

II.5.1.2 - Oceanografia

Serão descritos a seguir os principais aspectos oceanográficos da Bacia de Campos, priorizando a área de influência das atividades de transporte de óleo do empreendimento Complexo PDET, Plataforma Continental interna e externa, abrangendo as massas d'água, parâmetros físicos da água (especialmente temperatura e salinidade), correntes, batimetria, marés e ondas.

Serão apresentados, também, dados oceanográficos obtidos na Bacia de Campos, referentes a Programas de Monitoramento e de Caracterização Ambiental, realizados pela Petrobras, incluindo a área do Complexo PDET.

O Quadro II.5.1.2-1 mostra a fonte e o método de amostragem dos dados obtidos para os principais parâmetros oceanográficos analisados no relatório. Na Figura II.5.1.2-1, aparecem georeferenciadas as estações de coleta dos principais dados oceanográficos com suas respectivas fontes, com exceção de Levitus (1994) que trabalhou com a média de inúmeras estações e diferentes equipamentos de coleta dentro de um quadrado de Mardsen (QMD375/SQMD29).

Quadro II.5.1.2-1 - Métodos de amostragem dos parâmetros oceanográficos analisados.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	PARÂMETRO	AMOSTRAGEM
PETROBRAS/HABTEC, 2002a	Temperatura e Salinidade	CTD
Lima, 1997	Temperatura e Salinidade	CTD SBE-25
PETROBRAS, 2001	Temperatura e Salinidade	CTD Seabird SBE-19
PETROBRAS, 2002a	Temperatura e Salinidade	CTD Seabird SBE-19
Souza, 1988	Ondas	Ondógrafo
Seixas, 1997	Ondas	Bóia direcional do tipo "pitch and roll"
Lima, 1997	Correntes	Correntômetro Aanderaa RCM-7
PETROBRAS/HABTEC, 2002a	Correntes	Correntômetro Sensordata SD-6000
Salles <i>et al.</i> , 2000	Maré	Marégrafo

Figura II.5.1.2-1 - Mapa de estações de coleta de dados georeferenciadas.

(A3)

Figura II.5.1.2-1 - Mapa de estações de coleta de dados georeferenciadas.

(A3)

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 e costeiras sobre a plataforma continental é uma ferramenta de grande valia no estudo da circulação nos oceanos.

As descrições das massas d'água contidas neste item foram obtidas através da análise conjunta das seções de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e salinidade, baseando-se nas características já conhecidas das massas na região (FUNDESPA, 1994). A análise das seções realizadas em cruzeiros oceanográficos do Programa de Monitoramento Oceânico da Bacia de Campos e Cabiúnas (PETROBRAS, 2002a), mostra a ocorrência de estruturas termohalinas típicas, identificadas basicamente pela estratificação vertical em camadas de massas de água com diferentes origens.

A Figura II.5.1.2-2 ilustra a distribuição horizontal da temperatura na superfície do oceano, medida através do equipamento denominado CTD, a partir de um cruzeiro oceanográfico realizado 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 externa, onde estará localizada a PRA-1, para valores superiores a 23°C na região do talude continental.

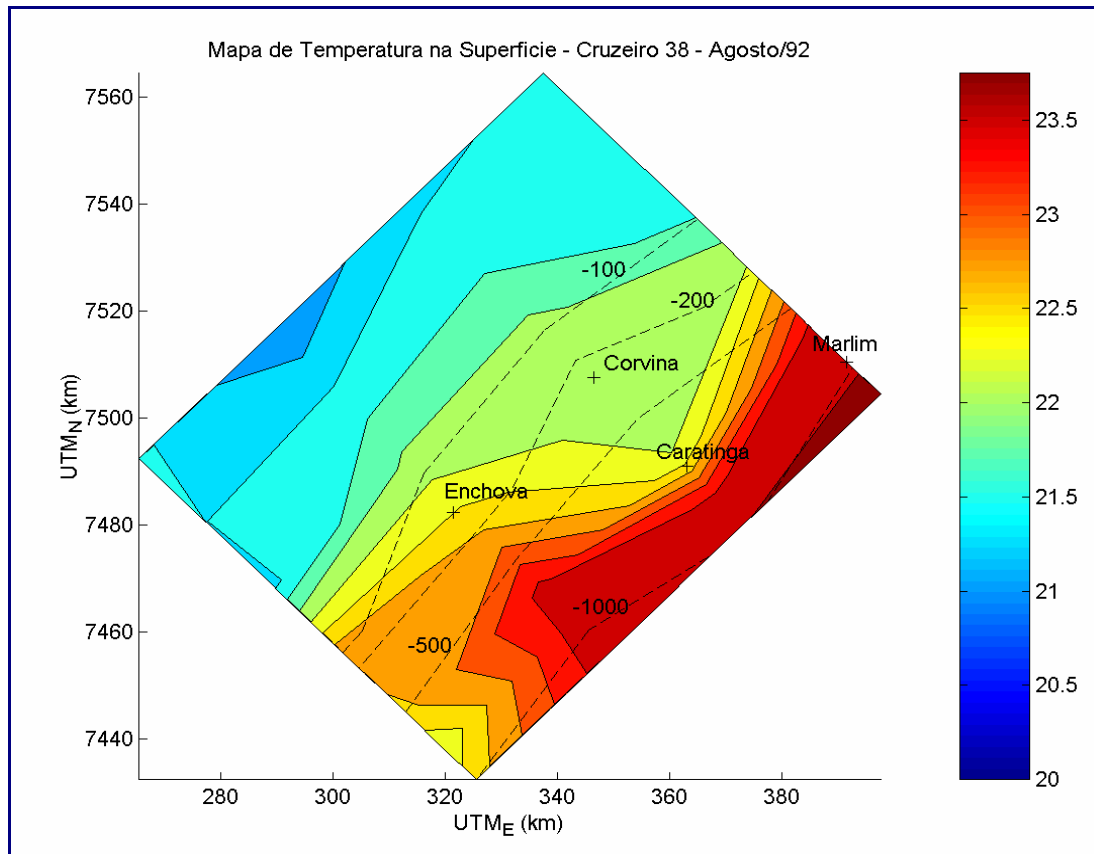


Figura II.5.1.2-2 - Distribuição horizontal do campo de temperatura em região da Bacia de Campos. Fonte: PETROBRAS/CENPES (2002a).

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), FUNDESPA (1994), Schmid *et al.* (1995), Siedler *et al.* (1996) e Lima (1997), e seus trabalhos colaboram para descrever as características das massas d'água da Bacia de Campos. Segundo a bibliografia oceanográfica atual, as águas presentes na plataforma continental, tanto externa quanto interna, da Bacia de Campos são caracterizadas principalmente pela distribuição horizontal e vertical de três tipos de água: Água Costeira (AC), Água Tropical (AT) e Água Central do Atlântico Sul (ACAS). 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 e 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 a sua espessura chegando até 50 m e com características termohalinas bastante variáveis em função da variabilidade sazonal de fatores como aportes fluviais e condições climáticas. A Água Costeira (AC) tem seus limites termohalinos e seu posicionamento na coluna d'água definidos como sendo:

- ⇒ Posicionamento: Da superfície até a profundidade de 50 m
- ⇒ 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, é caracterizada principalmente pelos altos valores de salinidade e temperatura, sendo 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). A AT situa-se acima da Água Central do Atlântico Sul e, por ter como limite superior a superfície do oceano, apresenta relação entre as variações de seus parâmetros termohalinos e as condições climáticas da região onde se encontra. A AT pode ser caracterizada pelos seguintes valores:

- ⇒ Posicionamento: 0 a 170 m (média) de profundidade
- ⇒ Salinidade: > 36,0
- ⇒ Temperatura: > 18 °C

★ *Água Central do Atlântico Sul (ACAS)* – Esta massa se forma por afundamento das águas na região de Convergência Subtropical e normalmente ocupa a termoclina principal da região oceânica adjacente à plataforma continental sendo caracterizada por uma reta no diagrama TS. O fluxo principal da ACAS é na direção norte, no entanto a ACAS circula

com as correntes do Atlântico Sul e Benguela e atinge a costa da América do Sul transportada pela corrente Sul Equatorial, onde se bifurca, fluindo parte rumo ao Equador e outra porção rumo ao sul. Tal dinâmica de circulação é confirmada por autores como Tsuchya (1986), Reid (1989) e Stramma & England (1999) que mostram o movimento da ACAS na direção Sul em latitudes abaixo de 20°S ao largo da costa do sudeste brasileiro (Silveira et al., 2000).

- ⇒ Limite Superior: Posicionamento (média): 170 m de profundidade
- ⇒ Salinidade: 36,0
- ⇒ Temperatura: 18 °C
- ⇒ Limite Inferior: Posicionamento (média): 610 m de profundidade
- ⇒ Salinidade: 34,55
- ⇒ Temperatura: 7,5 °C

★ *Água Intermediária Antártica (AIA)*: Formada por misturas sub-superficiais na região da Convergência Antártica, flui em direção ao norte na região de estudo e é caracterizada por apresentar um núcleo de mínima salinidade no diagrama TS. Seu valor de salinidade máxima corresponde às profundidades limite da AIA entre a ACAS (superior) e a APAN (inferior).

- ⇒ Salinidade Máxima (média): 34,6
- ⇒ Salinidade Mínima (média): 34,35
- ⇒ Limite Superior: Posicionamento (média): 580 m
- ⇒ Temperatura: 8 °C
- ⇒ Limite Inferior: Posicionamento (média): 1100 m
- ⇒ Temperatura: 3,5 °C

★ *Água Profunda do Atlântico Norte (APAN)*: Massa d'água hipersalina 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). Foram assumidas como APAN águas com as seguintes características:

- ⇒ Posicionamento (média): profundidades maiores que 1100 m
- ⇒ Salinidade: > 34,6
- ⇒ Temperatura: < 3,7 °C

Para a região de estudo, de acordo com PETROBRAS (2002a), existem ainda águas características da mistura destas três massas d'águas (AC, AT e ACAS) com limites termohalinos definidos como:

- ★ *Mistura de Água Costeira com Água Tropical (AC/AT):* $36 \leq \text{Sal.} \leq 36,4$ e $\text{Temp.} \geq 20$;
- ★ *Mistura de Água Costeira com Água Central do Atlântico Sul (AC/ACAS):* $\text{Sal.} < 36$ e $18 < \text{Temp.} < 20$;
- ★ *Mistura de Água Tropical com Água Central do Atlântico Sul (AT/ACAS):* $36 \leq \text{Sal.} \leq 36,4$ e $18 < \text{Temp.} < 20$.

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 70 m na região de quebra da plataforma (em profundidade de 200 m) e ainda mais rasa em regiões costeiras, principalmente durante o verão. Este comportamento atípico da ACAS na região causa alterações no posicionamento na coluna d'água das massas d'águas e também da circulação oceânica local.

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 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 para a área do Complexo PDET mostrou um comportamento relacionado com a profundidade máxima do local da estação de coleta (área costeira-rasa ou área oceânica-profunda) e também com as condições meteorológicas locais, principalmente o regime de ventos, que influencia diretamente a hidrodinâmica regional. De acordo com PETROBRAS (2002a), em um estudo na região de Cabiúnas com profundidade de aproximadamente 15 metros, a temperatura apresentou um valor médio de 25,2°C na superfície, com uma amplitude de 1,1°C; e um valor médio de 23,2°C a 15 metros de profundidade com amplitude igual a 5,4°C durante o verão. Durante o inverno, a temperatura apresentou como valor médio para a superfície 22,1°C com amplitude de 0,9°C; e um valor médio de 22,0°C a 15 metros de profundidade com amplitude igual a 1,2°C (Quadro II.5.1.2-2). Pela diferença entre os dados de temperatura da camada superficial (1 metro) e da camada de fundo (15 metros), nota-se que no verão existe uma estratificação na coluna d'água enquanto que no inverno existe uma tendência à homogeneização. Isto pode ser explicado pela maior intensidade de ventos durante o verão provocando uma mistura entre massas d'água (Figuras II.5.1.2-3 e II.5.1.2-4).

Quadro II.5.1.2-2 - Comparação entre a temperatura superficial (1 m) e de fundo (15 m) na região de Cabiúnas (em °C).

	TEMP. SUPERFÍCIE VERÃO	TEMP. FUNDO VERÃO	TEMP. SUPERFÍCIE INVERNO	TEMP. FUNDO INVERNO
Nº DE ESTAÇÕES	20	20	18	18
MÍNIMO	24,6	19,6	21,7	21,7
MÁXIMO	25,7	25,0	22,5	22,8
MÉDIA	25,2	23,2	22,1	22,0
DESVIO PADRÃO	0,2	1,4	0,3	0,4
AMPLITUDE	1,1	5,4	0,9	1,2

Fonte: PETROBRAS (2002a).

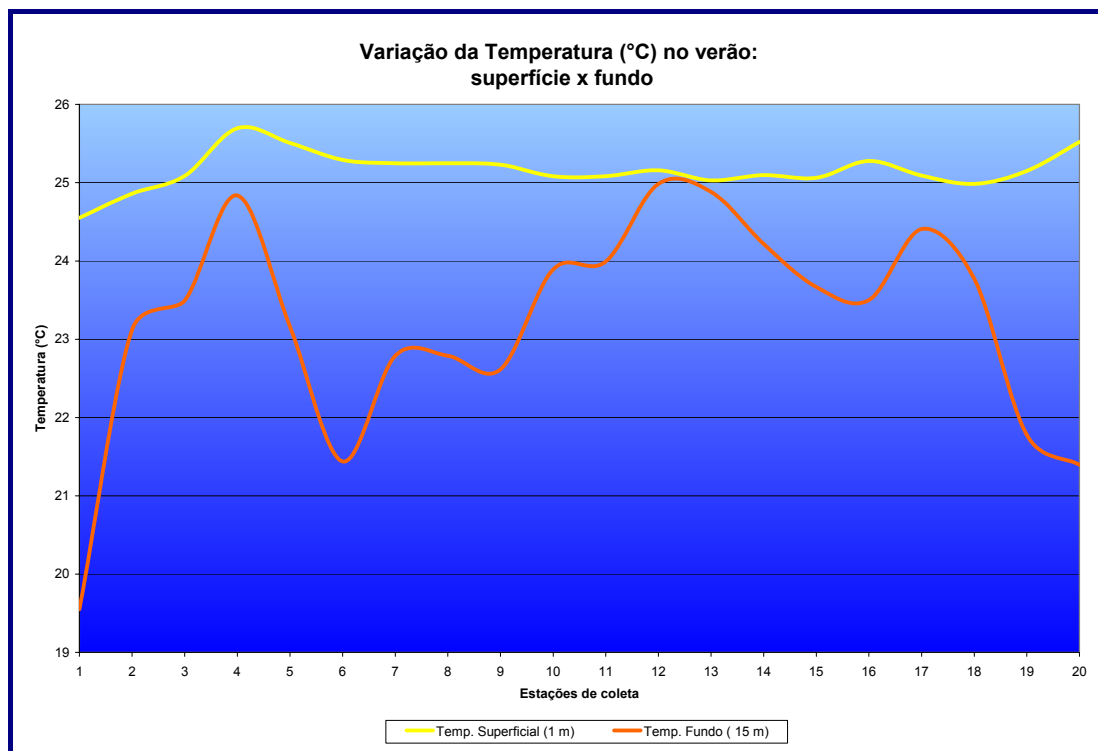


Figura II.5.1.2-3 - Variação da Temperatura (°C) no verão: superfície x fundo.
 Fonte: PETROBRAS (2002a).

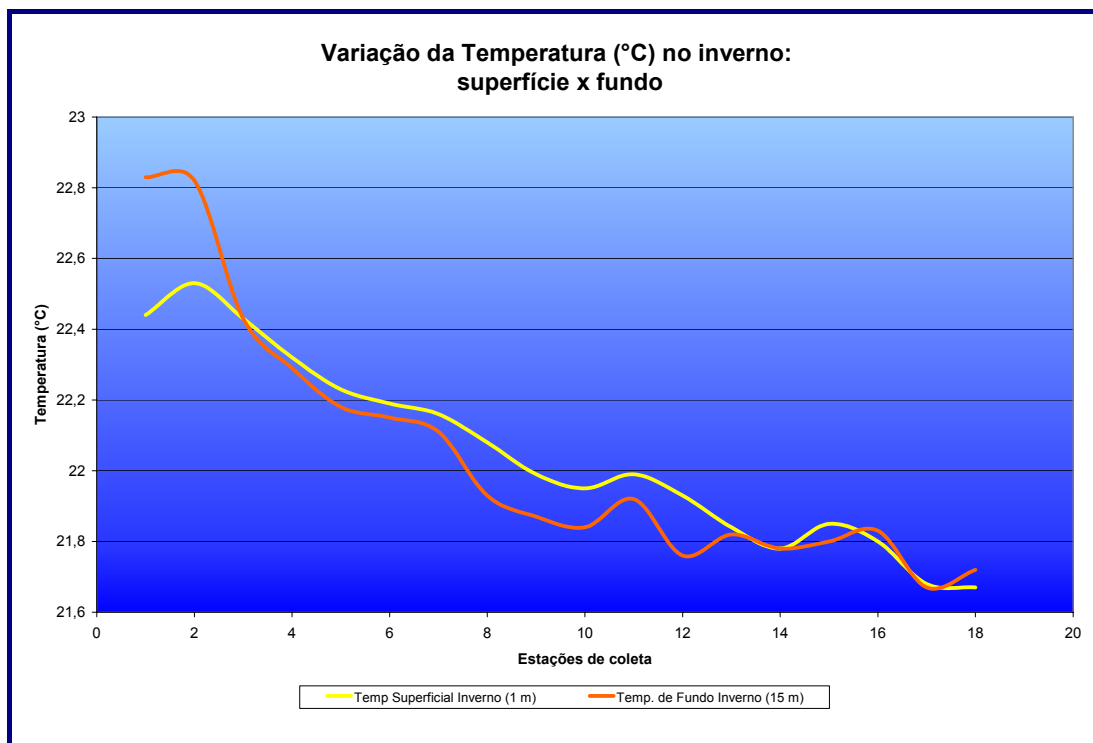


Figura II.5.1.2-4 - Variação da Temperatura (°C) no inverno: superfície x fundo.
 Fonte: PETROBRAS (2002a)

Em uma profundidade de aproximadamente 95 metros, segundo PETROBRAS (2001), o comportamento da temperatura mostrou-se como em águas rasas; mais estratificada no verão e mais homogênea no inverno. Durante o verão, a temperatura apresentou valor máximo de 26,5°C na superfície e um mínimo de 14,1°C aos 93 metros. Durante o inverno, a temperatura superficial atingiu um máximo de 22,9°C e um mínimo de 14,1°C no fundo.

De acordo com dados preliminares obtidos em campanha oceanográfica na Bacia de Campos em Agosto de 2002 pela HABTEC (PETROBRAS/HABTEC, 2002a), a temperatura demonstra um comportamento nítido relacionado à profundidade da estação de coleta (Figura II.5.1.2-5). Foram aquisitados nove perfis com um CTD; sendo três perfis por isóbata (10,60 e 140 metros).

Nota-se que quanto maior a batimetria local, mais homogênea é a camada superficial existindo uma estratificação nas camadas mais profundas. É observado também na Figura II.5.1.2-5 e no Quadro II.5.1.2-3 que a temperatura média para cada isóbata, apresenta uma variação em seus valores de acordo com seu afastamento da costa. Na isóbata de 10 metros a temperatura média na superfície é de 21,7°C e no fundo (10 metros) é de 19,9°C; já na isóbata de 140 metros, a temperatura média na superfície é de 23,9°C e só apresenta uma queda significativa a partir de 50 metros de profundidade. Assim sendo, quanto maior a profundidade local maior a temperatura superficial e menos acentuada é a queda na camada superficial.

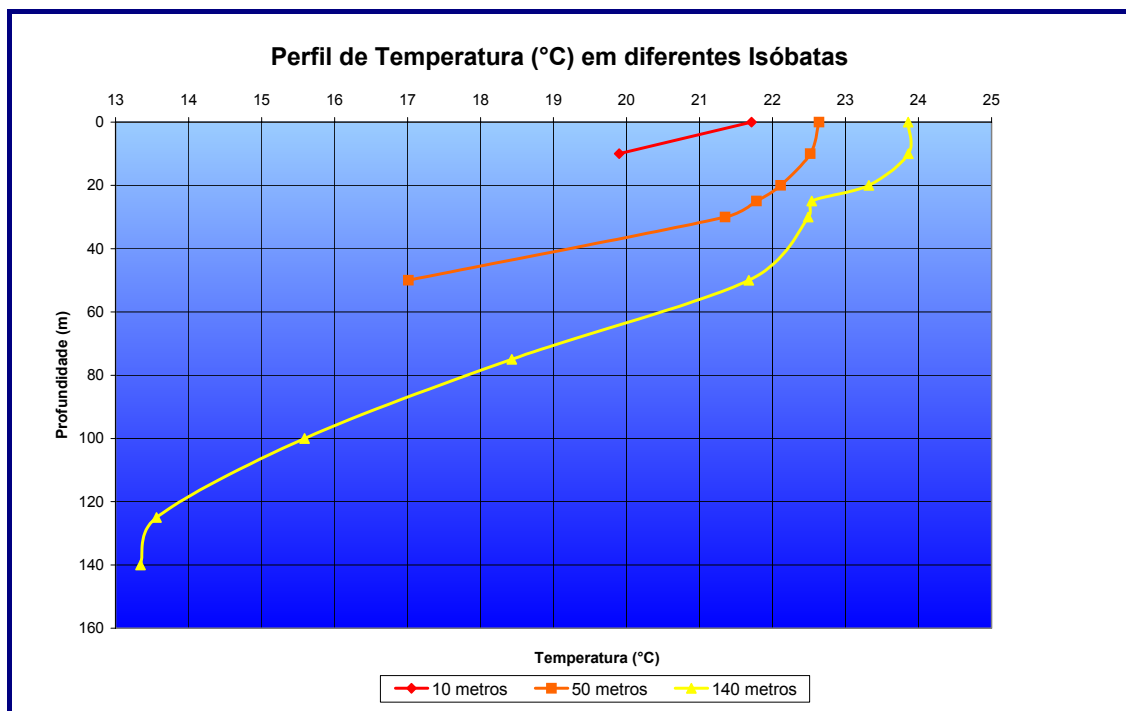


Figura II.5.1.2-5 - Perfis médios de temperatura por isóbata.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2002a).

Na isóbata de 10 metros não foi notada, isoladamente, a presença de uma termoclina definida nos perfis, isto pela pequena profundidade local que facilita o aquecimento / resfriamento (radiação solar) total da coluna d'água, além da dinâmica costeira que favorece a mistura da camada d'água como um todo. Na isóbata de 50 metros a camada de mistura esteve, em média, a 25,8 metros de profundidade enquanto a termoclina foi definida, em média, a 32,5 metros de profundidade. Já na isóbata de 140 metros a camada de mistura esteve, em média, a 32,1 metros de profundidade enquanto a termoclina foi definida, em média, a 36,1 metros de profundidade.

A ressurgência da ACAS na região é muito importante para se entender o comportamento térmico na região. Este fenômeno é mais acentuado no verão quando ocorre uma forte incidência de ventos de NE. Na área de estudo, pelo pequeno grau do gradiente batimétrico, a ACAS penetra acentuadamente pela plataforma continental chegando a atingir as regiões rasas próximas à costa. Considerando apenas a temperatura de limite entre ACAS e AT como sendo de 18° C, na isóbata de 50 metros a ACAS é encontrada a 44,2 metros, em média, e na isóbata de 140 metros a 77,1 metros. Na isóbata de 10 metros não é notada a

presença da ACAS. Sendo os dados preliminares analisados de um período de inverno, pode-se esperar uma maior penetração da ACAS durante o verão.

Quadro II.5.1.2-3 - Valores médios de temperatura para as isóbatas de 10, 50 e 140 metros.

PROF	TEMPERATURA (°C)		
	ISÓBATA DE 10 METROS	ISÓBATA DE 50 METROS	ISÓBATA DE 140 METROS
(m)			
0	21,7	22,6	23,9
-10	19,9	22,5	23,9
-20		22,1	23,3
-25		21,8	22,5
-30		21,4	22,5
-50		17,0	21,7
-75			18,4
-100			15,6
-125			13,6
-140			13,3

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2002a).

O parâmetro temperatura também comprovou a disposição das massas d'água na área, que também poderá ser verificada através da salinidade. Os primeiros 40 metros apresentam uma grande instabilidade possivelmente em função de condições meteorológicas. Entre 150 e 600 metros, o perfil de temperatura mostra-se mais estável, evidenciando as duas profundidades que definem os pontos de interação entre três das massas d'água (AT, ACAS e AIA) existentes na região (Levitus, 1994). Levitus (1994) apresenta perfis de dados até 1000 metros de profundidade não contemplando então a profundidade limite entre AIA e APAN.

Conforme evidenciam as Figuras II.5.1.2-6 a II.5.1.2-9, apresentadas a seguir, os valores variam anualmente de 26,89°C a 22,82°C na superfície; de 8,34°C a 6,69°C, a 600 metros; e de 4,02°C a 3,35°C, a 1000 m.

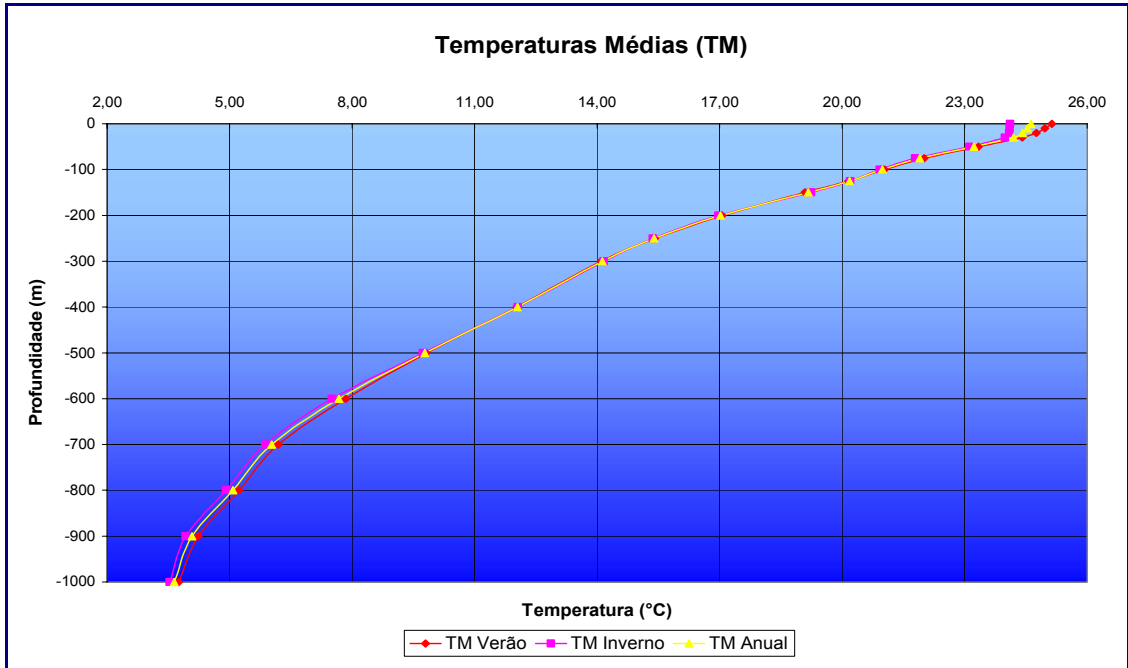


Figura II.5.1.2-6 - Temperaturas médias anuais, de inverno e de verão.
 Fonte: Levitus (1994)

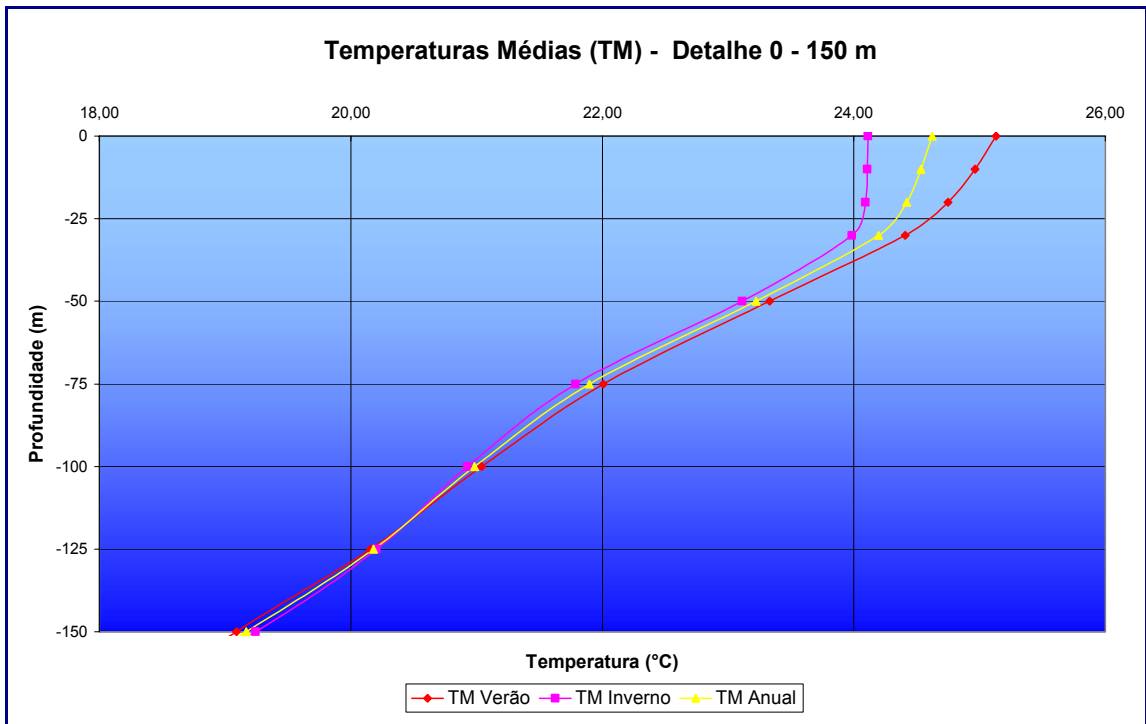


Figura II.5.1.2-7 - Detalhe de 0 a 150 m. Fonte: Levitus (1994)

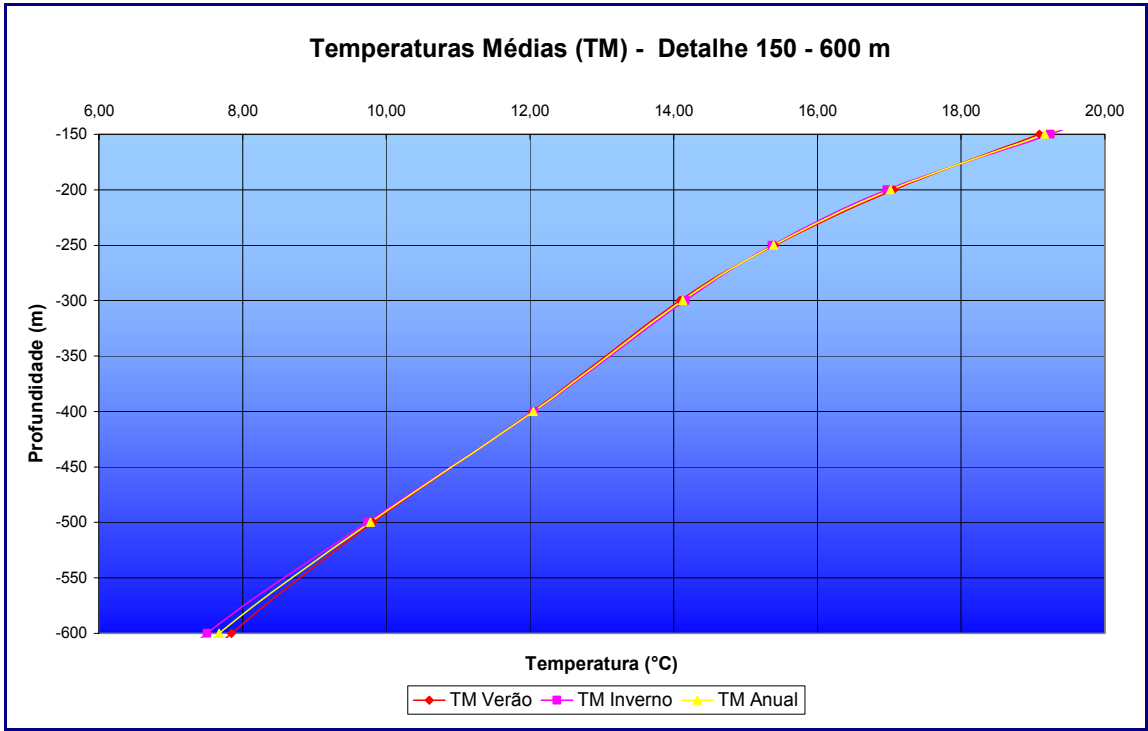


Figura II.5.1.2-8 - Detalhe de 150 a 600 m. Fonte: Levitus (1994)

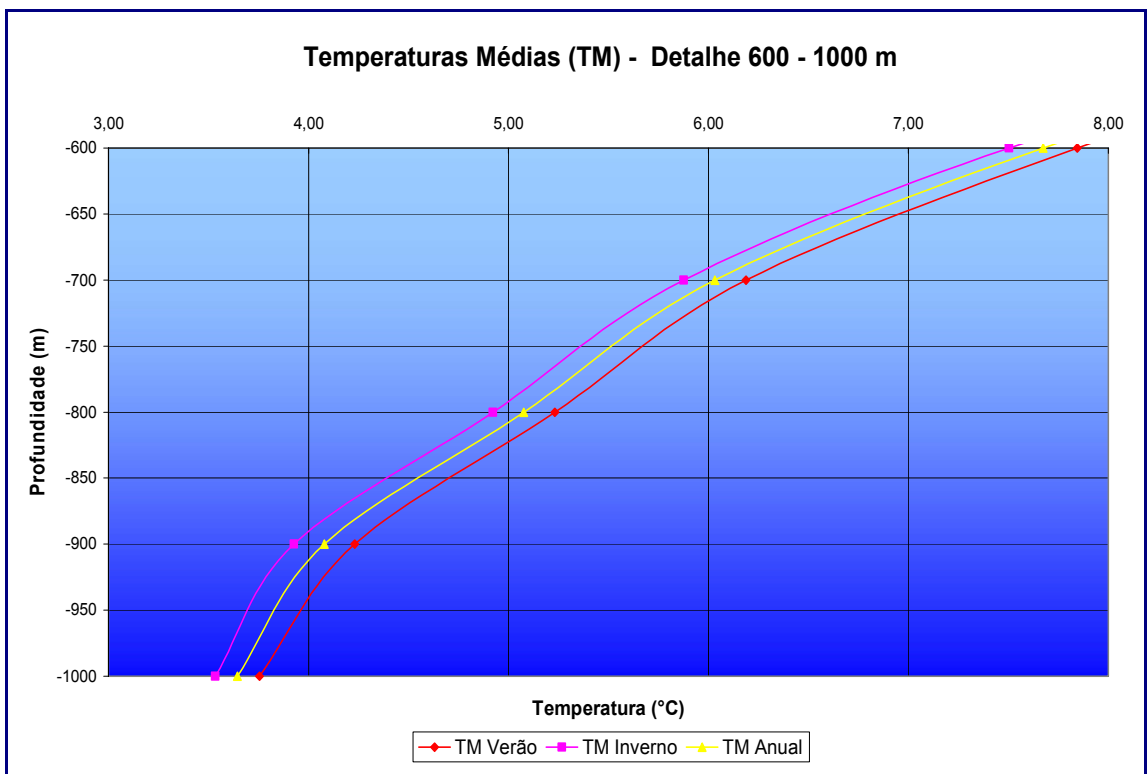


Figura II.5.1.2-9 - Detalhe de 600 a 1000 m. Fonte: Levitus (1994)

No verão, a maior instabilidade é observada nos primeiros 40 metros, com o início da termoclina na faixa dos 50 metros de profundidade. O limite superior da AIA na coluna d'água pode ser localizado na faixa de profundidade entre 580 e 600 metros e o mês de Dezembro apresenta as maiores temperaturas superficiais durante o ano. No inverno, a instabilidade superficial atinge os 40 metros, com o início da termoclina na faixa dos 50 metros mostrando um comportamento parecido com o verão, porém com valores menores. O mês de Agosto apresenta as menores temperaturas superficiais durante o ano. Registros do início da AIA são verificados na faixa de profundidade entre 560 e 580 metros.

De forma conclusiva, a faixa de maior variação 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 550 a 650 metros.

As Figuras II.5.1.2-6 a II.5.1.2-9 demonstram que as maiores diferenças de valores de verão para os de inverno estão na faixa da superfície até 125 metros, seguidas de pequenas variações nos valores do parâmetro na faixa de 600 a 1000 m. A camada intermediária de 150 a 600 metros apresenta-se bem homogênea, sendo um registro da posição e da largura da ACAS.

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 abaixo da camada de mistura.

Os dados médios de temperatura são apresentados a seguir no Quadro II.5.1.2-4.

Quadro II.5.1.2-4 - Valores médios, desvios e amplitudes de temperatura para o QMD 376/SQMD 20.

PROF (m)	TEMPERATURA (°C)								
	MÍNIMA	MÉDIA	DESV PAD	VERÃO	DESV PAD	INVERNO	DESV PAD	MÁXIMA	AMPLITUDE
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**

O parâmetro salinidade, para a área do Complexo PDET, tem significativa importância na definição das massas d'água na região. Por abranger áreas costeiras, fatores meteorológicos e aporte de águas fluviais influenciam diretamente na variação salina da água na região que é fundamental na diferenciação entre AC e AT.

De acordo com PETROBRAS (2002a), em um estudo na região de Cabiúnas com coluna d'água de aproximadamente 15 metros, a salinidade apresentou um valor médio de 35,4 na superfície, com uma amplitude de 1,1; e um valor médio de 35,8 a 15 metros de profundidade com amplitude igual a 0,6 durante o verão. Durante o inverno, a salinidade apresentou como valor médio para a superfície 35,4

com amplitude de 0,5; e um valor médio de 35,5 a 15 metros de profundidade com amplitude igual a 0,5 (Quadro II.5.1.2-5). Pela diferença entre os dados de salinidade da camada superficial (1 metro) e da camada de fundo (15 metros), nota-se que no verão existe uma estratificação na coluna d'água enquanto que no inverno existe uma tendência à homogeneização. Isto pode ser explicado pela maior intensidade de ventos durante o verão provocando uma mistura entre massas d'águas, assim como, pela maior pluviosidade no período (Figuras II.5.1.2-10 e II.5.1.2-11).

Quadro II.5.1.2-5 - Comparação entre a salinidade superficial (1 m) e de fundo (15 m) na região de Cabiúnas.

	SAL. SUP. VERÃO	SAL. FUNDO VERÃO	SAL. SUP. INVERNO	SAL. FUNDO INVERNO
Nº DE ESTAÇÕES	20	20	18	18
MÍNIMO	34,7	35,5	35,2	35,3
MÁXIMO	35,9	36,1	35,7	35,8
MÉDIA	35,4	35,8	35,4	35,5
DP	0,3	0,2	0,3	0,1
AMPLITUDE	1,1	0,6	0,5	0,5

Fonte: PETROBRAS (2002a).

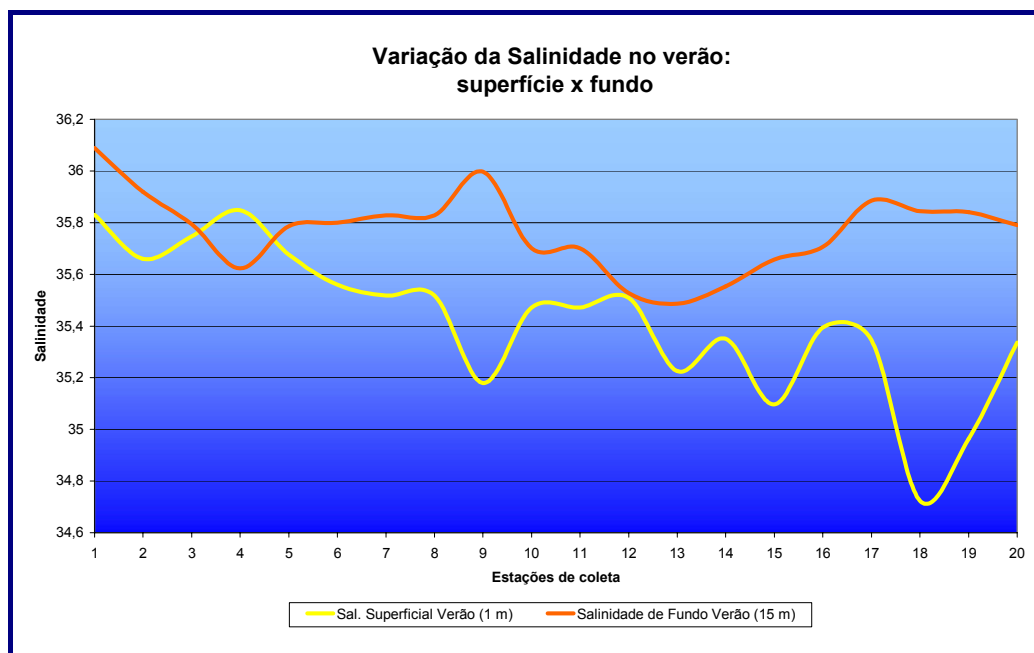


Figura II.5.1.2-10 - Variação da Salinidade no verão: superfície x fundo.

Fonte: PETROBRAS (2002a).

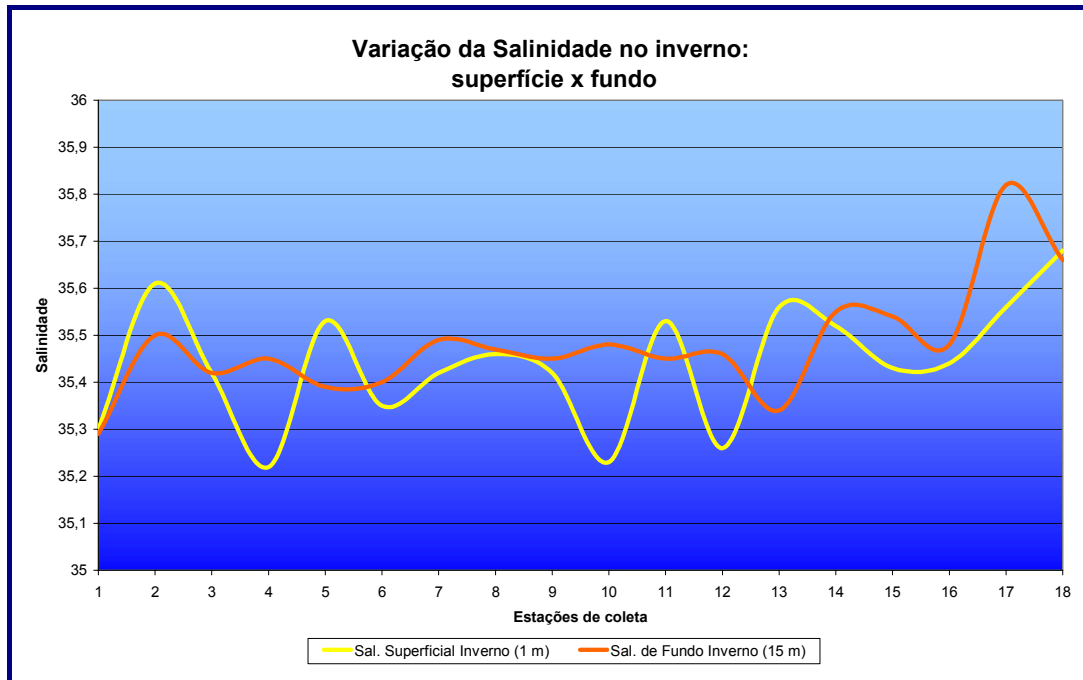


Figura II.5.1.2-11 - Varição da Salinidade no inverno: superfície x fundo.

Fonte: PETROBRAS (2002a).

Em uma coluna d'água de aproximadamente 95 metros, segundo PETROBRAS (2001), o comportamento da salinidade mostrou-se como em águas rasas; mais estratificada no verão e mais homogênea no inverno. Durante o verão, a salinidade apresentou valor máximo de 36,6 na superfície e um mínimo de 35,3 a 95 metros. Durante o inverno, a salinidade superficial atingiu um máximo de 36,8 e um mínimo de 35,3 no fundo.

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

A maior instabilidade ao longo da coluna d'água é observada até a profundidade de 200 m, podendo este limite ser atribuído à profundidade de interação da AT com a ACAS. O registro da ACAS estende-se até cerca de 600 metros. Abaixo desta profundidade observa-se grande estabilidade entre os perfis de salinidade média anual, de verão e de inverno, encontrados na faixa de 600 a 1000 m. Nesta região fica sob o domínio da AIA que apresentou seu núcleo localizado na profundidade de 900 metros. As Figuras II.5.1.2-12 a II.5.1.2-15, a

seguir, apresentam o comportamento deste parâmetro, enfocando a grande estabilidade, com pequena variação anual, da faixa intermediária que vai dos 150 aos 600 metros.

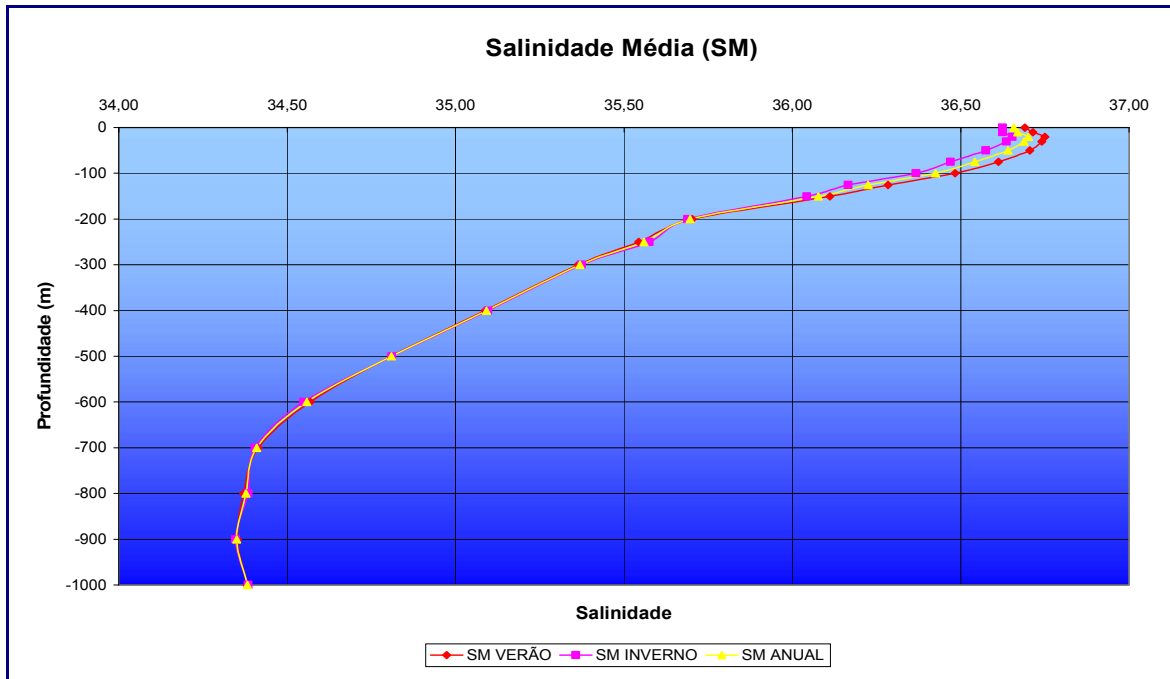


Figura II.5.1.2-12 - Salinidades médias anuais, de inverno e de verão. Fonte: Levitus (1994)

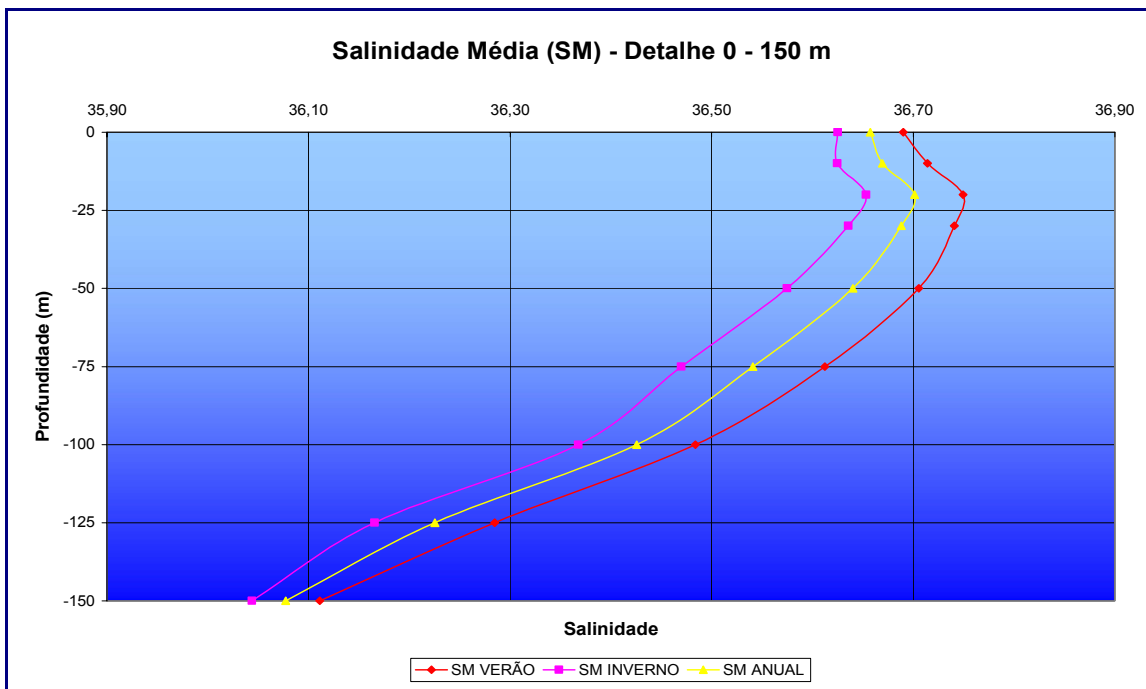


Figura II.5.1.2-13 - Detalhe de 0 a 150 m. Fonte: Levitus (1994).

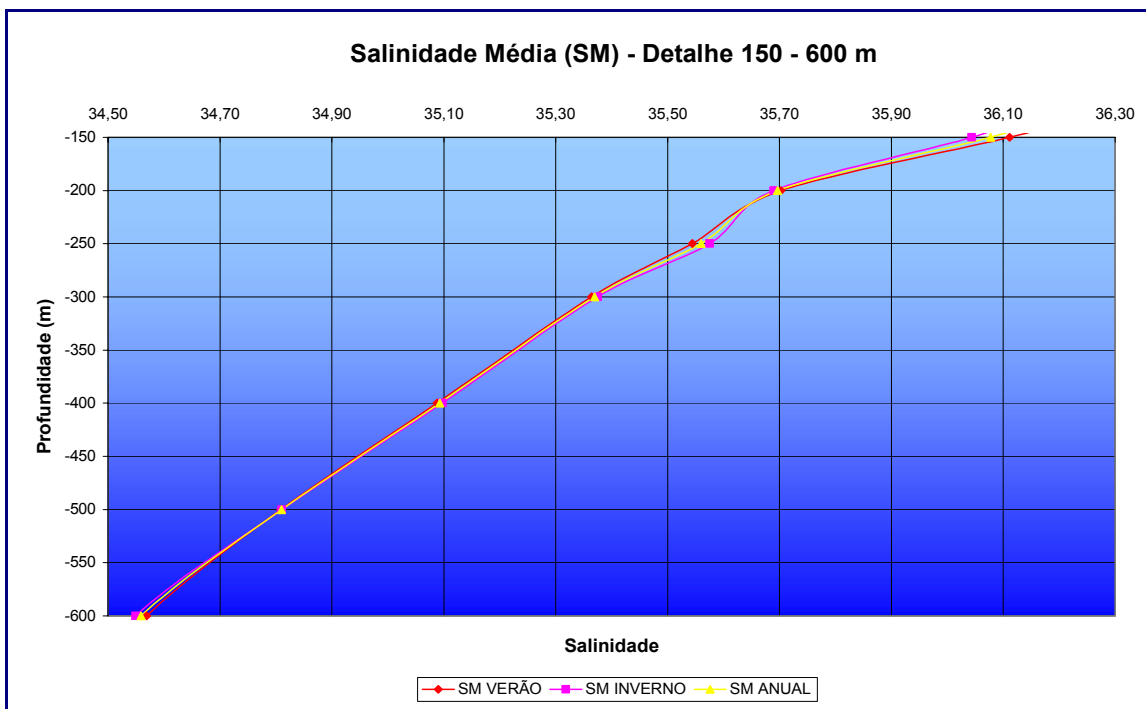


Figura II.5.1.2-14 - Detalhe de 150 a 600 m. Fonte: Levitus (1994).

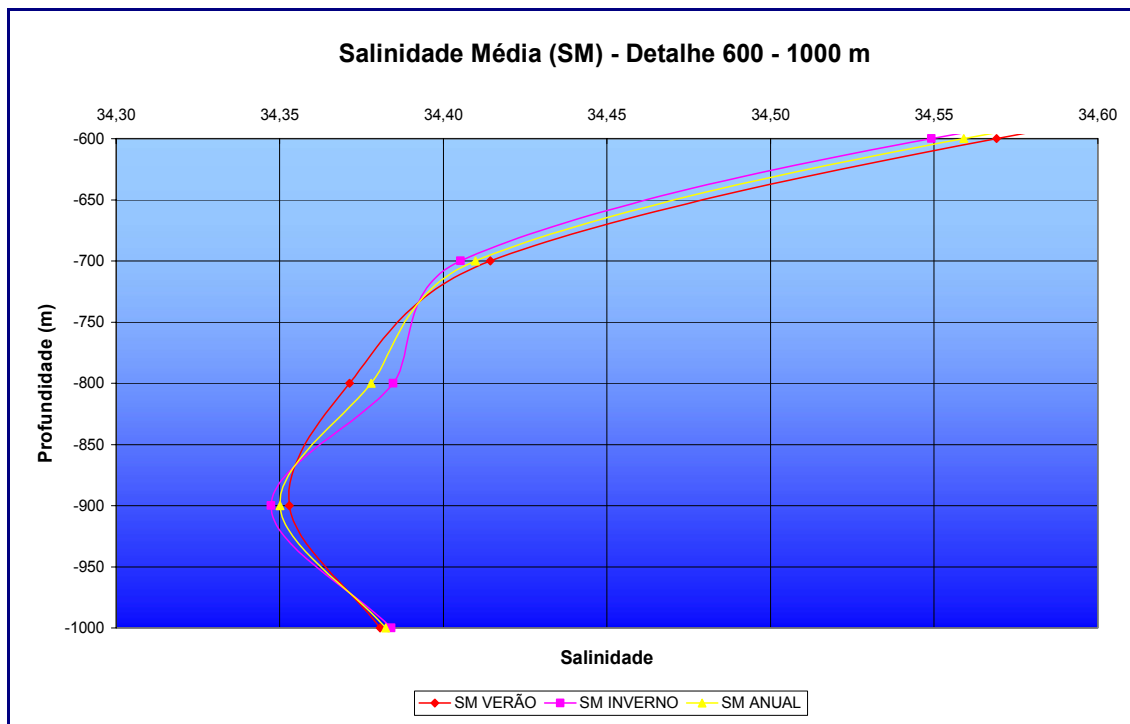


Figura II.5.1.2-15 - Detalhe de 600 a 1000 m. Fonte: Levitus (1994).

Os dados médios de salinidade são apresentados a seguir no Quadro II.5.1.2-6.

Quadro II.5.1.2-6 - Valores médios, desvios e amplitudes de salinidade para o QMD 376/SQMD 20.

PROF (m)	SALINIDADE								
	MÍNIMA	MÉDIA	DESV PAD	VERÃO	DESV PAD	INVERNO	DESV PAD	MÁXIMA	AMPLITUDE
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

(continua)

Quadro II.5.1.2-6 (conclusão).

PROF (m)	SALINIDADE								
	MÍNIMA	MÉDIA	DESV PAD	VERÃO	DESV PAD	INVERNO	DESV PAD	MÁXIMA	AMPLITUDE
-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 Figura II.5.1.2-16 ilustra perfis de temperatura (em graus Centígrados), de salinidade e de densidade (em kg/m^3), medidos em cruzeiros oceanográficos realizados em intervalos regulares de dois meses entre Maio de 1994 e Maio de 1995 em um local com coluna 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.

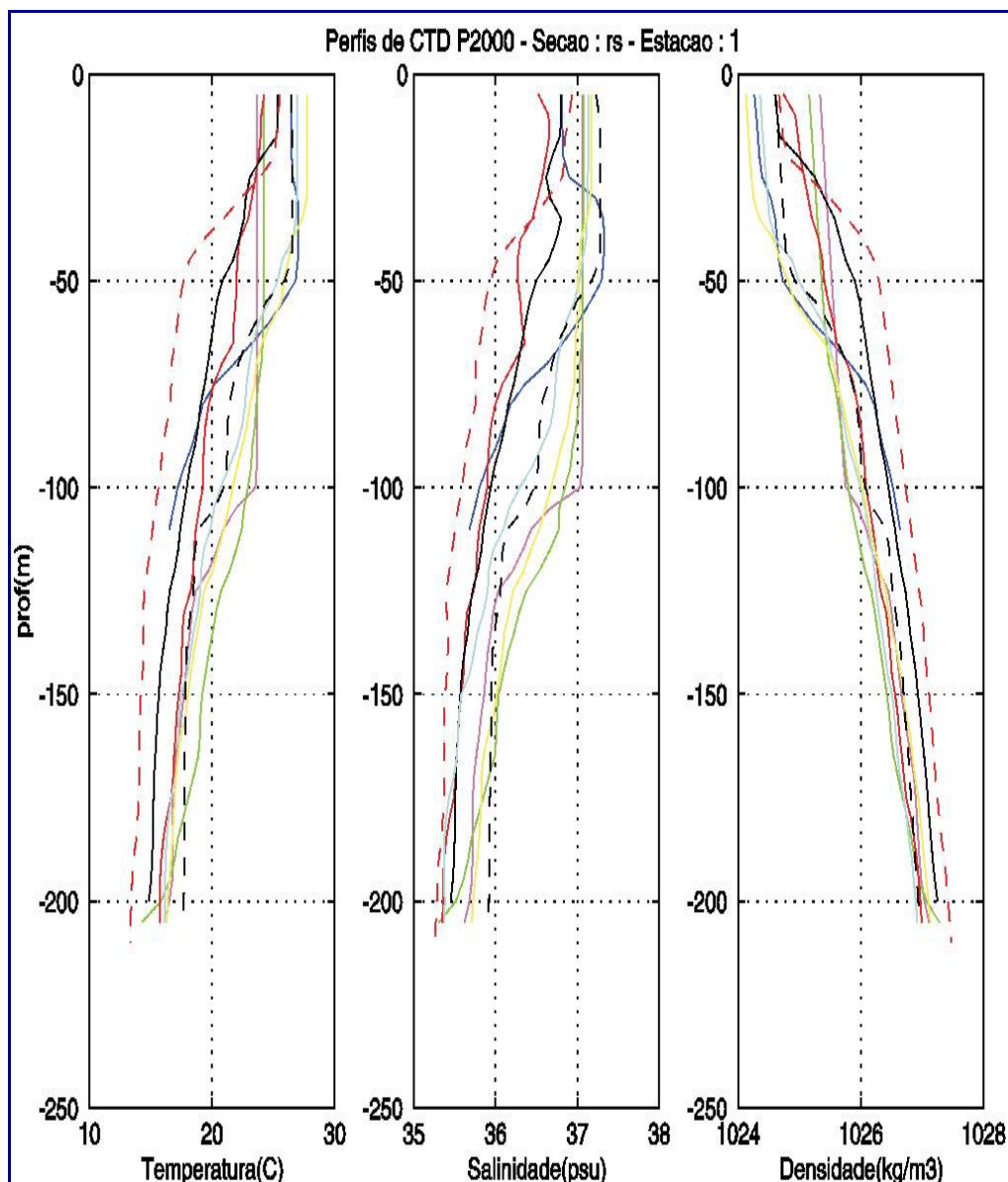


Figura II.5.1.2-16 - Perfis medidos de temperatura, salinidade e densidade da água do mar em uma coluna d'água de 206 metros na Bacia de Campos. Fonte: PETROBRAS/CENPES (2002a).

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 II.5.1.2-16.

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 II.5.1.2-16).

Com o advento do outono, a alteração nas características das condições meteorológicas, com as passagens mais freqüentes de frentes frias, causa 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 II.5.1.2-16). A partir daí, a estabilização das condições dinâmicas retornam ao perfil característico mais constante de inverno.

- *Diagrama T-S*

O diagrama TS é uma ferramenta que possibilita uma melhor compreensão dos processos de formação, propagação e mistura das diferentes massas d'água,

mostrando a variação da combinação dos parâmetros, salinidade e temperatura, na coluna d'água.

A seguir é apresentada a Figura II.5.1.2-17, que mostra o diagrama T-S para os dados coletados por Lima (1997) em perfisagens de CTD em pontos ao norte e ao sul da Bacia de Campos, sobre as isóbatas de 200 m, 1000 m e 2000 m. O diagrama TS (Figura II.5.1.2-17) representa uma situação média para toda a Bacia de Campos mostrando inclusive as massas d'água profundas como a AIA e a APAN (TW – Água Tropical [AT], SACW – Água Central do Atlântico Sul [ACAS], AAIW – Água Intermediária Antártica [AIA] e NADW – Água Profunda do Atlântico Norte [APAN]).

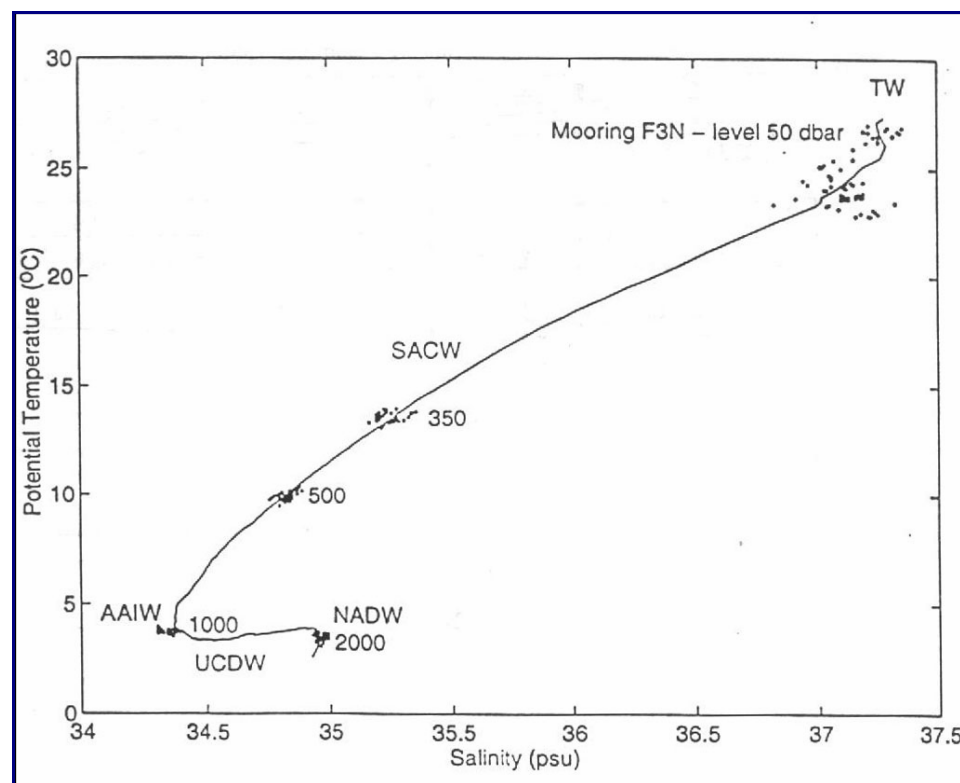


Figura II.5.1.2-17 - Diagrama TS para a Bacia de Campos. Fonte: Lima (1997).

c) Correntes

A dinâmica da circulação ao largo da costa SE brasileira, é determinada pelo fluxo das massas d'água (AC, AT, ACAS, AIA e APAN) encontradas na região e também influenciada pela batimetria local. A Corrente do Brasil (CB) é a principal

corrente que caracteriza a circulação superficial da costa SE brasileira e o seu comportamento tem grande influência na dinâmica da região.

Antes de chegar à Bacia de Campos, 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, 1978). O núcleo da CB possui grande variabilidade sazonal, afastando-se para o largo durante o verão (Paviglione & Miranda, 1985) e estando junto à borda durante o inverno (Moreira, 1997), embora acompanhe o formato da costa durante praticamente o ano todo (Lima, 1997). A CB possui espessura de 400-700 m ao largo do sudeste-sul brasileiro (Calado, 2001) e sua largura média é de aproximadamente 90 km (Moreira, 1997).

Em larga escala, a direção e intensidade das correntes na Bacia de Campos são explicadas pelo padrão de circulação no Oceano Atlântico Sudoeste em diferentes profundidades na coluna d'água, conforme mostram as Figuras II.5.1.2-18, II.5.1.2-19 e II.5.1.2-20 a seguir.

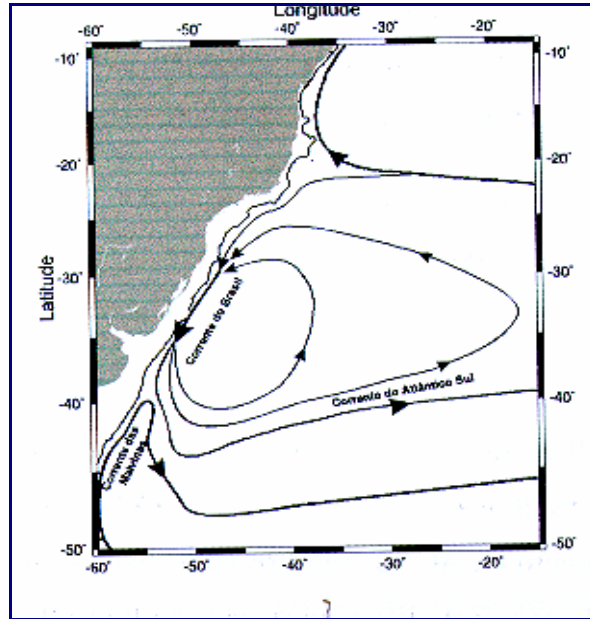


Figura II.5.1.2-18 - Representação esquemática da circulação no Oceano Atlântico Sudoeste ao nível de 250 metros.

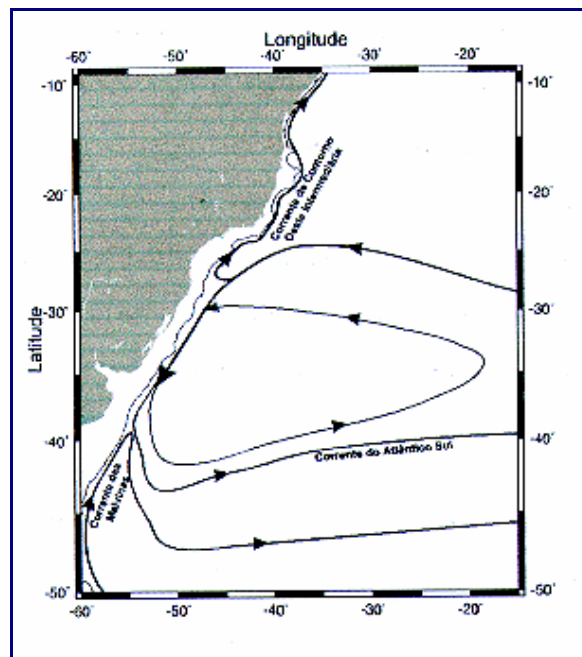


Figura II.5.1.2-19 - Representação esquemática da circulação no Oceano Atlântico Sudoeste ao nível de 800 metros.

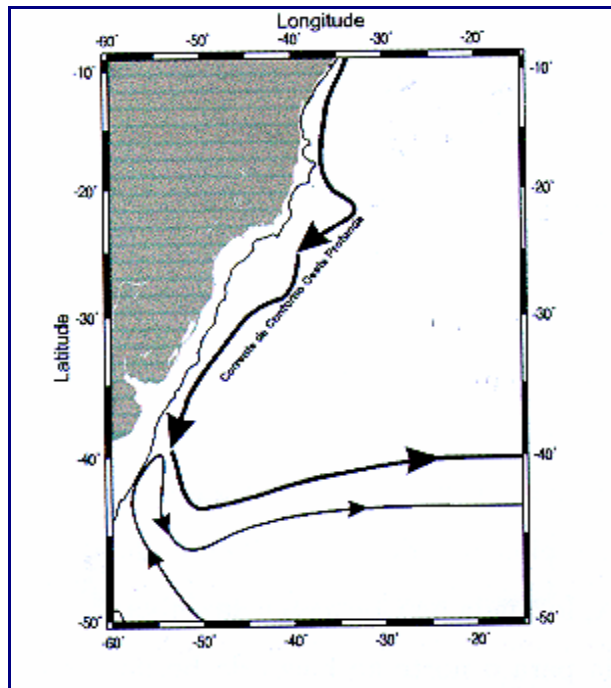


Figura II.5.1.2-20 - Representação esquemática da circulação no Oceano Atlântico Sudoeste ao nível de 2000 metros. Fonte: Silveira *et al.* (2000).

Nos primeiros 100 metros da coluna d'água, a CB flui para Sul na Bacia de Campos, isto após ter tido origem na bifurcação da Corrente Sul Equatorial (CSE) em torno de 12°S. Na Figura II.5.1.2-18 nota-se que a partir do Cabo de São Tomé (22°S) a ACAS flui para sul ao largo da costa brasileira, considerando-se então a CB sendo formada por AT e ACAS na costa sudeste brasileira (Calado, 2001). Na Figura II.5.1.2-19, na profundidade de 800 metros, observa-se uma bifurcação no fluxo da AIA na altura de 25°S, que a partir daí flui para Norte acompanhando a quebra da plataforma continental chegando à Bacia de Campos como uma Corrente de Contorno Oeste Intermediária (CCI) (Calado, 2001). Na Figura II.5.1.2-20 nota-se uma Corrente de Contorno Oeste Profunda na profundidade de 2000 metros, definida na APAN que se apresenta como um fluxo organizado fluindo para Sul.

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. As primeiras medições diretas da CB foram feitas por Evans & Signorini (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, o sentido da corrente é de 180°S, variando para 220°SW na região de Cabo Frio. Isto é coerente com a variação da linha de costa (e das isóbatas). Esta mudança de direção da linha de costa afeta significativamente a Corrente do Brasil, induzindo a formação de vórtices e meandros inclusive ao Norte de Cabo Frio dentro da Bacia de Campos (Silveira & Lima, 2001 *apud* Calado, 2001). Imagens AVHRR (Figura II.5.1.2-21), usadas por Garfield (1990), Silveira *et al.* (2000), Calado (2001) e por outros autores, 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). Signorini (1978) identificou um vórtice ciclônico entre Cabo Frio e Cabo de São Tomé com 100 km de raio e extensão vertical de aproximadamente 500 metros (Figura II.5.1.2-22).

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). A estimativa de transporte de volume e velocidade máxima da CB feita por diversos autores está apresentada no Quadro II.5.1.2-7.

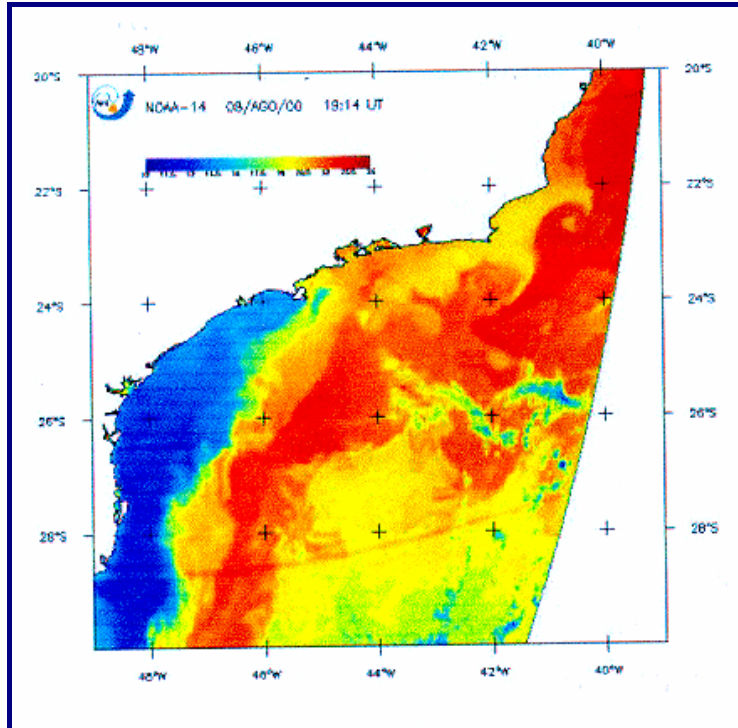


Figura II.5.1.2-21 - Imagem AVHRR da região sudeste do Brasil englobando a Bacia de Campos. As águas quentes, em vermelho, são características da Corrente do Brasil e as ondulações configuram meandros. Fonte: Silveira & Lima (2001) apud Calado (2001).

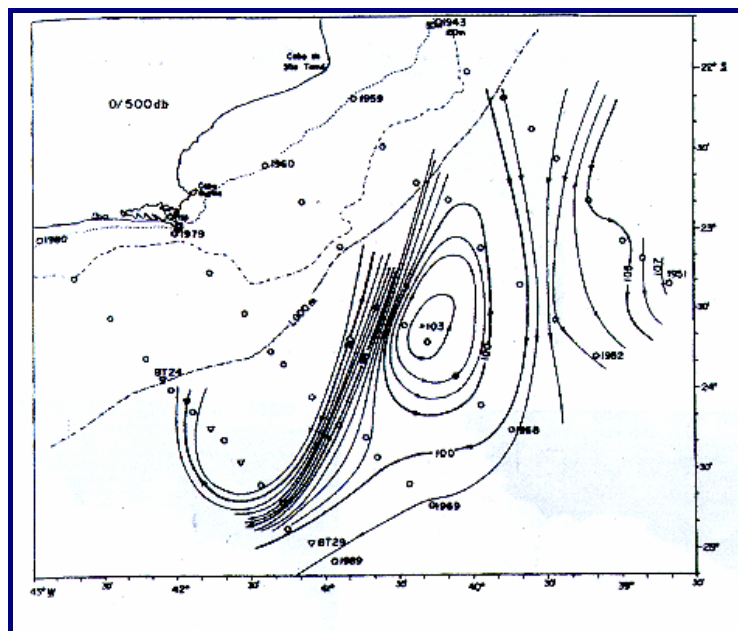


Figura II.5.1.2-22 - Vórtice ciclônico encontrado entre Cabo Frio e Cabo de São Tomé. Fonte: Signorini (1977) apud Calado (2001).

Quadro II.5.1.2-7 - Estimativa de transporte de volume e velocidade máxima da CB.

LATITUDE (SUL)	PROFUNDIDADE DE REFERÊNCIA (M)	TRANSPORTE DE VOLUME (SV)	VELOCIDADE MÁXIMA (M/S)	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA
20° 28' S	500/1000	3,8/6,8	0,52	Evans <i>et al.</i> [1983]
22° S	500/1300	5,2	0,19	Signorini [1978]
22° S	Corrêntometro	2,4/8,1	-	Lima [1997]
23° S	500/1300	4,4	0,52	Signorini [1978]
23° S	550	2,2/2,7	0,49	Miranda & Castro [1979]
23° S	Pegasus	11	0,50	Evans & Signorini [1985]
23° S	Pegasus	6	0,70	Garfield [1990]
23° S	600/1300	10,1/10,9	-	Stramma [1989]
24° 30' S	1300	7,5	0,25	Fisher [1963]
24° 30' S	500/1300	14,0	0,62	Signorini [1978]
24° 30' S	500/1000	4,1/7,8	0,31	Evans <i>et al.</i> [1983]
25° 30' S	750	7,3	0,60	Campos <i>et al.</i> [1985]

Fonte: Calado (2001)

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. Isto se deve ao fato deste fluxo para norte apresentar uma tendência de confinamento pela topografia, acelerado pela batimetria nesta área.

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 (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 0,3 a 0,5 m/s. Nos primeiros 100 metros da coluna d'água, a velocidade da corrente pode chegar a 1 m/s (Castro & Miranda, 1999).

Esta sazonalidade no comportamento da Corrente do Brasil gera diferentes campos de correntes na região da Bacia de Campos, um para o inverno e outro para o verão, calculados para a modelagem da dispersão de óleo em um potencial acidente (Figura II.5.1.2-23).

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 & Miranda, 1999).

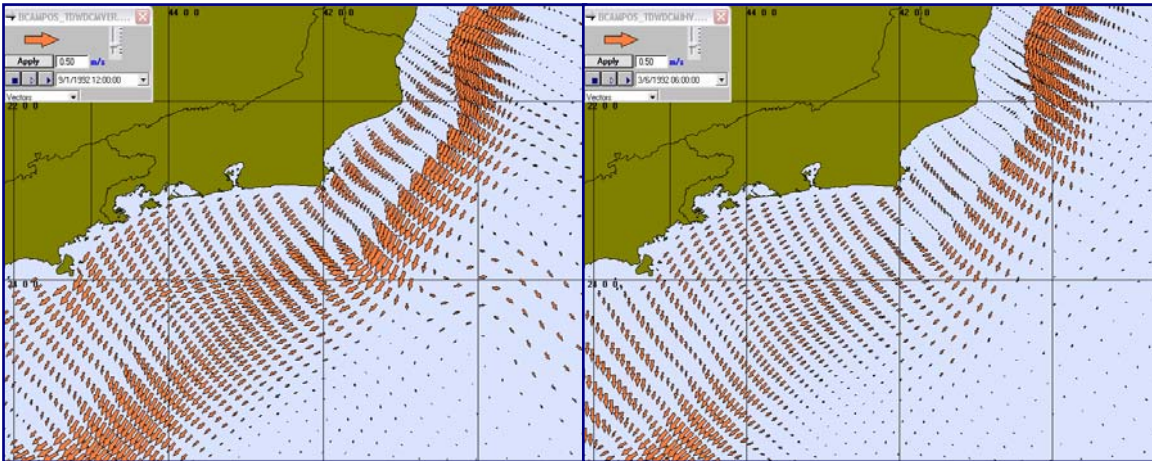
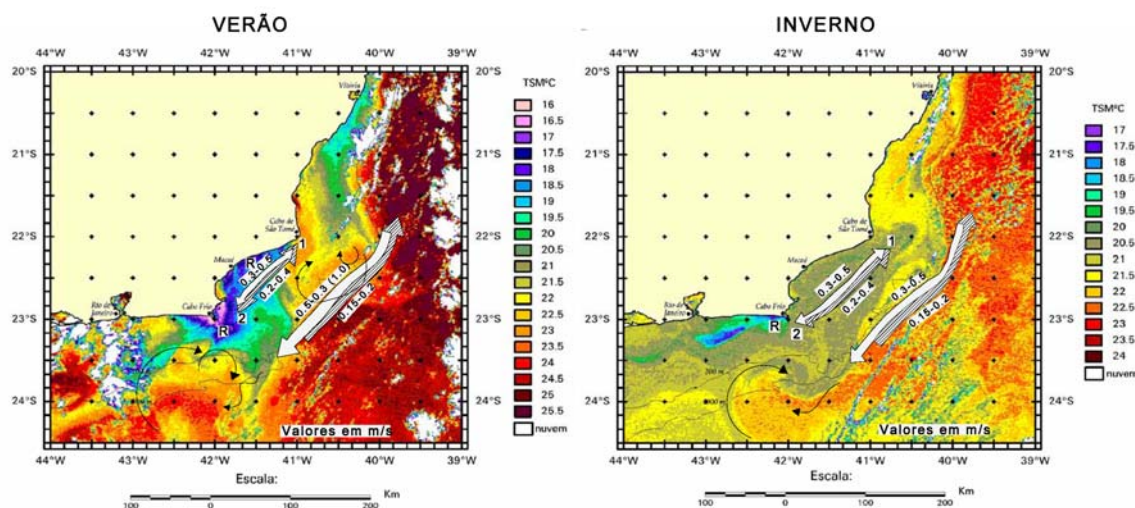


Figura II.5.1.2-23 - Exemplos ilustrativos de campos de velocidades obtidos com os modelos hidrodinâmicos para verão (esquerda) e inverno (direita) no ano de 1992. Fonte: ASA (2003).

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 às proximidades do Cabo de São Tomé, mais ao norte (Figura II.5.1.2-24).



Fonte: OceanSat e HABTEC

Legenda:

- Correntes de superfície
- Correntes de fundo
- Área de vórtices (ciclônicos)
- Meandramento

- 1 - Associado a ventos de SW (frentes frias)
- 2 - Associado a ventos de NE (tempo bom)
- R - Pontos de ressurgência intensa com Ventos de NE

Figura II.5.1.2-24 - Representação de forma esquemática do campo de correntes superficiais e de fundo na região da Bacia de Campos para as condições de inverno e verão. Fonte: HABTEC (2001).

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 & Carnes, 1983; Hill & Bowen, 1983 *apud* Lima, 1997). Mahiques *et al.* (2002) confirma que a taxa de sedimentação na região da Bacia de Campos é controlada pela morfologia da plataforma e do talude superior, pela movimentação da Água Costeira e pela dinâmica de meandramentos e conseqüente formação de vórtices na Corrente do Brasil.

Bastos & Silva (2000) descrevem o transporte litorâneo entre Barra do Furado e Cabo de São Tomé como sendo preferencialmente na direção norte.

No estudo de caracterização ambiental realizado pela HABTEC em Agosto de 2002, na área de influência do empreendimento Complexo PDET, foram

realizadas três estações oceanográficas, em isóbatas diferentes, para se medir a velocidade e direção das correntes locais (Quadro II.5.1.2-8).

Quadro II.5.1.2-8 - Estações de coleta para medição de correntes durante a Campanha de Caracterização Ambiental da área do Sistema de Rebombeio e Escoamento.

PONTO	DATA	HORA	LATITUDE (°S)	LONGITUDE (°W)	PROFUNDIDADE MÁXIMA DA ESTAÇÃO DE COLETA (m)
P1	26/08/02	23:51	22°08'07,10"	41°09'44,82"	6
P12	27/08/02	22:32	22°09'03,11"	40°24'49,06"	65
P16	28/08/02	20:09	22°24'34,14"	40°22'21,89"	140

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2002a).

Os gráficos de velocidade e direção das correntes feitos para cada ponto de coleta mostraram uma variação destes parâmetros em relação à profundidade de coleta, com exceção da estação P1 em função da pequena profundidade. Esta variação de direção e velocidade nas diferentes profundidades é explicada pelo regime dos ventos e conseqüentemente a ressurgência da ACAS. A batimetria da região, onde ocorrem alterações na direção da linha de costa e o gradiente batimétrico sobre a plataforma continental é pequeno, também têm influência sobre as correntes favorecendo, por exemplo, uma maior penetração da ACAS sobre a plataforma continental.

Na estação P1, foram observados os maiores valores de velocidade dentre as estações de coleta. As altas velocidades da corrente na superfície (1 metro) com 48,4 cm/s e no fundo (6 metros) com 34,3 cm/s, podem ser explicadas pela ação dos ventos, que é mais intensa próximo à costa com transferência desta energia para a superfície do mar (Figura II.5.1.2-25). Pela pouca profundidade da estação associada aos fortes ventos costeiros, a velocidade da corrente se mantém alta até o fundo, mostrando uma homogeneização de toda a coluna d'água. A direção da corrente no P1, apresentou sentido Sul tanto na superfície quanto no fundo, também em função da pouca profundidade e da homogeneidade da coluna d'água (Figura II.5.1.2-25).

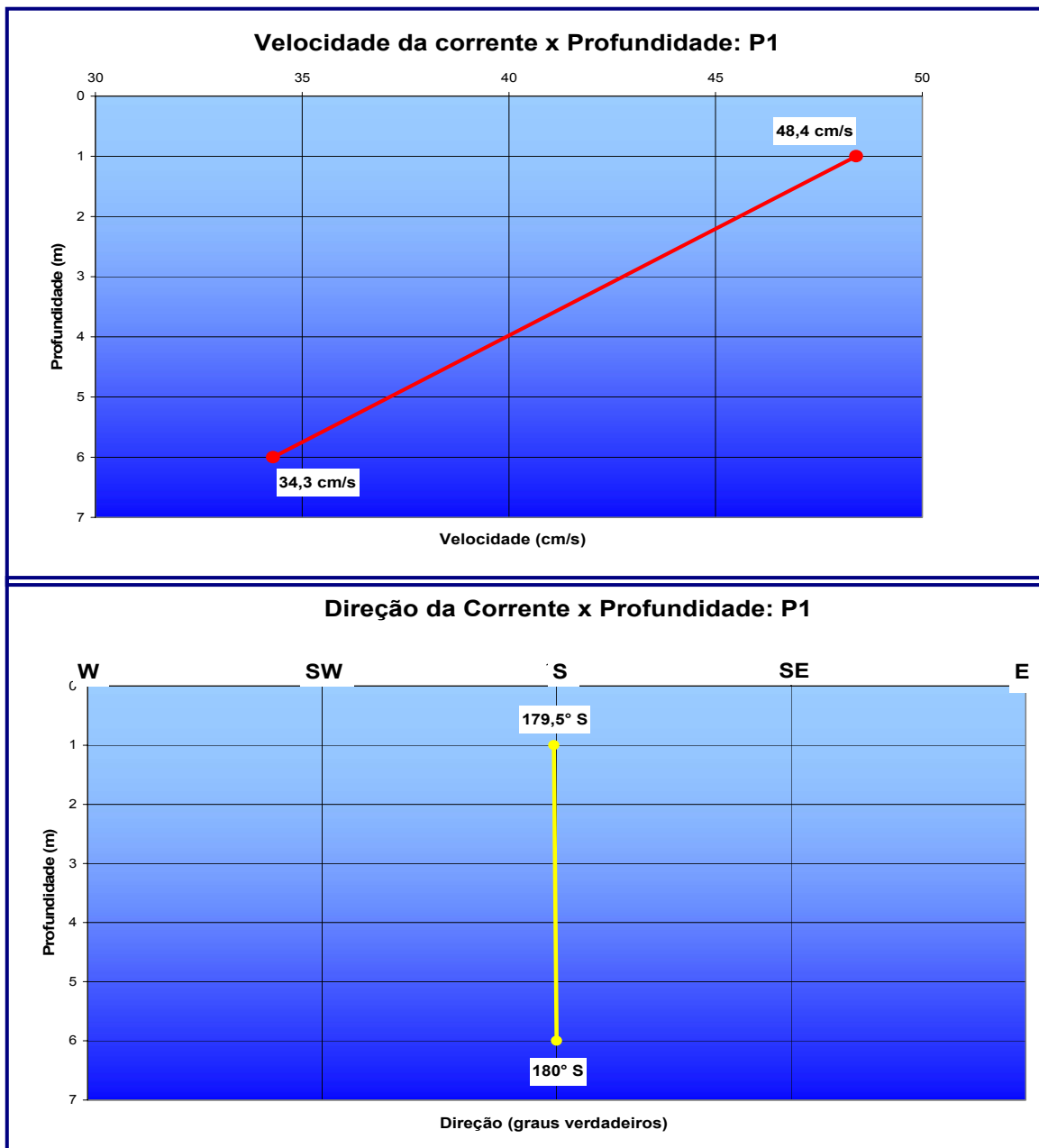


Figura II.5.1.2-25 - Velocidade e direção da corrente x Profundidade na estação P1.
 Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2002a).

Na estação P12, a corrente teve velocidade igual a 18,7 cm/s e direção S/SE na profundidade de 15 metros; nos 30 metros de profundidade a velocidade foi de 17,7 cm/s e a direção S/SW. Nota-se nestes dois primeiros níveis de medição, uma variação pequena na velocidade, ainda em função da influência do vento na superfície do mar, e uma tendência de mudança na direção da corrente para sudoeste. Na profundidade de 65 metros, a velocidade da corrente foi de 4,5 cm/s

e a direção W/SW. Na isóbata (60 metros) desta estação de coleta, o início da ACAS foi definido, em média, aos 44,24 metros de profundidade, o que pode explicar a alteração de sentido da corrente mais para oeste, pois estaria respondendo à penetração da ACAS sobre a plataforma continental; enquanto que, a diminuição da velocidade da corrente também pode ser explicada pela ressurgência da ACAS que estaria chegando ao seu limite de penetração (Figura II.5.1.2-26).

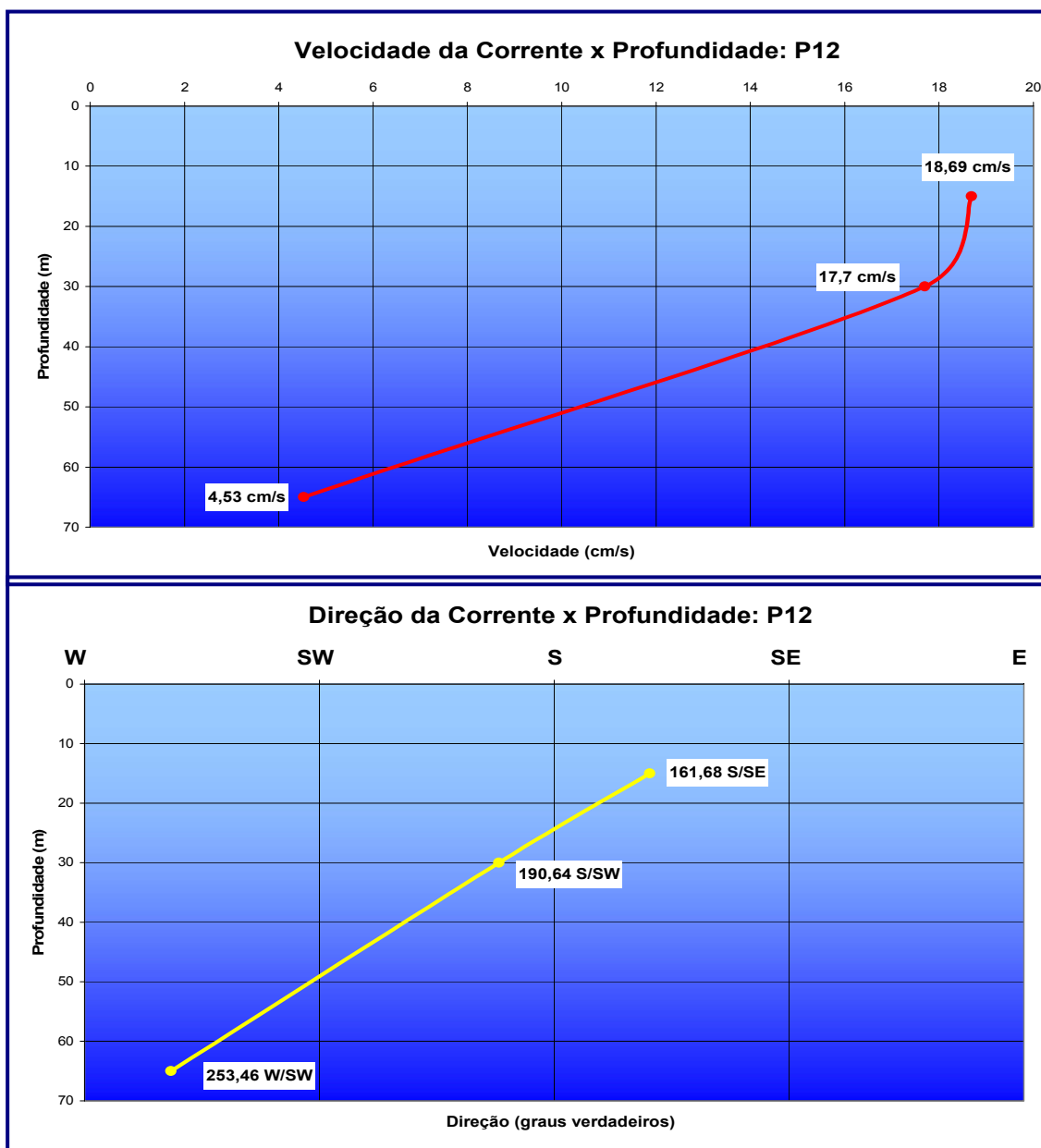


Figura II.5.1.2-26 - Velocidade e direção da corrente x Profundidade na estação P12.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2002a).

Na estação de coleta P16, situada na isóbata de 140 metros, foram feitas medições nas profundidades de 15, 70 e 140 metros. Aos 15 metros de profundidade, a velocidade da corrente foi igual a 18,6 cm/s e sua direção S/SE, resultados que são similares aos obtidos na estação P12 para a mesma profundidade, confirmando o comportamento da corrente superficial na região. Aos 70 metros de profundidade a velocidade foi igual a 5,6 cm/s e a direção S/SW. Estes resultados são bastante parecidos com os obtidos na estação P12 a 65 metros e mostram, assim como na P12, uma alteração na direção da corrente para oeste e uma queda na velocidade em relação à superfície. Esta alteração na direção para oeste evidencia o movimento de ressurgência da ACAS que na isóbata de 140 metros teve seu início definido na média, através de dados de CTD, aos 77,1 metros de profundidade. Já nas medições feitas a 140 metros de profundidade, a velocidade foi de aproximadamente 14 cm/s e a direção E/SE; esta sensível mudança na direção da corrente que passa a fluir para leste, mostra o retorno da ACAS pelo fundo após ressurgir sobre a plataforma continental que ganha velocidade ao “escoar” sobre a maior declividade na quebra de plataforma (Figura II.5.1.2-27).

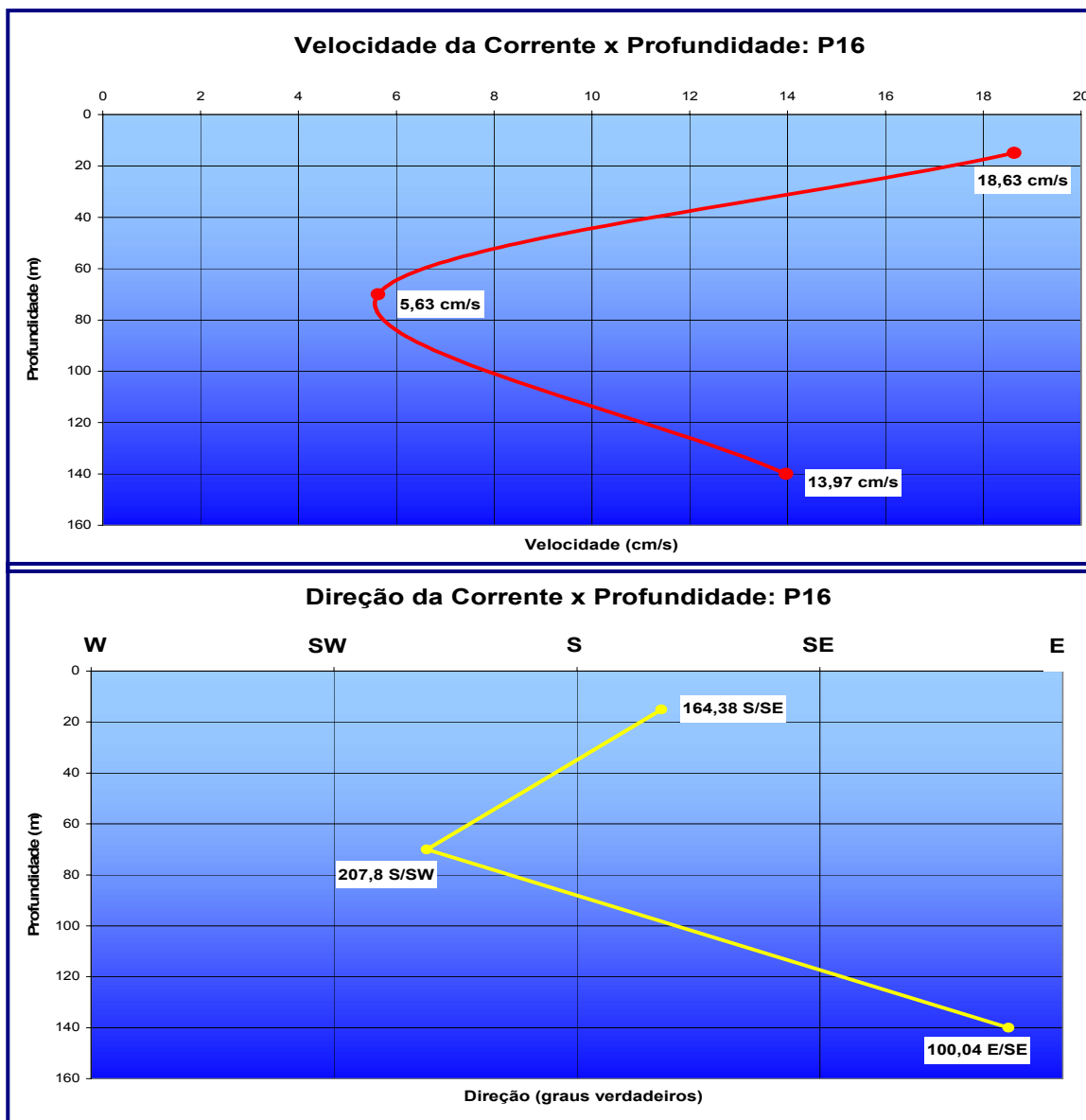


Figura II.5.1.2-27 - Velocidade e direção da corrente x Profundidade na estação P16.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2002a).

A análise dos resultados obtidos confirmou o que era esperado para a circulação da região. Nas estações mais profundas P12 e P16, observa-se o fluxo da Corrente do Brasil definindo a hidrodinâmica superficial enquanto que nas maiores profundidades as correntes profundas respondem também, ao movimento de ressurgência da ACAS. Na estação P1, a resposta hidrodinâmica se deve principalmente a fatores meteorológicos, o que pode causar grandes

alterações nas correntes em um curto espaço de tempo (PETROBRAS/HABTEC, 2002a).

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 da corrente de fundo, perpendicular à plataforma, 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 e descritas em FUNDESPA (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 II.5.1.2-28 e II.5.1.2-29 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 II.5.1.2-28 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 sul-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.

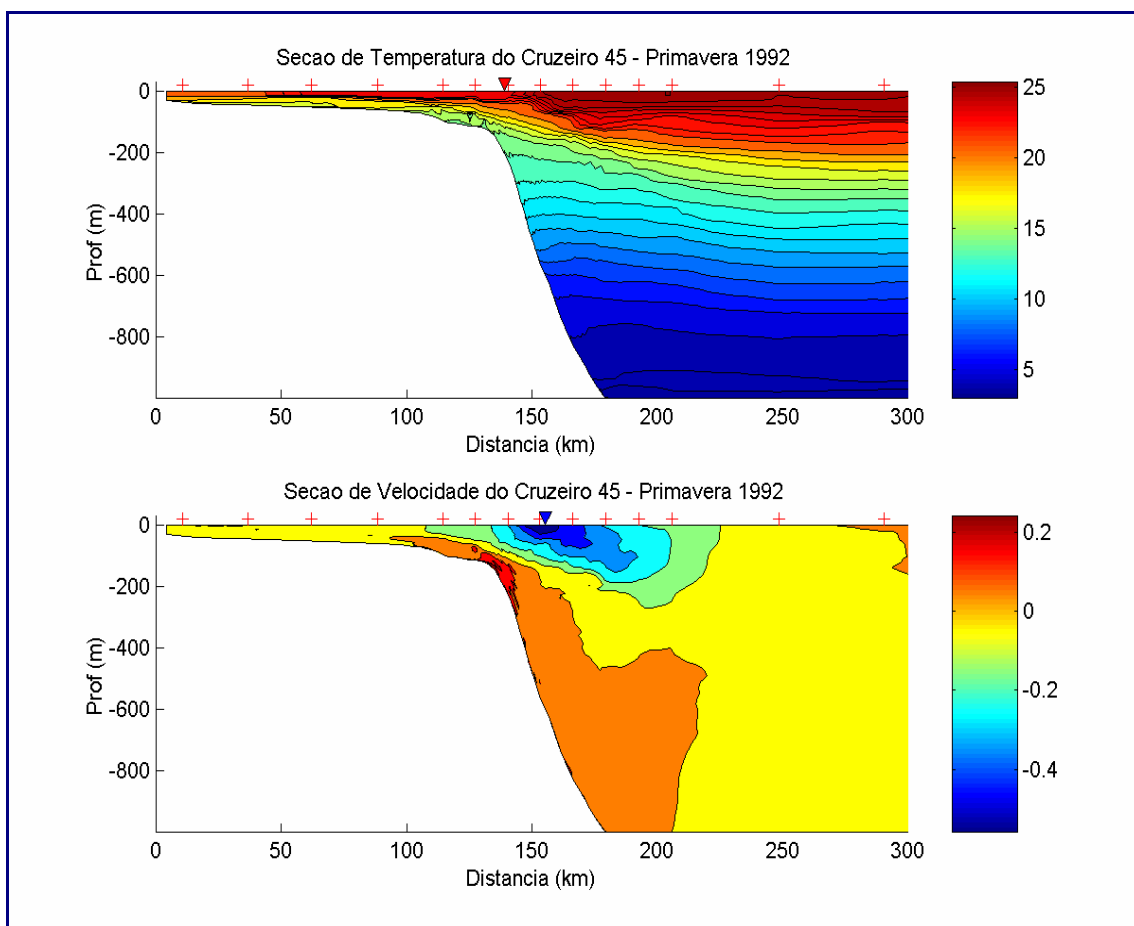


Figura II.5.1.2-28 - *Medições dos campos de temperatura e correntes marinhas em uma seção oceanográfica na Bacia de Campos, saindo de Macaé em direção ao oceano profundo, na primavera de 1992.*

Fonte: PETROBRAS (2002b).

A Figura II.5.1.2-29 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.

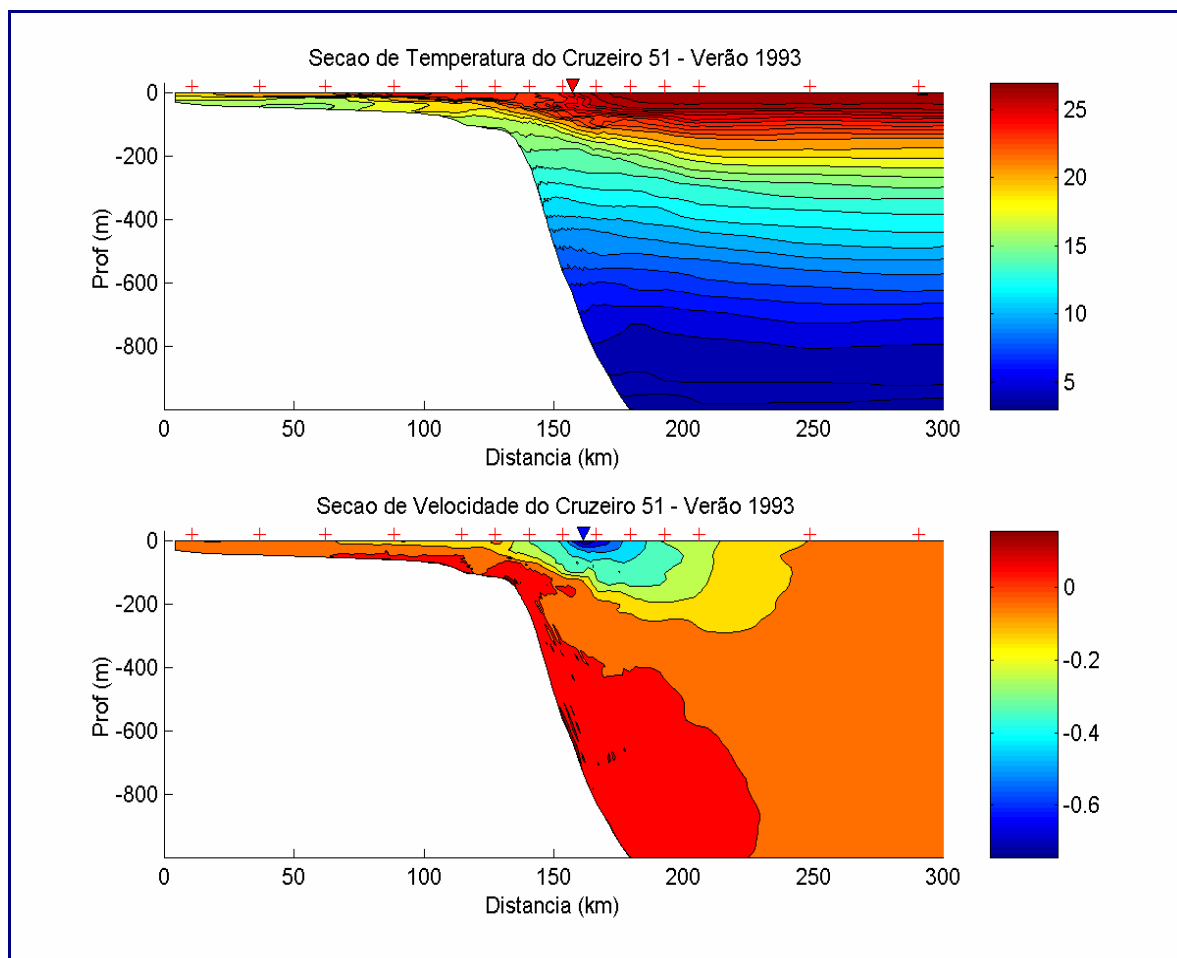


Figura II.5.1.2-29 - Medições dos campos de temperatura e correntes marinhas em uma seção oceanográfica na Bacia de Campos, saindo de Macaé no sentido do oceano profundo, no verão de 1993. Fonte: PETROBRAS (2002b).

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 120 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 (Figura II.5.1.2-30). A topografia do

fundo da plataforma é suave, e as isobatimétricas seguem a linha de costa. Seções topográficas entre Cabo Frio e Cabo de São Tomé apresentaram um gradiente de fundo médio de 1:460 (ângulo de $0,15^\circ$) na plataforma continental e 1:31 (ângulo de $1,18^\circ$) na parte superior do talude (Castro & Miranda, 1999). O banco próximo ao Cabo de São Tomé apresenta um gradiente mais suave no topo com valores abaixo de $0,1^\circ$; enquanto em seu flanco são encontrados valores entre $0,20^\circ$ e $0,33^\circ$, como ilustra a Figura II.5.1.2-31.

Figura II.5.1.2-30. Mapa Batimétrico da Bacia de Campos

Figura II.5.1.2-30. Mapa Batimétrico da Bacia de Campos

Figura II.5.1.2-31. Mapa de gradiente da Bacia de Campos. Fonte: PETROBRAS. (A3)

Figura II.5.1.2-31. Mapa de gradiente da Bacia de Campos. Fonte: PETROBRAS. (A3)

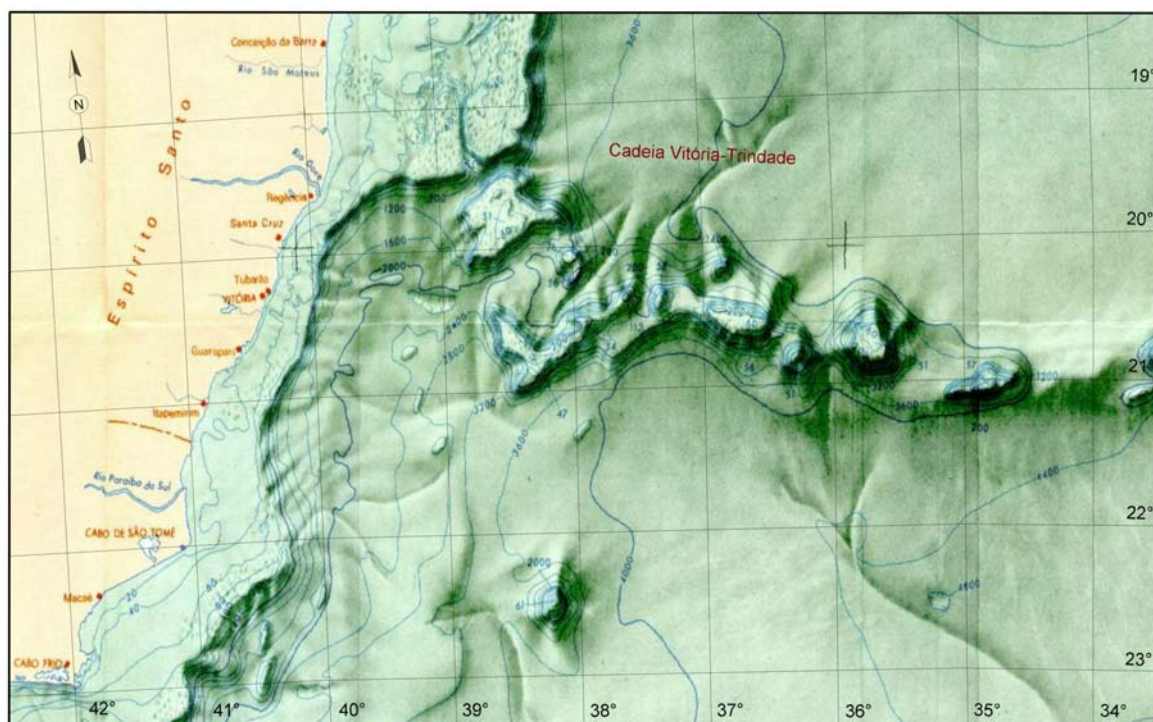


Figura II.5.1.2-32 - Área do projeto, mostrando a Cadeia Vitória-Trindade e a mudança e orientação da linha de costa. Fonte: REMAC (1979).

Duas feições batimétricas, uma mais ao norte da Bacia de Campos 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 II.5.1.2-32).

O Complexo PDET está situado na região da Plataforma Continental, tanto externa quanto interna, em profundidades que variam de 0 à 98 metros.

e) Marés

Conforme pode ser observado na Figura II.5.1.2-33, a maré na região é, predominantemente, semidiurna com pequena contribuição diurna. É notado

também o nítido comportamento das marés de quadratura (menores amplitudes) e sizígia (maiores amplitudes).

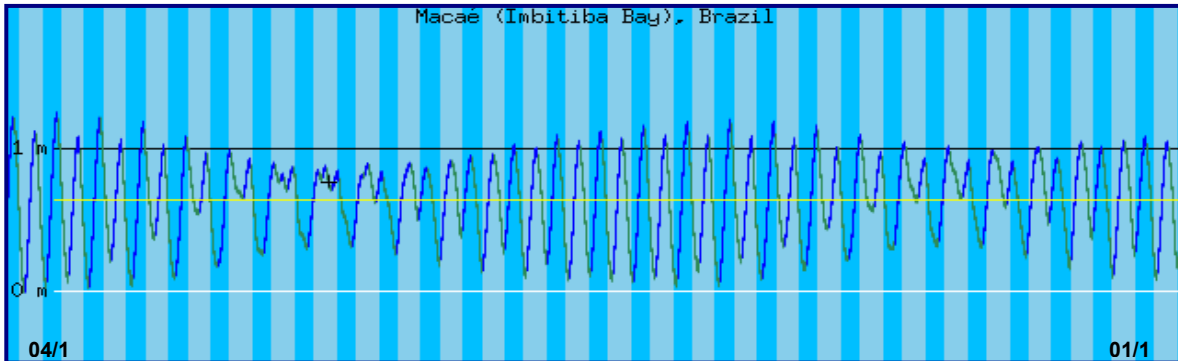


Figura II.5.1.2-33 - Maregrama previsto para região de Macaé no período de 04/11 até 01/12/2002. Fonte: <http://tbone.biol.sc.edu/tide/tideshow.cgi>

A maré apresenta os seguintes parâmetros de acordo com o mês de análise:

★ Nível Médio do Mar	0,61 m
★ Média de Baixamar	0,27 m
★ Média de Preamar	0,99 m
★ Média de Baixamar de Sizígia	0,24 m
★ Média de Preamar de Sizígia	0,99 m
★ Variação Média da Maré	0,72 m
★ Variação Média de Sizígia	0,75 m
★ Maré Astronômica Mínima	0,00 m
★ Maré Astronômica Máxima	1,25 m
★ Maré (Astronômica + Meteorológica) Mínima	-0,40 m
★ Maré (Astronômica + Meteorológica) Máxima	1,65 m
★ Variação Máxima	1,23 m

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 com velocidade muito baixa de cerca de 5 cm/s (Lima, 1997), 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, região de quebra de plataforma, e analisados por Salles *et al.* (2000) em seu Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. O Quadro II.5.1.2-9 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 II.5.1.2-9 - Dados de maré medidos em região de 200 metros de profundidade na Bacia de Campos.

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR <i>Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras</i>					
Nome da Estação :		FUNDEIO 1 SUL – OCEÂNICA			
Localização :		Bacia 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 Sizígia (MHWS) :		— cm acima do NR.	Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :		— cm acima do NR.
Média das Baixa-mares de Sizígia (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					

Fonte: <http://www.femar.com.br/biblioteca/emb/tabelas/237.html>

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 II.5.1.2-34.

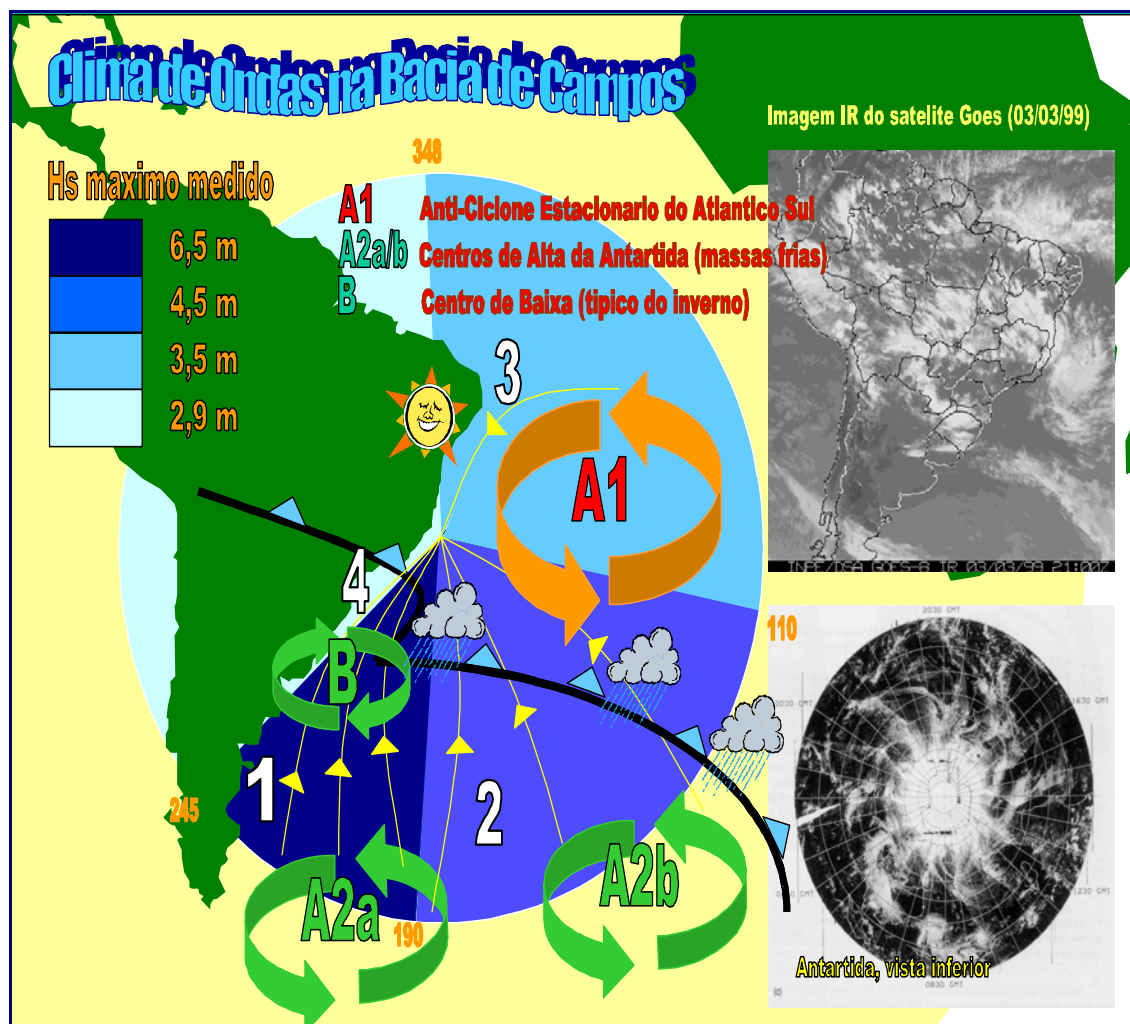


Figura II.5.1.2-34 - Condições típicas de ondas na Bacia de Campos, associadas com diferentes direções de propagação e sistemas meteorológicos. Fonte: PETROBRAS (2002b).

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 II.5.1.2-35 permite visualizar as variações nas alturas significativas de onda (H_s) conforme a direção, aparecendo também as quatro 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).

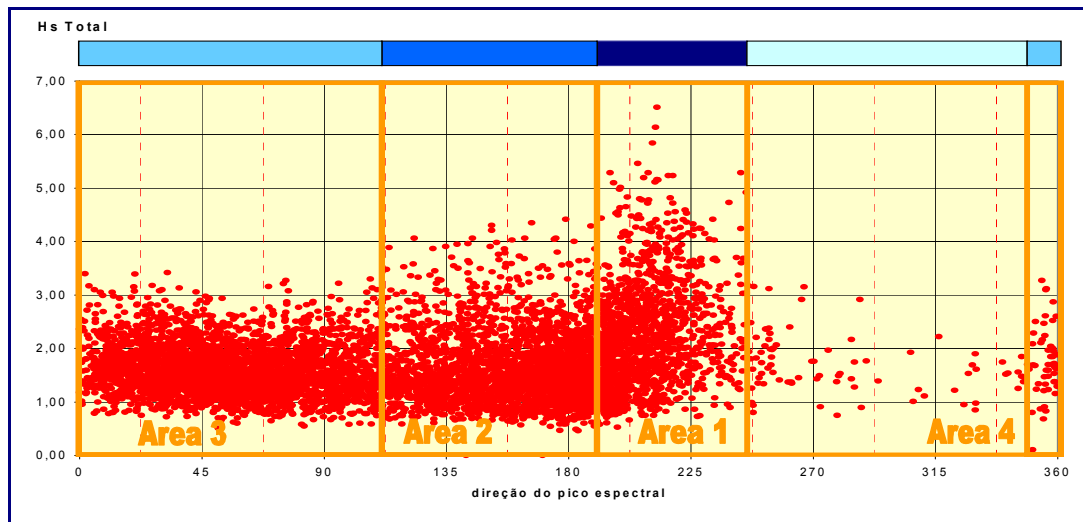


Figura II.5.1.2-35 - Valores de Altura Significativa de Onda (H_s) por direção de pico do espectro. Fonte: PETROBRAS (2002b).

Pela análise da Figura II.5.1.2-35, verifica-se que a área 1 é a mais energética, com valores medidos de H_s 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 H_s , tentando-se explicar os estados-de-mar (o mesmo que H_s) 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° a 348° , 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 H_s encontram-se em torno de 3 metros, nas direções pouco abaixo de 270° .

ÁREA 3: É a condição mais comum na Bacia de Campos. Compreendida entre 348° e 110° , caracteriza-se pela presença de ondas locais (*sea*), geradas a

partir do Anti-Ciclone do Atlântico Sul (A1 na Figura II.5.1.2-34). 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 a sua constância entre a América do Sul e a África, em latitudes variando de 20° a 40° S formando uma elipse com semi-eixo maior de 2.500 a 4.000 km e pressões de até 1.032 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 maioria das vezes, 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 vindos da Antártida (A2b na Figura II.5.1.2-34). 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. Foram estabelecidas, 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 significativas 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 Hs, 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 II.5.1.2-34, 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 II.5.1.2-34 (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.

Bastos & Silva (2000) ao descreverem de forma geral o regime de ondas para o litoral Norte Fluminense, diagnosticam que a maior frequência da direção de incidência de ondas está associada a ventos locais dos quadrantes NE e E, ocorrendo ainda ondas provenientes dos quadrantes SE, S e SW, associadas a frentes frias. São observadas alturas de ondas (H_o) entre 1,6 e 2,0 metros na média. Ondas com altura superior a 3 metros são basicamente provenientes dos quadrantes S e SW. Observa-se ainda que as ondas de SSE, S e SSW são as que concentram mais energia, embora sejam bem menos frequentes do que as ondas de NE e E.

Com relação à Barra do Furado, ponto do continente aonde chegará o oleoduto do Complexo PDET, em função da configuração da linha de costa que apresenta uma direção SW-NE, o regime de ondas predominante é de ondas de *swell* com períodos de 8 segundos e altura de quebra de 1 metro (Bastos & Silva, 2000).

A região compreendida entre Cabo de São Tomé e Cabiúnas é caracterizada por uma zona de *surf* estreita, com ondas mergulhantes e apenas uma zona de arrebentação (Bastos & Silva, 2000).

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 comparadas às ondas superficiais de gravidade, os efeitos das ondas internas sobre as estruturas de exploração *offshore* de petróleo estão sendo considerados em estudos na área da Bacia de Campos.

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°22'23.59"S / 40°25'06.46"W 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 a 6 s com alturas de 0,5 a 1 m (PETROBRAS, ETBC-01, 1999).

Com relação 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 II.5.1.2-36).

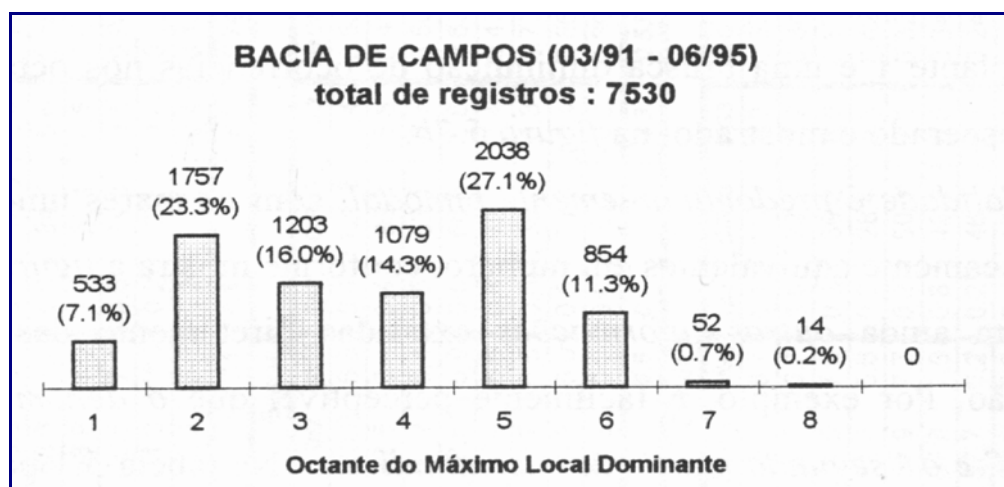


Figura II.5.1.2-36 - Distribuição de direção do máximo local por octantes.
Fonte: Seixas (1997).

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 1,75 m, estando a maioria dos registros entre 1,50 m e 2,00 m, conforme indica a Figura II.5.1.2-37.

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).

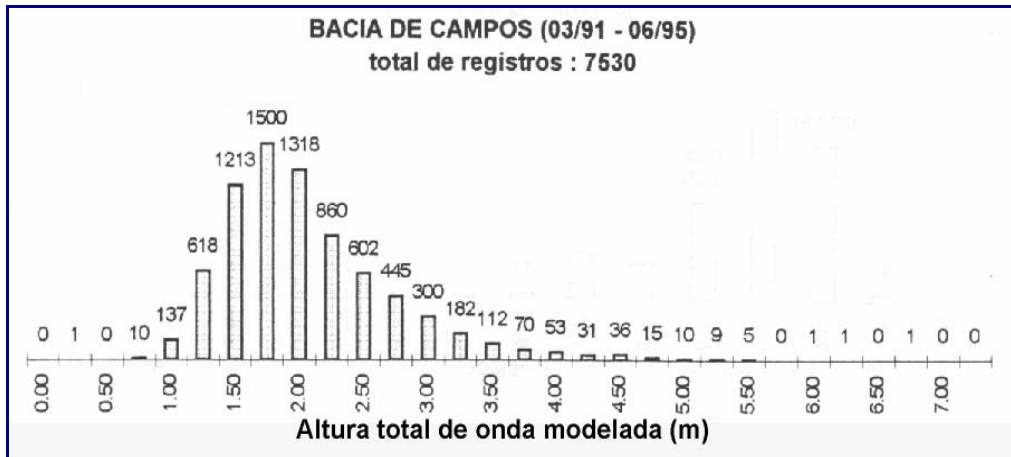


Figura II.5.1.2-37 - Distribuição de altura total de onda. Fonte: Seixas (1997).

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, *op. cit.*).

Para melhor visualizar o regime de ondas, são apresentadas a seguir outras informações sobre a região como: distribuição de direção do máximo local (graus) (Figura II.5.1.2-38), distribuição sazonal de período ascendente (Figura II.5.1.2-39), distribuição de período de pico do máximo local (Figura II.5.1.2-40), distribuição de sazonal de altura significativa (Figura II.5.1.2-41) e mapas de refração de ondas na área do empreendimento Complexo PDET (Figuras II.5.1.2-42 a II.5.1.2-44).

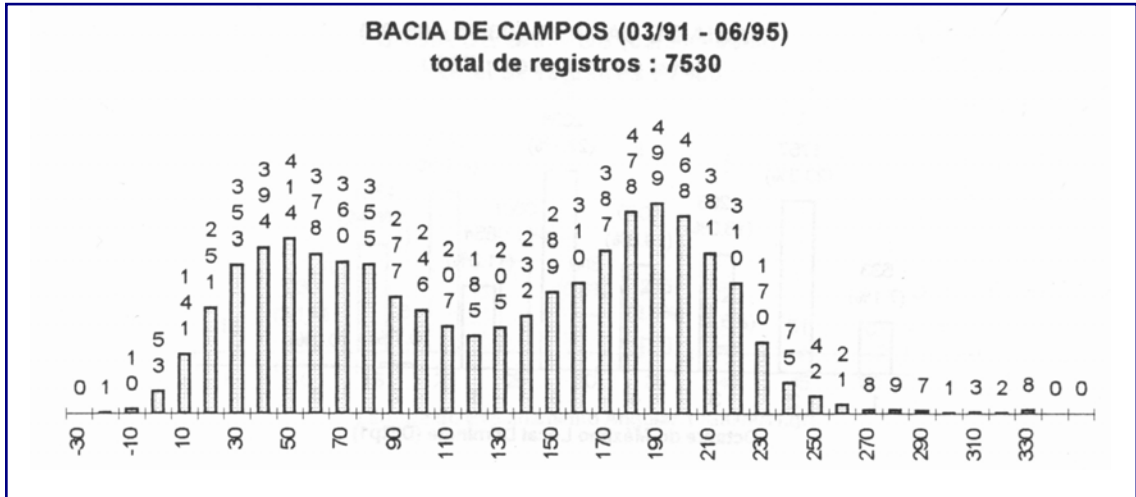


Figura II.5.1.2-38 - Distribuição de direção do máximo local (graus). Fonte: Seixas (1997).

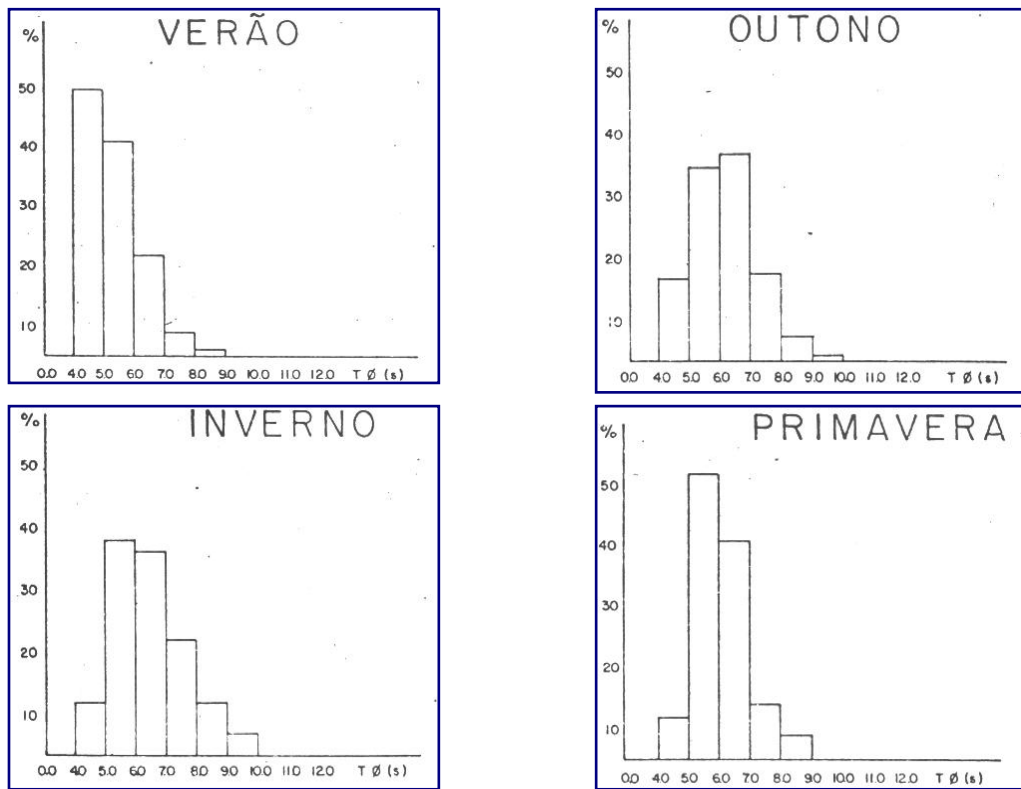


Figura II.5.1.2-39 - Distribuição sazonal de Período ascendente. Fonte: Souza (1988).

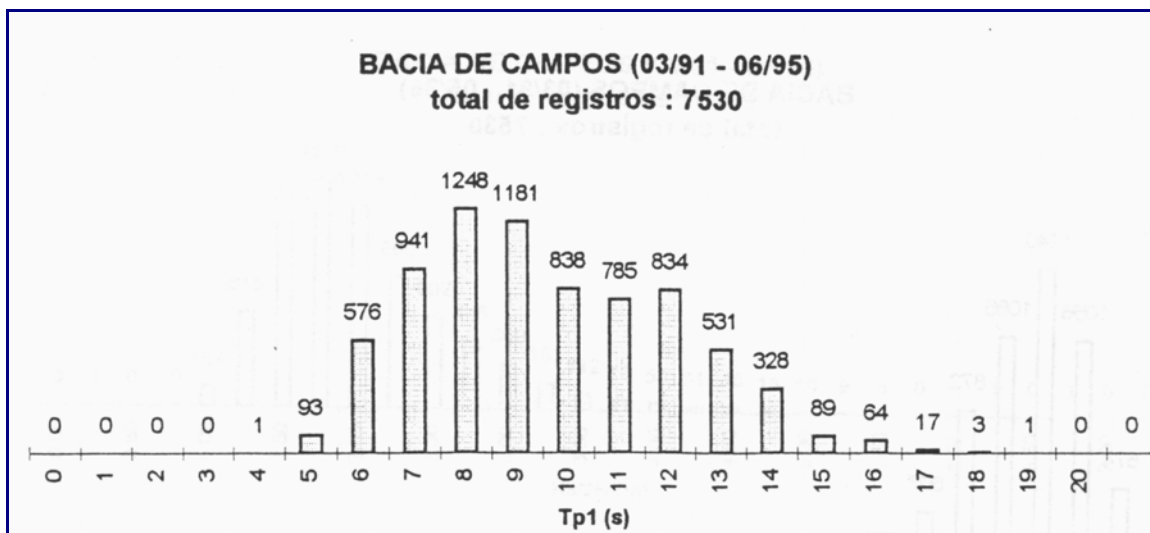


Figura II.5.1.2-40 - Distribuição de Período de pico do máximo local. Fonte: Seixas (1997).

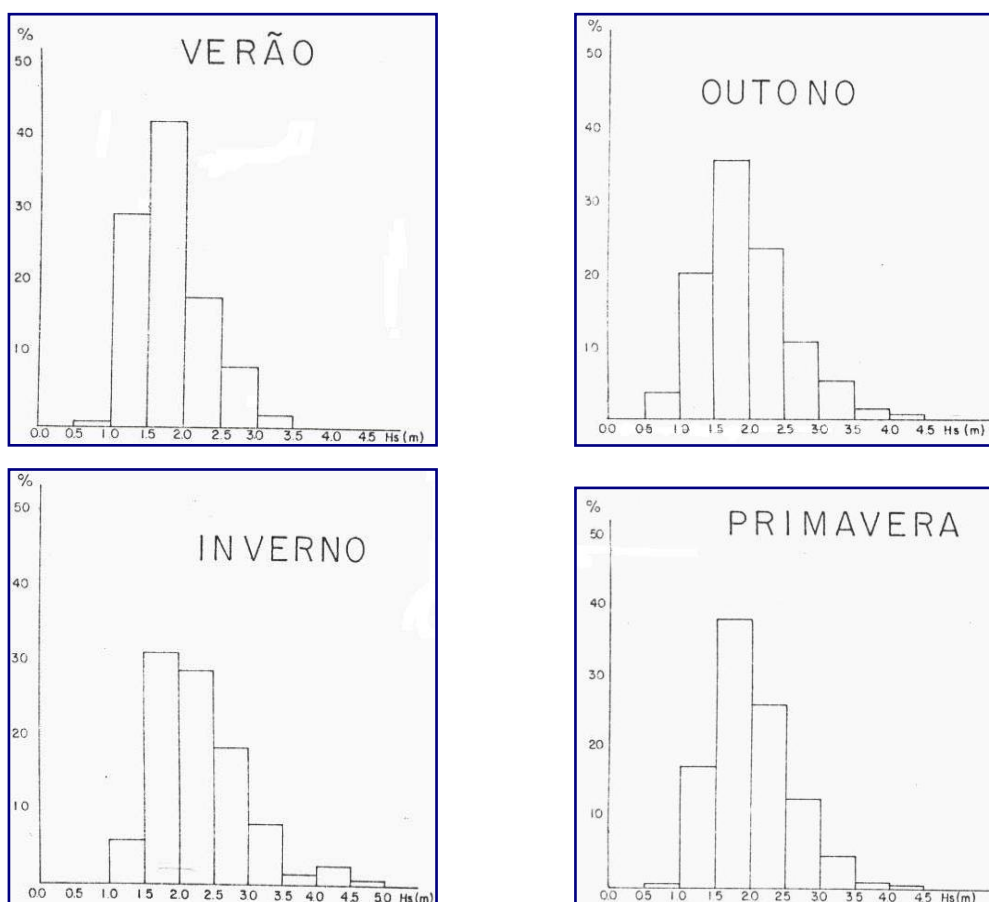


Figura II.5.1.2-41 - Distribuição de sazonal de Altura Significativa.

Fonte: Souza (1988).

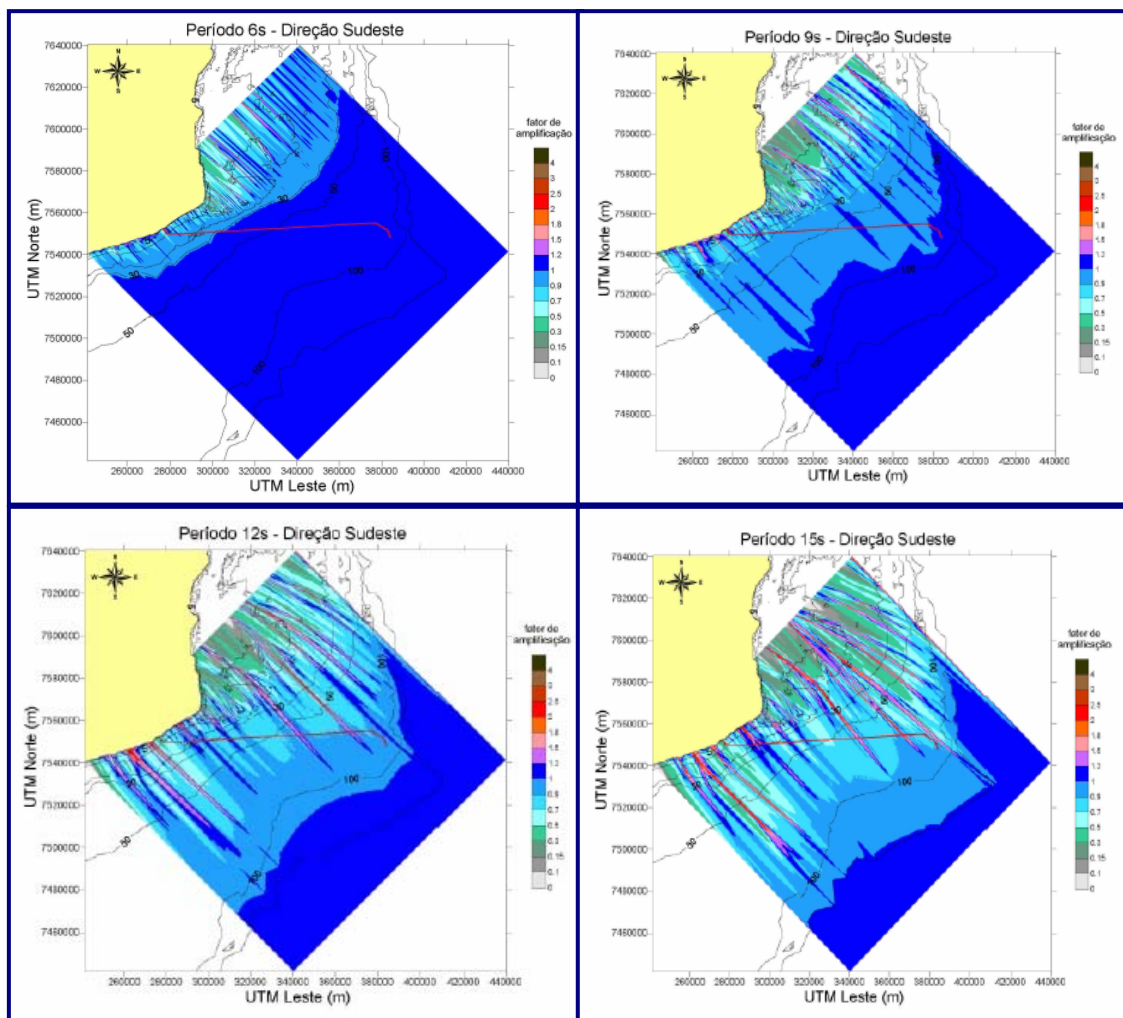


Figura II.5.1.2-42 - Mapa de refração de ondas na área do empreendimento, para ondas de Sudeste com períodos de 6, 9, 12 e 15 segundos.
 Fonte: PETROBRAS-Engenharia/IEEPT/EEPTM/PIM (2002).

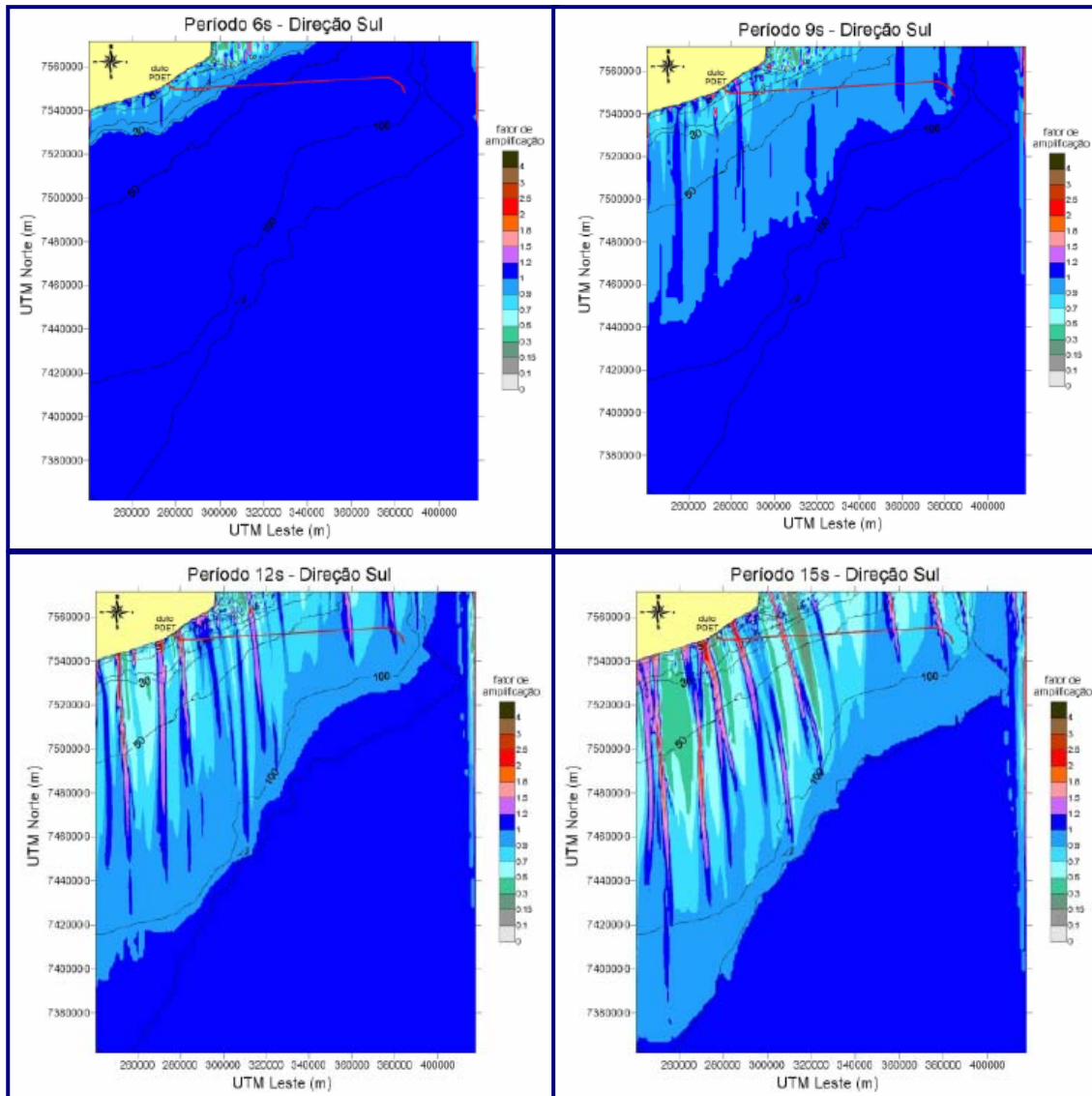


Figura II.5.1.2-43 - Mapa de refração de ondas na área do empreendimento, para ondas de Sul com períodos de 6, 9, 12 e 15 segundos.

Fonte: PETROBRAS-Engenharia/IEEPT/EEPTM/PIM (2002).

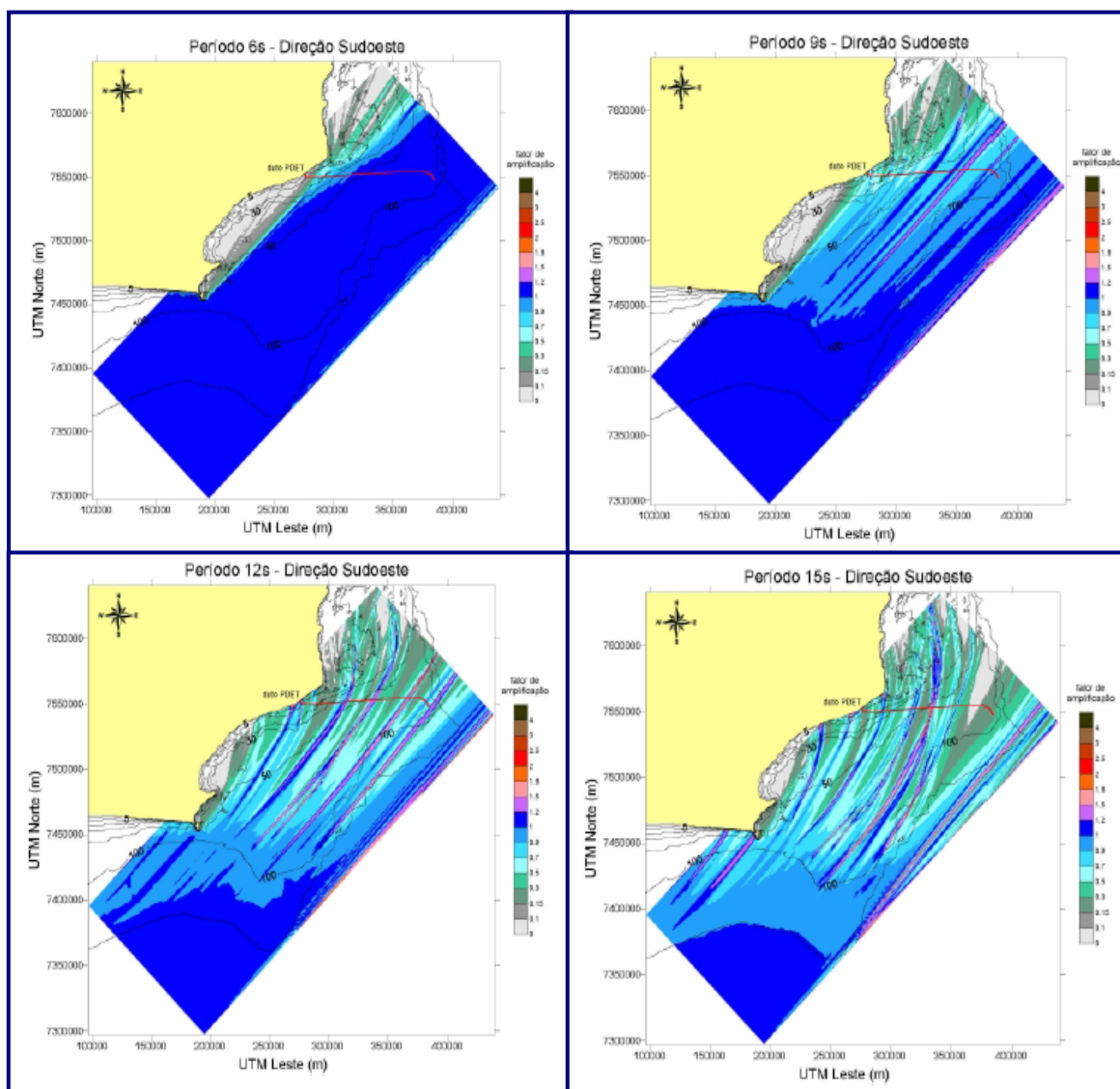


Figura II.5.1.2-44 - Mapa de refração de ondas na área do empreendimento, para ondas de Sudoeste com períodos de 6, 9, 12 e 15 segundos.

Fonte: PETROBRAS-Engenharia/IEEPT/EEPTM/PIM (2002).

g) Condições Extremas do Regime Hidrodinâmico

As condições hidrodinâmicas extremas na plataforma continental estão associadas principalmente ao regime de ventos, que durante o inverno, devido à passagem de frentes frias com ventos de S e SW, intensificam as correntes para NE gerando as maiores alturas de ondas significativas, consequência de fortes ventos de sul/sudoeste associados a pistas longas. No verão, a persistência dos

ventos de NE intensifica as correntes para SW o que pode aumentar a velocidade da Corrente do Brasil.

O Quadro II.5.1.2-10 apresenta as condições extremas dos parâmetros ondas, correntes, ventos e marés para a região, visando resumir as condições de tempestade do regime hidrodinâmico local.

Quadro II.5.1.2-10 - Resumo das condições extremas dos parâmetros ondas, correntes e vento para a área de estudo.

PARÂMETRO	CONDIÇÃO EXTREMA
Ondas	Altura Significativa (Hs) = 6,5 m (Direção Norte / Nordeste)
Correntes	Corrente do Brasil superficial = 1 m/s (Direção Sul)
Ventos	22,3 m/s (Direção Sul/Sudeste)
Marés	Maré astronômica máxima + maré meteorológica máxima: 1,56 m