

5.1.3. Oceanografia

São descritos a seguir os principais aspectos oceanográficos da área de influência das atividades de produção de óleo e gás da P-48, englobando as massas d'água, parâmetros físico-químicos da água (especialmente temperatura e salinidade), correntes, batimetria do fundo, marés e ondas.

São apresentados, também, dados oceanográficos referentes a programas de monitoramento e de caracterização ambiental, obtidos na Bacia de Campos pela PETROBRAS e Enterprise, incluindo a área do Campo de Caratinga.

5.1.3.1 Caracterização geral

a. Massas d'água

O Oceano Atlântico Sul recebe águas do Atlântico Norte, do Pacífico, do Mar de Weddell e, em menor volume, águas do Índico (através da extensão da Corrente das Agulhas). Estas massas d'água apresentam diferentes densidades, características de temperatura e salinidade, padrões e níveis de circulação, cada uma delas contribuindo distintamente na formação da circulação termohalina do Atlântico Sul. A análise do comportamento das estruturas térmica e salina vertical das águas oceânicas adjacentes à plataforma continental é uma ferramenta de grande valia no estudo da circulação oceânica.

As características das massas d'água descritas nesta seção foram obtidas através da análise conjunta das seções de temperatura (°C) e salinidade, baseando-se nas características já conhecidas das massas na região (Tommasi, 1994). A análise das seções realizada em cruzeiros oceanográficos do Programa de Monitoramento Oceânico da Bacia de Campos mostra a ocorrência de estruturas termohalinas típicas, caracterizadas basicamente pela estratificação vertical em camadas de massas de água com diferentes origens.

A Figura 5.1.3-a ilustra a distribuição horizontal da temperatura na superfície do oceano, medidas através do equipamento denominado CTD, a partir de um navio realizando um cruzeiro oceanográfico em Agosto de 1992 na Bacia de Campos. As linhas pontilhadas indicam as isóbatas (linhas de profundidade idêntica) de -100, -200, -500 e -1000 metros. A quebra da plataforma continental encontra-se em torno da isóbata de -200 metros. Pode-se observar claramente a variação da temperatura superficial de valores em torno de 20° C na plataforma continental para valores superiores a 23° C na região do talude continental.

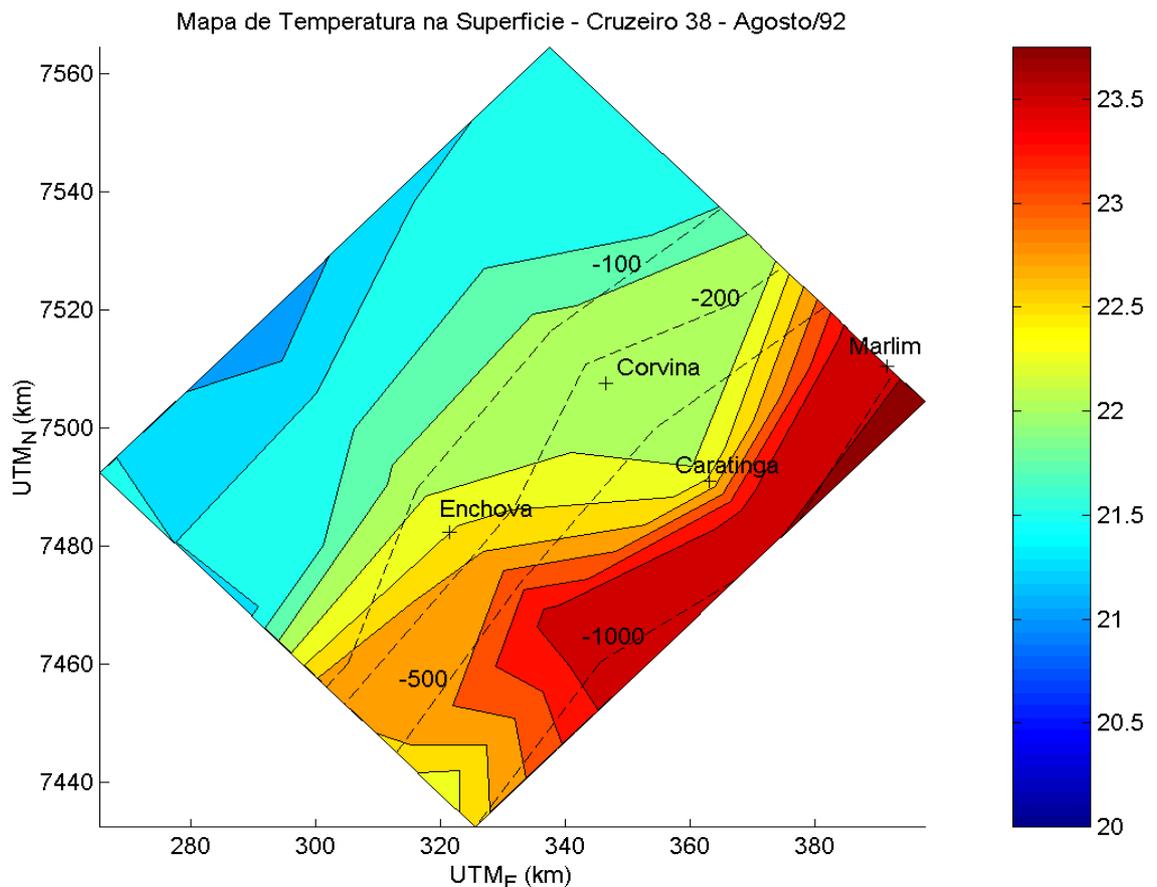


Figura 5.1.3-a: Distribuição horizontal do campo de temperatura em região da Bacia de Campos.

Vários autores já estudaram a distribuição de massas d'água no Oceano Atlântico Sul em região que engloba a costa sudeste brasileira, tais como Reid (1989), Tommasi *et al.* (1994), Schmid *et al.* (1995), Siedler *et al.* (1996) e Lima (1997), que colaboram para descrever as características das massas d'água da Bacia de Campos. Segundo a bibliografia oceanográfica atual, as águas presentes no talude e na região oceânica da Bacia de Campos são caracterizadas principalmente pela distribuição horizontal e vertical de cinco tipos de água: Água Costeira (AC), Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). Segundo seus índices termohalinos elas podem ser classificadas de forma a representar esquematicamente suas distribuições espaciais, sendo elas:

- **Água Costeira (AC)** – água de mistura localizada sobre a plataforma continental, caracterizada por baixa salinidade, quando comparada com a Água Tropical, devido a contribuições fluviais. A Água Costeira (AC) ocupa as camadas mais superficiais ao longo da plataforma continental, com espessura em torno de 50m e com características termohalinas bastante variáveis em função da variabilidade sazonal de fatores como aportes fluviais e incidência de luz. Suas características de temperatura e salinidade são:

Profundidade: Plataforma continental
Salinidade: < 36,0

Temperatura: ≥ 20 °C

- **Água Tropical (AT)** – formada em baixas latitudes, onde a taxa de evaporação é maior que a taxa de precipitação, responsável principalmente pelos altos valores de salinidade e temperatura, essa massa é transportada para sul pela corrente do Brasil. Penetra na plataforma continental externa, onde forma uma frente na superfície com a Água Costeira (água de plataforma com salinidade inferior à AT devido à contribuição do Rio Paraíba do Sul). No talude continental, a AT situa-se acima da Água Central do Atlântico Sul. A Água Tropical possui as seguintes características:

Profundidade: Talude continental até aproximadamente 200 m

Salinidade: $> 36,0$

Temperatura: $> 18,5$ °C

- **Água Central do Atlântico Sul (ACAS)** – esta massa se forma na região de Convergência Subtropical e normalmente ocupa a termoclina principal da região oceânica adjacente à plataforma continental:

Limite Superior: Profundidade = Talude continental a partir de aproximadamente 200 m

Salinidade = $36,0$

Temperatura = $18,5$ °C

Limite Inferior: Profundidade = Talude continental até aproximadamente 660 m

Salinidade = $34,5$

Temperatura = 6 °C

Densidade = $1030,2$ kg/m³

- **Água Intermediária Antártica (AIA)** – formada por misturas sub-superficiais na região da Convergência Antártica, flui em direção ao norte e é caracterizada por apresentar um núcleo de mínima salinidade.

Limite Superior: Profundidade = Talude continental até aproximadamente 660 m

Salinidade = $34,65$

Temperatura = $7,5$ °C

Limite Inferior: Profundidade = Talude continental até aproximadamente 1300 m

Salinidade = $34,4$

Temperatura = $3,5$ °C

- **Água Profunda do Atlântico Norte (APAN)** – massa d'água salina e rica em oxigênio, embora pobre em nutrientes, é originária da região entre o Mar de Labrador, a Noruega e o Mar da Groenlândia, sendo este último considerado como sua principal fonte e responsável por mais de 80% do seu volume total. Esta massa é formada a partir do resfriamento das águas de superfície, com conseqüente afundamento, e flui em direção ao sul através do Equador (Reid, 1989). Foi assumida como APAN águas com as seguintes características:

Profundidade: Talude continental a partir de 1340 m

Salinidade: $> 34,65$

Temperatura: $< 3,6$ °C

Dentre os eventos locais de maior importância observados, pode-se citar o afloramento da ACAS em direção à plataforma continental, fenômeno bastante freqüente e característico na região, chegando a atingir profundidades de até 95m na região do talude médio (em lâmina d'água de 1000 m) e 70 m na região de quebra da plataforma (em lâmina d'água de 200 m), durante o verão.

b. Temperatura e Salinidade da Água do Mar

Os campos de temperatura e salinidade da água do mar na Bacia de Campos são típicos da região de quebra de plataforma continental na costa sudeste brasileira. Estes campos apresentam perfis característicos da mistura de águas de plataforma continental (homogeneizadas por ação de ventos e de marés) e de águas oceânicas.

• Temperatura

O parâmetro temperatura comprovou a disposição das massas d'água na área, que também poderá ser verificada através da salinidade. Os primeiros 50 metros apresentam uma grande instabilidade, também registrada entre 150 e 700 metros. As duas profundidades definem os pontos de interação entre as três massas d'água existentes na região (Levitus, 1994). Os dados médios de temperatura podem ser observados no Quadro 5.1.3-a.

Conforme evidenciam as Figuras 5.1.3-b a 5.1.3-e, apresentadas a seguir, os valores variam anualmente de 26,82°C a 22,82°C na superfície; de 6,48°C a 5,42°C, a 800 metros; e de 4,02°C a 3,35°C, a 1000 m.

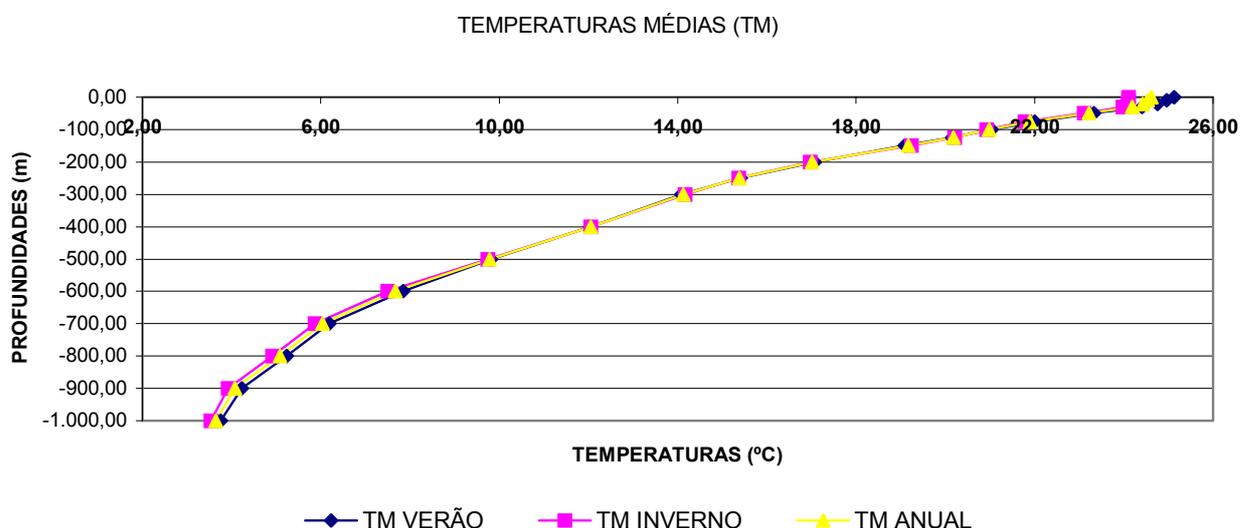


Figura 5.1.3-b: Temperaturas médias anuais, de inverno e de verão.

Fonte: Levitus (1994)

TEMPERATURAS MÉDIAS (TM) - DETALHE
0 - 150 m

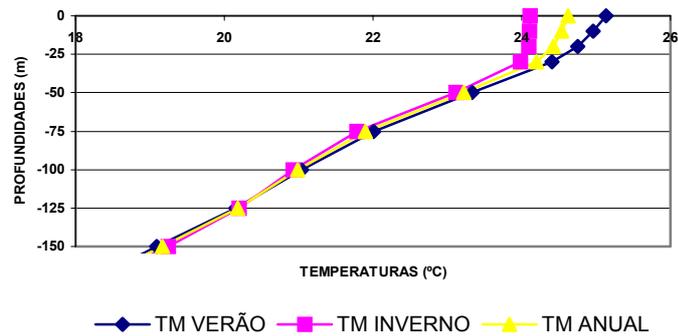


Figura 5.1.3-c: Detalhe de 0 a 150 m.
Fonte: Levitus (1994)

TEMPERATURAS MÉDIAS (TM) - DETALHE
150 - 550 m

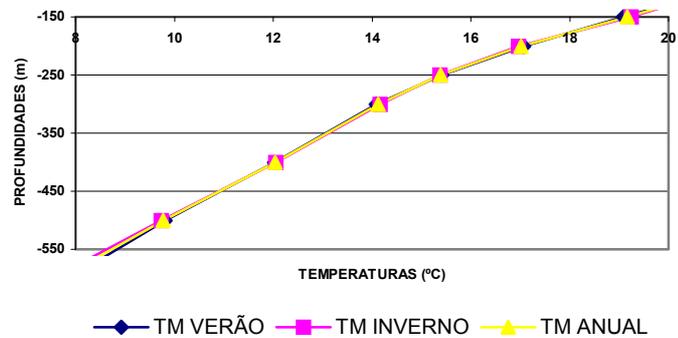


Figura 5.1.3-d: Detalhe de 150 a 550 m.
Fonte: Levitus (1994)

TEMPERATURAS MÉDIAS (TM) - DETALHE
550 - 1000 m

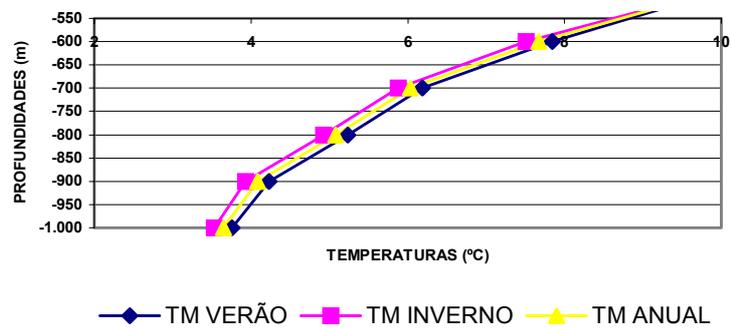


Figura 5.1.3-e: Detalhe de 550 a 1000 m.
Fonte: Levitus (1994)

No verão, a maior instabilidade é observada nos primeiros 50 metros, com a termoclina fixa na faixa dos 150 metros de profundidade. A AIA pode ser localizada na faixa de 800 metros. No inverno, a instabilidade superficial atinge os 75 metros, com a termoclina oscilando entre 150 e 200 metros, em função da maior dinâmica imposta pela célula meteorológica. Registros da AIA são verificados na faixa de 600 metros de profundidade.

De forma conclusiva, a faixa de maior alternância de valores situa-se nos primeiros 50 metros, com a interface entre a AT e a ACAS ocorrendo de 150 a 200 metros, e a interface desta última com a AIA, na faixa de 600 a 800 metros.

De forma semelhante à salinidade, as figuras 5.1.3-b a 5.1.3-e demonstram que as maiores alternâncias de valores de verão para os de inverno estão na faixa da superfície até 150, seguidas de pequenas variações nos valores do parâmetro na faixa de 550 a 1000 m. A camada intermediária de 200 a 550 metros apresenta-se bem homogênea, sendo um registro da posição e da largura da ACAS.

Quadro 5.1.3-a. Valores médios, desvios e amplitudes de temperatura para o QMD 376 / SQMD 20.

PROF	TEMPERATURA (°C)								
	(m)	MÍNIMA	MÉDIA	DESV PAD	VERÃO	DESV PAD	INVERNO	DESV PAD	MÁXIMA
0	22,82	24,62	1,50	25,13	1,52	24,11	1,42	26,89	4,07
-10	22,76	24,53	1,46	24,96	1,48	24,11	1,43	26,80	4,04
-20	22,73	24,42	1,38	24,75	1,41	24,09	1,40	26,59	3,86
-30	22,60	24,20	1,27	24,41	1,26	23,98	1,36	26,16	3,56
-50	21,99	23,22	0,94	23,33	0,91	23,11	1,04	24,75	2,77
-75	21,22	21,90	0,58	22,01	0,41	21,79	0,74	22,98	1,76
-100	20,46	20,98	0,35	21,04	0,30	20,93	0,41	21,59	1,14
-125	19,24	20,18	0,51	20,16	0,37	20,20	0,66	21,14	1,91
-150	18,16	19,17	0,54	19,09	0,30	19,24	0,74	20,27	2,11
-200	16,34	17,02	0,36	17,06	0,27	16,97	0,46	17,37	1,03
-250	14,94	15,39	0,28	15,41	0,27	15,37	0,31	15,85	0,91
-300	13,72	14,12	0,21	14,09	0,15	14,16	0,27	14,42	0,70
-400	11,64	12,04	0,19	12,03	0,15	12,06	0,23	12,28	0,64
-500	8,80	9,78	0,40	9,82	0,32	9,74	0,50	10,37	1,57
-600	6,69	7,67	0,47	7,85	0,19	7,50	0,62	8,34	1,65
-700	5,42	6,03	0,34	6,19	0,22	5,88	0,38	6,48	1,06
-800	4,52	5,08	0,41	5,23	0,51	4,92	0,22	6,24	1,71
-900	3,78	4,08	0,28	4,23	0,32	3,93	0,10	4,87	1,09
-1000	3,35	3,64	0,16	3,76	0,14	3,53	0,10	4,02	0,66

Fonte: Levitus (1994)

- Salinidade

Os dados referentes à salinidade comprovam os valores limites esperados segundo a distribuição de massas de água nesta região (Levitus, 1994). O perfil apresenta valores superficiais de quase 37 PSU, característicos da AT, encontrados na Corrente do Brasil.

A maior instabilidade ao longo da coluna é observada na profundidade de 150 m, podendo ser atribuída à profundidade de interação da AT com a ACAS. O registro da ACAS estende-se até cerca de 600 metros, com grande estabilidade encontrada na faixa de 700 a 1000 m, que fica sob o domínio da AIA. As figuras 5.1.3-f a 5.1.3-i, a seguir, apresentam o comportamento deste parâmetro, enfocando a grande estabilidade, com pequena variação anual, da faixa intermediária que vai dos 150 aos 550 metros.

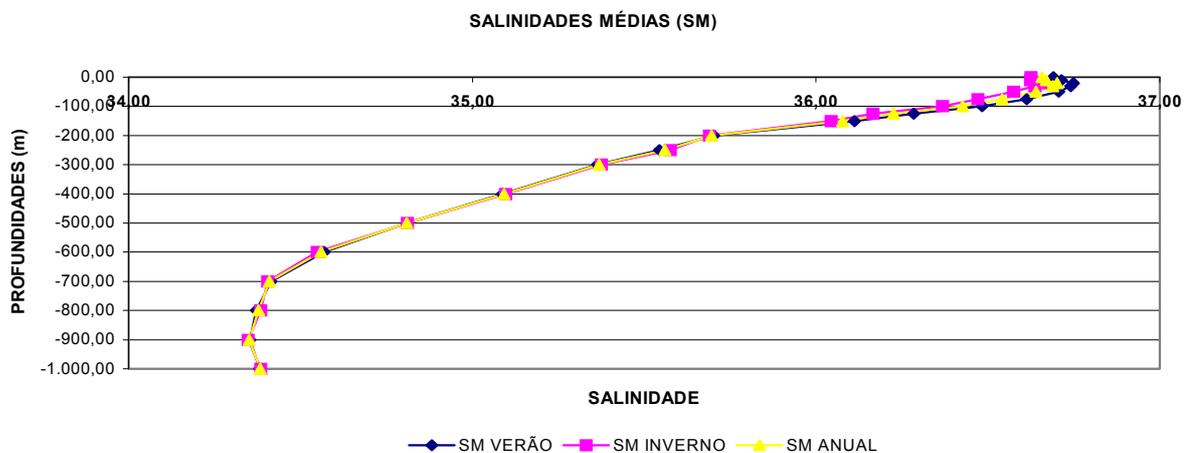


Figura 5.1.3-f: Salinidades médias anuais, de inverno e de verão.
Fonte: Levitus (1994)

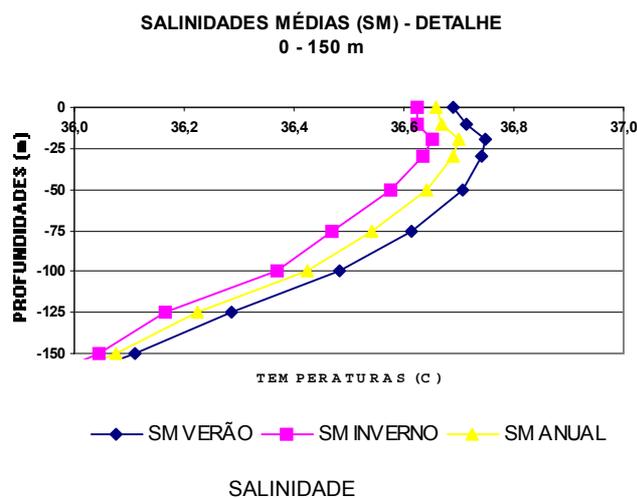


Figura 5.1.3-g: Detalhe de 0 a 150 m.
Fonte: Levitus (1994)

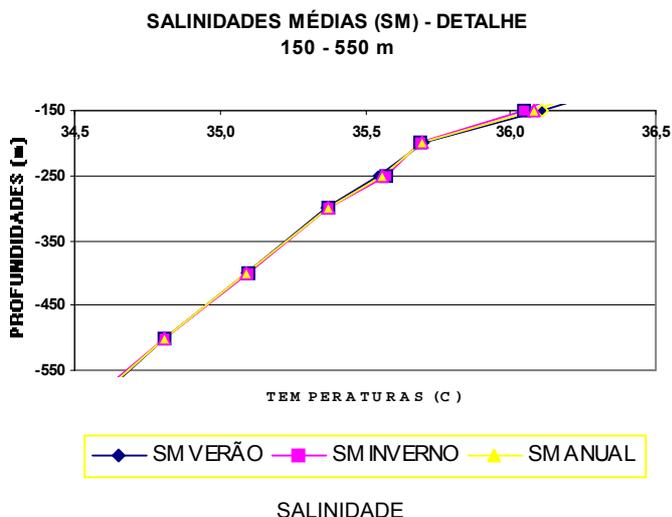


Figura 5.1.3-h: Detalhe de 150 a 550 m.
Fonte: Levitus (1994)

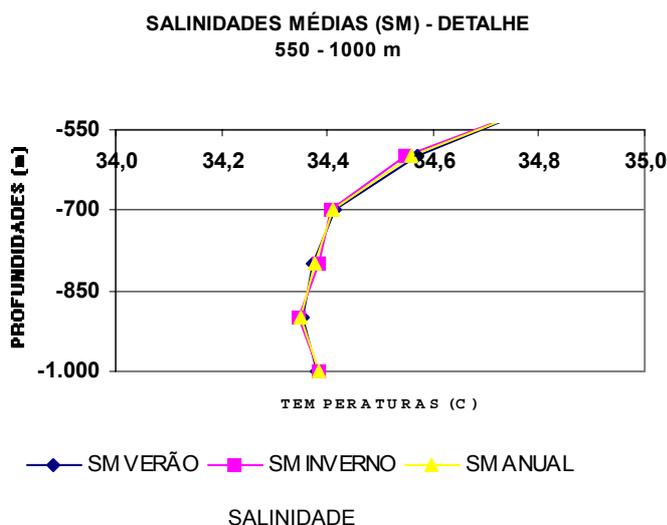


Figura 5.1.3-i: Detalhe de 550 a 1000 m.
Fonte: Levitus (1994)

No verão, as maiores variações encontram-se junto à superfície (em função de chuvas), com o resto do perfil apresentando grande estabilidade. Isto já não é característico no inverno, onde a tendência de manutenção das condições de verão é enfraquecida pelas passagens de frentes frias, que interrompem os processos de ressurgência da ACAS, principalmente sobre a plataforma. Esta instabilidade explica a alternância de temperaturas na faixa de 100 a 150 m. Nesta última profundidade, também é observada a maior amplitude térmica anual dos dados.

Os dados médios de salinidade são apresentados a seguir no Quadro 5.1.3-b.

Quadro 5.1.3-b. Valores médios, desvios e amplitudes de salinidade para o QMD 376/SQMD 20.

PROF	SALINIDADE								
	(m)	MÍNIMA	MÉDIA	DESV PAD	VERÃO	DESV PAD	INVERNO	DESV PAD	MÁXIMA
0	36,50	36,66	0,10	36,69	0,11	36,62	0,10	36,85	0,35
-10	36,49	36,67	0,10	36,71	0,08	36,62	0,10	36,83	0,35
-20	36,52	36,70	0,10	36,75	0,08	36,65	0,10	36,87	0,35
-30	36,51	36,69	0,09	36,74	0,07	36,64	0,08	36,84	0,33
-50	36,43	36,64	0,11	36,71	0,09	36,57	0,09	36,79	0,35
-75	36,33	36,54	0,11	36,61	0,06	36,47	0,10	36,70	0,38
-100	36,16	36,43	0,14	36,48	0,05	36,37	0,17	36,57	0,42
-125	35,96	36,23	0,14	36,28	0,07	36,17	0,18	36,38	0,43
-150	35,81	36,08	0,16	36,11	0,09	36,04	0,21	36,33	0,52
-200	35,55	35,70	0,10	35,70	0,07	35,69	0,12	35,85	0,30
-250	35,42	35,56	0,08	35,54	0,06	35,58	0,11	35,67	0,25
-300	35,26	35,37	0,06	35,36	0,04	35,37	0,08	35,45	0,20
-400	35,01	35,09	0,06	35,09	0,06	35,10	0,06	35,17	0,16
-500	34,68	34,81	0,07	34,81	0,06	34,81	0,08	34,92	0,24
-600	34,45	34,56	0,06	34,57	0,05	34,55	0,08	34,67	0,22
-700	34,34	34,41	0,03	34,41	0,03	34,41	0,04	34,46	0,12
-800	34,31	34,38	0,03	34,37	0,03	34,38	0,04	34,42	0,11
-900	34,31	34,35	0,03	34,35	0,02	34,35	0,04	34,40	0,09
-1000	34,33	34,38	0,03	34,38	0,02	34,38	0,04	34,42	0,09

Fonte: Levitus (1994)

A PETROBRAS/CENPES realizou algumas coletas de perfis de temperatura e salinidade na região do Campo de Barracuda, como apoio às suas operações “offshore”. Foram utilizados equipamentos oceanográficos, denominados Perfiladores de Condutividade-Temperatura-Pressão (CTD - *Conductivity-Temperature-Depth profilers*), que são capazes de medir os campos destes parâmetros ao longo de um perfil vertical a partir de um navio na superfície do oceano (Lima & Nunes, 2002).

A Figura 5.1.3-j ilustra perfis de temperatura (em graus Centígrados), de salinidade e de densidade (em kg/m³), medidos em cruzeiros oceanográficos realizados em intervalos regulares de dois meses entre Maio de 1994 e Maio de 1995 em um local com lâmina d’água de 206 metros e coordenadas UTM de 7.464.276 N e 317.008 E.

Como observado nos perfis de temperatura, existe uma camada homogênea próxima à superfície denominada “Camada de Mistura”, que se estende até aproximadamente 50 metros de profundidade e que possui temperaturas típicas em torno de 22° C até 27° C. Abaixo desta camada, surge uma camada com gradiente praticamente linear de decréscimo de temperatura com o aumento da profundidade, denominada termoclina. As temperaturas na profundidade de 200 metros estão na faixa de 12° C até 18° C.

Os perfis de salinidade apresentam valores na superfície na faixa de 36,5 até 37,2. Pode-se observar claramente a camada de mistura até aproximadamente 50 metros, e logo abaixo o decréscimo linear de salinidade com o aumento da profundidade. Os perfis de densidade apresentam comportamento similar, pois a densidade da água do mar é calculada em função de suas propriedades de temperatura, salinidade e pressão.

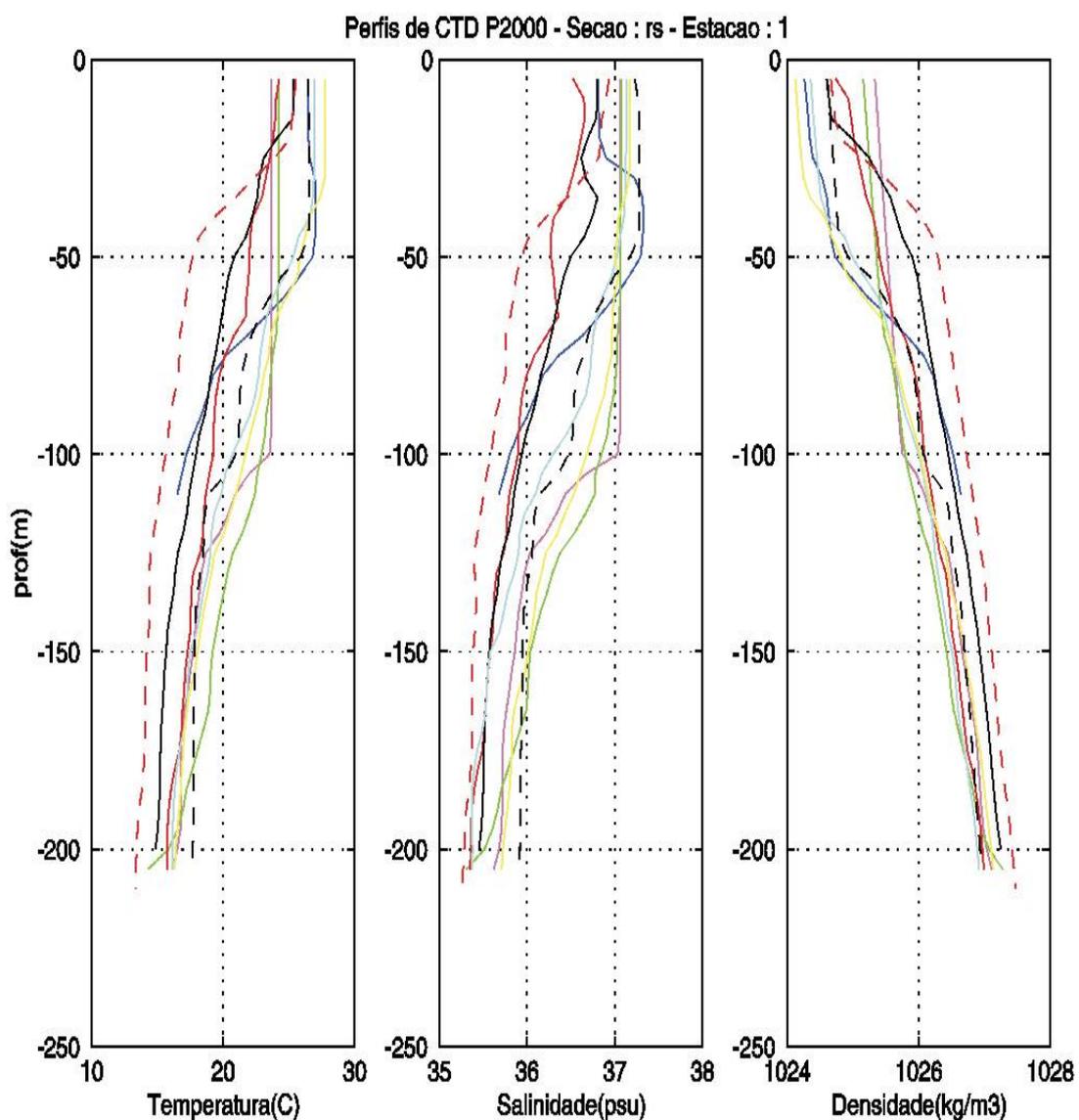


Figura 5.1.3-j: Perfis medidos de temperatura, salinidade e densidade da água do mar em uma lâmina d’água de 206 metros na Bacia de Campos no Campo de Barracuda.

Os valores demonstram uma maior variação dos parâmetros do que os valores observados nos perfis médios de Levitus para a região oceânica (profundidades de até 1000 m), em função das alternâncias das massas d'água sobre a plataforma, mais diretamente ligada às ocorrências de penetrações da ACAS sobre esta região costeira.

Outra característica da dinâmica oceanográfica pode ser evidenciada nos perfis de temperatura e salinidade a partir da variação sazonal. No inverno, aparece uma camada superficial mais homogênea, com tendência a perfis isotérmicos e isohalinos até o início da termoclina permanente (que nesta área ocorre de 70 a 120 metros), como representado no perfil de cor verde da Figura 5.1.3-j.

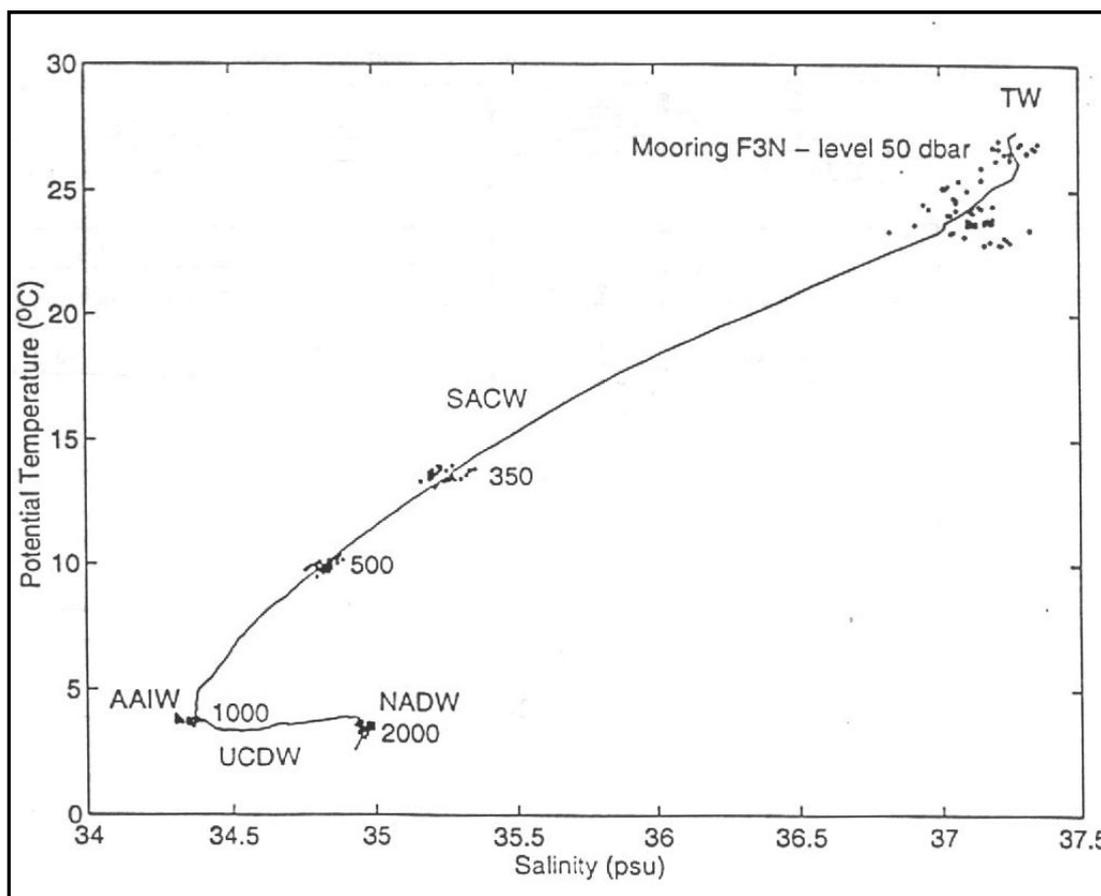
Na primavera, o aumento da insolação e a constância dos ventos de NE/E causam um aquecimento na camada superficial, originando um gradiente positivo de temperatura mais próximo à superfície. Em zonas temperadas, esta feição é chamada de termoclina sazonal, e apresenta uma definição muito clara de sua ocorrência. No entanto, em regiões tropicais, é uma feição transitória, não sendo constante ao longo do período.

No verão, com a maior insolação e ocorrência de chuvas, a temperatura superficial aumenta mais ainda, associada a um decréscimo de salinidade, originando um acentuado gradiente que tende a crescer durante a seqüência da estação, principalmente no perfil de temperatura. A diferença acentuada entre a camada superficial mais aquecida e as camadas inferiores é claramente expressa na redução da espessura (profundidade) da primeira e o aumento da espessura da zona de maior gradiente (perfil representado pela linha vermelha pontilhada da figura 5.1.3-j).

Com o advento do outono, a alteração nas características das condições meteorológicas, com as passagens mais frequentes de frentes frias, causam turbulência nesta camada superficial. Associada à redução do aquecimento da insolação, a diferença de temperatura entre a camada mais superficial e as adjacentes diminui, originando um perfil mais homogêneo até uma profundidade maior que aquela onde se encontrava a feição transitória de verão (perfil representado pela linha azul contínua da figura 5.1.3-j). A partir daí, a estabilização das condições dinâmicas retornam ao perfil característico mais constante de inverno.

- **Diagrama T-S**

A seguir é apresentada a Figura 5.1.3-k, que mostra o diagrama T-S para os dados coletados por Lima (1997) em perfilagens de CTD em pontos ao norte e ao sul da Bacia de Campos, sobre as isóbatas de 200m, 1000m e 2000m. Na Figura são relacionadas às massas d'água descritas anteriormente neste relatório (TW – Água Tropical [AT], SACW – Água Central do Atlântico Sul [ACAS], AAIW – Água Intermediária Antártica [AIA] e NADW – Água Profunda do Atlântico Norte [APAN]).



Fonte: Lima, 1997

Figura 5.1.3-k: Diagrama T e S nas mesmas profundidades dos equipamentos utilizados no fundeio F3N (Lima, 1997).

c. Correntes

A circulação oceânica nesta área da plataforma é alvo de um interesse científico particular devido às feições batimétricas descritas no item Batimetria, neste capítulo. Parte significativa do fluxo da Corrente do Brasil (CB) passa através dos canais dos bancos de Abrolhos e divide-se em dois ramos. Um deles flui afastado da costa, além da isóbata de 3000 m (Stramma *et al.*, 1990 *apud* Lima, 1997), enquanto o outro flui seguindo a linha da quebra da plataforma, onde se estende até o fundo, com uma significativa parte fluindo sobre a plataforma externa, que algumas vezes localiza-se aquém da isóbata de 100 m (Signorini, 1978), apresentando um estreitamento no seu lado oriental (devido a um cisalhamento ciclônico) durante a maioria dos meses (Signorini, 1976). O núcleo da corrente possui grande variabilidade sazonal, afastando-se para o largo durante o inverno (Paviglione & Miranda, 1985), embora acompanhe o formato da costa durante praticamente o ano todo (Lima, 1997).

A circulação na camada superficial sobre a quebra da plataforma e no talude é caracterizada pelo fluxo da Corrente do Brasil para sul. Esta corrente representa o limite ocidental do giro subtropical do Atlântico Sul. Poucas medições de correntes foram feitas

na CB. As primeiras medições diretas foram feitas por Evans e Signorini em 1985, nas latitudes de 20° 30' S e 23° S, as quais apresentaram um fluxo confinado aos primeiros 400 m de profundidade, com uma contra-corrente no sentido norte abaixo destes 400 m iniciais. Na parte norte da área, acima do Cabo de São Tomé, a direção da corrente é para 180°, variando para 220° na região de Cabo Frio. Isto está altamente coerente com a variação da linha de costa (e das isóbatas). Esta mudança afeta significativamente a Corrente do Brasil, induzindo a formação de vórtices e meandros.

A componente que se desloca para sul cobre os primeiros 400 metros da coluna d'água, englobando a Água Tropical e grande parte da Água Central do Atlântico Sul (ACAS). Na porção inferior a 400 metros da coluna d'água, o restante da ACAS e a Água Intermediária Antártica (AIA) formam a chamada Contra-Corrente Intermediária Brasileira (CCIB), que tem fluxo constante para norte. O volume estimado transportado pela Corrente do Brasil na região da quebra da plataforma e do talude na latitude de 22° S é de $5,5 \pm 2,6$ Sv. Já o volume da CIBB é estimado em $5,1 \pm 2,8$ Sv, sendo a contribuição da AIA de $2,6 \pm 1,2$ Sv (Lima, 1997).

O fluxo nos níveis de 500 a 1000 metros é mais intenso na parte norte (acima do Cabo de São Tomé) do que na parte sul (Cabo Frio) da área central da Bacia de Campos (Campo de Caratinga). Isto se deve ao fato deste fluxo para norte apresentar uma tendência de confinamento pela topografia, acelerado pela batimetria nesta área.

Imagens AVHRR, usadas por Garfield em 1990, parecem indicar um padrão de meandramento regular entre o Cabo de São Tomé e Cabo Frio, com a separação ocasional de vórtices ciclônicos (Lima, 1997).

Próximo ao Cabo de São Tomé (22° S), a CB parece ocupar a maior parte da plataforma durante o verão. Medidas diretas de corrente feitas por Harari *et al.* em 1993 mostram que a circulação sobre a plataforma interna próxima ao Cabo de São Tomé se dá predominantemente em direção ao sul no verão, alternando entre sudoeste e nordeste durante o inverno, com a magnitude média de 30 a 50 cm/s. Nos primeiros 100 metros da coluna d'água, a velocidade da corrente pode chegar a 1 m/s (Castro e Miranda, 1999).

A água que flui para sudoeste durante o verão é reforçada pelos ventos predominantes, que sopram principalmente de nordeste nesta estação, devido à influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul. No inverno, entretanto, a alta incidência de sistemas frontais induz a ocorrência de correntes com direção nordeste nas porções interna e média da plataforma (Castro e Miranda, 1999).

Outra consequência do predomínio dos ventos de NE é a ressurgência, fenômeno no qual a ACAS penetra sobre a plataforma, levando águas frias em direção à costa. Estes eventos são muito comuns na região de Cabo Frio. O movimento contrário, a subsidência, ocorre em situação de passagem de frentes frias, quando os sistemas pós-frontais (ventos fortes de sudoeste) provocam a aproximação, em direção à costa, do núcleo da corrente do Brasil, e o retorno das águas frias às maiores profundidades, com o deslocamento da massa ressurgida em direção das proximidades do Cabo de São Tomé, mais ao norte.

A observação de importantes corpos de areia modernos e antigos no domínio superior do talude requer o entendimento da influência do padrão de circulação na borda da plataforma e no talude sobre o transporte dos sedimentos finos ao longo dela, embora existam poucas medições de longo prazo das correntes de fundo. Desta forma, o papel desta camada no transporte de sedimento e nos complexos processos hidrodinâmicos do talude continental ainda não é inteiramente compreendido (Mc Grail e Carnes, 1983; Hill e Bowen, 1983 *apud* Lima, 1997).

O estudo de Lima (1997) é um dos poucos existentes, cobrindo um período de um ano, de julho de 1992 a agosto de 1993. Suas análises concluíram que a banda sub-inercial (de três a quinze dias) é a mais energética no espectro de frequência e um regime ativo de ressurgências e de subsidências existe na quebra da plataforma. O fluxo do declive é, na maioria das vezes, favorável à subsidência, induzido pelo fluxo geostrófico orientado para norte da contra corrente. Experiências com modelos indicaram que os ventos causam significativas respostas dos fluxos sobre a plataforma continental e a quebra da plataforma.

O mesmo estudo também confirmou que a componente perpendicular à plataforma da corrente de fundo em águas rasas (120 m) responde ao vento local com uma defasagem de tempo de 12 a 18 horas, sendo este tempo o período necessário para que a tensão cisalhante do vento ao longo da costa crie uma resposta de gradiente de pressão perpendicular à plataforma suficientemente forte para gerar correntes internas.

As velocidades encontradas junto ao fundo foram maiores que 20 cm/s. Nas plataformas média e externa, e ainda na região de quebra, o valor chegou, em alguns casos, a 40 cm/s, apresentando alternâncias nas direções de propagação (N – valor médio 20 cm/s; S – valor médio 15-20 cm/s). No talude, não houve mudança na direção (N), apresentando valor médio 20 cm/s. Sucessivos eventos de ressurgência e subsidência também foram observados.

A velocidade da corrente relativa à contribuição da maré é baixa, de cerca de 5 cm/s, e quase em sua totalidade, no eixo perpendicular à plataforma.

Medições realizadas durante o Programa de Monitoramento Ambiental Oceânico da Bacia de Campos, realizada pela FUNDESPA/USP, e descritas em Tommasi, L.R. et al (1994), comprovam que o campo de correntes marinhas na plataforma continental até a isobata de 200 metros tem influência do regime de ventos local e de correntes de marés.

As Figuras 5.1.3-l e 5.1.3-m apresentam medições de propriedades oceanográficas físicas e correntes realizadas pela PETROBRAS na primavera de 1992 e no verão de 1993, respectivamente. Um navio oceanográfico partiu de Macaé fazendo um trajeto em direção ao oceano profundo e medindo perfis de dados em intervalos de aproximadamente 7 milhas náuticas (em torno de 14 Km). Deste modo, estas figuras representam um corte vertical do oceano em uma região da Bacia de Campos.

A Figura 5.1.3-l a seguir apresenta, no quadro de cima, a distribuição de temperatura vertical e, no quadro de baixo, o campo de correntes medidos na primavera de 1992. As cores azuis indicam velocidades negativas, ou seja, correntes fluindo no sentido sudoeste. Esta corrente representa o jato da Corrente do Brasil. As cores abóbora-

vermelho indicam correntes indo para norte-nordeste, representando a corrente associada a ACAS e AIA. As setas indicam o centro do jato e a frente de temperatura.

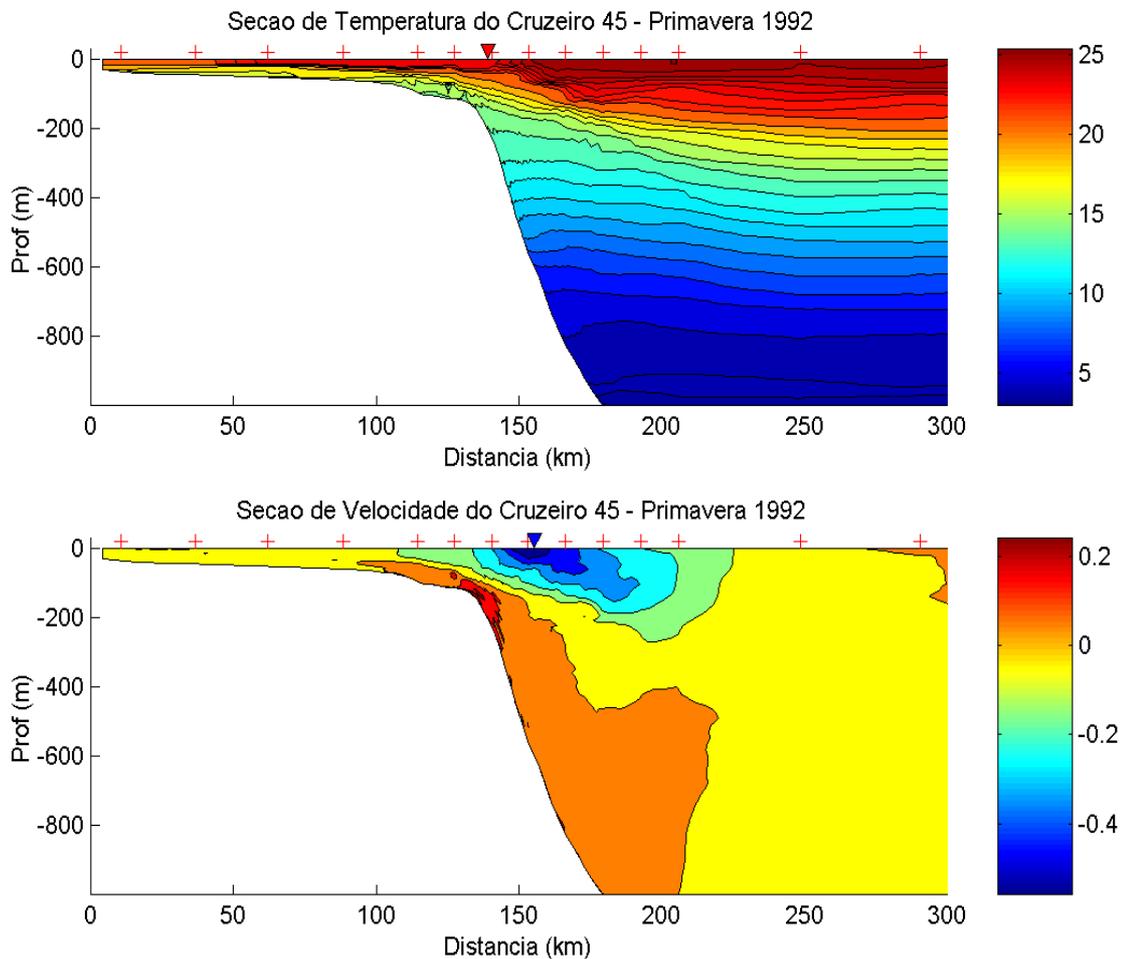


Figura 5.1.3-l: Medições dos campos de temperatura e correntes marinhas em uma seção oceanográfica na Bacia de Campos, saindo de Macaé e indo na direção do oceano profundo, na primavera de 1992.

A Figura 5.1.3-m a seguir apresenta, no quadro de cima, a distribuição de temperatura vertical e, no quadro de baixo, o campo de correntes medidos no verão de 1993, com o mesmo diagrama de cores da figura anterior. Deste modo, o jato da Corrente do Brasil pode ser visualizado próximo à superfície em azul.

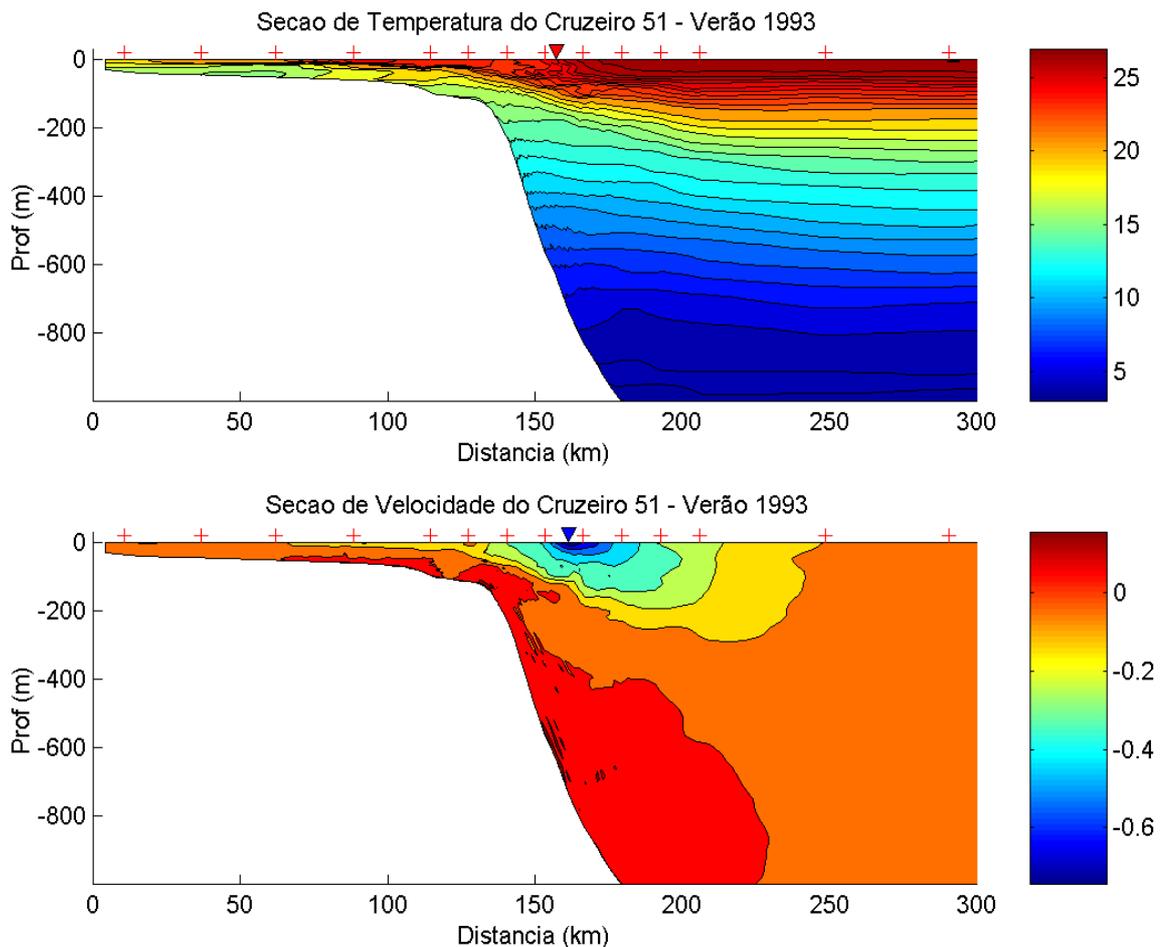


Figura 5.1.3-m: Medições dos campos de temperatura e correntes marinhas em uma seção oceanográfica na Bacia de Campos, saindo de Macaé e indo no sentido do oceano profundo, no verão de 1993.

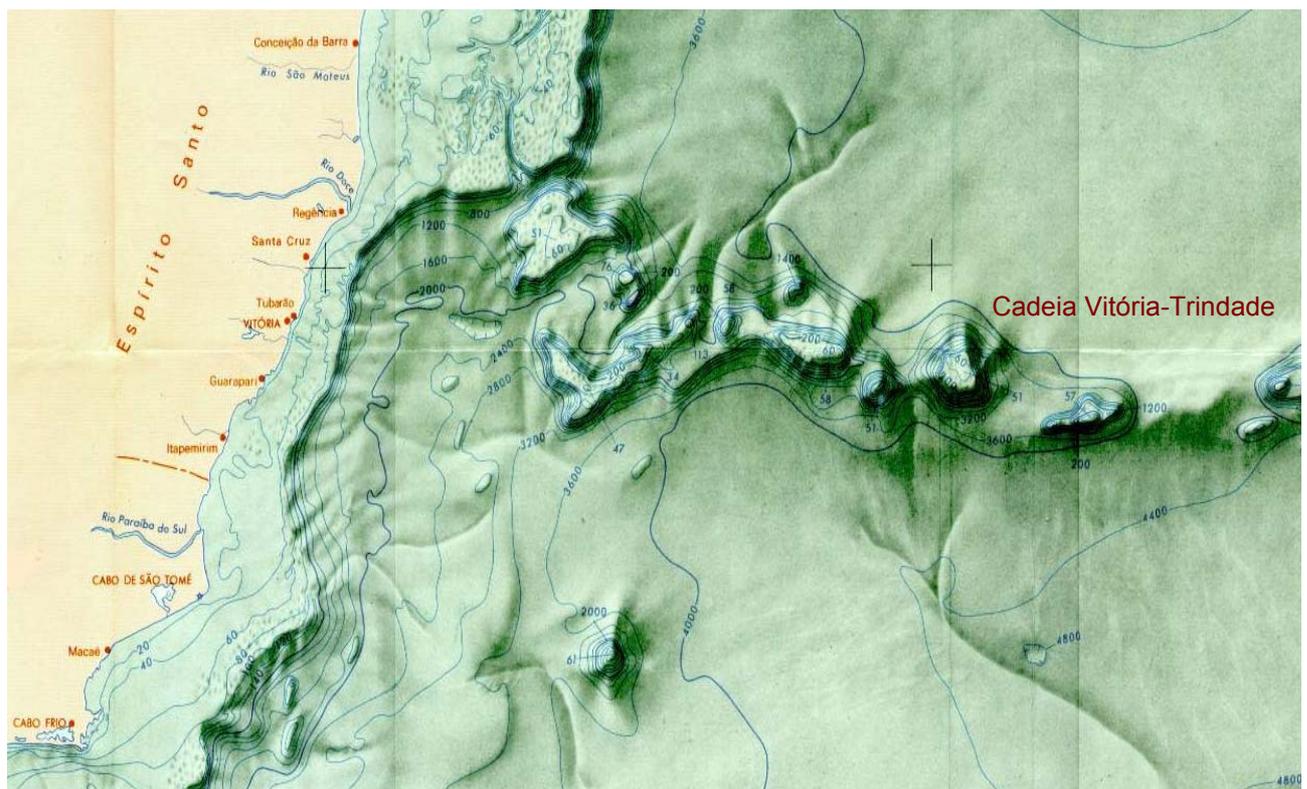
A Figura 5.1.3-x, apresentada ao final desta seção, representa de forma esquemática o campo de correntes superficiais e de fundo na região da Bacia de Campos para as condições de inverno e verão.

d. Batimetria

A plataforma continental no trecho da costa que vai do Cabo de São Tomé (22° S) até Cabo Frio (23° S) estende-se, em média, de 70 a 100 km, e o seu limite situa-se próximo à linha de profundidade de 120 metros, com o talude apresentando uma largura média de 45 km.

A topografia do fundo da plataforma é suave, e as isobatimétricas seguem a linha de costa. Seções topográficas entre os dois cabos apresentaram um gradiente de fundo médio de 1:460 (ângulo de 0,15°) na plataforma continental e 1:31 (ângulo de 1,18°) na parte superior do talude (Castro e Miranda, 1999).

Duas feições batimétricas, uma mais ao norte e outra local, induzem a ação de significativos efeitos de fundo sobre o fluxo das correntes, caracterizando a região pela ocorrência de freqüentes eventos de mesoescala como vórtices e meandros (Garfield, 1990; Schmid, 1995 *apud* Lima, 1997). A primeira é a Cadeia de Montes Submarinos Vitória – Trindade e a segunda, a abrupta mudança na orientação da linha de costa entre os pontos antes do Cabo de São Tomé (orientação Sul); entre ele e Cabo Frio (orientação NE - SW) e após este segundo (orientação E-W) (Figura 5.1.3-n).



Fonte: REMAC, 1979.

Figura 5.1.3-n: Área do projeto, mostrando a Cadeia Vitória-Trindade e a mudança de orientação da linha de costa.

e. Marés

A maré é predominantemente semidiurna, com pequena contribuição diurna, e apresenta os seguintes parâmetros, segundo DHN (1988):

- Nível Médio do Mar 0,5 m
- Média de Baixamar 0,2 m
- Média de Preamar 0,9 m
- Média de Baixamar de Sizígia 0,0 m
- Média de Preamar de Sizígia 1,1 m
- Variação Média da Maré 0,7 m
- Variação Média de Sizígia 1,1 m
- Maré Astronômica Mínima -0,2 m
- Maré Astronômica Máxima 1,3 m
- Maré (Astronômica + Meteorológica) Mínima -0,6 m
- Maré (Astronômica + Meteorológica) Máxima 1,7 m
- Variação Máxima 2,3 m

Os estudos de Lima (1997) avaliaram as contribuições das componentes das marés nas correntes de fundo na região do Campo de Caratinga. Em todos os levantamentos, foi claramente detectado o pico espectral associado à maré semidiurna, sendo este de uma ordem de magnitude superior ao pico diurno para a área. As contribuições da maré nas correntes agem muito mais na componente perpendicular à costa, do que na componente longitudinal à costa. Para a elipse de maré da componente M2, os ângulos de fase gradualmente aumentam de NW para SE, aumentando a contribuição nos dois sentidos da corrente.

Para referenciar a análise de marés em um local oceânico mais próximo da Bacia de Campos é mais adequado utilizar os dados de marés coletados em um fundeio oceanográfico na isobáta de 200 m e analisados por Salles *et al.* (2000) em seu Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. O Quadro 5.1.3-c apresenta os resultados da estação Fundeio 1 Sul Oceânica, medida em 22° 54' S e 40° 47' W.

Observando os resultados da tabela, verifica-se que as componentes mais significativas são as semidiurnas, com amplitude de 31,5 cm para M2 e 14,8 cm para S2, confirmando as avaliações anteriores.

Quadro 5.1.3-c: Dados de maré medidos em 200 metros de lâmina d'água na Baía de Campos.

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação :		FUNDEIO 1 SUL – OCEÂNICA			
Localização :		Baía Petrolífera de Campos - RJ			
Organ. Responsável :		PETROBRÁS / CENPES			
Latitude :		22° 54,0' S	Longitude :		40° 47,0' W
Período Analisado :		—		Nº de Componentes : 17	
Análise Harmônica :		Metodo do Almirante Santos Franco			
Classificação :		Maré de Desigualdades Diurnas			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		— H — min	Nível Médio (Zo):		— cm acima do NR.
Médias das Preamares de Sízigia (MHWS) :		— cm acima do NR.	Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :		— cm acima do NR.
Média das Baixa-mares de Sízigia (MLWS) :		— cm acima do NR.	Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :		— cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) Graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	-	-
Ssa	-	-	N ₂	4,9	109
Mm	-	-	NU ₂	-	-
Mf	-	-	M ₂	31,5	090
MTM	-	-	L ₂	-	-
Msf	-	-	T ₂	0,9	090
Q ₁	2,7	077	S ₂	14,8	082
O ₁	8,7	103	K ₂	5,8	069
M ₁	1,5	150	MO ₃	0,4	022
P ₁	2,2	117	M ₃	-	-
K ₁	4,9	142	MK ₃	-	-
J ₁	-	-	MN ₄	0,6	019
OO ₁	-	-	M ₄	0,9	041
MNS ₂	-	-	SN ₄	-	-
2N ₂	-	-	MS ₄	-	-
Referências de Nível: Não foram colocadas					
Obs: Maré oceânica observada de plataforma de petróleo com sensor de pressão, em lâmina d'água de 200 m, no período de janeiro/94 a maio/95. Não disponíveis outras informações					

Código BNDO: NC

f. Regime de Ondas

A Bacia de Campos encontra-se situada em uma região do Oceano Atlântico Sul com influência tanto de ventos locais, gerando vagas (ou *sea*), como de ventos em locais distantes, gerando marulhos (ou *swell*). Baseado em estudos de ondas na região, pode-se classificar o clima de ondas da Bacia de Campos em 4 áreas homogêneas, conforme representado na Figura 5.1.3-o.

Esta classificação é baseada na direção das ondas, parâmetro que pode ser relacionado diretamente com os “**forçantes meteorológicos**” ou **ventos** que provocam as ondas. A Figura 5.1.3-p permite visualizar as variações nas **alturas significativas de onda** (Hs) conforme a direção, aparecendo também as 4 regiões homogêneas propostas. Uma descrição das características de cada área também é feita a partir da menos energética (área 4) até a mais energética (área 1).

Pela análise da Figura 5.1.3-p, verifica-se de imediato que a área 1 é a mais energética, com valores medidos de Hs da ordem de 6,5 metros. A energia diminui à medida que se gira, no sentido anti-horário, até a área 4. Para análise desta distribuição de energia, foram analisadas cartas sinóticas dos períodos onde aconteceram os maiores valores de Hs, tentando-se explicar os estados-de-mar (o mesmo que Hs) a partir da análise climatológica da área considerada. Detalhando-se para cada uma das áreas:

ÁREA 4: Esta região é a menos energética de todas. Ela abrange um setor que vai de 245^o a 348^o, tendo como característica básica a limitação de pista para geração de onda a partir do vento, em função da linha de costa. Os maiores valores medidos de Hs encontram-se em torno de 3 metros, nas direções pouco abaixo de 270^o.

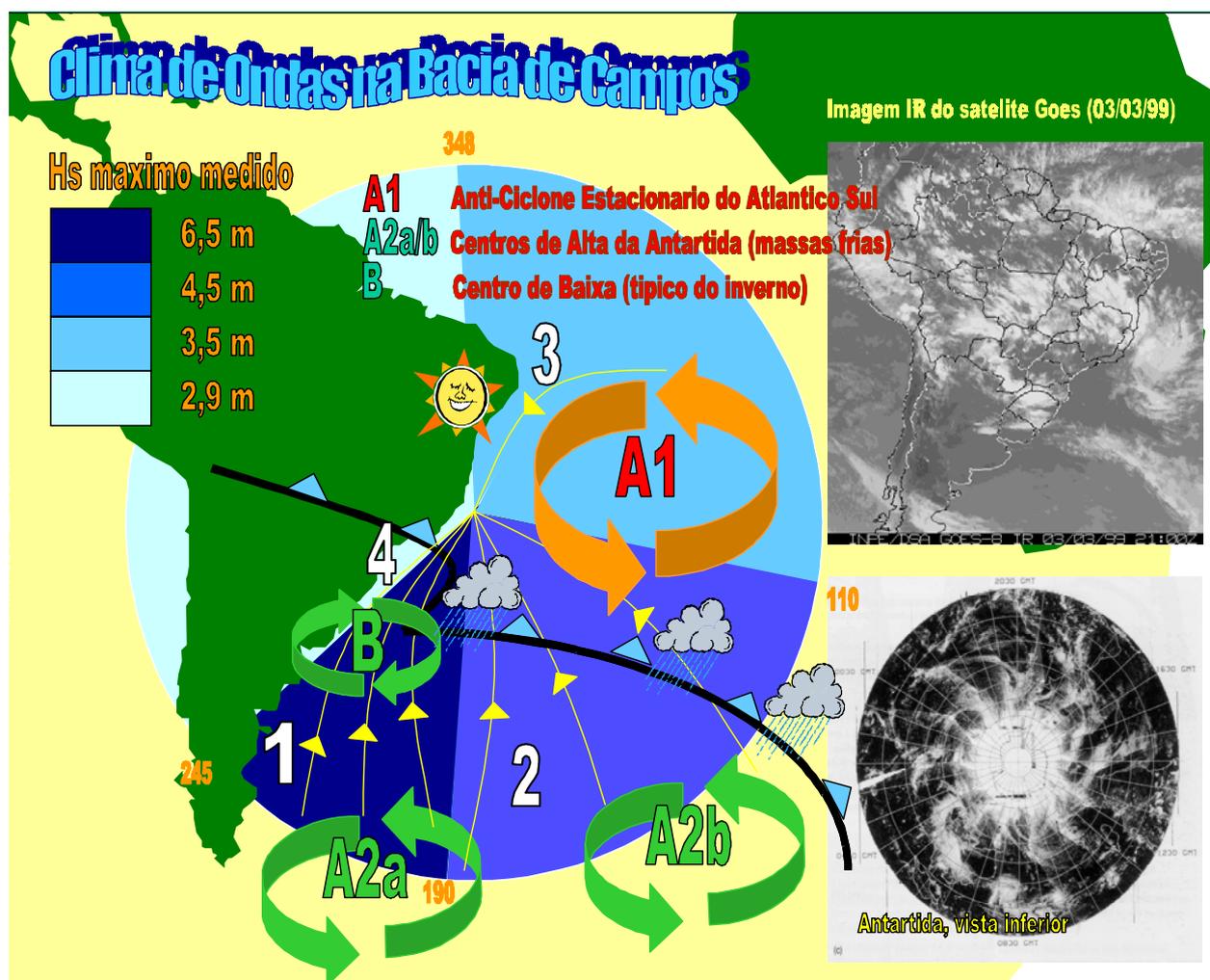
ÁREA 3: É a condição mais comum na Bacia de Campos. Compreendida entre 348^o e 110^o, caracteriza-se pela presença de **ondas locais** (*sea*), geradas a partir do Anti-Ciclone do Atlântico Sul (A1 na Figura 5.1.3-o). Este Anti-Ciclone (centro de alta pressão) gera ventos de Norte a Leste, dependendo da sua posição em relação à costa. O Anti-Ciclone é chamado de semi-estacionário devido à sua constância entre a América do Sul e a África, em latitudes variando de 20^o a 40^o sul formando uma elipse com semi-eixo maior de 2500 a 4000 km e pressões de até 1032 mb. Em condições de permanência acentuada do Anti-Ciclone na mesma locação e/ou valores altos de pressão atmosférica, os ventos resultantes podem ser bem intensos (até 23 m/s) e gerar mares de até 3,5 metros, com períodos de pico, na grande maioria do tempo, de até 10 segundos.

ÁREA 2: É a segunda área mais energética. Caracteriza-se pela formação de ondas a partir de centros de alta pressão (A2b na Figura 5.1.3-o) vindos da Antártida. Os ventos formados são em média mais intensos que aqueles da área 3, assim como as “pistas” para geração de ondas menos curvas, o que provoca ondas de maiores alturas. Estabelecemos, com base nos valores de onda medidos e nas Cartas Sinóticas correspondentes, as direções de onda entre 110 e 190 graus como limites da área 2. Os máximos valores de altura significativa de onda medidos situam-se em torno de 4,5 metros.

ÁREA 1: É a mais energética, ou seja, aquela que ocasiona maiores alturas de onda. Caracteriza-se por fortes ventos de sul/sudoeste associados a pistas longas, provocando

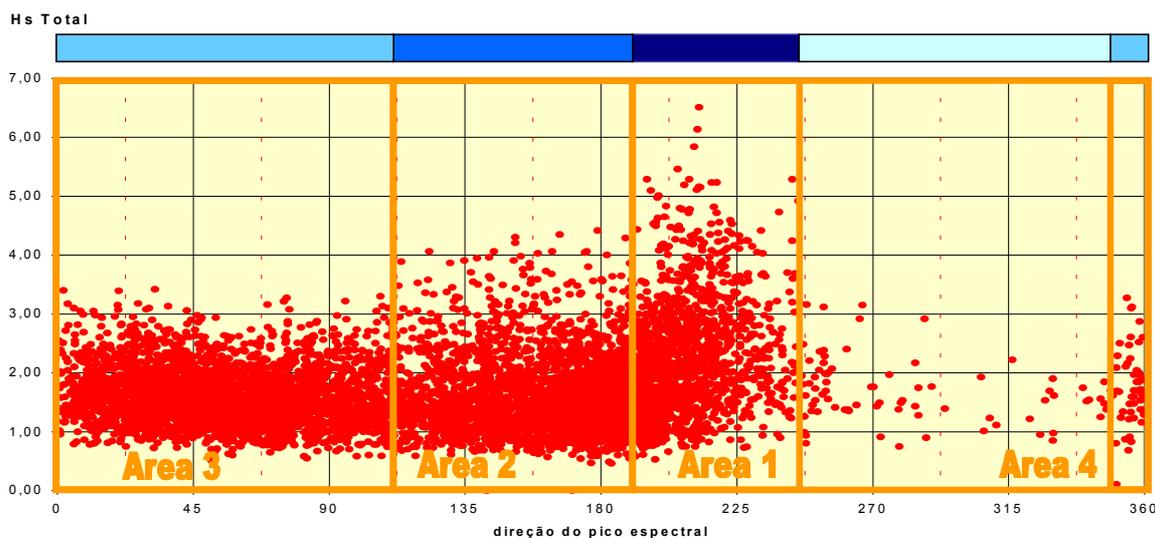
alturas de onda significativa de até 6,5 metros. A presença ocasional de um centro de baixa entre a Bacia de Campos e a Alta Antártida está associada aos maiores valores de H_s , devido à intensificação do gradiente de pressão entre a alta e a baixa, provocando ventos muito fortes e pista bastante retilínea. A baixa se situa próxima ao litoral, aparecendo principalmente no inverno, quando a temperatura no mar fica mais quente que em terra, deslocando a baixa do continente para o litoral. Os centros de alta pressão são gerados no pólo sul, desprendendo-se ao sul da América do Sul (na Figura 5.1.3-o, vista inferior da Antártida) deslocando-se preferencialmente de oeste para leste. Quando a Alta Antártida (A2a e A2b) está muito acentuada, ela desloca o Anti-Ciclone do Atlântico Sul (A1) mais para norte e leste, avançando em direção à Bacia de Campos, trazendo ventos de sul, chuva e nebulosidade, estando indicado na parte superior da Figura 5.1.3-o (imagem IR do satélite Goes de 03/03/99) uma linha de nebulosidade a partir do Rio Grande do Sul, característica do avanço da frente.

Esta descrição fornece uma visão precisa das diferentes condições de ondas existentes na Bacia de Campos, associadas com suas diversas forçantes meteorológicas.



Fonte: PETROBRAS, 2001

Figura 5.1.3-o: Condições típicas de ondas na Bacia de Campos, associadas com diferentes direções de propagação de propagação e sistemas meteorológicos.



Fonte: PETROBRAS, 2001

Figura 5.1.3-p: Valores de Altura Significativa de Onda (Hs) por direção de pico do espectro

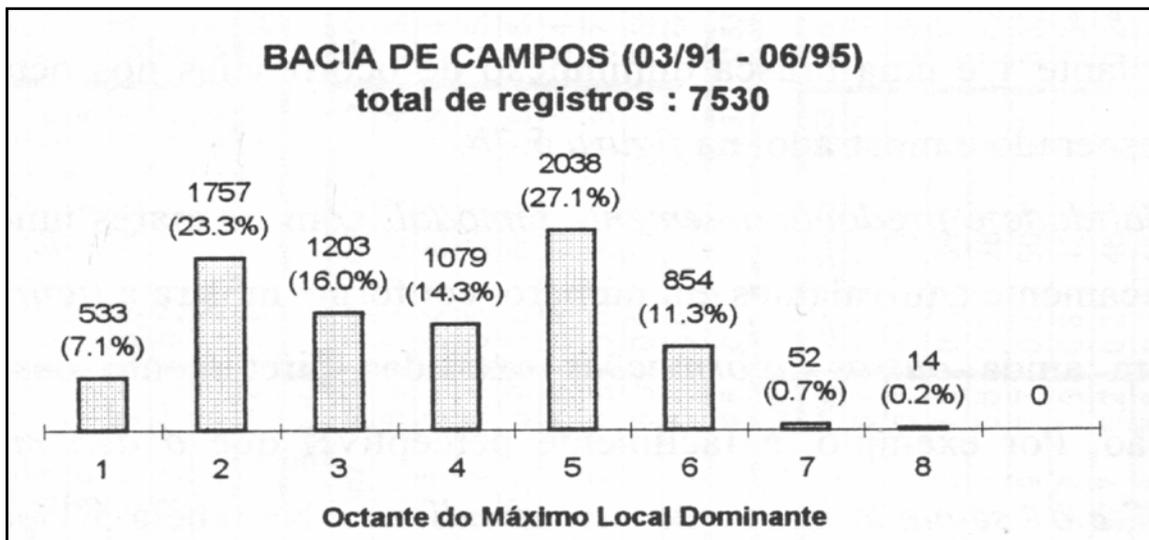
Um outro tipo de movimento ondulatório que ocorre no oceano são as chamadas ondas internas, que ocorrem em função da estabilidade da estratificação oceânica (Hendershott, 1966 *apud* Melo Filho, 1994). A força restauradora nesse caso também é a gravidade, com o contraste de que a perturbação do estado de equilíbrio não acontece na superfície livre do mar, mas no interior, entre duas massas d'água. As ondas internas existem numa vasta gama de frequências, cobrindo períodos de alguns minutos a horas. Apesar da agitação provocada pelo movimento respectivo ser mínima, quando comparada às ondas superficiais de gravidade, seus efeitos sobre estruturas de exploração *offshore* de petróleo, principalmente nas áreas do talude continental, estão sendo considerados em estudos na área da Baía de Campos.

A concentração de energia associada à atividade de ondas internas origina um campo de velocidade médio, forte o suficiente para manter sedimentos em suspensão e disponíveis para serem carregados por correntes subinerciais. Este fato explica a presença de feições morfológicas no fundo mapeadas na parte superior do talude na área do projeto.

A seguir são apresentados dados dos trabalhos apresentados por Seixas (1997, dados obtidos através de bóias oceanográficas da PETROBRAS nas coordenadas 22° 31' S / 39° 58' W no período de 03/1991 a 03/1993 e nas coordenadas 22° 37' S / 40° 11' W de 01/1994 a 06/1995) PETROBRAS (1999, Relatório Interno ETBC-01) e Souza (1988, nas coordenadas 22° 22' 23.59S / 040° 25' 06.46W de 06/85 a 05/86).

O mar mais comum na região foi aquele com ondas entre 20 e 10s de período oriundas do octante Sul, seguido por ondas entre 10s e 6,6s oriundas dos octantes Leste e Nordeste. Estes três mares juntos totalizaram mais da metade das ocorrências estudadas na região (Seixas, 1997). Individualmente o maior número de ocorrências esteve na faixa de 4-6s com alturas de 0,5 a 1m (PETROBRAS, ETBC-01, 1999).

Com relação puramente à direção, predomina o octante Sul seguido por Nordeste, em menor escala os octantes Leste, Sudeste e Sudoeste, com fraca ocorrência do Norte e pouquíssimos casos de Oeste e Noroeste (Figura 5.1.3-q).

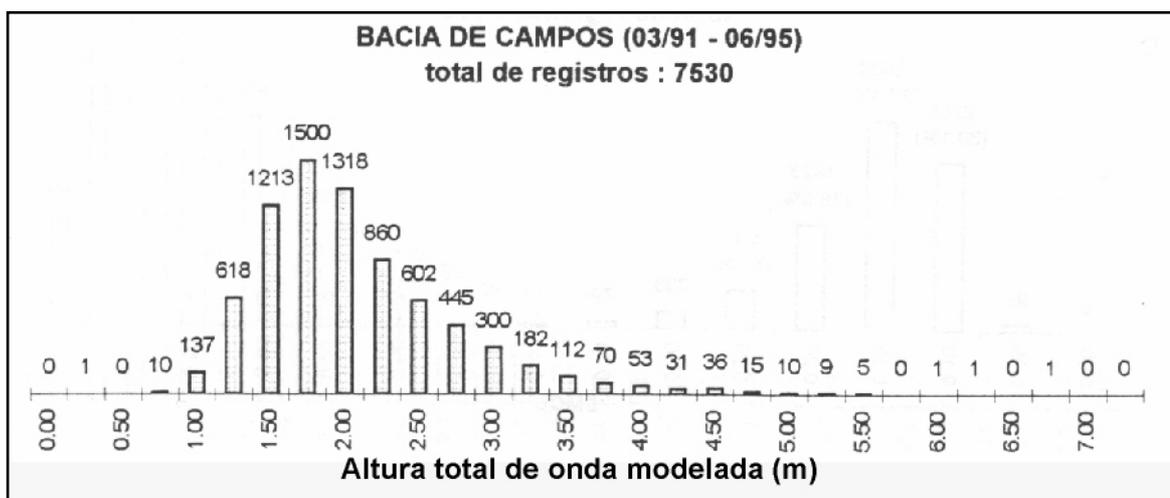


Fonte: Seixas, 1997.

Figura 5.1.3-q: Distribuição de direção do máximo local por octantes.

Esta distribuição pode ser explicada pelas distribuições dos centros de alta e baixa pressão no Atlântico Sul. Com relação à altura, a ocorrência mais freqüente foi de 1,75m estando a maioria dos registros entre 1,50m e 2,00m conforme a Figura 5.1.3-r.

Embora ventos de Nordeste predominem ao longo do ano todo, é durante o inverno que as ondas possuem maior energia (Seixas, 1997), pois se torna mais intensa a influência dos sistemas frontais, fazendo com que o mar de Sudoeste constitua a pior situação (Souza, 1988; PETROBRAS, ETBC-01, 1999).

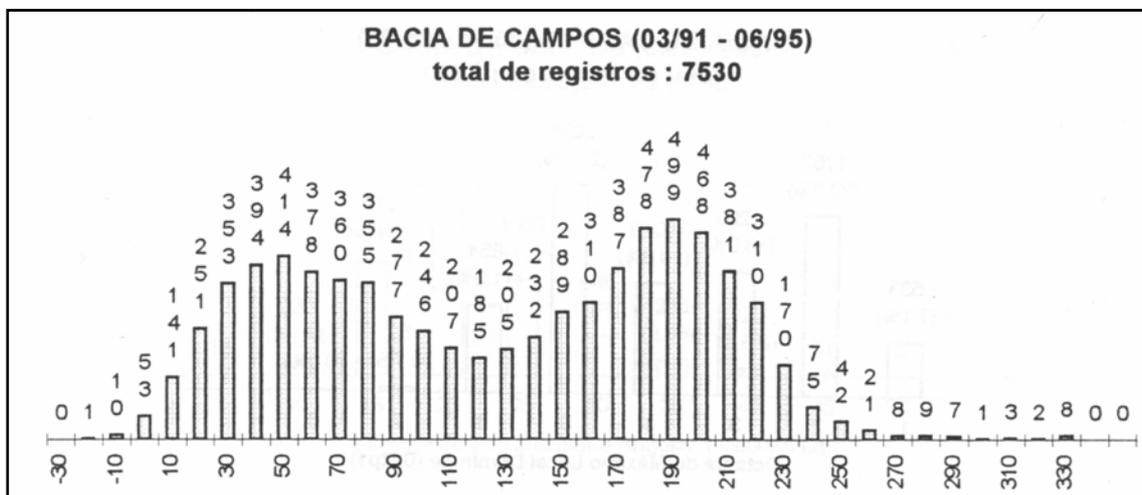


Fonte: Seixas, 1997

Figura 5.1.3-r: Distribuição de altura total de onda.

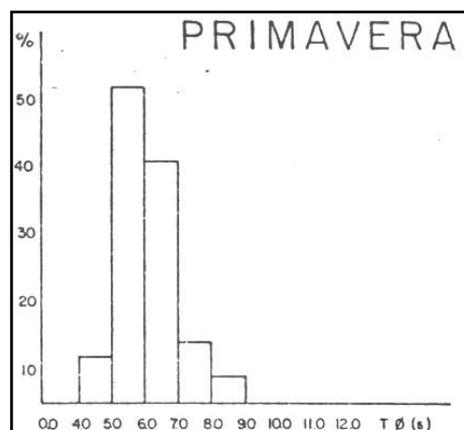
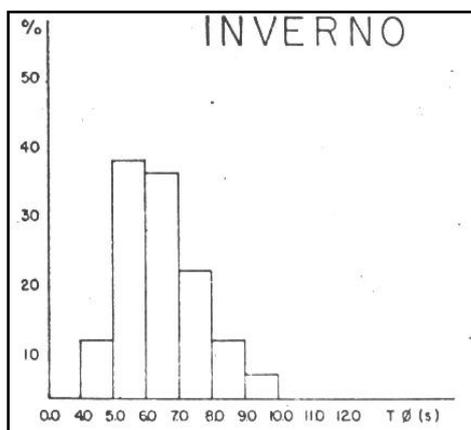
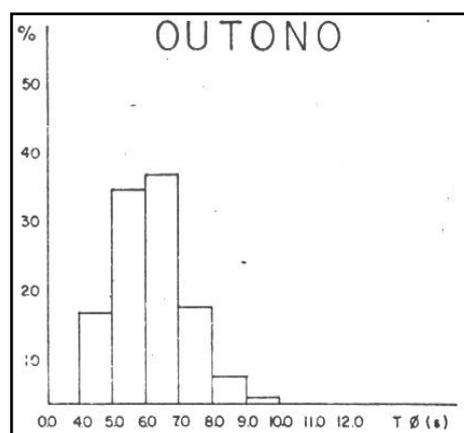
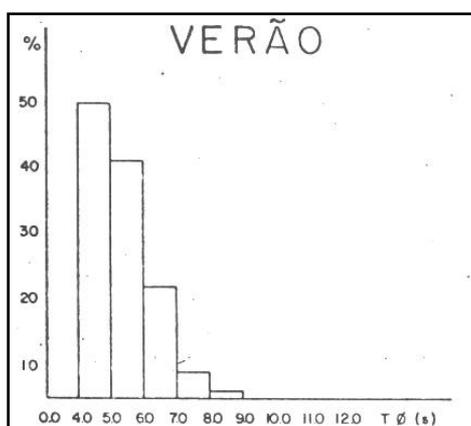
Ondas de Sudeste com grande período, geradas no meio do oceano, são mais freqüentes durante a primavera, enquanto que, principalmente durante o verão, predomina o mar de Nordeste (Souza, 1988.).

Afim de melhor visualizar o regime de ondas, são apresentados, a seguir, quadros com outras informações sobre a região.



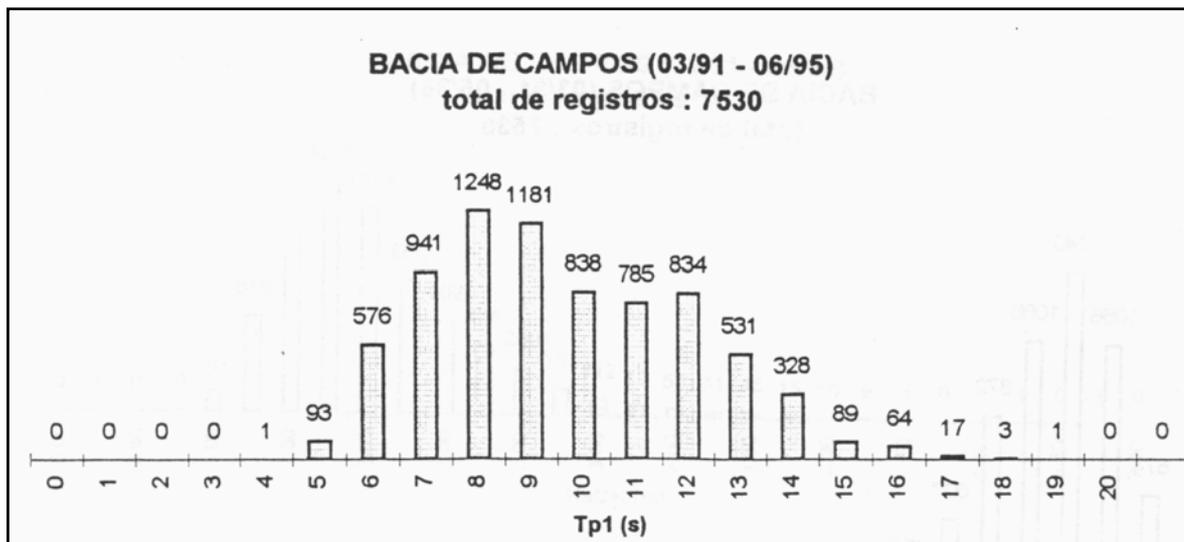
Fonte: Seixas, 1997.

Figura 5.1.3-s: Distribuição de direção do máximo local (graus).



Fonte: Souza, 1988.

Figura 5.1.3-t: Distribuição sazonal de Período ascendente.



Fonte: Seixas, 1997.

Figura 5.1.3-u: Distribuição de Período de pico do máximo local.

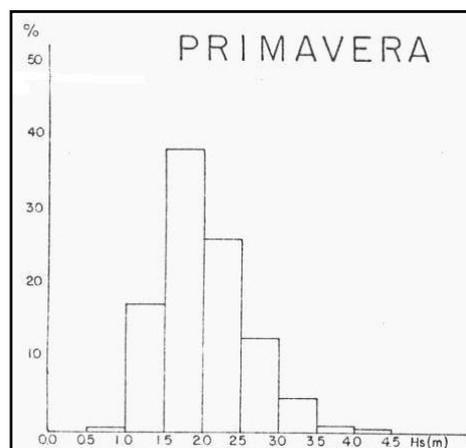
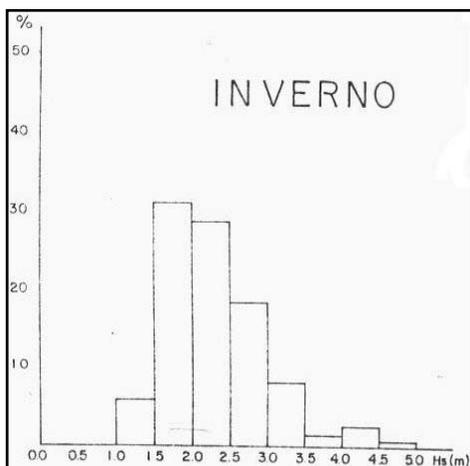
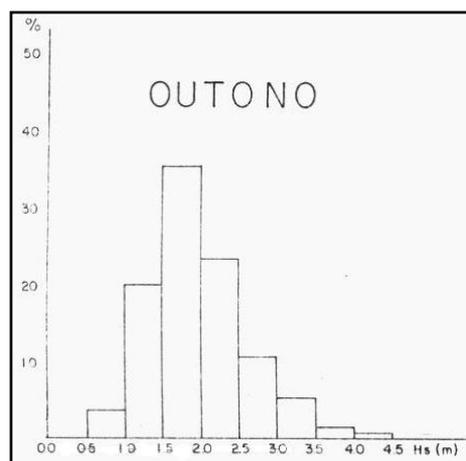
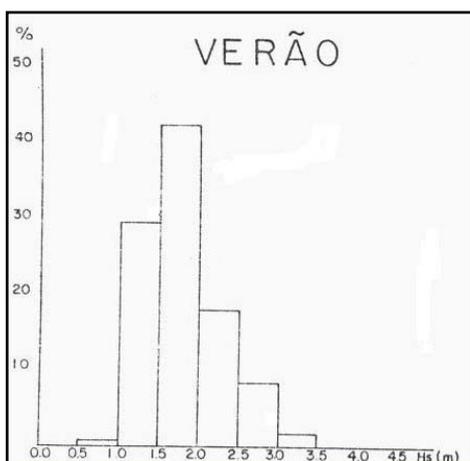


Figura 5.1.3-v: Distribuição de sazonal de Altura Significativa.

Figura 5.1.3-x. Campo de correntes superficiais. Verão e Inverno (em anexo)