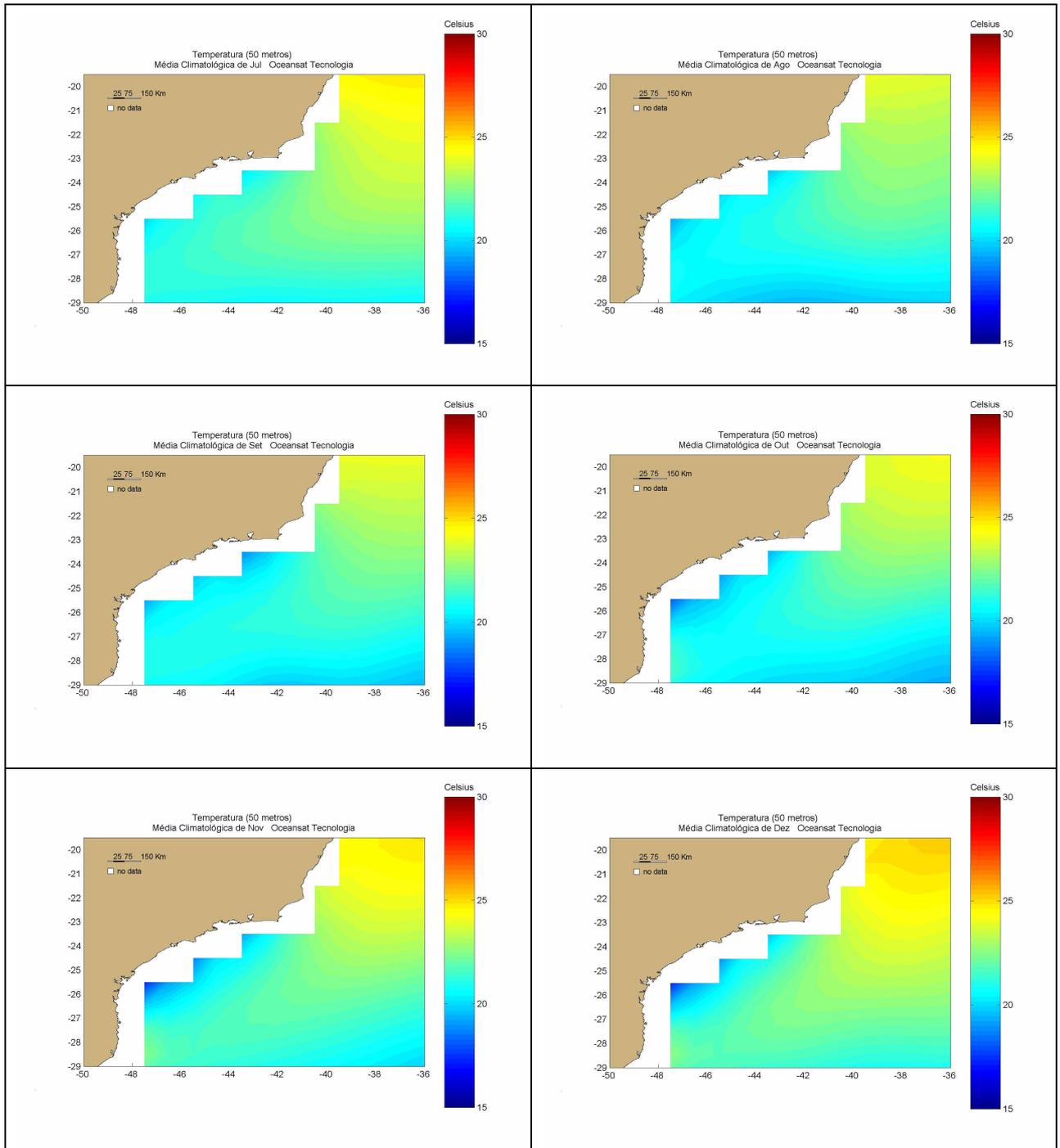


Figura II.5.1.2-11: Climatologia mensal de temperatura a 50 metros, a partir dos dados do WOA01: julho a dezembro.

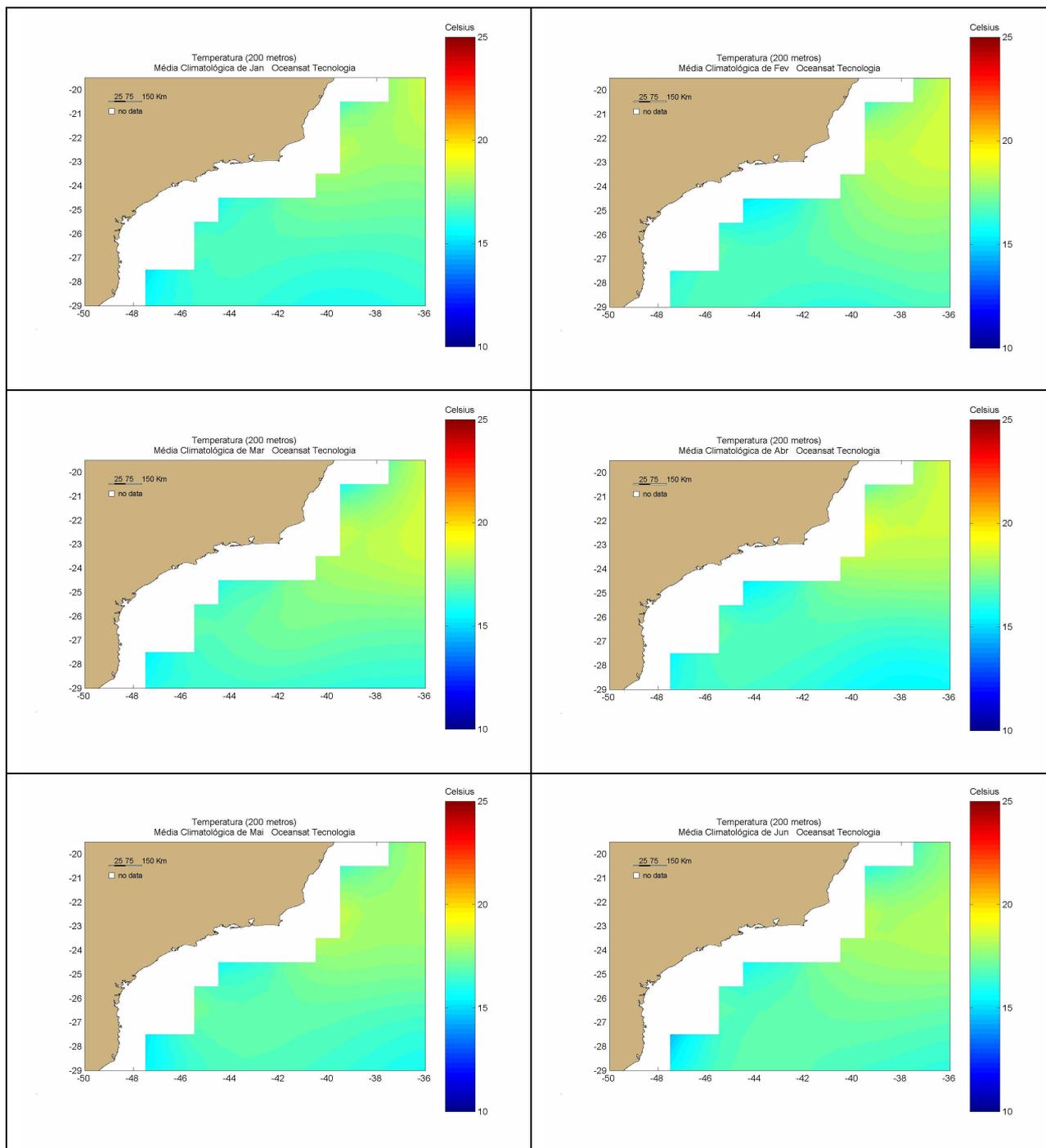


Figura II.5.1.2-12: Climatologia mensal de temperatura a 200 metros, a partir dos dados do WOA1: janeiro a junho.

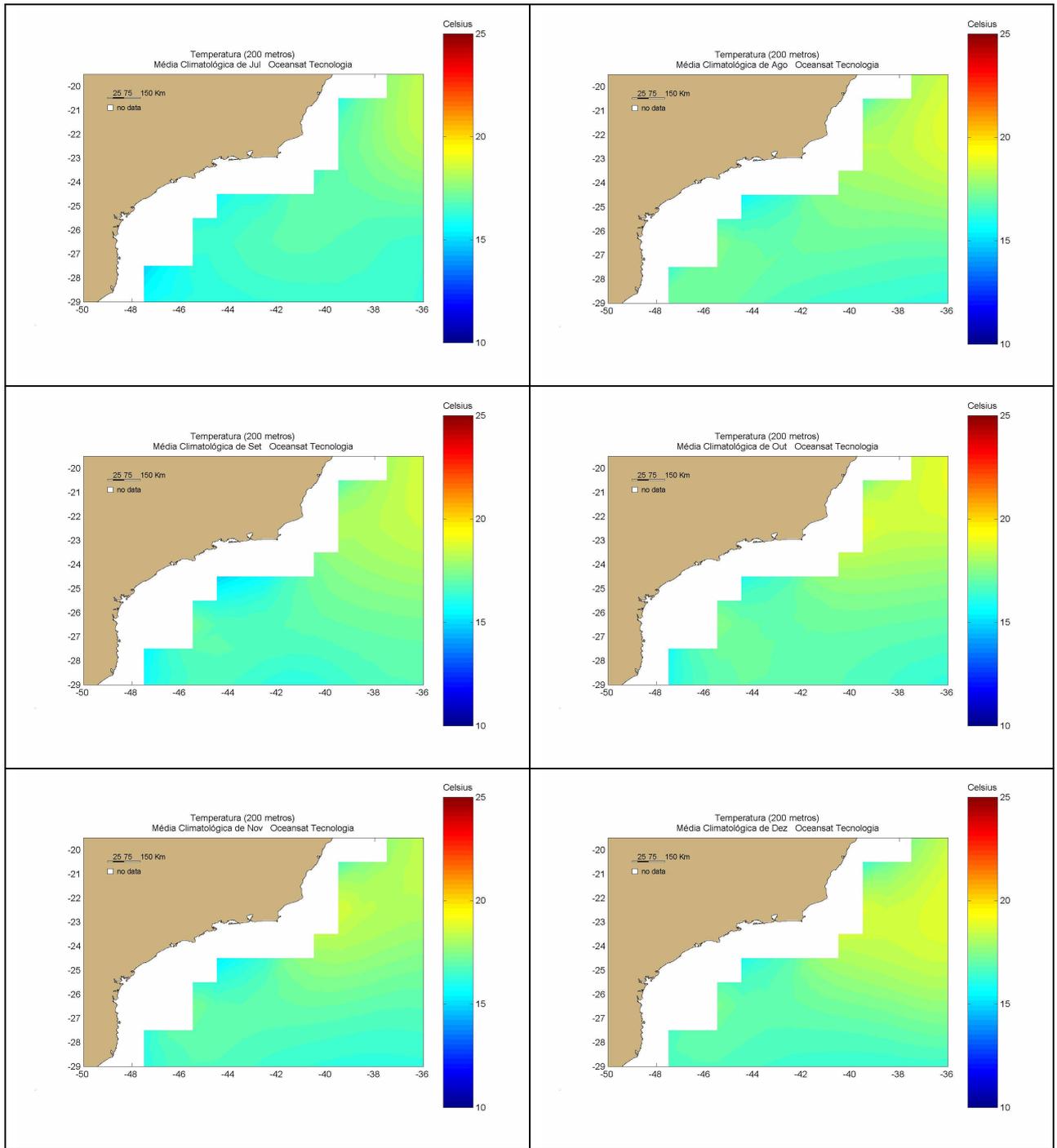


Figura II.5.1.2-13: Climatologia mensal de temperatura a 200 metros, a partir dos dados do WOA01: julho a dezembro.

Os dados dos perfis foram plotados em diagramas T-S sazonais para uma melhor identificação das massas d'água e suas respectivas densidades. Os resultados podem ser vistos na Figura II.5.1.2-14, para a região costeira, e na Figura II.5.1.2-15, para a região oceânica.

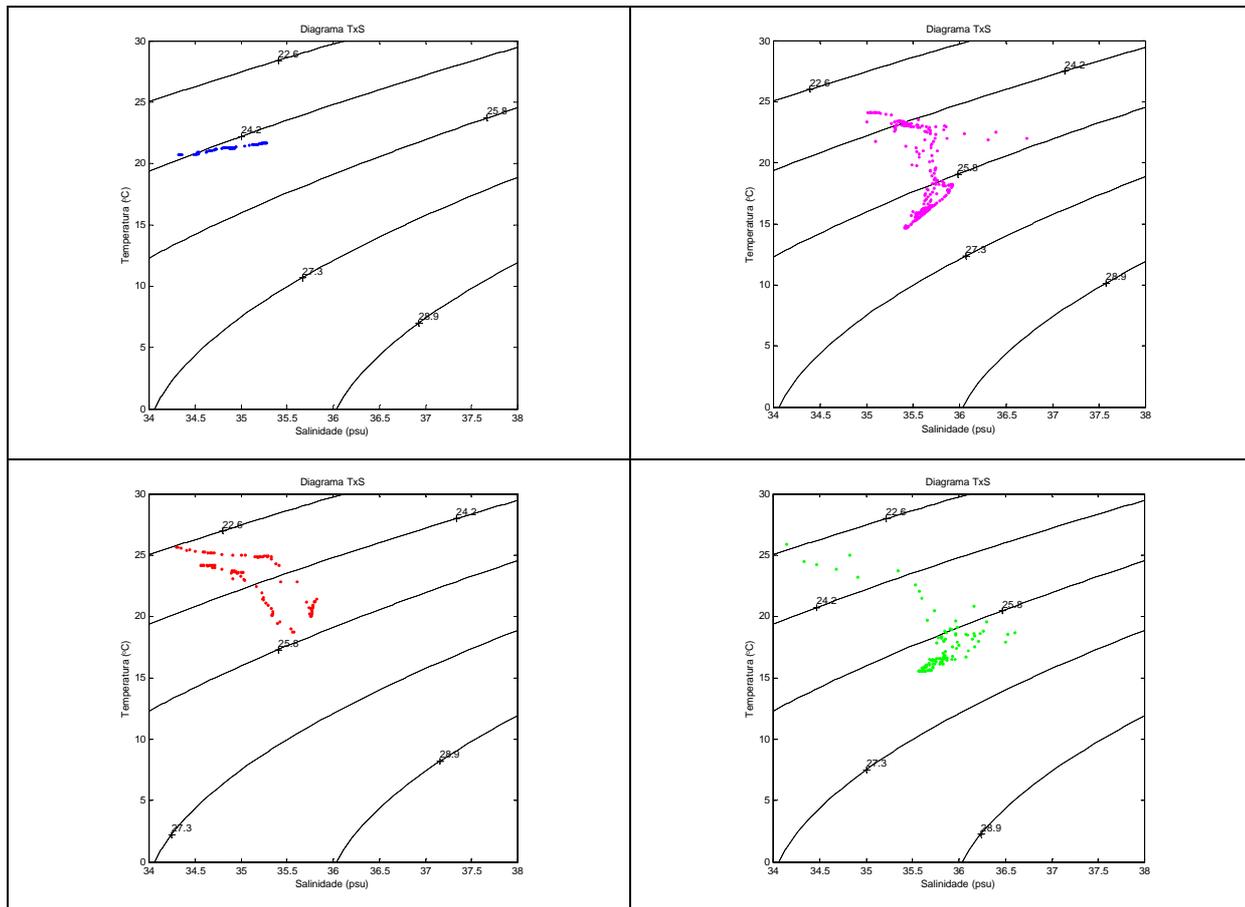


Figura II.5.1.2-14: Diagramas T-S para região costeira da Bacia de Santos. Superior esquerdo: inverno; Superior direito: primavera; Inferior esquerdo: verão; Inferior direito: outono. Fonte: BNDO, 2003.

Pode-se confirmar que na plataforma continental há uma marcante variação sazonal, devido à penetração da ACAS em direção à costa, a partir do final da primavera e durante o verão. Como consequência, ocorre uma estratificação em duas camadas, com formação de forte termoclina sazonal. Já no inverno, com o afastamento da ACAS, a coluna d'água apresenta características mais homogêneas, principalmente de temperatura.

Na plataforma continental interna, tem-se a presença da Água Costeira (AC), originária da mistura da AT ou da ACAS com águas de origem continental. Durante o inverno, a Água Subantártica (ASA) é trazida pela corrente costeira vinda de sul.

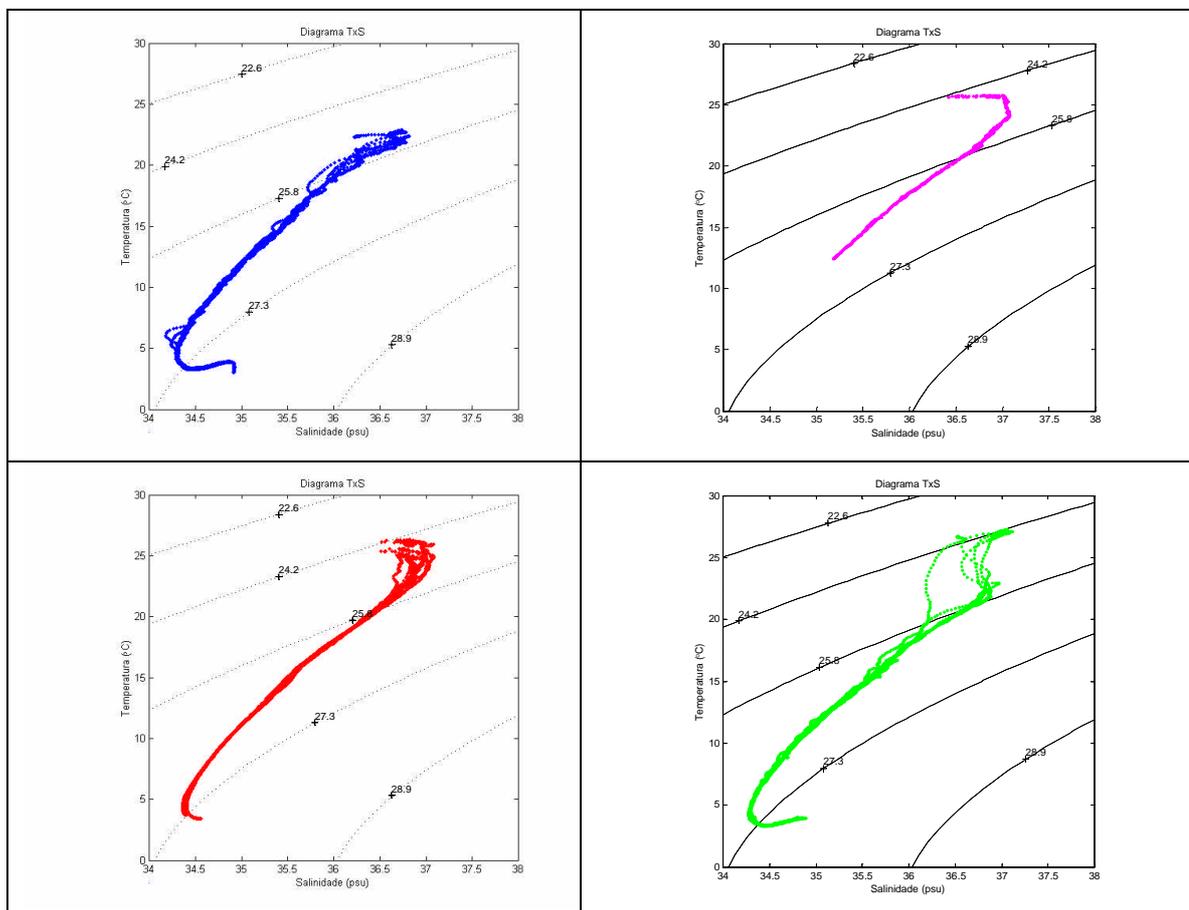


Figura II.5.1.2-15: Diagramas T-S para região oceânica da Bacia de Santos. Superior esquerdo: inverno; Superior direito: primavera; Inferior esquerdo: verão; Inferior direito: outono. Fonte: BNDO, 2003.

Na região do talude e da plataforma continental externa, tem-se a predominância, na camada de mistura, da Água Tropical (AT), transportada pela Corrente do Brasil. Embaixo da AT está situada a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), principalmente na região do talude, também fluindo para sul na região de interesse.

Abaixo da ACAS, apenas na região do talude, encontram-se a Água Intermediária Antártica (AIA); a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), com fluxo para sul; e a Água Antártica de Fundo (AAF), nessa ordem.

Conforme já comentado, a direção da AIA não é totalmente definida, havendo a hipótese dela entrar no giro subtropical anticiclônico, bifurcando-se ao retornar à Bacia de Santos, e fazendo com que parte do fluxo seja para sul e outra para norte nesta região. De acordo com a literatura pretérita, MMA/Petrobras/AS/PEG (2002) sugere que esta bifurcação ocorre entre os paralelos de 25° e 28°S.

Os limites das massas d'água supra citadas são:

- AAF: definida no plano T-S como um ponto de temperatura $-1,0^{\circ}\text{C}$ e salinidade 34,6 (Thomsen, 1962);
- APAN: salinidade variando de 34,2 a 34,4 ppm, e temperatura entre 3,4 a 5,1°C (Thomsen, 1962);
- AIA: temperatura e salinidade entre 2,5 e 6,0°C, e 34,1 e 34,5 ppm, respectivamente (Thomsen, 1962);
- ASA: temperatura entre 4,0 e 15,0°C, e salinidade entre 33,7 e 34,1 ppm (Miranda & Castro Filho, 1979);
- ACAS: $6,0 < T < 20,0^{\circ}\text{C}$ e $34,6 < S < 36,4$ ppm (Emilson, 1961);
- AT: temperatura e salinidade maiores que 20,0°C e 36,4 ppm, respectivamente (Emilson, 1961);
- AC: temperatura entre 4,0 e 21,0°C e salinidade entre 33,0 e 33,7ppm (Thomsen, 1962).

Regime de Maré

A região é caracterizada por preamares de pouca altura e pequenas amplitudes de variação do nível médio do mar. De uma forma geral, as componentes M2, S2, O1 e K1 são as mais importantes. O regime predominante é o semidiurno (ondas de maré com periodicidade predominante de 12 horas e 54 minutos), sendo a M2 a componente de maior influência.

O sentido de propagação das constituintes M2, S2 e K1 é anticiclônico entre Rio de Janeiro e Santos e no sentido ciclônico entre Paranaguá e Santos. A

constituente O1 propaga-se no sentido horário de Paranaguá ao Rio de Janeiro (Mesquita & Harari, 1987, 1988).

Segundo os mesmos autores, as componentes O1 e K1 geram correntes que diminuem com a lâmina d'água. Os maiores valores são no Rio de Janeiro, decrescendo em direção ao sul. Já as componentes M2 e S2 têm maior influência ao sul, permanecendo aproximadamente constantes ao longo da lâmina d'água. Há, portanto, um comportamento barotrópico das constituintes semidiurnas e baroclínico das diurnas.

Alves (1992) concluiu que as componentes diurnas têm maior importância próximas à costa e à superfície, onde apresentam magnitudes semelhantes às das semidiurnas. Enquanto que estas apresentam maiores valores ao se afastarem da costa e com o aumento da lâmina d'água.

Harari (1985), a partir de simulações numéricas, determinou para a componente M2 uma circulação elíptica, com semi-eixo maior na direção normal as isóbatas e magnitude média de 0,03 m/s, com máxima de 0,11 m/s. Harari e Camargo (1994) identificaram ainda no espectro de maré periodicidades próximas aos ciclos de *El Niño*, indicando a influência deste fenômeno das variações do nível do mar.

A Tabela II.5.1.2-3 apresenta as principais características da maré nos portos de Santos e Paranaguá (Salles *et al.*, 2000).

Tabela II.5.1.2-3: Características da maré em Santos e Paranaguá.

	Santos	Paranaguá
Latitude	23° 57,3'S	25° 30,1'S
Longitude	46° 18,6'W	48° 30,2'W
Nível Médio	77 cm	94 cm
Média das Preamares Superiores	141 cm	169 cm
Média das Preamares Inferiores	130 cm	163 cm
Média das Baixa-Mares Superiores	29 cm	35 cm
Média das Baixa-Mares Inferiores	7 cm	9 cm

Fonte: Salles *et al.*, 2000.

A Tabela II.5.1.2-4 apresenta os valores de semi-amplitude e fase das principais constantes harmônicas nos dois pontos.

Tabela II.5.1.2-4: Semi-amplitude (cm) e fase (graus) para os portos de Santos e Paranaguá.

COMPONENTE	SANTOS		PARANAGUÁ	
	SEMI-AMPLITUDE	FASE	SEMI-AMPLITUDE	FASE
M2	36,4	88	49,1	96
S2	22,5	91	33,3	101
O1	11,5	81	11,1	80
K1	6,3	143	7,6	138

Fonte: Salles *et al.*, 2000.

Regime de Ondas

A geração dos marulhos que chegam à área de interesse está associada à ação de dois centros de alta pressão: o anticiclone subtropical do Atlântico Sul, semifixo, e os anticiclones polares marítimos da América do Sul, de grande deslocamento.

A alta subtropical do Atlântico Sul faz soprar durante todo o ano ventos do quadrante N-E, de acordo com sua posição, que varia entre as latitudes de 23° (Julho) e de 28° (Janeiro). Os anticiclones polares, precedidos pelas frentes frias, invadem periodicamente a região, gerando fortes ventos do quadrante sul. Portanto, o regime de ondas tem direção variando entre E-NE, com ondas de períodos menores, e SE-S-SW, onde se observam os maiores períodos. Assim, as maiores ondas ocorrem no inverno, quando aumenta a frequência de passagens de frentes frias, correspondendo às ondas do octante sul.

A Figura II.5.1.2-16 apresenta um histograma de frequência das direções de vaga e marulho para a latitude de 25°S.

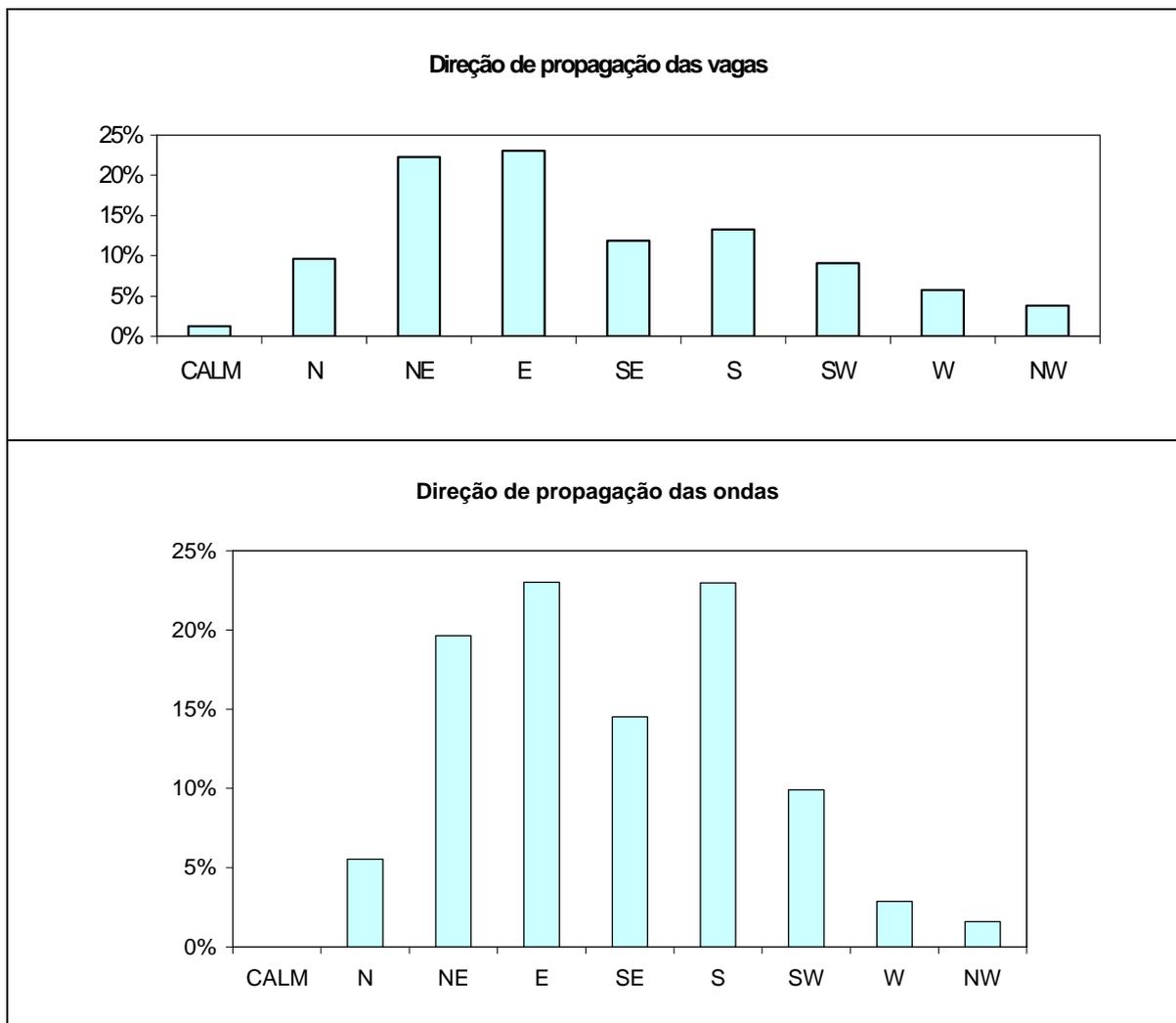


Figura II.5.1.2-16: Histogramas de freqüência de direção de vagas (acima) e marulhos.

Fonte: Kerr McGee/Habtec (2000).

Para uma melhor caracterização deste regime, foi feita uma análise estatística dos dados de onda obtidos na DHN, para a região entre as latitudes de 25° e 28°S e longitudes de 45° e 47°W, considerando o período entre 1963 e 1997. Os resultados podem ser vistos na Figura II.5.1.2-17.

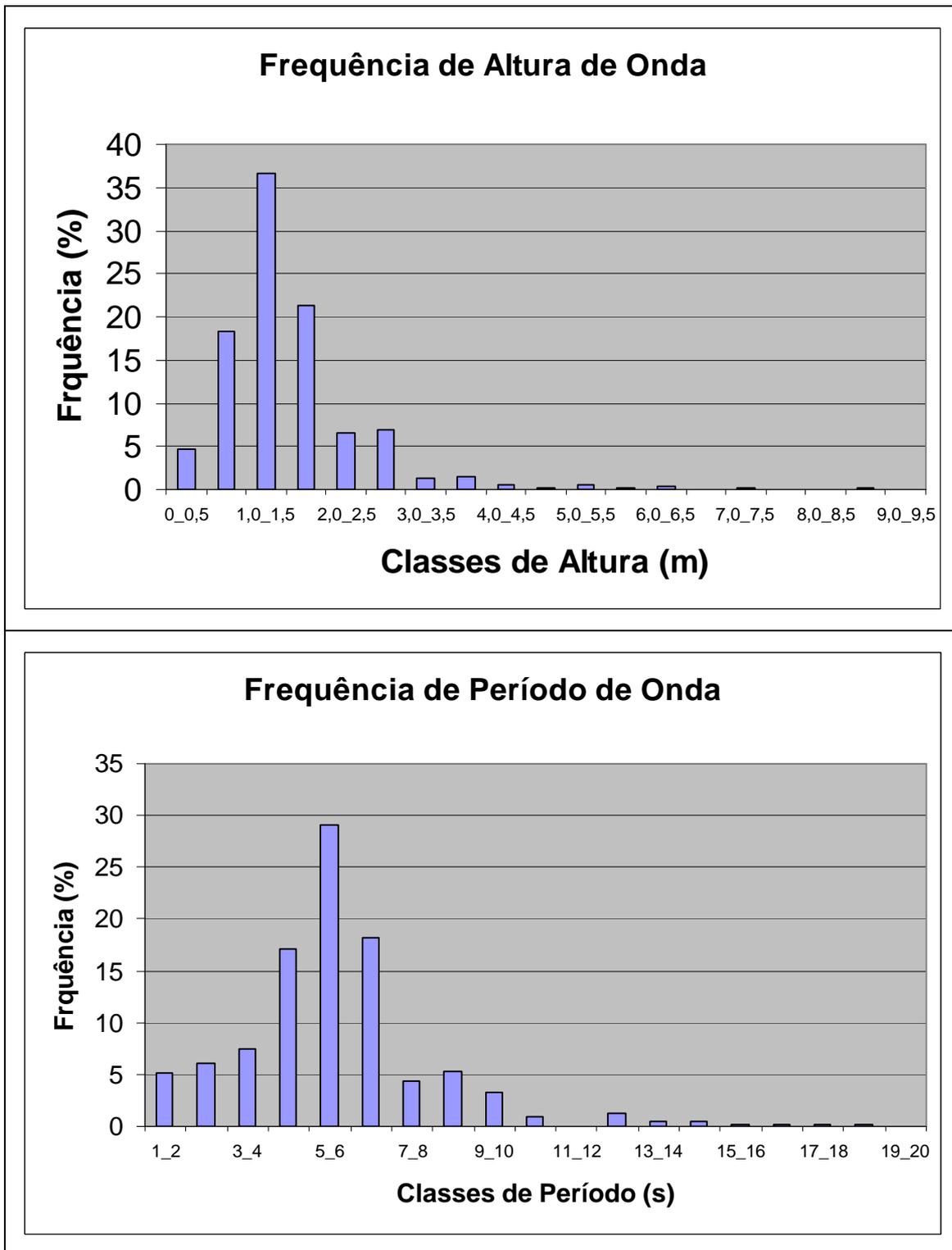


Figura II.5.1.2-17: Frequências de altura (acima) e período de onda. Fonte: BNDO, 2003.

A situação predominante na região é de ondas com altura entre 1 e 1,5 metros e períodos entre 5 e 6 segundos, com 36% e 29%, respectivamente. Alturas acima de 2, 3 e 4 metros apresentam freqüências de 19%, 5,5% e 2,5%, respectivamente. Alturas acima de 6 metros são extremamente raras. Em relação aos períodos, foram observados valores de até 18s, mas períodos superiores a 10s, correspondem a apenas 3,8% das observações.

A direção predominante das ondas extremas é do quadrante sul, geradas por ciclones extratropicais, que se intensificam no período de abril a setembro sobre o Atlântico Sul, originando ventos superficiais com valores superiores a 20 m/s sobre extensas pistas. Como resultado, podem-se observar ondas chegando a 7 m, conforme visto no histograma. Mas alturas acima de 4 m são raras, com freqüência de 2,5% apenas. Os períodos de ondas geradas pelos ciclones podem chegar a 18 s.

Com os dados do GWS (Global Wave Statistics), foram feitos histogramas de probabilidade de período e altura de onda para o litoral sul/sudeste brasileiro. Estes gráficos podem ser vistos na Figura II.5.1.2-18. Observa-se que a situação mais provável é um campo de onda de altura entre 1 e 2 metros, com período entre 6 e 8 segundos.

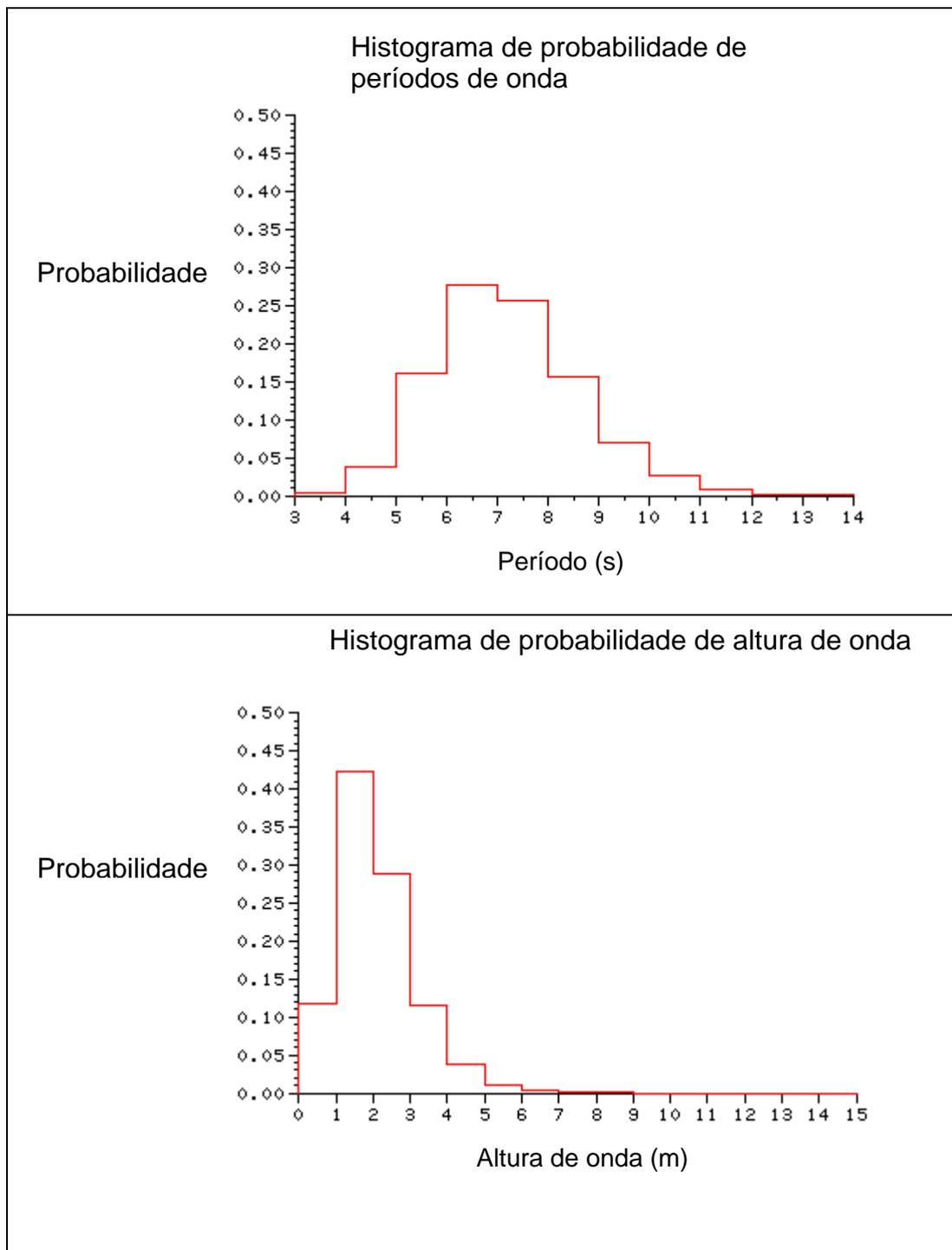


Figura II.5.1.2-18: Probabilidade de ocorrência de período e altura de onda no litoral sul/sudeste do Brasil.

Condições Extremas

Em resumo, pode-se dizer que as condições extremas são controladas essencialmente pelo vento, uma vez que a maré tem influência pouco significativa.

Os ventos locais irão influenciar principalmente as correntes costeiras, que podem atingir até 1,00 m/s, para E-NE, em situações de ventos fortes de SW (em eventos de frente fria), e 0,80 m/s para W-SW, nos casos de vento no sentido oposto.

Na região oceânica, a circulação é controlada pela CB, cuja intensidade pode chegar próxima a 1,00 m/s para SW, sua direção predominante. No caso da CB, no entanto, além dos valores máximos, devem ser considerada a presença de vórtices e meandros, que alteram bruscamente a direção das correntes.

Os ventos mais intensos, com intensidade superior a 20 m/s, são provenientes de ciclones extra-tropicais e geram ondas de até 7 m de altura e 18 s de período.