

5.1.2. Oceanografia

a) Oceanografia Física

Neste diagnóstico são apresentados e discutidos primeiramente os dados oceanográficos levantados em diversos estudos realizados na Bacia de Campos, como programas de monitoramento, programas de caracterização ambiental e pesquisas científicas. Neste relatório também serão apresentados os resultados obtidos em uma campanha oceanográfica realizada especificamente na região do Bloco BM-C-41 e de outros Blocos próximos, BM-C-39, BM-C-40, BM-C-42 e BM-C-43 (OGX/PIR2/FUGRO, 2009).

O Quadro 5.1.2-1 mostra a fonte e o método de amostragem dos dados obtidos para os principais parâmetros oceanográficos analisados no relatório. No Mapa 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 (QMD376/SQMD20).

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

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	PARÂMETRO	AMOSTRAGEM	PERÍODO DA AMOSTRAGEM
Levitus, 1994	Temperatura e Salinidade	CTD, XBT e DBT	1900 – 1992
Lima, 1997	Temperatura e Salinidade	CTD SBE-25	Maio de 1994 a Maio de 1995
BNDO, 2010	Temperatura e Salinidade	CTD	-
OGX/PIR2/FUGRO, 2009	Temperatura e Salinidade	CTD	Outubro de 2008
Lima, 1997	Correntes	Correntômetro Aanderaa RCM-7	Maio de 1994 a Maio de 1995
HYCOM, 2010	Correntes	Correntômetro	Janeiro de 2007 a Dezembro de 2007
Salles, 2000	Maré	Marégrafo	Janeiro de 1994 a Maio de 1995
Souza, 1988	Ondas	Ondógrafo	Junho de 1985 a Maio de 1986
Seixas, 1997	Ondas	Bóia direcional do tipo "pitch and roll"	Março de 1991 a Junho de 1995

Para este empreendimento, ainda não foi definido se haverá ou não a instalação de um duto submarino, e se houver, em que local esse duto chegará na costa. Quando essas questões forem definidas, será realizado um estudo acerca dos processos costeiros, que abrangerá os seguintes tópicos: deriva litorânea, refração de ondas, intensidade e direção de correntes e variações sazonais, anuais e espaciais da morfodinâmica, conforme solicitado no TR.

Mapa 5.1.2-1. Estações de coleta georeferenciadas dos principais dados oceanográficos com suas respectivas fontes. A3

Mapa 5.1.2-1. Estações de coleta georeferenciadas dos principais dados oceanográficos com suas respectivas fontes. (A3)

b) Caracterização Geral

◆ 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). Tais massas d'água possuem 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 descrições das massas d'água contidas 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 (FUNDESPA, 1994). A análise das seções realizadas em cruzeiros oceanográficos do Programa de Monitoramento Oceânico da Bacia de Campos mostra a ocorrência de estruturas termohalinas típicas identificadas basicamente pela estratificação vertical em camadas de massas de água com diferentes origens.

A distribuição das massas d'água no oceano Atlântico Sul em região que engloba a costa sudeste brasileira já foi estudada por diversos autores, 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 no talude e na região oceânica da bacia de Campos são caracterizadas principalmente pela distribuição horizontal e vertical de quatro tipos de água: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). A Figura 5.1.2-1 representa a distribuição vertical dessas massas d'água e a circulação oceânica para a região de localização do bloco.

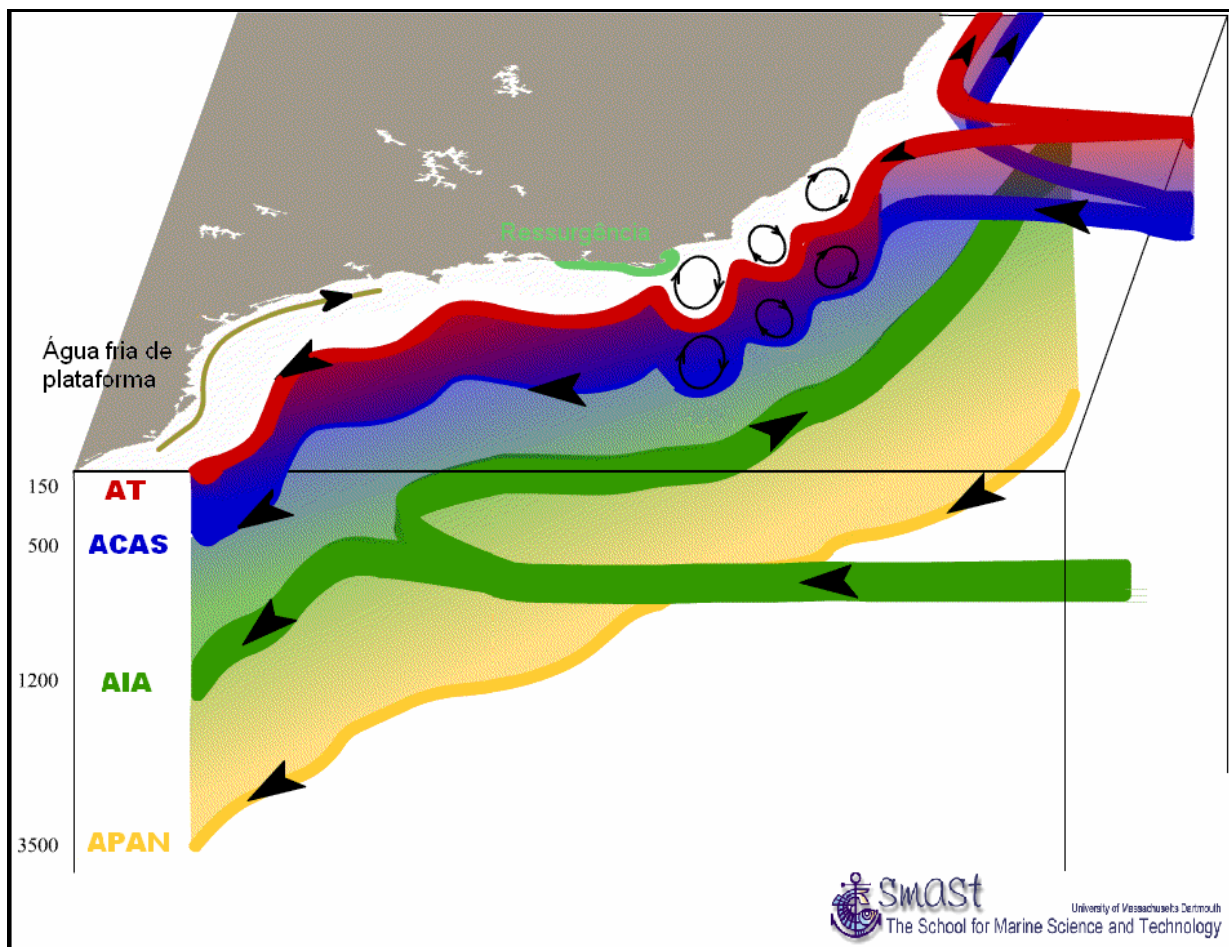


Figura 5.1.2-1. Esquema da distribuição vertical das massas d'água e circulação oceânica na costa brasileira, englobando a área de estudo. Fonte: <http://www.smast.umassd.edu/modeling>

Segundo seus índices termohalinos elas podem ser classificadas de forma a representar esquematicamente suas distribuições espaciais, sendo elas:

- **Água Tropical (AT)** – Formada em baixas latitudes, onde a taxa de evaporação é maior que a taxa de precipitação, caracterizada principalmente pelos altos valores de salinidade e temperatura. Essa massa é transportada para sul pela corrente do Brasil, ao longo deste trajeto a AT 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 (média): 0 a 190 m 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 subsequente espalhamento ao longo da superfície de densidade adequada (Sverdrup *et al*, 1942), 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, parte flui rumo ao Equador enquanto a outra porção toma o rumo Sul. Este padrão de circulação é confirmado por autores como Tsuchya (1986), Reid (1989) e Stramma e England (1999) que mostram o movimento da ACAS na direção Sul em latitudes maiores de 20°S ao largo da costa do sudeste brasileiro (Silveira *et al.*, 2000). A localização exata da separação da ACAS é incerta, porém parece existir um consenso na literatura de que ao sul do Cabo de São Tomé (22°S), a ACAS flui para o Sul ao largo da costa brasileira. Os primeiros a notarem esse padrão foram Wüst (1935) e Defant (1941).

- ↪ Limite Superior: Posicionamento (média): 190 m de profundidade
- ↪ Salinidade: 36,0
- ↪ Temperatura: 18°C
- ↪ Limite Inferior: Posicionamento (média): 580 m de profundidade
- ↪ Salinidade: 34,6
- ↪ Temperatura: 8°C

- **Água Intermediária Antártica (AIA)** – Formada por misturas subsuperficiais 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. A APAN 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

Os resultados da perfilagem realizada por OGX/PIR2/FUGRO (2009) estão apresentados no diagrama T-S (Figura 5.3.1-19), e mostram que a coluna d'água para a região do bloco foi caracterizada pela presença de duas massas d'água distintas: uma salina e quente (AT), e outra mais fria e menos salina (ACAS), considerando os limites termohalinos estabelecidos no gabarito para as massas d'água da região sudeste do Brasil, além da água de mistura. As 15 estações analisadas apresentaram um padrão semelhante e que corroboram os resultados esperados e já apresentados neste item, para a localização e profundidade do bloco.

Com relação aos 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 (Castro e Miranda, 1998).

As Figuras 5.1.2-2, 5.1.2-3, 5.1.2-4 e 5.1.2-5, apresentam as profundidades das interfaces entre as massas d'água presentes na Bacia de Campos, para as estações do ano, primavera, verão, outono e inverno, respectivamente. Para a definição dos limites foram utilizados os índices termohalinos apresentados anteriormente e de Silveira (2000) e os dados de temperatura e salinidade do BNDO, para a região do bloco.

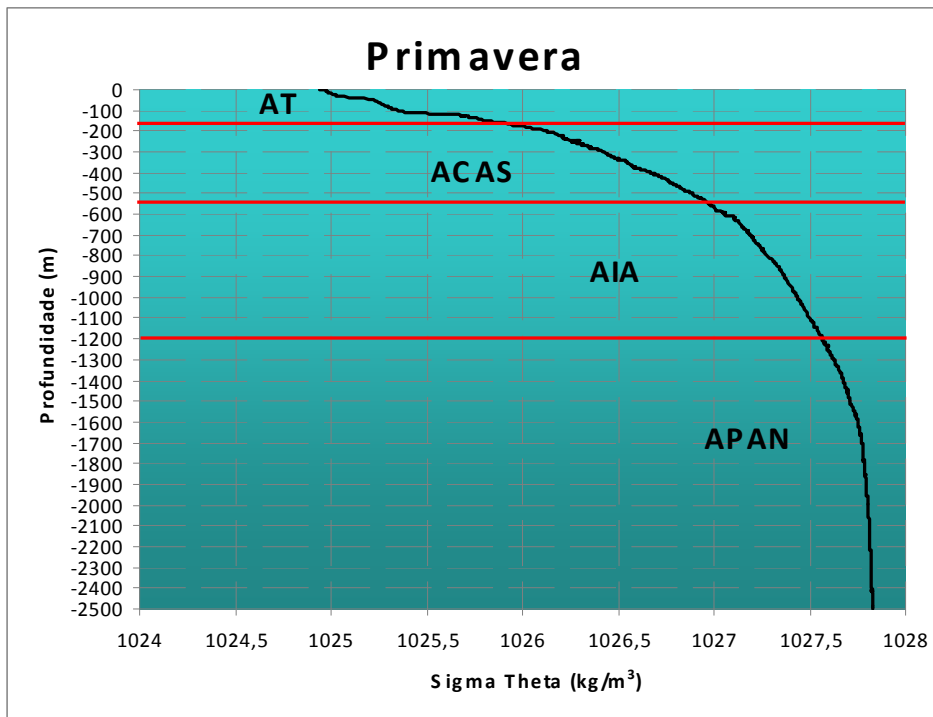


Figura 5.1.2-2. Diagrama esquemático mostrando a profundidade da interface entre as massas d'água para a primavera.

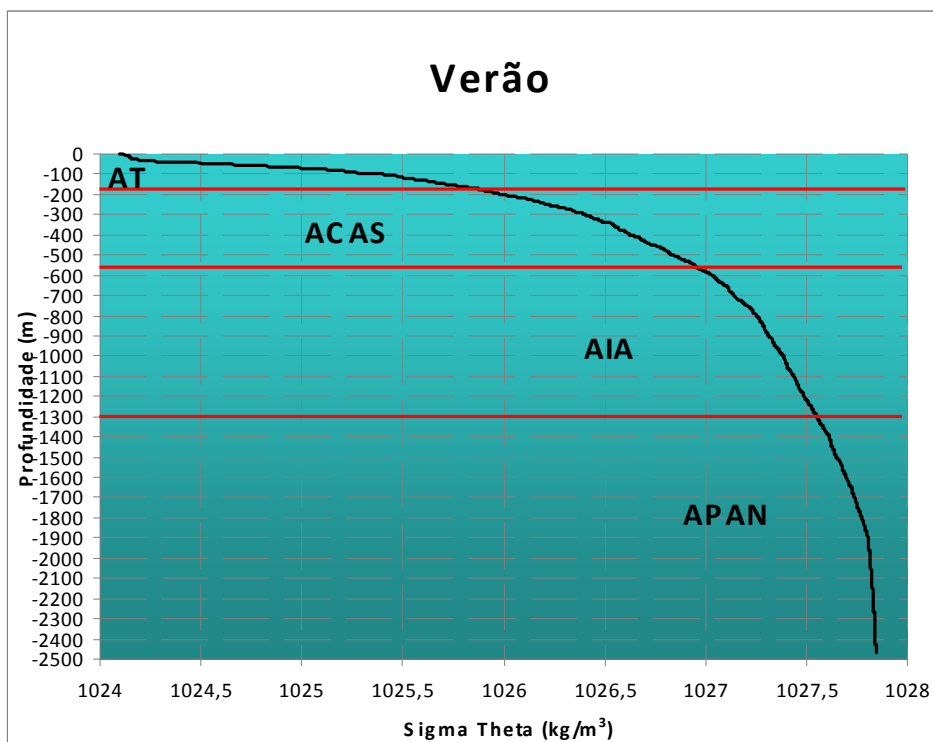


Figura 5.1.2-3. Diagrama esquemático mostrando a profundidade da interface entre as massas d'água para o verão.

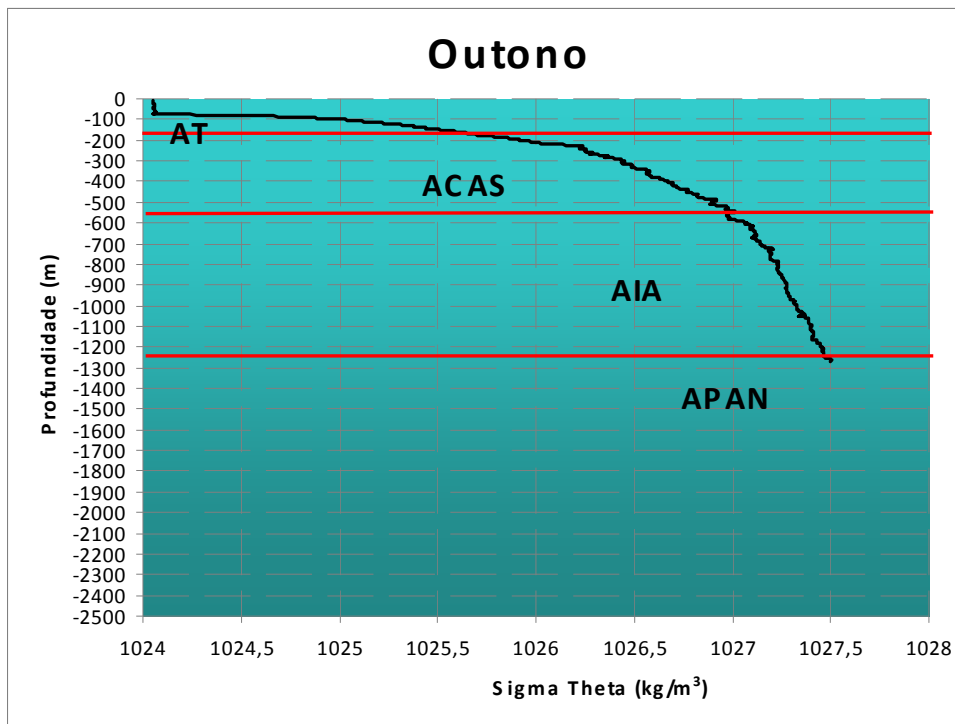


Figura 5.1.2-4. Diagrama esquemático mostrando a profundidade da interface entre as massas d'água para o outono.

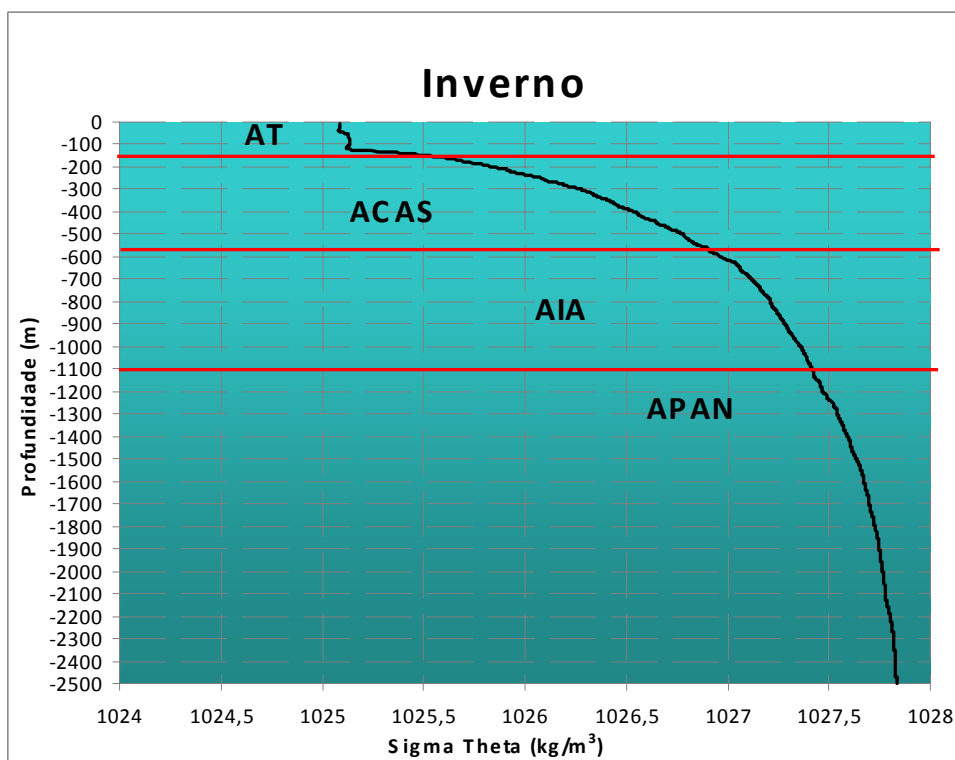


Figura 5.1.2-5. Diagrama esquemático mostrando a profundidade da interface entre as massas d'água para o inverno.

No Quadro 5.1.2-2 abaixo são apresentadas as profundidades limites entre as massas d'água identificadas ao longo das estações do ano.

Quadro 5.1.2-2. Profundidades das interfaces das massas d'água na Bacia de Campos ao longo das estações do ano.

ESTAÇÃO	AT-ACAS	ACAS-AIA	AIA-APAN
Primavera	180	540	1200
Verão	190	560	1300
Outono	180	560	1250
Inverno	160	580	1380

É possível notar que no inverno a AIA e APAN estão presentes em profundidades mais rasas durante a primavera, 540 e 1200 m, respectivamente, e em profundidades maiores no inverno, 580 e 1380 m. A ACAS por sua vez aparece em profundidades mais rasas (160 m) no período do inverno. As massas d'água se mantiveram dentro do intervalo de profundidade esperado de acordo com a descrição anteriormente realizada.

◆ Temperatura e Salinidade da Água do Mar

Os campos de temperatura e salinidade da água marinha na Bacia de Campos, região de localização do Bloco BM-C-41, 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

Através deste parâmetro foi possível comprovar a disposição das massas d'água na área de estudo, 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).

O Quadro 5.1.2-3 a seguir foi retirado da base de dados Levitus (1994) e apresenta, os valores de temperatura da região de estudo que 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 metros.

Quadro 5.1.2-3. Valores médios, desvios e amplitudes de temperatura para o QMD 376/SQMD 20.

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

Fonte: Levitus (1994)

Também foram obtidos de Levitus (1994) perfis de dados até 1000 metros de profundidade não contemplando então a profundidade limite entre AIA e APAN. As Figuras 5.1.2-6 a 5.1.2-9 ilustram os perfis médios de temperatura no inverno e verão, demonstrando que as maiores diferenças nos valores de temperatura entre as estações estão na faixa da superfície até 125 metros e que a faixa de 600 a 1000 m é caracterizada por pequenas variações. A camada intermediária de 150 a 600 metros apresenta-se bem homogênea, sendo um registro da posição e da largura da ACAS.

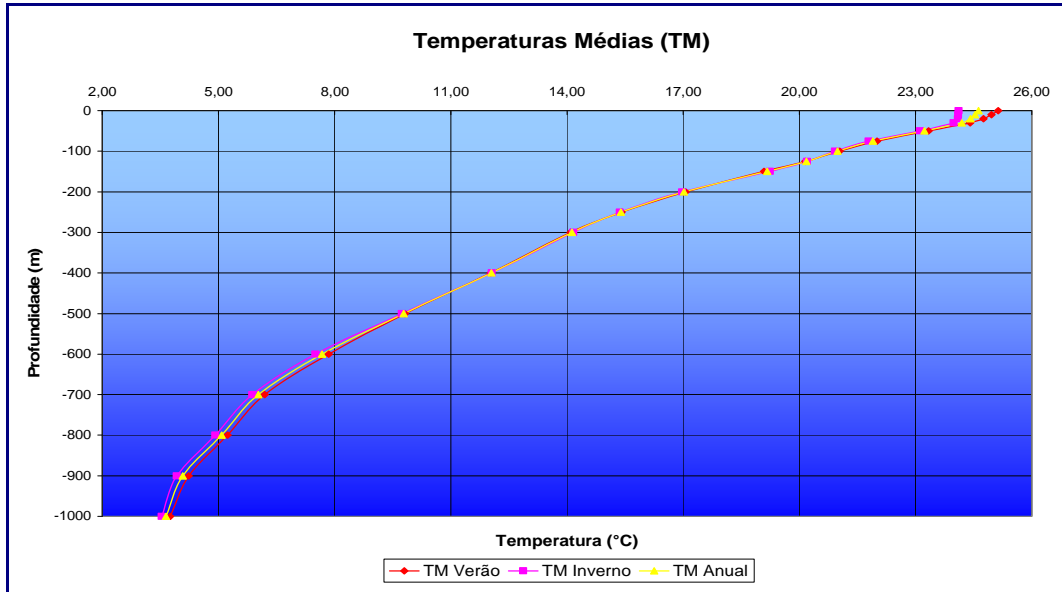


Figura 5.1.2-6. Temperaturas médias anuais, de inverno e de verão. Fonte: Levitus (1994).

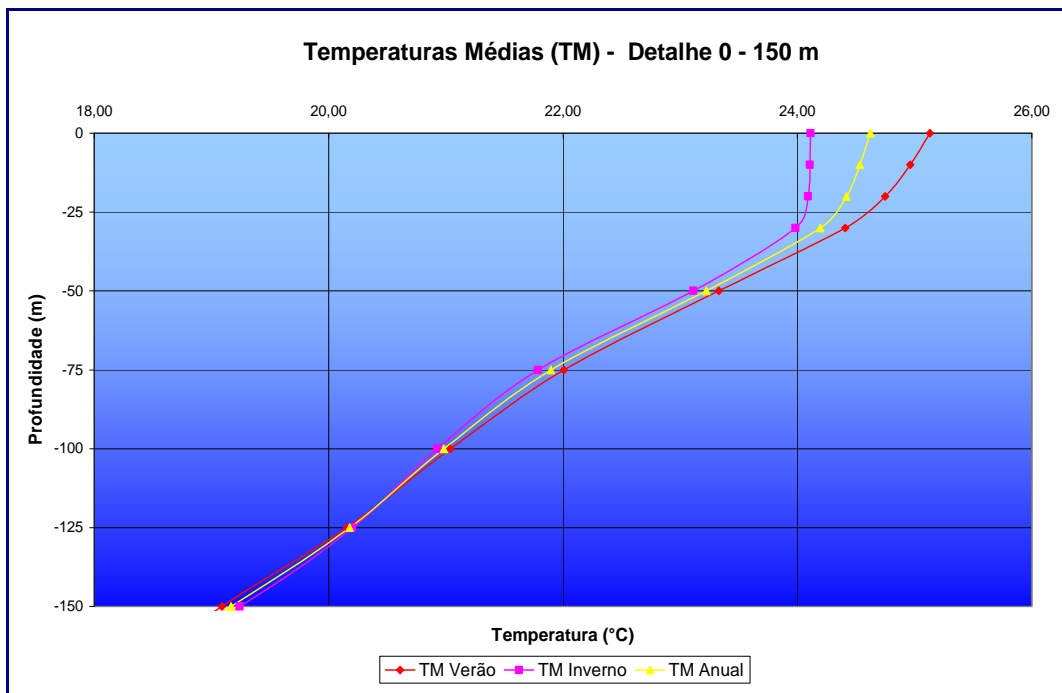


Figura 5.1.2-7. Detalhe de 0 a 150 m. Fonte: Levitus (1994).

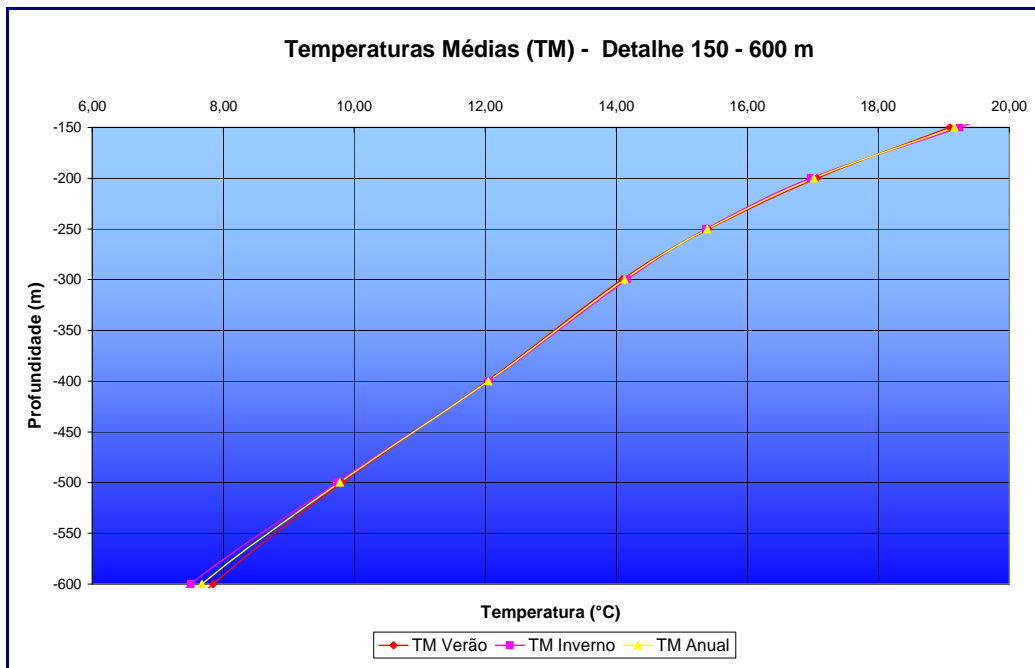


Figura 5.1.2-8. Detalhe de 150 a 600 m. Fonte: Levitus (1994).

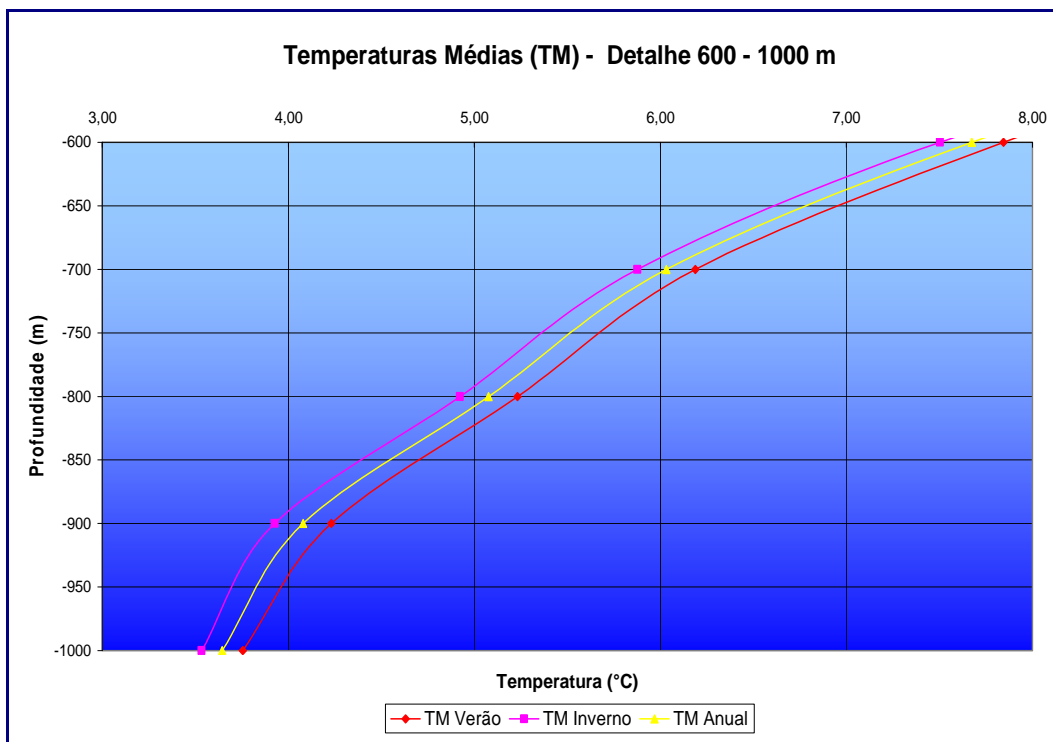


Figura 5.1.2-9. Detalhe de 600 a 1000 m. Fonte: Levitus (1994).

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.

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.

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.

A ressurgência da ACAS é muito importante para se entender o comportamento térmico área estudada. Este fenômeno é mais acentuado no verão, quando ocorre uma forte incidência de ventos de NE. Nesta região, pelo pequeno grau do gradiente batimétrico, a ACAS penetra acentuadamente pela plataforma continental, chegando a atingir as regiões rasas próximas à costa (Gonzalez-Rodriguez, 1982).

Durante a campanha de caracterização do bloco, realizada em outubro de 2008, foram encontradas temperaturas variando de 23,80 a 11,2°C, encontradas na superfície e no fundo, respectivamente, da estação 9. Em todas as estações de coleta a temperatura apresentou comportamento bastante semelhante, apresentando camada de mistura e termoclina permanente (Figura 5.1.2-10).

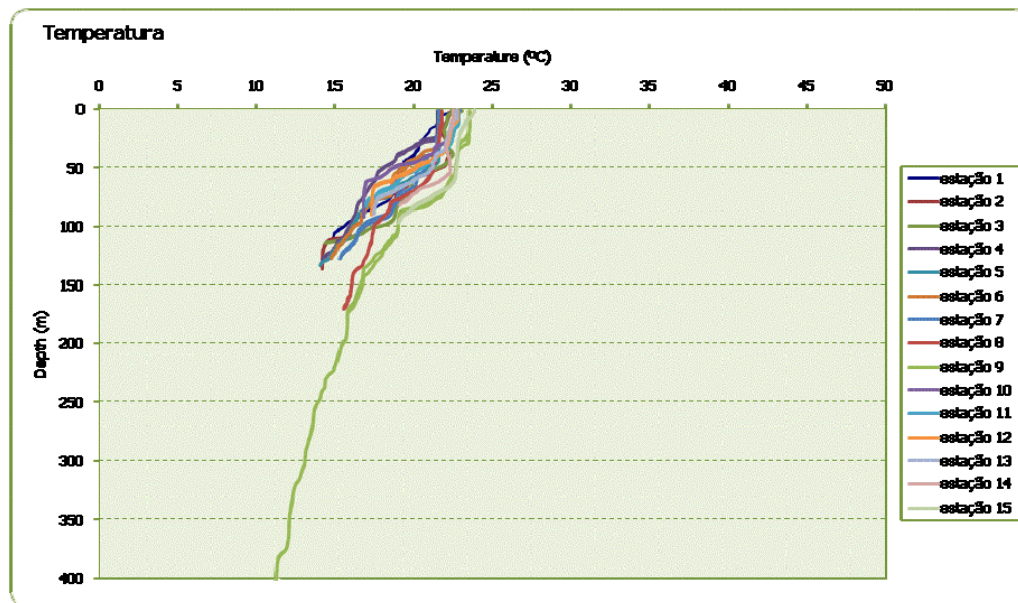


Figura 5.1.2-10. Perfis de temperatura obtido através de perfilagens de CTD na campanha dos Blocos BM-C-39, BM-C-40, BM-C-41, BM-C-42 e BM-C-43, Bacia de Campos. Fonte: OGX/PIR2/FUGRO (2009)

Lima (1997) analisou seções verticais de temperatura potencial, a Figuras 5.1.2-11 mostra a seção vertical ao longo da latitude de 22° S.

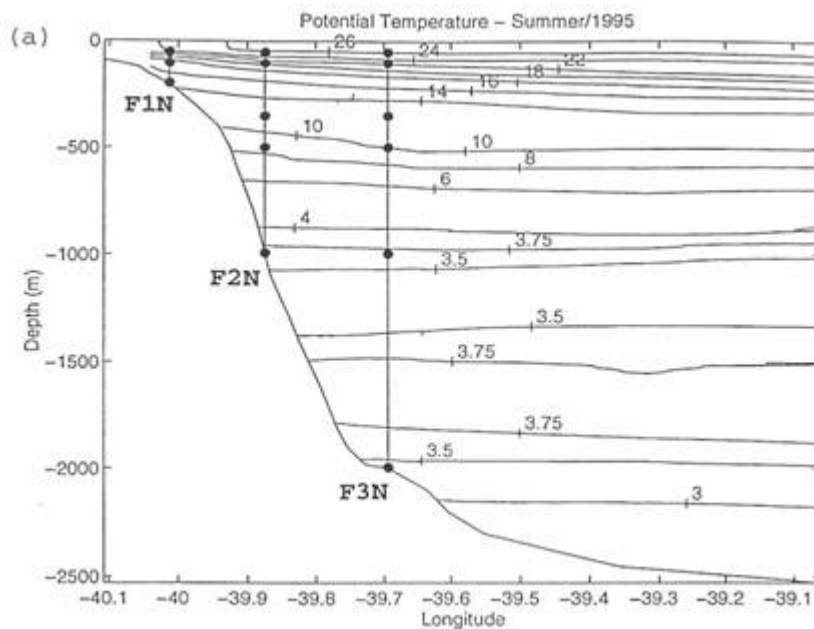


Figura 5.1.2-11. Seção vertical da temperatura potencial (° C) na latitude de 22° S, obtida por medições *in situ* no verão de 1995. Fonte: Lima (1997).

✓ Salinidade

Os dados referentes à salinidade comprovam os valores limites esperados segundo a distribuição de massas de água nesta região (Levitus, 1994). O Quadro 5.1.2-4 apresenta valores de salinidade superficiais de quase 37, característicos da AT, valores também encontrados na Corrente do Brasil.

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

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

Fonte: Levitus (1994).

A Figura 5.1.2-12 também apresenta valores superficiais de quase 37 característicos da AT, encontrados na Corrente do Brasil. As Figuras 5.1.2-13 a 5.1.2-15, a seguir, ilustram o comportamento vertical da salinidade, detalhado por trecho da coluna d'água (0 a 150m, 150 a

600m e 600 a 1000m), enfocando a grande estabilidade, com pequena variação anual, da faixa intermediária, que vai dos 150 aos 600 metros.

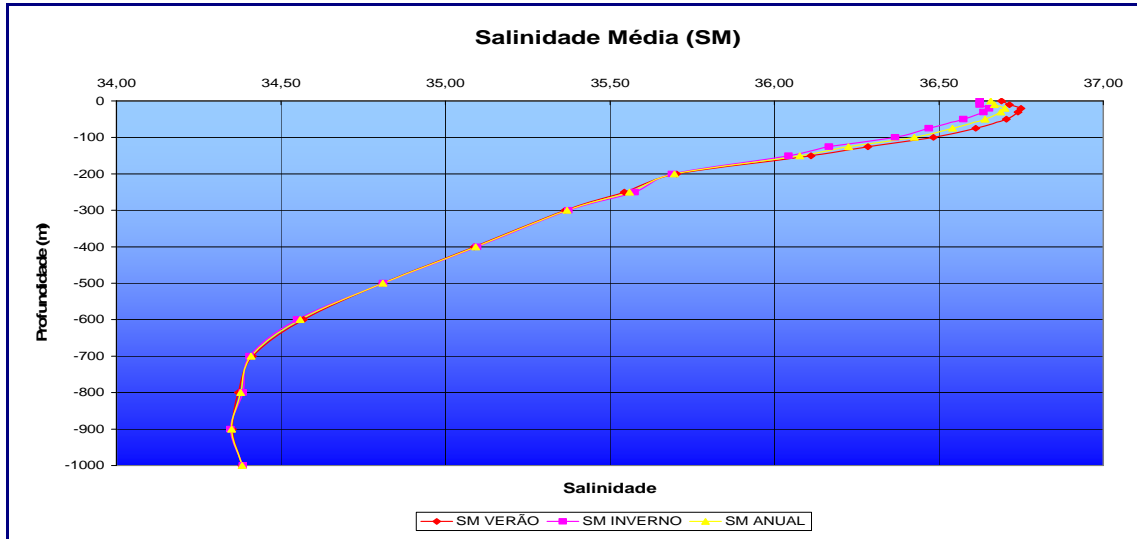


Figura 5.1.2-12. Salinidades médias anuais, de inverno e de verão. Fonte: Levitus (1994).

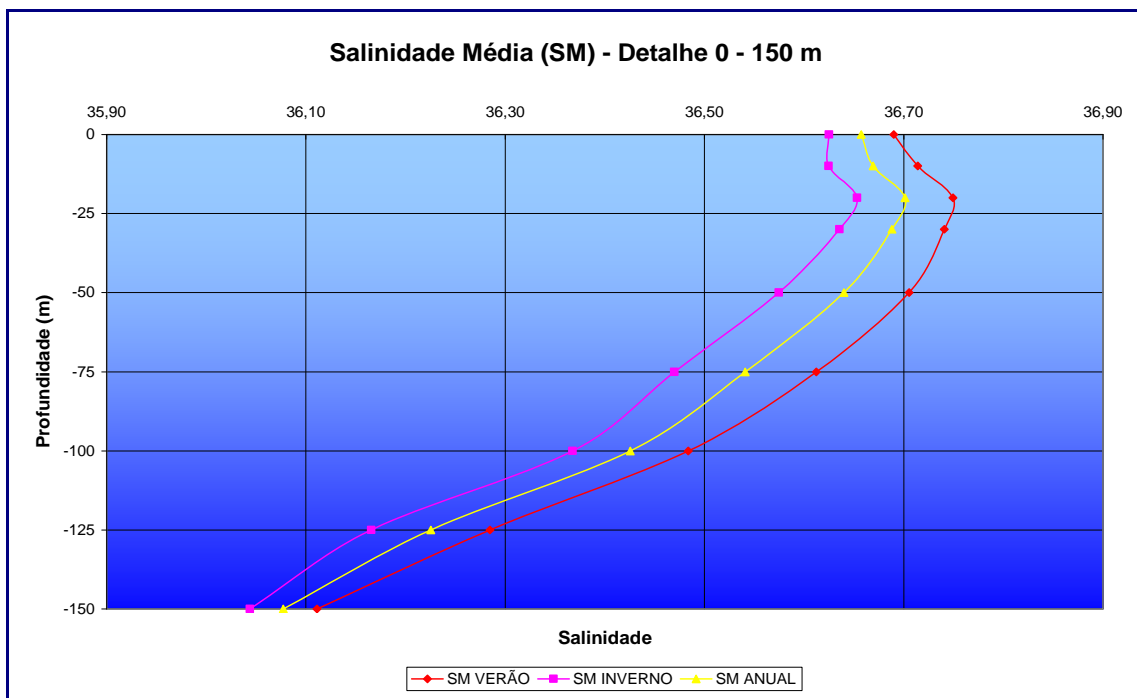


Figura 5.1.2-13. Detalhe de 0 a 150 m. Fonte: Levitus (1994).

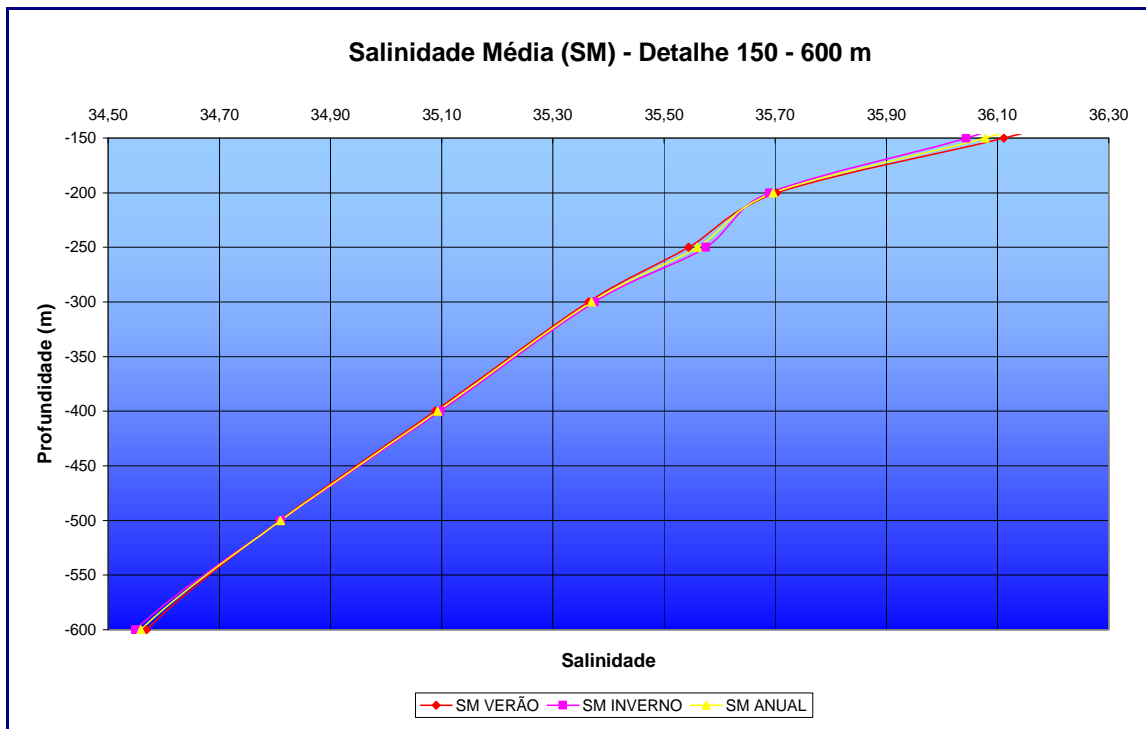


Figura 5.1.2-14. Detalhe de 150 a 600 m. Fonte: Levitus (1994).

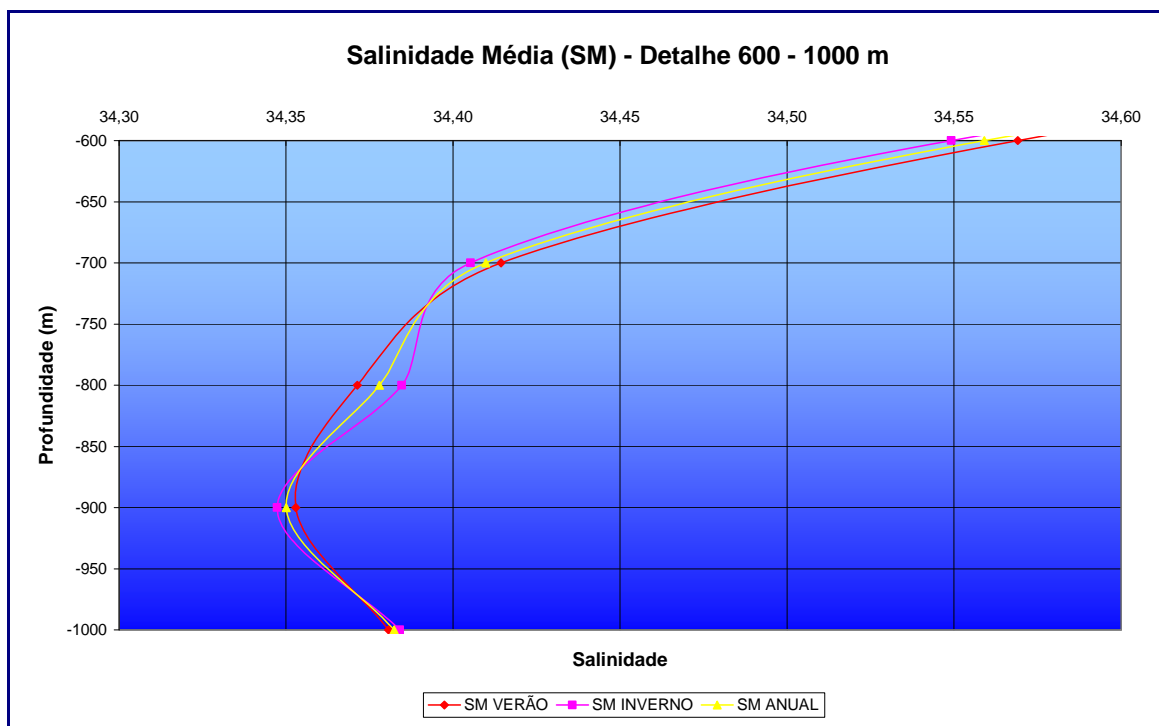


Figura 5.1.2-15. Detalhe de 600 a 1000 m. Fonte: Levitus (1994).

Ao longo da coluna d'água, a maior instabilidade é observada até a profundidade de 200 m, podendo este limite ser atribuído à profundidade de interação da AT com a ACAS. Pois tal camada é a mais sensível às variações climáticas sazonais. 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 o domínio da AIA, que apresentou seu núcleo localizado na profundidade de 900 metros.

Na região do bloco a salinidade apresentou comportamento bastante semelhante, com valores variando de 34,94 a 37,14 (OGX/PIR2/FUGRO, 2009). Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 5.1.2-16.

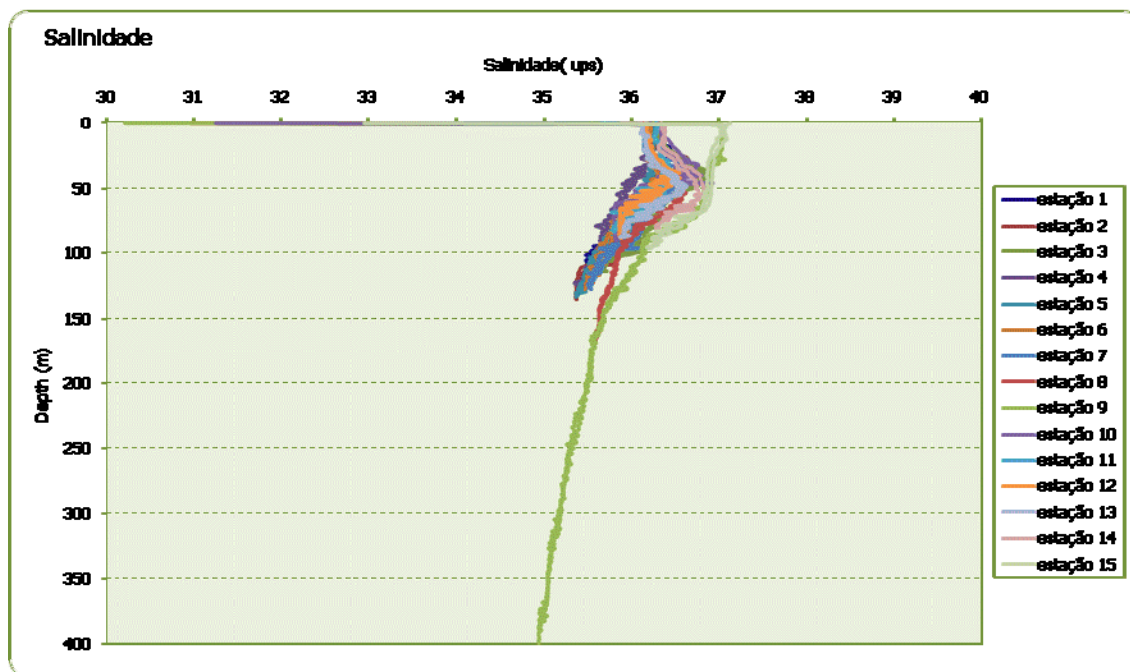


Figura 5.1.2-16. Perfis de salinidade obtido através de perfilagens de CTD na campanha dos Blocos BM-C-39, BM-C-40, BM-C-41, BM-C-42 e BM-C-43, Bacia de Campos. Fonte: OGX/PIR2/FUGRO (2009).

Lima (1997) também analisou seções verticais salinidade, a Figura 5.1.2-17 mostra a seção ao longo da latitude de 22° S.

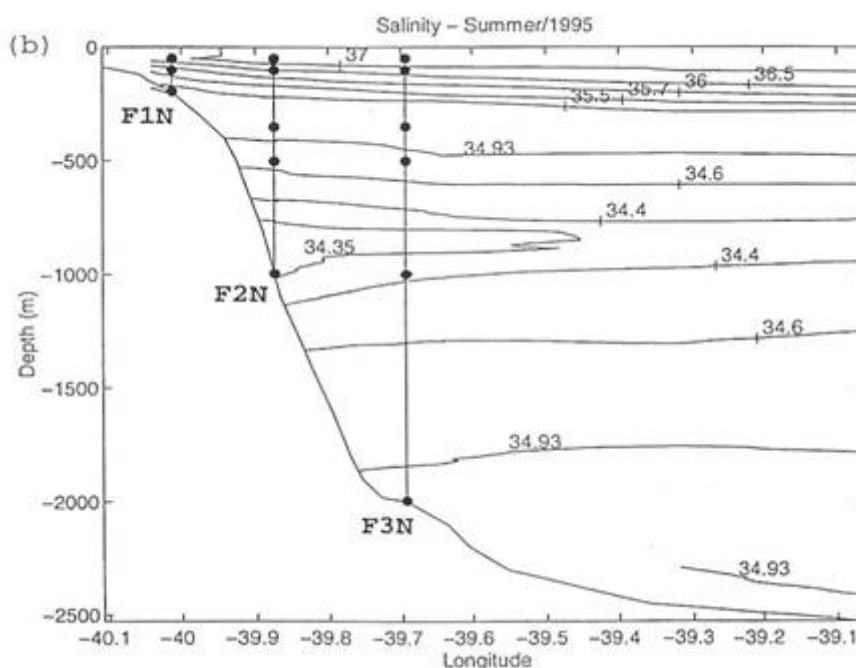


Figura 5.1.2-17. Seção vertical da salinidade na latitude de 22° S, obtida por medições *in situ* no verão de 1995.
Fonte: Lima (1997).

Analisando esta seção e a apresentada na Figura 5.1.2-11, é possível notar um empilhamento de águas mais frias e menos salinas que a água superficial, sobre a plataforma continental. Observa-se também uma mudança no gradiente dos dois campos a partir de 800m, próximo ao talude, indicando uma inversão da componente baroclínica da corrente.

A partir da análise dos dados de temperatura e salinidade, é possível inferir que a picnoclina, da mesma forma que a termoclina e a haloclina, se estendem até, aproximadamente, 800 m de profundidade e se iniciam em aproximadamente 50 m, variando em intensidade de maneira sazonal.

✓ Diagrama T-S

O diagrama T-S 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 5.1.2-18, 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 200 m, 1000 m e 2000 m. Nesta Figura são relacionadas as 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]).

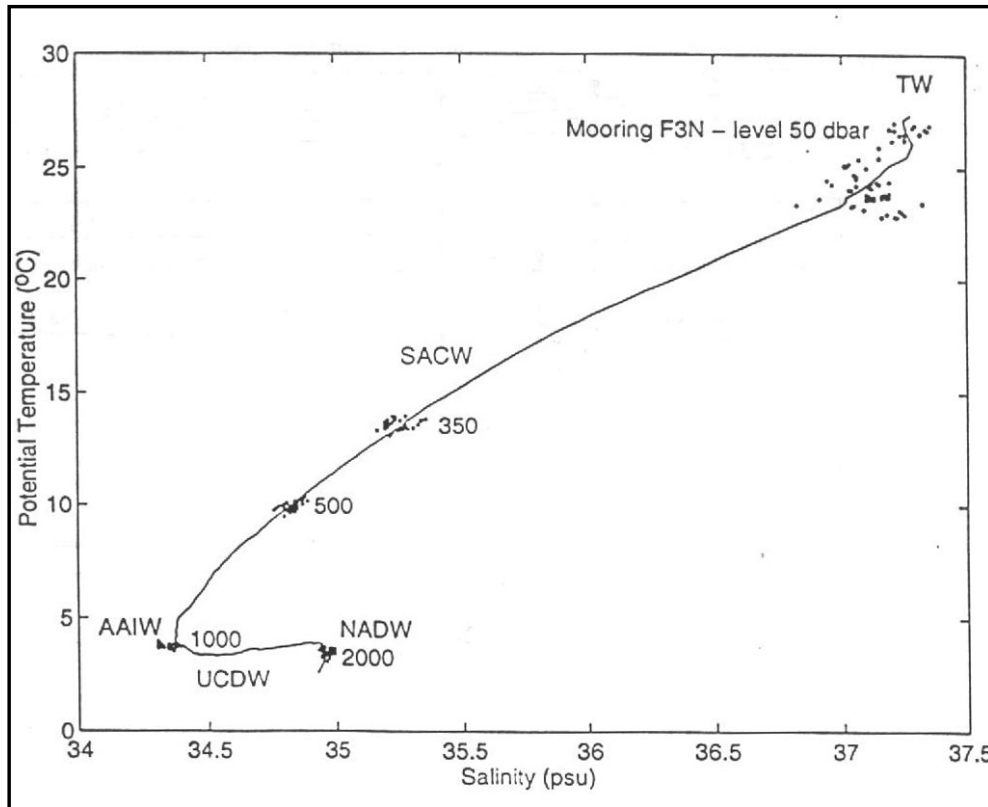


Figura 5.1.2-18. Diagrama T e S nas mesmas profundidades dos equipamentos utilizados no fundo *F3N*. Fonte: Lima, 1997.

A Figura 5.1.2-19 apresenta o diagrama T-S para os dados coletados na campanha de caracterização ambiental realizada por OGX/PIR2/FUGRO (2009), onde foram encontradas somente duas massas d'água, devido principalmente a profundidade onde estão situadas as estações de coleta.

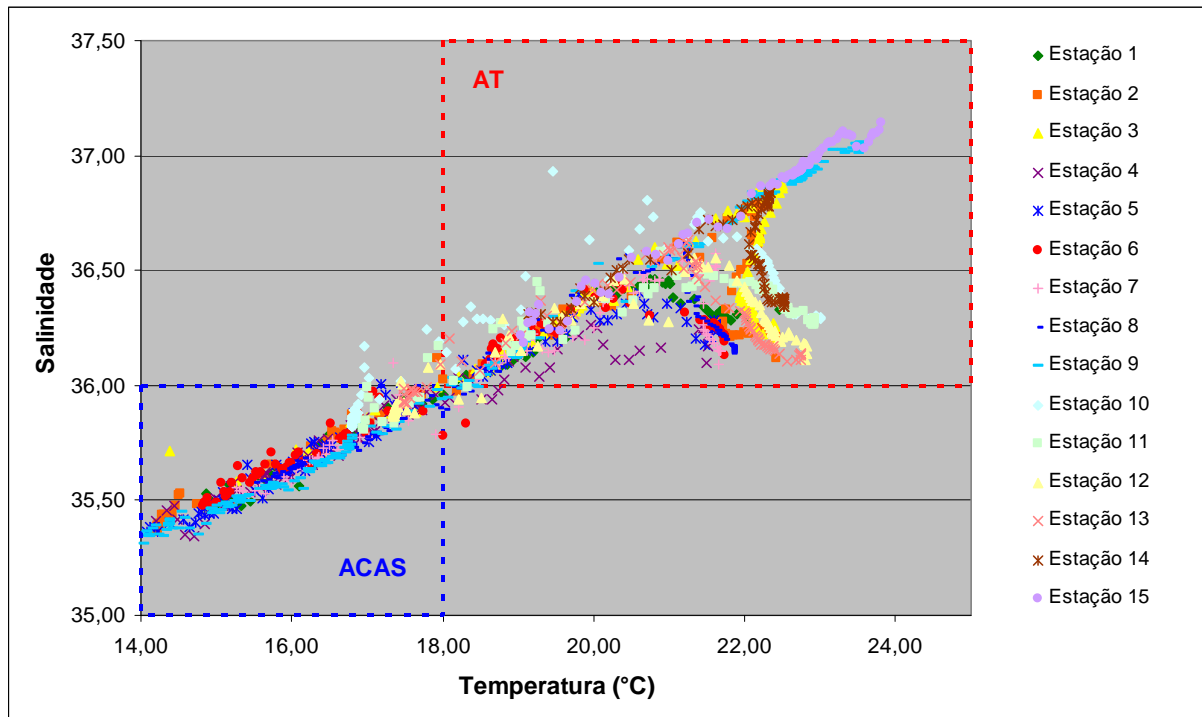


Figura 5.1.2-19. Diagrama T-S dos dados obtidos nas perfilagens de CTD na campanha de caracterização dos Blocos BM-C-39, BM-C-40, BM-C-41, BM-C-42 e BM-C-43, Bacia de Campos. Fonte: OGXPIR2/FUGRO (2009)

◆ Correntes

A dinâmica da circulação ao largo da costa SE brasileira é principalmente determinada pelo fluxo das massas d'água (AT, ACAS, AIA e APAN) encontradas na região e também influenciada pela batimetria local (Stramma et al., 1990 apud Lima, 1997; Castro e Miranda, 1998). A Corrente do Brasil (CB) é a principal corrente que caracteriza a circulação superficial e sub-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 de 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 100m (Signorini, 1978 apud Almeida *et al*, 2000), apresentando um estreitamento no seu lado oriental (devido a um cisalhamento ciclônico) durante a maioria dos meses (Signorini, 1976).

Embora acompanhe o formato da costa durante praticamente o ano todo (Lima, 1997), o núcleo da CB possui grande variabilidade sazonal, afastando-se para o largo durante o inverno

(Paviglione e Miranda, 1985) e estando mais junto à costa durante o verão (Moreira, 1997). A CB possui espessura de 400-700m ao largo do Sudeste-Sul brasileiro (Calado, 2001) e sua largura média é de aproximadamente 90km (Moreira,1997).

Em larga escala a direção e a intensidade das correntes na Bacia de Campos é explicada pelo padrão de circulação no oceano Atlântico Sudoeste em diferentes profundidades na coluna d'água, conforme mostra a Figura 5.1.2-20 a seguir.

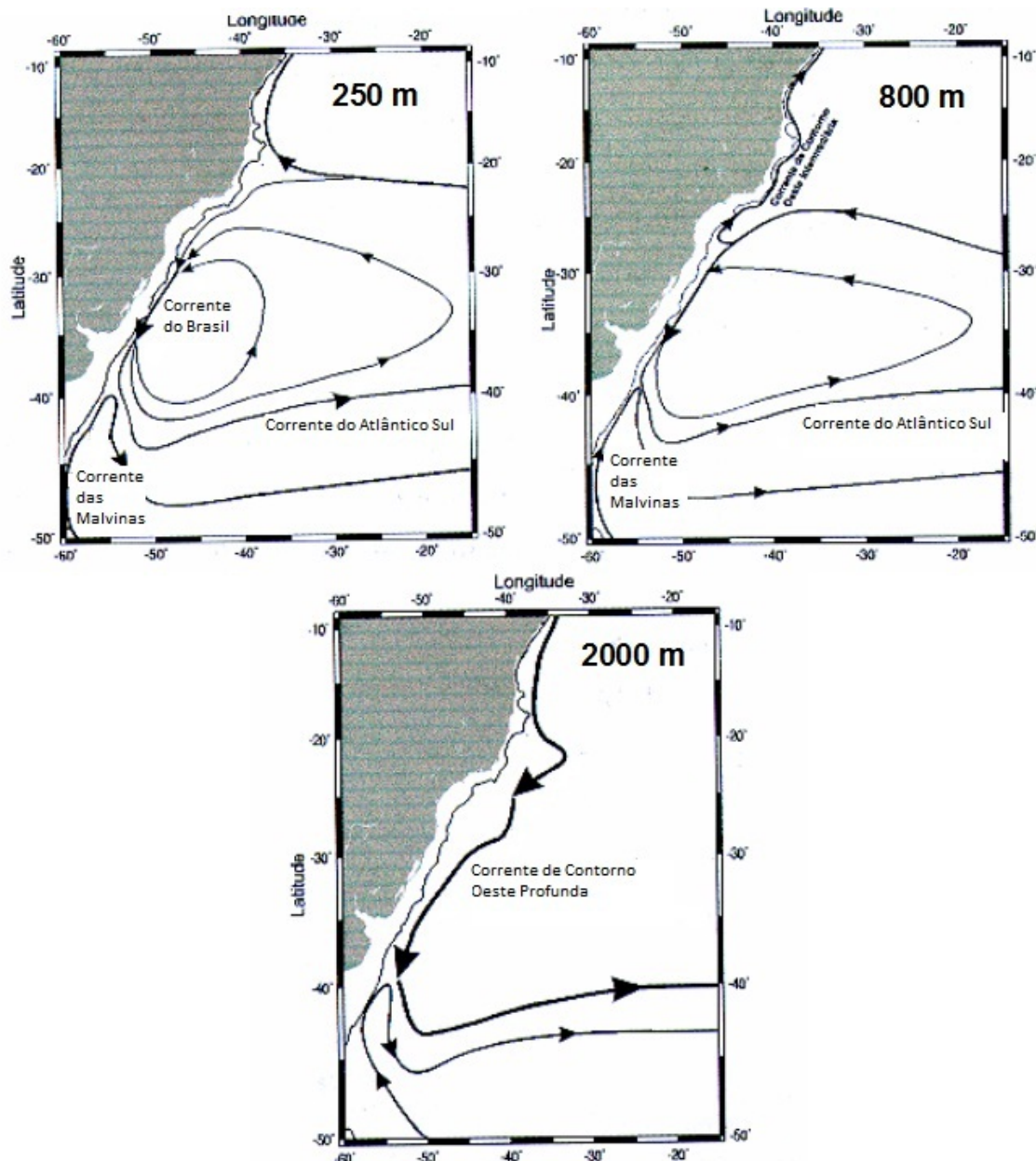


Figura 5.1.2-20. Representação esquemática da circulação no Oceano Atlântico Sudoeste ao nível de 250, 800 e 2000 metros. Adaptado de: Silveira *et al.*, 2000.

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 5.1.2-20, 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 5.1.2-20, 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). Ainda na Figura 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 no sentido 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 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 contracorrente 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.

Signorini (1978 *apud* Almeida, 2000), em sua análise dinâmica de dados hidrográficos, identificou um vórtice anticiclônico, ligeiramente ao norte de Cabo Frio com cerca, de 100 Km localizado em água profunda (>1000 m), com extensão vertical de 500m, englobando a Água Tropical e grande parte da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (Figura 5.1.2-21).

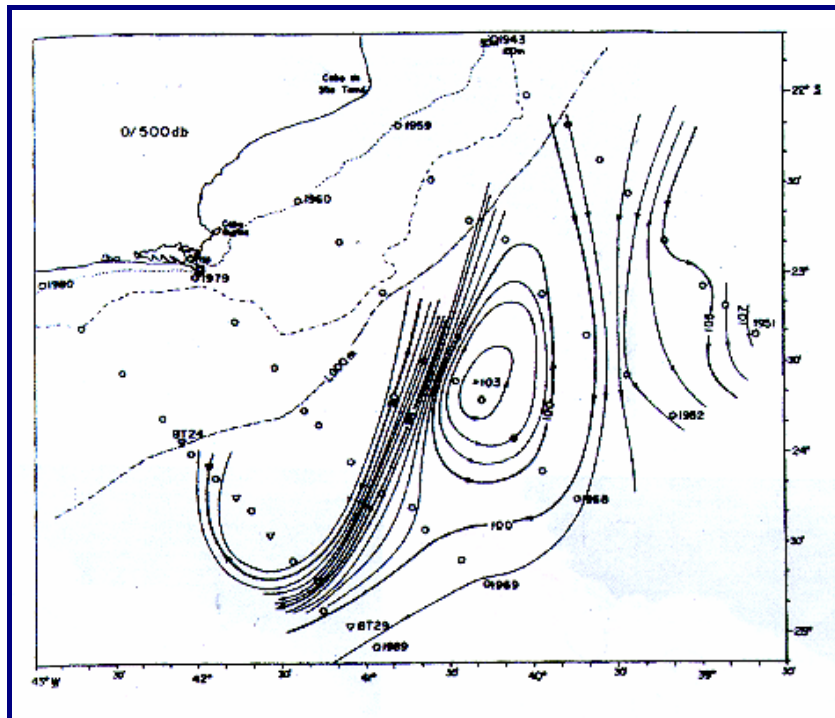


Figura 5.1.2-21. Vórtice anticiclônico encontrado entre Cabo Frio e Cabo de São Tomé.

Fonte: Signorini (1977 *apud* Calado, 2001).

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 CCIB 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. Isto se deve ao fato deste fluxo para norte apresentar uma tendência de confinamento pela topografia, acelerado pela batimetria nesta área (Evans *et al.* 1983).

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 0,3 a 0,5 m.s⁻¹. Nos primeiros 100 metros da coluna d'água, a velocidade da corrente pode chegar a 1 m.s⁻¹ (Castro e Miranda, 1998).

Signorini (1978 *apud* Almeida, 2000) e Miranda & Castro (1979 *apud* Almeida, 2000), detectaram um padrão meandrante na CB na região adjacente à Cabo Frio (23°S) e detectaram velocidades máximas superficiais de 0.52ms⁻¹ e 0.49 ms⁻¹, respectivamente.

O Quadro 5.1.2-5 apresenta um resumo dos transportes de volume e velocidades máximas encontradas no levantamento bibliográfico realizado por Silveira e colaboradores (2000) entre as latitudes de 21 °S e 24 °S. Através do quadro é possível observar que na maioria dos trabalhos realizados foram utilizados níveis de referência entre 500 e 600 m. Dentro da área de estudo esta profundidade corresponde à isopicnal de 26,9 Kg/m³, que marca a interface entre a ACAS e a AIA. E ainda é possível notar um sentido de escoamento predominante das correntes em direção S/SW.

Quadro 5.1.2-5. Valores de velocidade e transporte da Corrente do Brasil obtidos da literatura.*Valores negativos denotam fluxos com direção S/SW.

LATITUDE	PROF. DE REFERÊNCIA (m)	TRANSPORTE (Sv)	VELOCIDADE MÁXIMA (m/s)	REFERÊNCIA
21° S	600	-9,4	-	Schimid et al. (1995)
21° S	Numérico	-6,7	-0,83	Silveira et al. (2005)
21° S	Numérico	-7,9	-0,60	Silveira et al. (2005)
21° 40'S	500	-4,4	-0,61	Evans et al.(1983)
22° S	600	-5,2	-0,55	Signorini (1978)
22° S	Por fundeio	-5,5 ± 2,6	-	Lima (1997)
22° S	Numérico	-7,1	< -0,55	Lima (1997)
23° S	600	-6,0	-0,70	Signorini (1978)
23° S	550	-2,2/-2,7	-0,49	Miranda & Castro Filho (1979)
23° S	Pegasus	-11,0	-0,50	Evans & Signorini (1985)
23° S	Pegasus	-6,0	-0,70	Garfield (1990)
23° S	600/1300	-10,1/10,9	-	Stramma (1989)
23° S	Por fundeio	-1,3	-0,28	Müller et al. (1998)
23° 30' S	600	-9,4	-0,55	Signorini (1978)
24° S	1300	-7,5	-0,25	Fisher (1964)
24° S	600	-7,5	-0,57	Signorini (1978)
24° S	500/1000	-4,1/-7,8	-0,31	Evans et al. (1983)
24° S	600/1300	-9,4/-10,1	-	Stramma (1989)
24° S	750/900	-7,3/-8,8	-	Campos et al. (1995)

Fonte: Silveira (2007).

Dados medidos por correntômetros instalados em 3 linhas fundeadas na Bacia de Campos (Figura 5.1.2-22), foram analisados por Lima (1997). Foram coletados dados durante o período de maio de 1994 e maio de 1995, em diversas profundidades, desde 50 m até 1000 m no fundeio mais profundo.

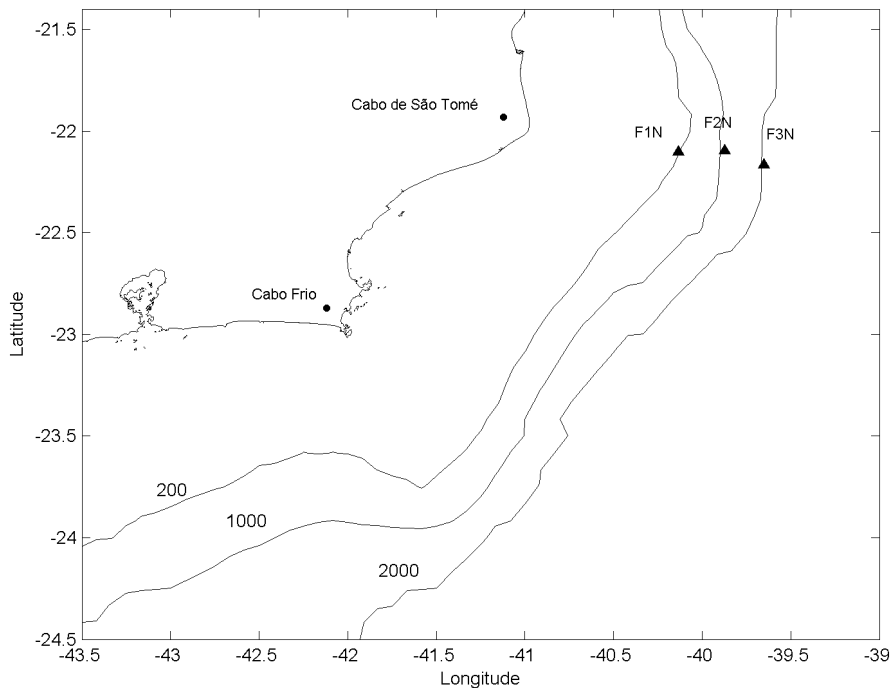


Figura 5.1.2-22. Localização dos fundeios da Bacia de Campos, cujos dados foram analisados por Lima (1997).

Fonte: Fragoso (2004)

Nas Figuras 5.1.2-23 e 5.1.2-24 são apresentadas as séries temporais das componentes meridional e zonal da corrente durante todo o período de medição dos correntômetros nos fundeios F1N, F2N e F3N, desde 50 m de profundidade até o fundo.

A componente meridional da corrente apresenta valores entre -0,5 e -1 m/s, ocorrendo inversões de sentido esporádicas e de curta duração. Estes dados indicam uma direção do fluxo preferencial para Sul, devido à influência da Corrente do Brasil (FRAGOSO, 2004).

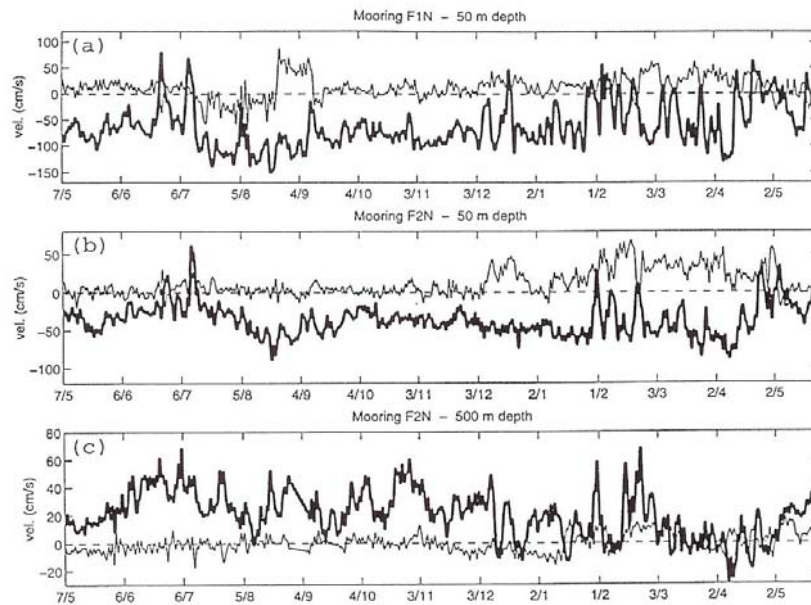


Figura 5.1.2-23. Séries temporais das componentes de velocidade zonal (linha fina) e meridional (linha grossa) dos fundeios F1N, a 50m (a), e F2N, a 50 m (b) e 500 m (c). Retirado de Lima (1997).

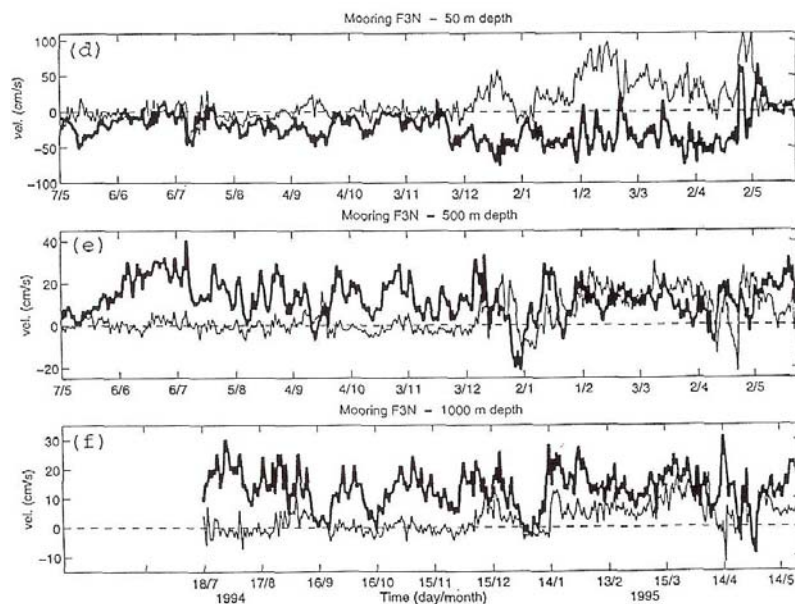


Figura 5.1.2-24. Séries temporais das componentes de velocidade zonal (linha fina) e meridional (linha grossa) dos fundeios F3N a 50m (a), 500 m (b) e 1000 m (c). Retirado de Lima (1997).

Velocidades médias e de contorno da CB variam sazonalmente, e a presença de meandros e vórtices de média escala também podem introduzir grandes mudanças no fluxo desta corrente (Beisl *et al*, 2001). Esta sazonalidade no comportamento da Corrente do Brasil gera diferentes campos de correntes, um para o inverno e outro para o verão quando da modelagem da dispersão de óleo, que são apresentados na forma de Figura no item 6.1.

Uma das descrições pioneiras de meandros e vórtices da Corrente do Brasil foi realizada por Mascarenhas e colaboradores (1971 *apud* Silveira *et al*, 2000), que descreveram a presença de vórtices e meandros ciclônicos e anticiclônicos ao largo de Cabo Frio, utilizando mapas de topografia dinâmica. Segundo estes autores a formação dessas feições oceanográficas é favorecida pelas feições topográficas da região.

Campos (1995) *apud* Silveira *et al*. (2000) atribui a ocorrência destes vórtices e meandros à mudança de orientação da costa a partir de Cabo Frio, assim como ao gradiente de batimetria existente, uma vez que a plataforma ao norte de Cabo Frio é estreita, e tende a se alargar e suavizar em direção à Bacia de Santos. Assim, a CB que flui ao longo da quebra da plataforma, por inércia, dirigir-se-ia em direção às águas mais profundas na latitude de Cabo Frio. Adicionalmente, utilizando o princípio de conservação de vorticidade potencial, o autor mostra que a CB iria meandrar ciclonicamente. Imagens AVHRR (Figura 5.1.2-25), 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). Outro exemplo de meandramentos e vórtices obtidos a partir de imagens de satélite é observado na Figura 5.1.2-26.

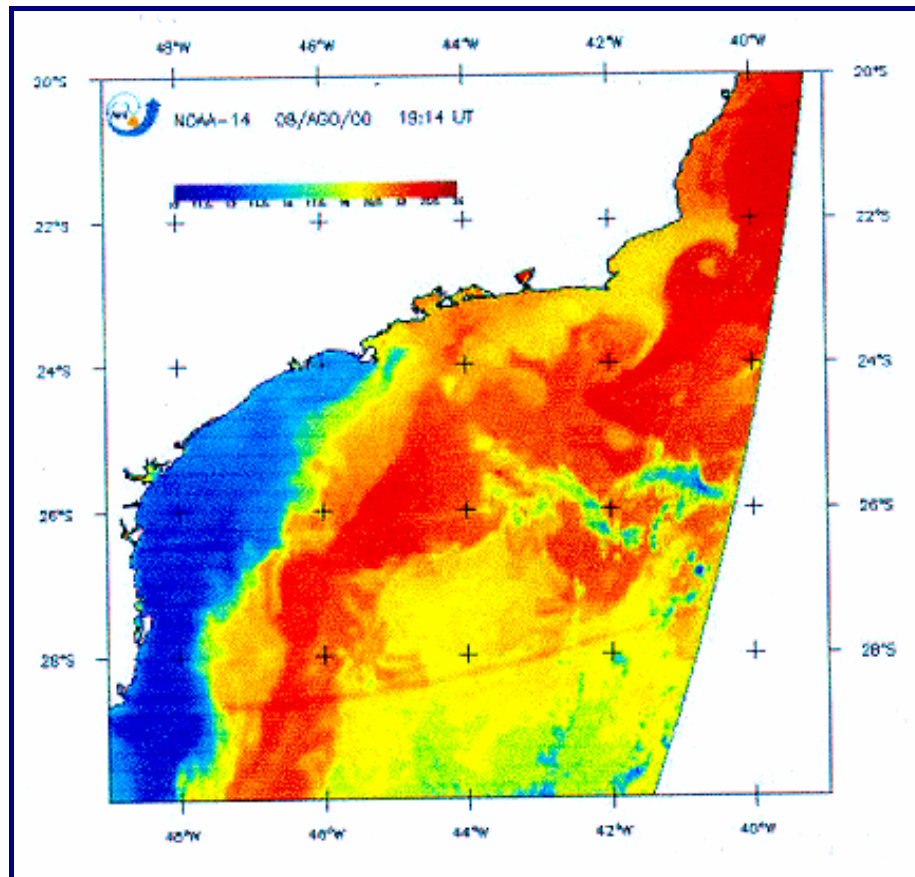


Figura 5.1.2-25. Imagem AVHRR da região sudeste do Brasil englobando a Bacia de Campos. As águas quentes, em vermelho, são características da Corrente do Brasil e as ondulações configuram meandros.

Fonte: Silveira e Lima, 2001 *apud* Calado, 2001.

Temperatura da Superfície do Mar - TSM Carta - Imagem

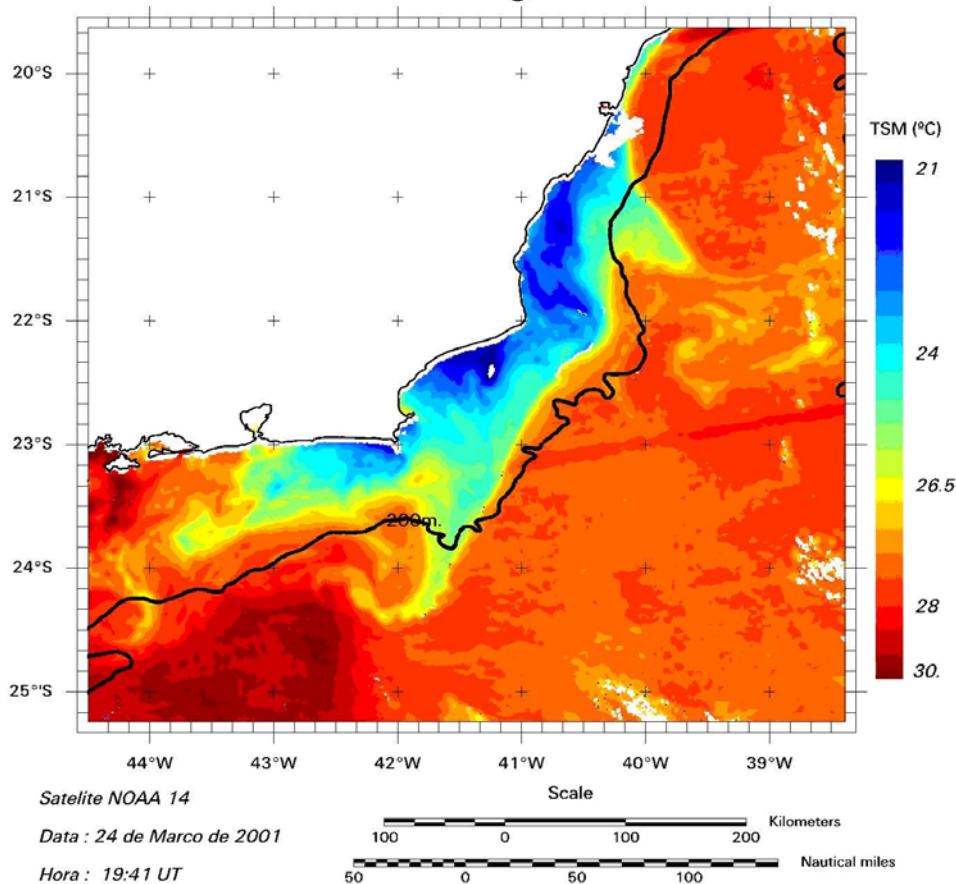


Figura 5.1.2-26. Carta-imagem da temperatura da superfície do mar processada pelo INPE do dia 24 de março de 2001, mostrando as feições vorticiais próximas ao Cabo de São Tomé e Cabo Frio. Fonte: Fragoso (2004)

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, 1998).

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 e Arraial do Cabo. 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 (Figura 5.1.2-27).

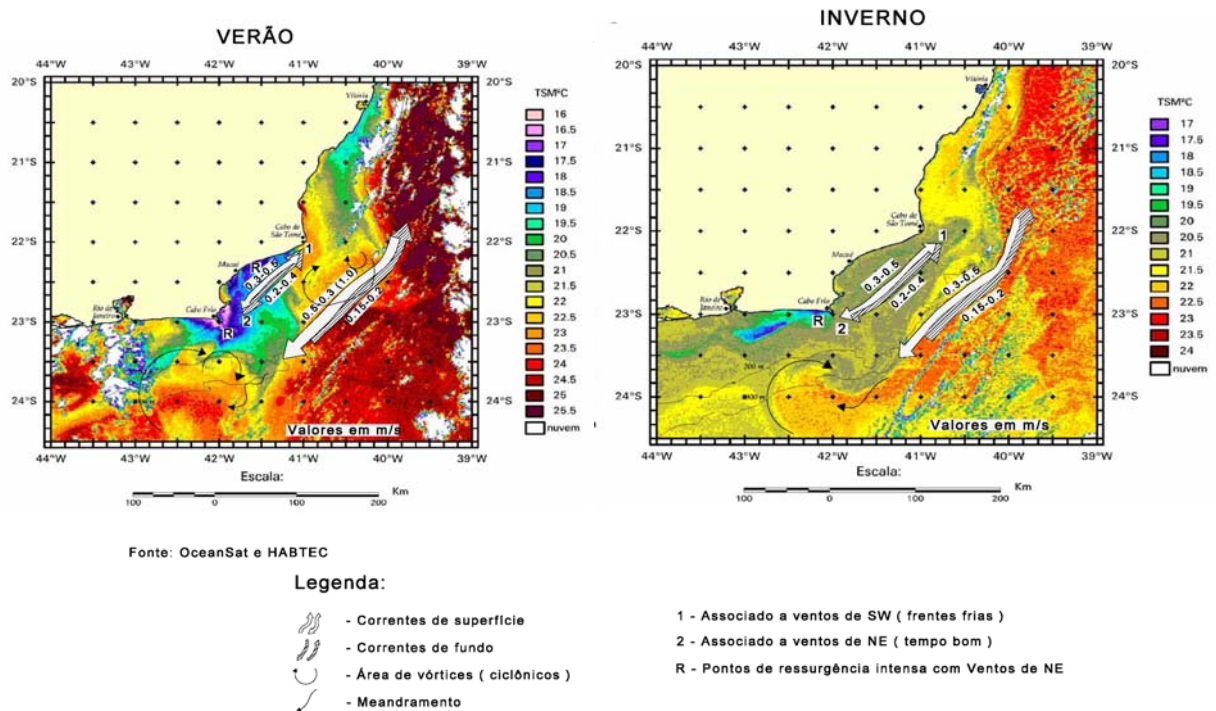


Figura 5.1.2-27. Representação de forma esquemática do campo de correntes superficiais e de fundo na região da Bacia de Campos para as condições de inverno e verão.

Fonte: Oceansat e Habtec.

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). Mahiques *et al.* (2002) confirmam 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.

O estudo de Lima (1997) é um dos poucos existentes cobrindo um período de um ano, de maio de 1994 a maio de 1995. Suas análises concluíram que a banda sub-inercial (de três a quinze dias) é a mais energética no espectro de freqüência 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

subsidiência, 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 $0,20 \text{ m.s}^{-1}$. Nas plataformas média e externa, e ainda na região de quebra, o valor chegou, em alguns casos, a $0,40 \text{ m.s}^{-1}$, apresentando alternâncias nas direções de propagação (N – valor médio $0,20 \text{ m.s}^{-1}$; S – valor médio $0,15\text{-}0,20 \text{ m.s}^{-1}$). No talude, não houve mudança na direção (N), apresentando valor médio $0,20 \text{ m.s}^{-1}$. Sucessivos eventos de ressurgência e subsidiência também foram observados.

A velocidade da corrente relativa à contribuição da maré é baixa, de cerca de $0,05 \text{ m.s}^{-1}$, 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, comprovam que o campo de correntes marinhas na plataforma continental até a isóbata de 200 metros tem influência do regime de ventos local e de correntes de marés (FUNDESPA, 1994).

◆ Correntes Máximas

Para verificação de valores extremos do regime hidrodinâmico na região dos blocos BM-C-39 a 43, foram utilizados dados do modelo HYCOM (*Hybrid Coordinate Ocean Model*), bem como dados do projeto DEPROAS.

O HYCOM é um modelo de circulação oceânica global, com resolução de $1/12^\circ$, que utiliza discretização horizontal em diferenças finitas (GABIOUX, 2008). Esse modelo tem como principal característica a utilização de um sistema de coordenadas verticais híbridas, isto é, utiliza o sistema de coordenadas isopicnais para as áreas de oceano aberto e estratificado, coordenadas z (cartesianas) para a camada de mistura e regiões pouco estratificadas, e coordenadas sigma para regiões com menores profundidades e topografia de fundo variável (zonas costeiras).

Os dados apresentados são referentes à simulação para todo o ano de 2007 no ponto de grade do HYCOM mais próximo ao ponto médio entre o Bloco BM-C-41. Este ponto de grade localiza-se em $41,28^\circ \text{ W}$ e $23,40^\circ \text{ S}$.

Os resultados desta simulação estão disponíveis via OPeNDAP no endereço: http://hycom.coaps.fsu.edu/thredds/dodsC/glb_analysis.html. Esses arquivos contêm a saída diagnóstica nos níveis de profundidade do Levitus para várias variáveis, incluindo: correntes, temperatura e salinidade (HYCOM, 2008).

O Quadro 5.1.2-6 apresenta os valores médios e máximos anuais e sazonais dos resultados do HYCOM para o ano de 2007 na região do Bloco BM-C-41. Nesta, o período de verão representa os meses de janeiro a março, e o inverno, os meses de junho a agosto.

Quadro 5.1.2-6. Estatísticas dos dados do HYCOM na região do Bloco BM-C-41.

	ANUAL	VERÃO	INVERNO
Média (m/s)	0,49	0,53	0,41
Máxima (m/s)	1.12	0,88	1,12

O Projeto DEPROAS (Dinâmica do Ecossistema de Plataforma da Região Oeste do Atlântico Sul) é um programa multidisciplinar, envolvendo meteorologia, assim como oceanografia física, biológica e geológica. Trata-se de uma iniciativa multi-institucional envolvendo, instituições brasileiras, como o Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e instituições internacionais (Universidade de Maryland, Scripps Oceanography Institution e ORSTOM Centre). O principal objetivo deste projeto é avaliar os mecanismos físicos responsáveis para variações sazonais da penetração da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na Plataforma Continental Sudeste do Brasil, e compreender o seu impacto nos ecossistemas da região. A ACAS é uma massa d'água que sobe à superfície na região costeira de Cabo Frio, quando ocorre a ressurgência.

O fundeio no qual os dados são mais representativos para as condições oceânicas das áreas da OGX (BM-C-39, 40, 41, 42 e 43), é o situado na isóbata da 200 m, próximo a região de Cabo Frio, em 23,74°S e 41,74°W. Os dados foram coletados por correntômetros acústicos na profundidade de 23 m entre os dias 27/7/2002 e 17/1/2004, compreendendo 22.717 dados em 473 dias de medições.

A estatística básica das correntes na profundidade de 23 m pode ser vista no Quadro 5.1.2-7.

Quadro 5.1.2-7. Estatística básica para as velocidades de correntes em todas as direções para a profundidade de 23 m.

MÍNIMO (cm/s)	MÁXIMO (cm/s)	MEDIA (cm/s)	DESV. PADRÃO (cm/s)	MEDIANA (cm/s)
0.09	94.02	23.51	14.76	20.77

◆ Marés

Conforme pode ser observado na Figura 5.1.2-28, 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). A maré apresenta os seguintes parâmetros de acordo com o mês de análise:

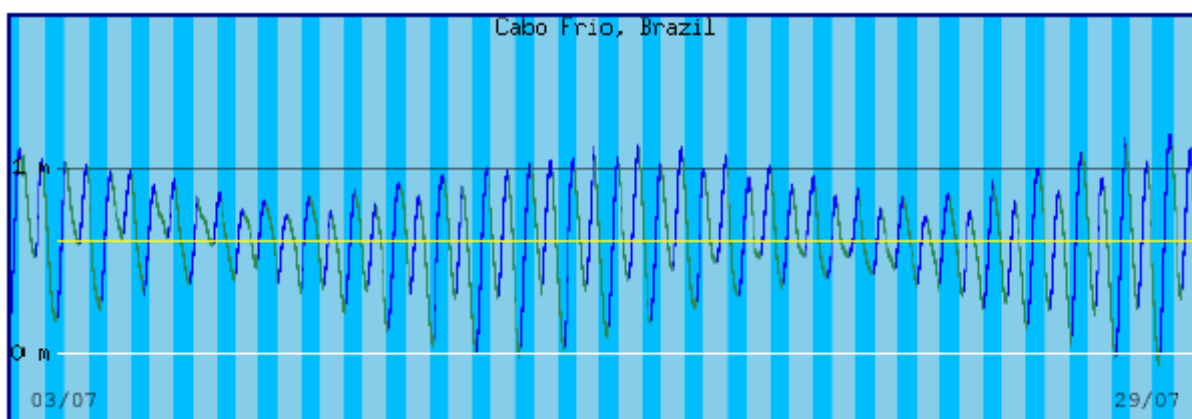


Figura 5.1.2-28. Maregrama previsto para região de Cabo Frio no período de 03/07 até 29/07/2002.

Fonte: <http://tbone.biol.sc.edu/tide/tideshow.cgi>

- Nível Médio do Mar 0,61 m
- Média de Baixamar 0,30 m
- Média de Preamar 0,95 m
- Média de Baixamar de Sizígia 0,30 m
- Média de Preamar de Sizígia 1,02 m
- Variação Média da Maré 0,65 m
- Variação Média de Sizígia 0,72 m
- Maré Astronômica Mínima -0,04 m
- Maré Astronômica Máxima 1,16 m
- Maré (Astronômica + Meteorológica) Mínima -0,44 m

- Maré (Astronômica + Meteorológica) Máxima 1,56 m
- Variação Máxima 1,13 m

Estudos de Lima (1997) avaliaram as contribuições das componentes das marés nas correntes de fundo na região da Bacia de Campos, próxima ao Bloco BM-C-41. Em todos os levantamentos, foi claramente detectado o pico espectral associado à maré semidiurna, sendo este pico uma ordem de magnitude superior ao pico diurno. 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 caracterização da maré nas proximidades do bloco foram utilizados dados da FEMAR em estações situadas em Arraial do Cabo (região costeira) e na Plataforma de Enchova (região oceânica). Um mapa da localização das estações de coleta está sendo apresentado na Figura 5.1.2-29.

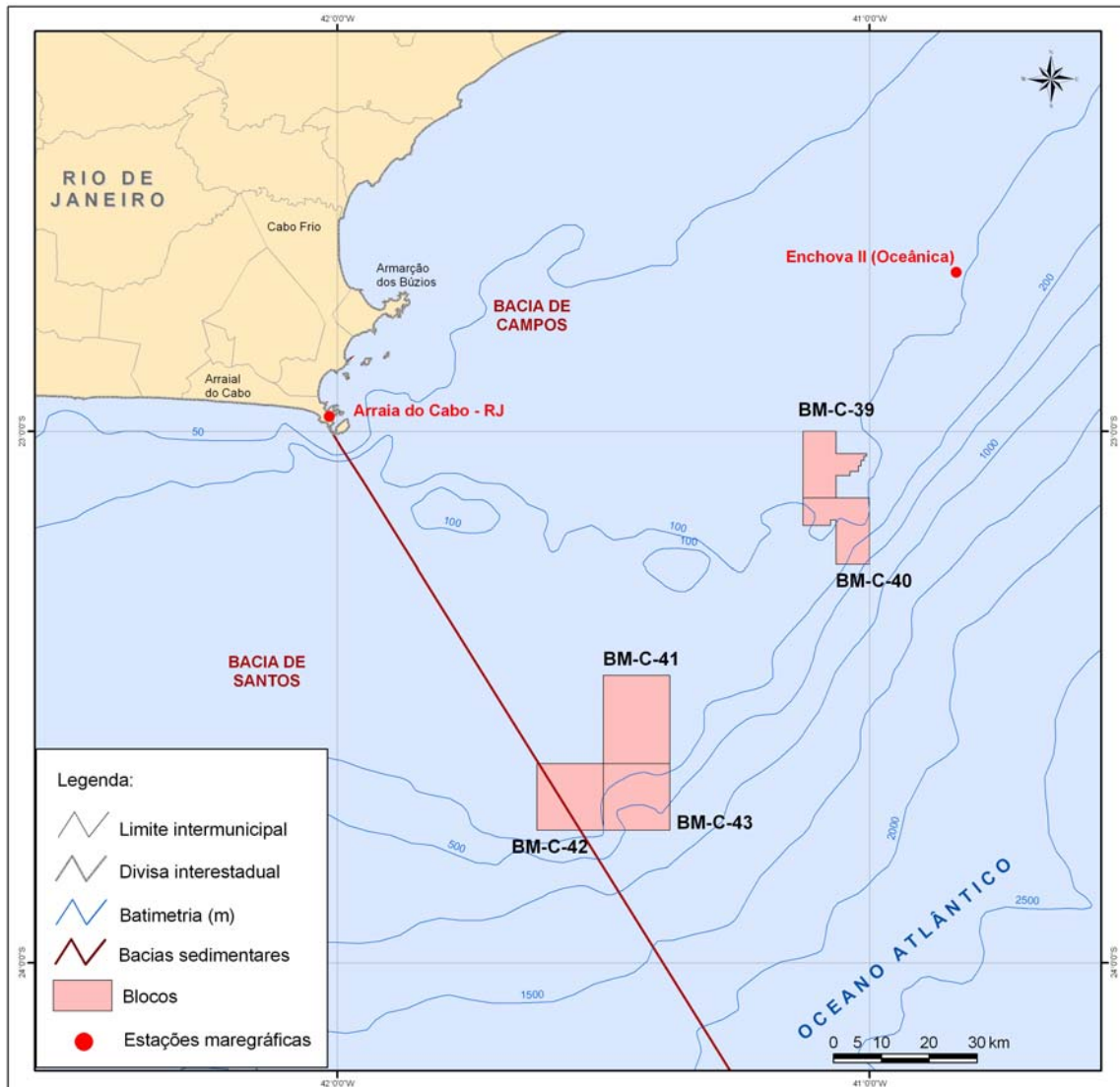


Figura 5.1.2-29. Localização espacial das estações maregráficas.

Para análises das constantes maregráficas da região de Arraial do Cabo (Quadro 5.1.2-8) optou-se pela utilização dos resultados obtidos na estação localizada na enseada dos Anjos, especificamente no Porto do Forno, devido sua robustez e conseqüente melhor confiabilidade. Nesta estação foram integrados cerca de 20 meses de medição (totalizando 40 componentes da maré), onde foi verificado que as componentes mais significativas são M2 e S2 (lunar e solar), com amplitudes de 32,6 cm e 17,2 cm, respectivamente. Um resumo dos parâmetros está apresentado a seguir:

- Nível médio 66 cm
- Média Preamar 115,5 cm

- Média Preamar de Sizígia 125 cm
- Média Preamar de Quadratura 106 cm
- Média Baixamar 16,5 cm
- Média Baixamar de Sizígia 22 cm
- Média Baixamar de Quadratura 11 cm

Já para região oceânica, os dados disponíveis são oriundos da plataforma de Enchova (Quadro 5.1.2-9), situada a cerca de 130 km do Bloco. Nessa estação foi realizada a análise das constantes harmônicas a partir de uma série de dados de 11 dias, que apresenta uma certa limitação dos resultados. Conforme esperado, as principais componentes são M2 (lunar) com 32,4 cm de semi-amplitude e S2 (solar) com 16,2 cm de amplitude. O resumo dos parâmetros obtidos estão apresentados a seguir.

- Nível médio 68 cm
- Média Preamar 116,5 cm
- Média Preamar de Sizígia 122 cm
- Média Preamar de Quadratura 111 cm
- Média Baixamar 19 cm
- Média Baixamar de Sizígia 30 cm
- Média Baixamar de Quadratura 8 cm

Quadro 5.1.2-8. Dados de maré medidos na região costeira (Porto do Forno, Arraial do Cabo – RJ).

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

Nome da Estação : ARRAIAL DO CABO - RJ					
Localização : Enseada dos Anjos - Porto do Forno.					
Organ. Responsável : DHN / INPH / IEAPM					
Latitude : 22° 58,3' S		Longitude : 42° 00,9' W			
Período Analisado : 02/02/82 a 04/03/82			Nº de Componentes : 40		
Análise Harmônica : Método Almirante Santos Franco					
Classificação : Maré de Desigualdades Diurnas.					
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		II H 57 min	Nível Médio (Zo):		66 cm acima do NR.
Média das Preamares Superiores (MHHW) :		125 cm acima do NR.	Média das Preamares Inferiores (MLHW) :		106 cm acima do NR.
Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :		22 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) :		11 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	0,7	241
Ssa	-	-	N ₂	4,2	092
Mm	5,7	308	NU ₂	0,8	090
Mf	-	-	M ₂	32,6	078
MTM	9,6	271	L ₂	2,2	092
Msf	0,9	355	T ₂	1,0	088
Q ₁	2,7	075	S ₂	17,2	088
O ₁	1,0	087	K ₂	4,7	089
M ₁	1,4	046	MO ₃	0,2	303
P ₁	1,7	143	M ₃	0,1	218
K ₁	5,4	147	MK ₃	0,4	220
J ₁	1,0	123	MN ₄	0,4	009
OO ₁	0,8	046	M ₄	1,9	025
MNS ₂	1,1	128	SN ₄	0,4	037
2N ₂	0,6	106	MS ₄	1,0	115
Referências de Nível: RN IBGE - No quinto degrau da escada da Igreja em frente ao Porto. RN2 DHN colocado no primeiro pilar do enrocamento do Porto. RN 04 na soleira da porta do Entrepasto de Pesca.					
Obs: Outros Períodos : 13/07/61 a 14/09/61 ; 01/12/71 a 11/07/71 ; 01/03/76 a 01/04/76; 01/09/82 a 30/12/82 ; 15/05/90 a 09/09/90; 01/08/91 a 31/08/91 Existem ainda outras observações no IEAPM Consta das Tábuas das Marés.					

Código BNDO: 50156

- 183 -

 Fonte: <http://www.fundacaofemar.org.br/>.

Quadro 5.1.2-9. Dados de maré medidos na região costeira (Porto do Forno, Arraial do Cabo – RJ).

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

Nome da Estação :		ENCHOVA II (OCEÂNICA)			
Localização :		Bacia Petrolífera de Campos – RJ			
Organ. Responsável :		PETROBRÁS / DHN			
Latitude :		22° 42,0' S	Longitude :		40° 50,2' W
Período Analisado :		05/07/80 a 15/07/80		Nº de Componentes : 28	
Análise Harmônica :		Método Almirante Santos Franco			
Classificação :		Maré de Desigualdades Diurnas			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		III H 09 min	Nível Médio (Zo):		68 cm acima do NR.
Média das Preamares Superiores (MHHW) :		122 cm acima do NR.	Média das Preamares Inferiores (MLHW) :		111 cm acima do NR.
Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :		30 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) :		8 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	6,2	083
Mm	-	-	NU ₂	1,2	083
Mf	-	-	M ₂	32,4	083
MTM	-	-	L ₂	-	-
Msf	-	-	T ₂	1,0	088
Q ₁	5,4	075	S ₂	16,2	088
O ₁	11,3	075	K ₂	4,4	088
M ₁	-	-	MO ₃	-	-
P ₁	2,0	139	M ₃	-	-
K ₁	6,2	144	MK ₃	-	-
J ₁	-	-	MN ₄	-	-
OO ₁	-	-	M ₄	3,5	347
MNS ₂	-	-	SN ₄	-	-
2N ₂	0,8	083	MS ₄	2,8	065
Referências de Nível: Não há registros					
Obs: Maré observada em plataforma marítima de produção. Não há referências a outros períodos					

Código BND0: 50115

De acordo com Dias e colaboradores (2007), diversos estudos sobre mudanças climáticas ocorridas durante o holoceno (período atual da história geológica), no litoral brasileiro, demonstram o avanço do mar em diversas regiões costeiras, entretanto, a maior parte destes estudos indica uma elevação máxima do nível do mar cerca de 5100 anos atrás. Tais autores, contudo, em estudo sobre a variação do nível do mar na costa do Rio de Janeiro, indicaram que devido a alterações antrópicas e outras variáveis, como por exemplo, tectono eustasia e glácio eustasia, há uma impossibilidade de avaliação de tendências lineares de transgressão ou regressão marítima.

◆ 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 5.1.2-30. 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 5.1.2-31 foi elaborada pela Petrobras, a partir de dados obtidos em diferentes plataformas a partir da década de 90, e 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 5.1.2-31, 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 o setor oeste/noroeste, variando entre 245° e 348° , tendo como característica básica à 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°.

- **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 anticiclone do Atlântico Sul (A1 na Figura 5.1.2-30). Este anticiclone (centro de alta pressão) gera ventos de Norte a Leste, dependendo da sua posição em relação à costa. O anticiclone é chamado de semi-estacionário devido à sua constância entre a América do Sul e a África, em latitudes variando de 20° a 40° 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 anticiclone na mesma locação e/ou valores altos de pressão atmosférica, os ventos resultantes podem ser bem intensos (até 23 m.s⁻¹) 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 5.1.2-30) 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° 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.

O centro de baixa pressão se situa próximo 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 5.1.2-30, vista inferior da Antártida) deslocando-se preferencialmente de oeste para leste. Quando a Alta Antártida (A2a e A2b) está muito acentuada, ela desloca o anticiclone 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 5.1.2-30 (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.

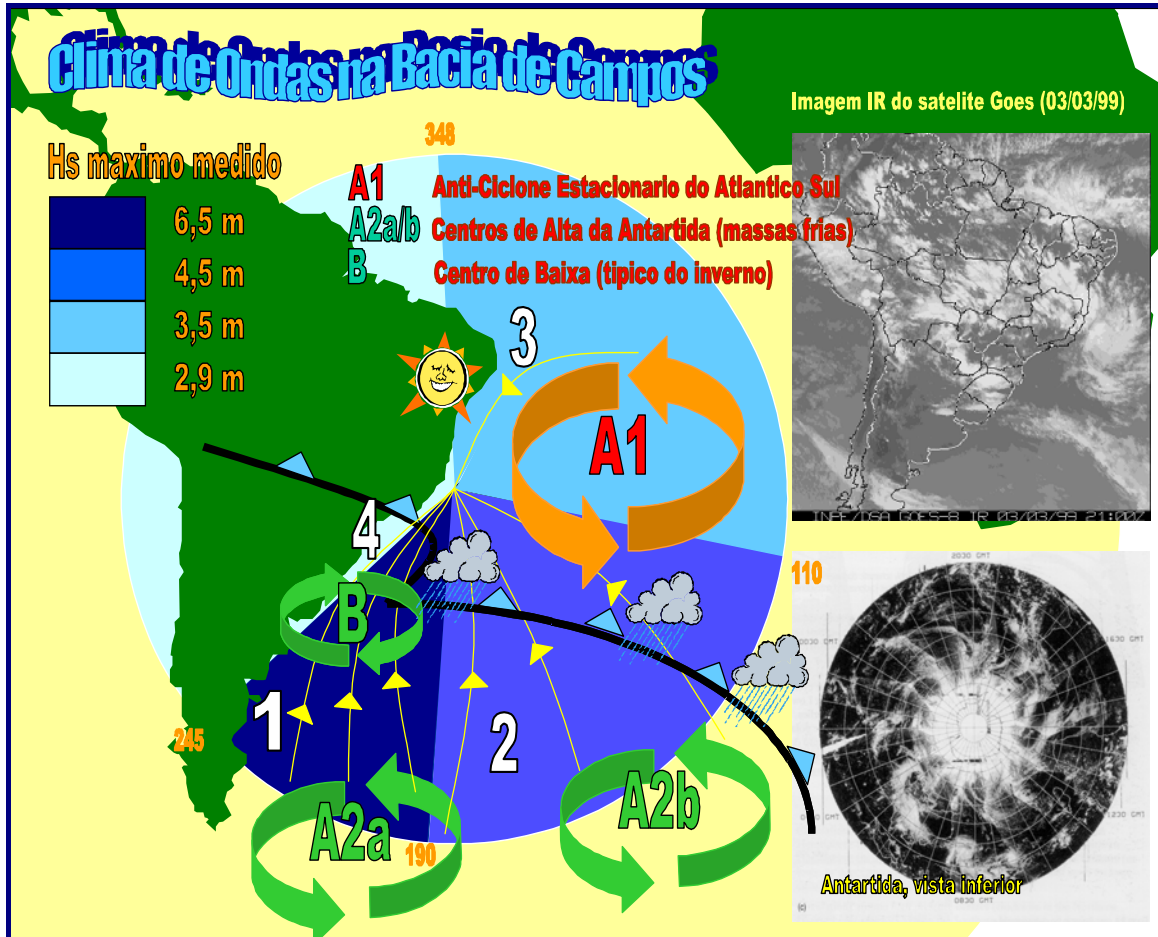


Figura 5.1.2-30. Condições típicas de ondas na Bacia de Campos, associadas com diferentes direções de propagação e sistemas meteorológicos.

Fonte: PETROBRAS, 2001 *apud* PETROBRAS/ Habtec, 2004.

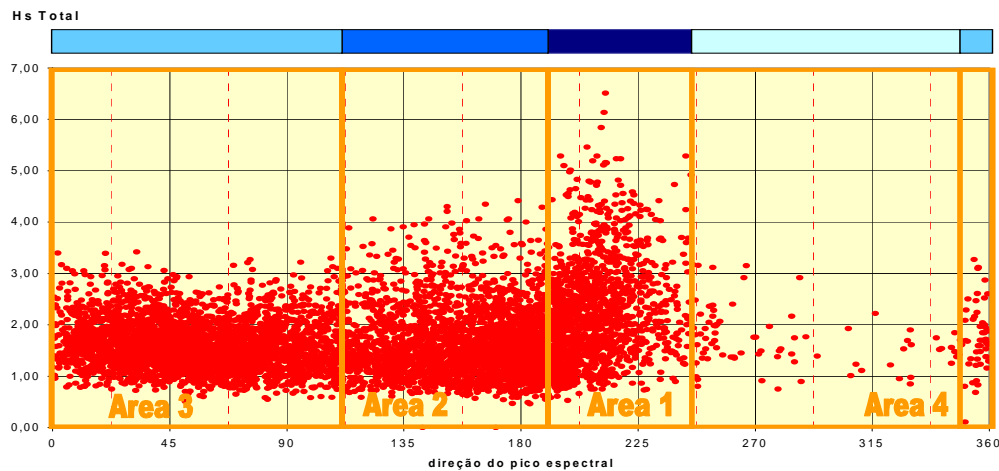


Figura 5.1.2-31. Valores de Altura Significativa de Onda (Hs) por direção de pico do espectro. Fonte: PETROBRAS, 2001 *apud* PETROBRAS/ Habtec, 2004.

Para caracterização do regime de ondas na Bacia de Campos, foram utilizados os resultados obtidos em uma bóia oceanográfica localizada no campo de Marlim (Bacia de Campos) nas coordenadas geográficas 22° 31' 48"S e 40° 02' 38"W, tomando-se como base a análise realizada pelo software do próprio equipamento, por Seixas (1997). O princípio da determinação consiste na presença de uma série de dispositivos internos (acelerômetro, magnetômetro “fluxe-gate”, conversores analógico-digitais, filtros e outros) que transformam a resposta do instrumento à movimentação em grandezas relacionadas ao campo de ondas, como elevação da superfície e suas inclinações ortogonais latitudinal e longitudinal. O registro das séries temporais a série foi obtido a partir de sequências de dados de 20 minutos registradas a cada 3 horas, com uma frequência amostral de 1 Hz, ou seja, de 3 em 3 horas eram obtidas séries de 20 minutos de dados de onda a uma taxa de 1Hz (1 dado coletado a cada segundo).

Também são apresentados os dados do trabalho apresentado por Souza (1988), nas coordenadas 22° 22' 23.59"S / 040° 25' 06.46"W entre os meses de junho de 1985 e maio de 1986. Os resultados obtidos são oriundos de dois ondógrafos REMAG (régua de acoplamento magnético) instalados em uma plataforma na Bacia de Campos, à 130 m de profundidade. Estes equipamentos são discretos, possuindo resolução de 5 cm e atuando diretamente na superfície do mar. Souza (1988) utilizou séries de dados registrados a cada 3 horas (oito registros diários), cada uma com 3131 ou 3132 amostras obtidas a uma taxa de 0,5Hz (intervalo de 0,5 segundo), totalizando aproximadamente 26 minutos de medição para cada registro.

O mar mais comum apresentado na região possui ondas com período de pico (Tp) entre 20 e 10s, do octante Sul, seguido por ondas com Tp 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).

Com relação aos máximos locais, 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 5.1.2-32).

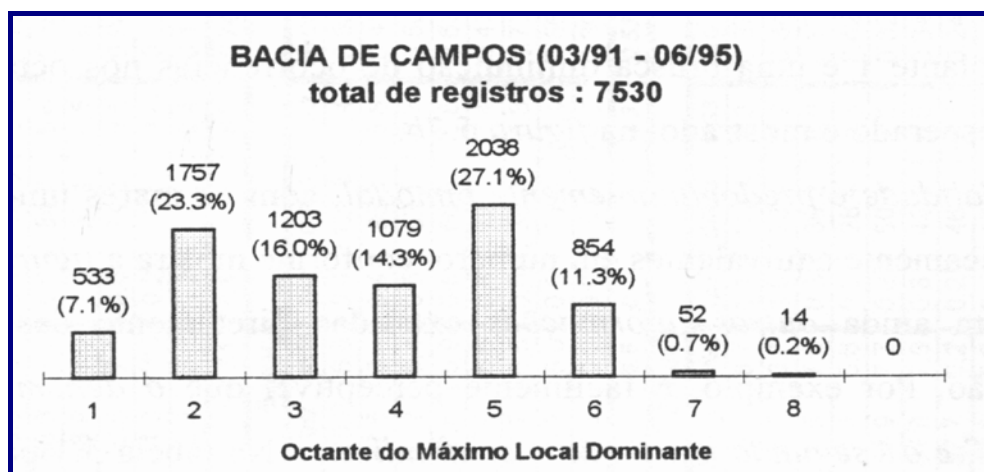


Figura 5.1.2-32. Distribuição de direção do máximo local por octantes.

Fonte: Seixas, 1997.

Esta distribuição pode ser explicada pelas distribuições dos centros de alta e baixa pressão no Atlântico Sul. Com relação à altura de onda modelada, ou seja, obtida partir do espectro modelado (HsOH), a ocorrência mais freqüente foi de 1,75 m estando a maioria dos registros entre 1,50 m e 2,00 m, conforme a Figura 5.1.2-33.

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).

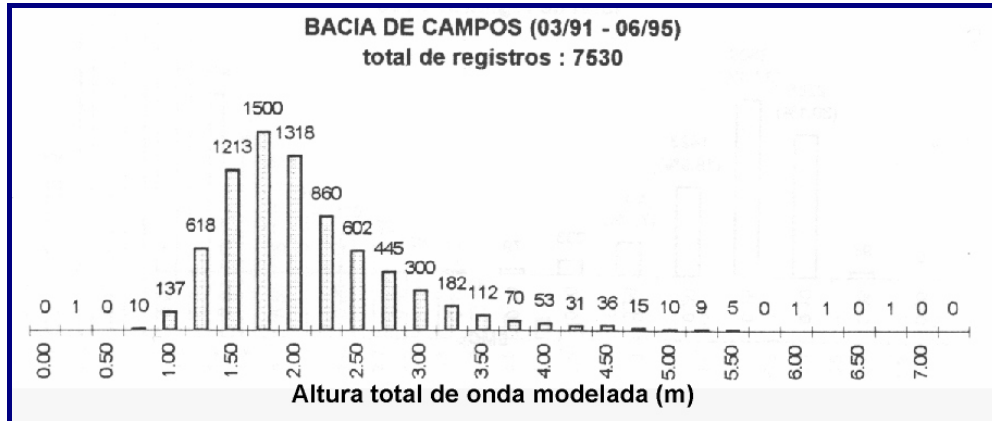


Figura 5.1.2-33. Distribuição de altura total de onda obtida através de modelagem matemática. Fonte: Seixas, 1997.

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, 1988). A fim de melhorar a visualização do regime de ondas, são apresentados, a seguir, as Figuras 5.1.2-34, 5.1.2-35, 5.1.2-36 e 5.1.2-37 com outras informações sobre a região.

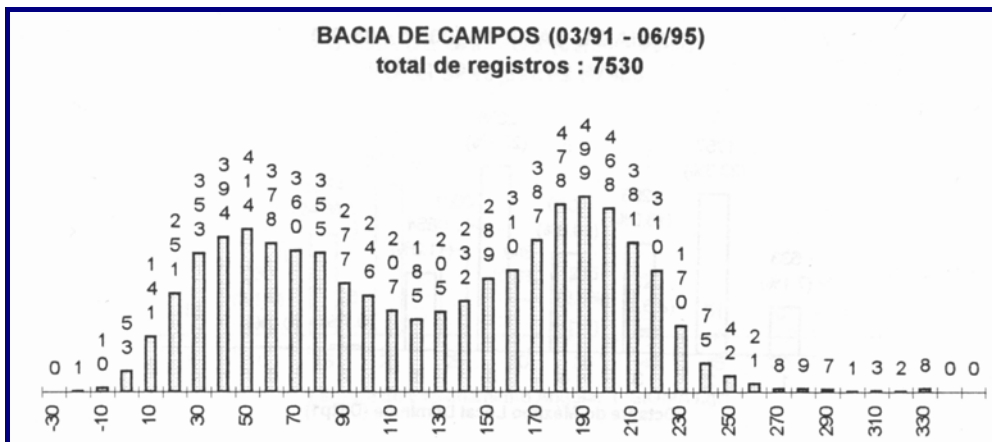


Figura 5.1.2-34. Distribuição de direção do máximo local (graus). Fonte: Seixas, 1997.

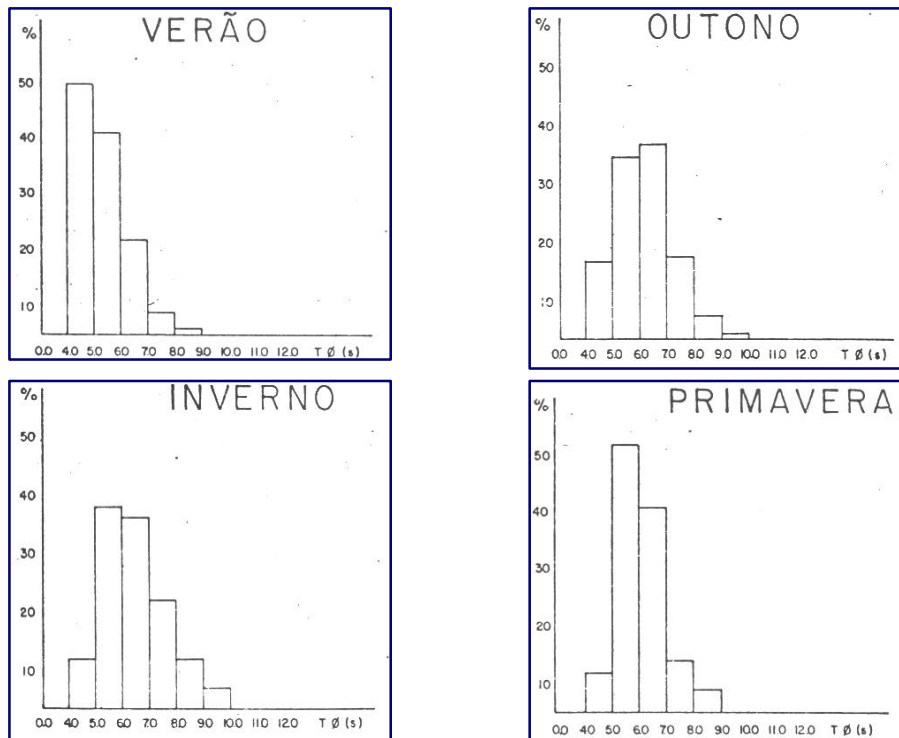


Figura 5.1.2-35. Distribuição sazonal de Período ascendente.

Fonte: Souza, 1988.

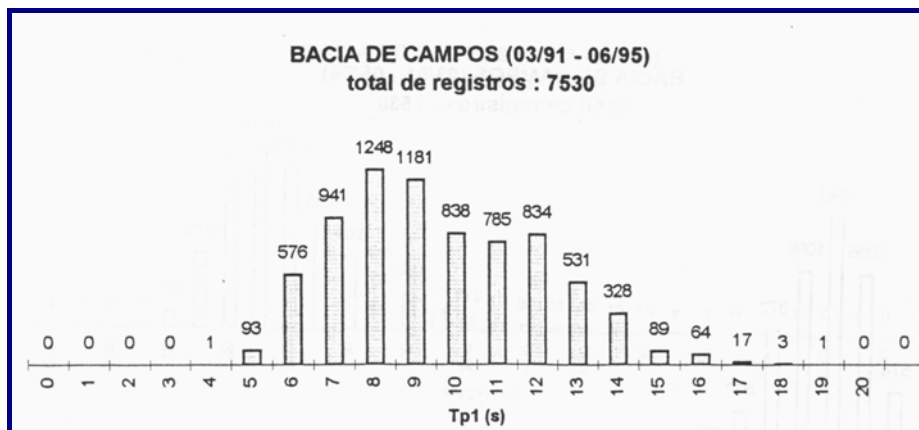


Figura 5.1.2-36. Distribuição de Período de pico do máximo local.

Fonte: Seixas, 1997.

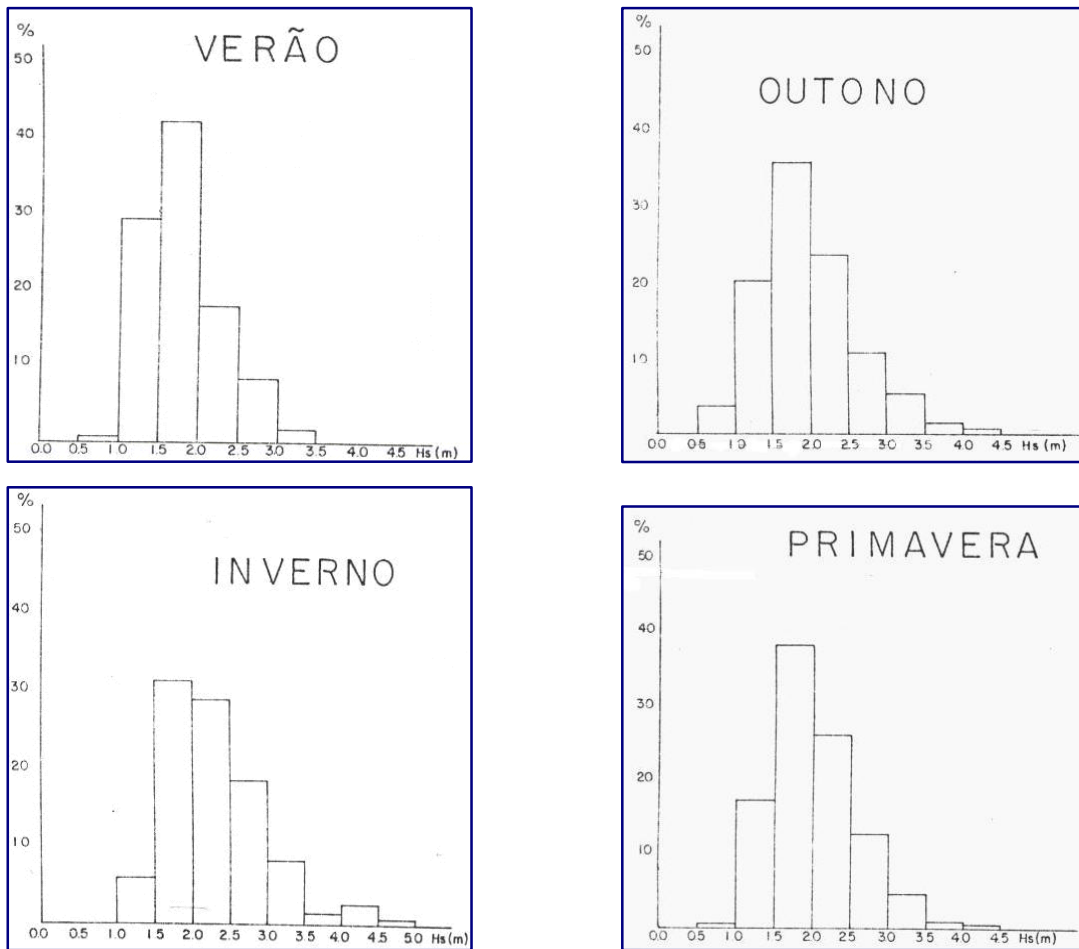


Figura 5.1.2-37. Distribuição sazonal de Altura Significativa. Fonte: Souza, 1988.

Na Figura 5.1.2-38 é apresentado um diagrama de dispersão de H_s e direção de pico espectral, obtido para Bacia de Campos (PINHO, 2003). Observa-se que a maior concentração de ocorrências é de alturas entre 0,5 a 1 m, vindas de N/NE, com períodos até 8 s.

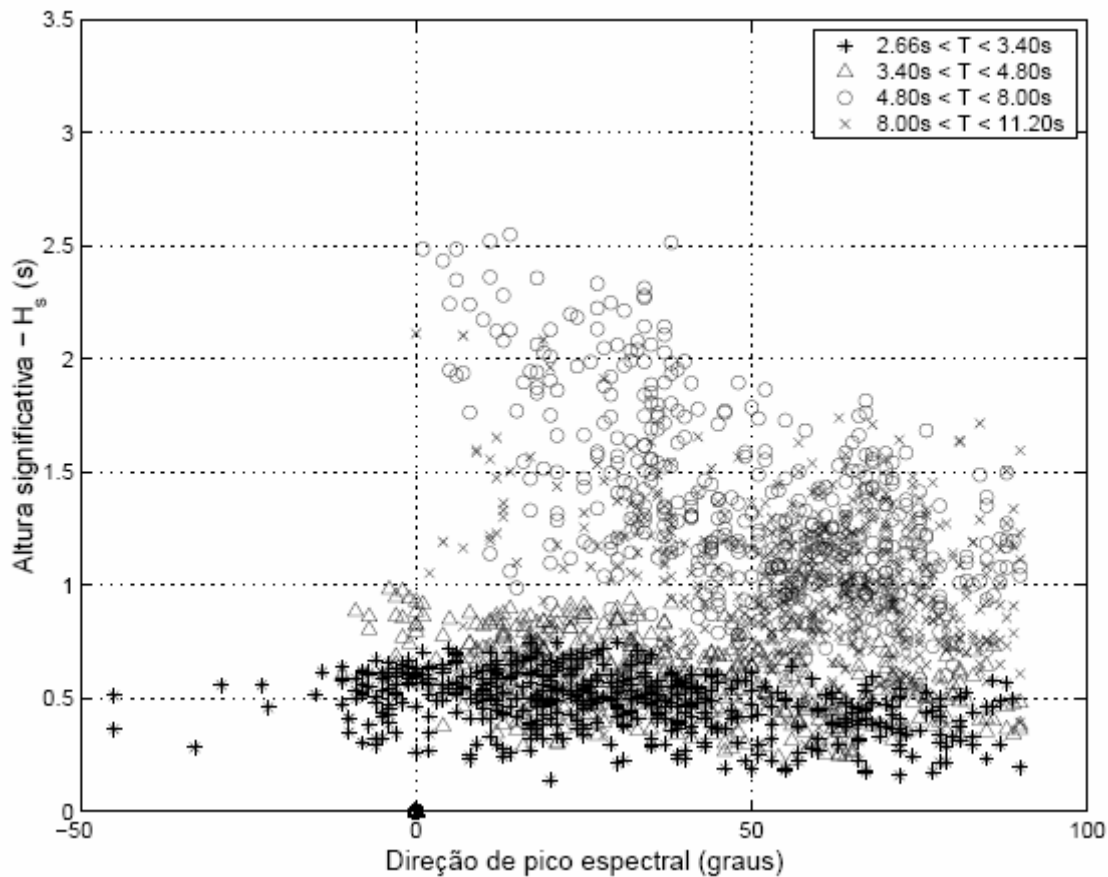


Figura 5.1.2-38. Diagrama de dispersão de H_s e direção de período, para situações de bom tempo na Bacia de Campos. Fonte: Pinho (2003)

Nas Figuras 5.1.2-39 e 5.1.2-40 são apresentadas, respectivamente, as relações entre a direção de pico espectral e altura significativa (H_s) e pico espectral e período significativo, para situações de mau tempo. É possível notar que nesses casos, as maiores alturas, assim como os períodos mais longos estão associados à ondulação de S/SW ($180-260^\circ$), com alturas máximas associadas a SW (215°).

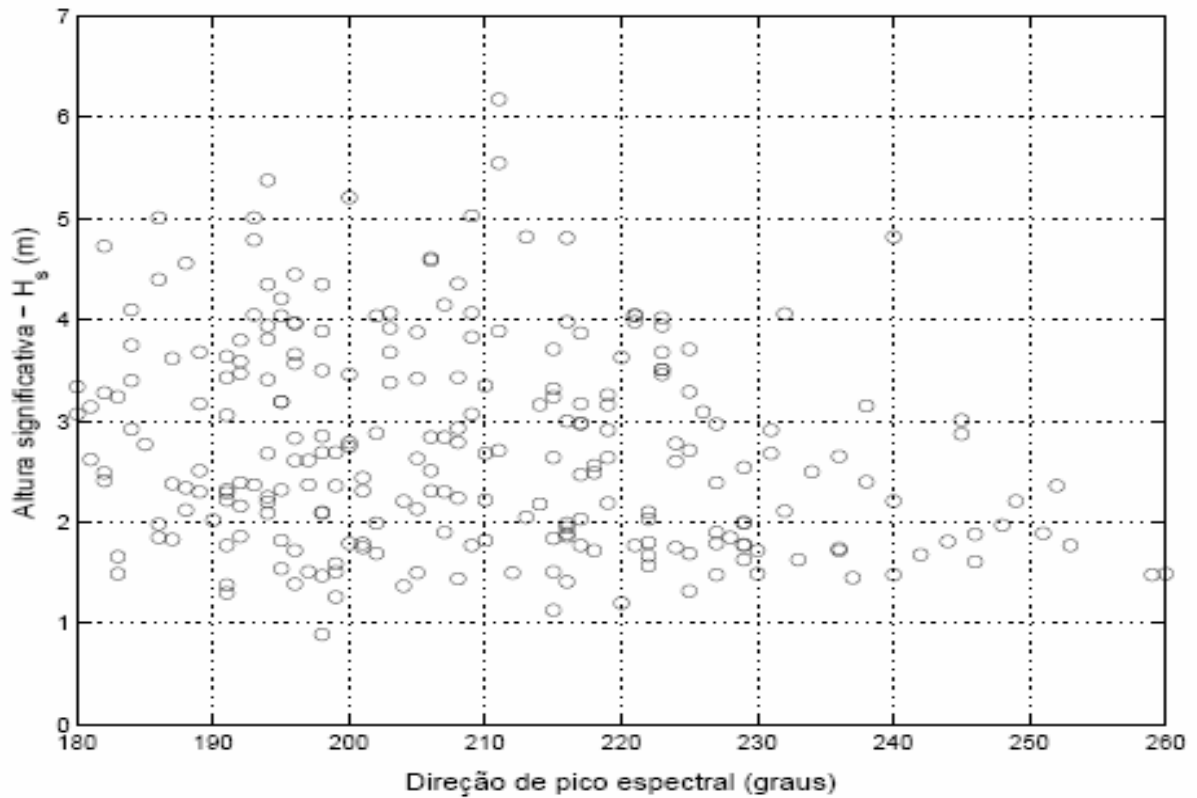


Figura 5.1.2-39. Relação entre direção do pico espectral e H_s para situações de mau tempo na Bacia de Campos. Fonte: Pinho (2003)

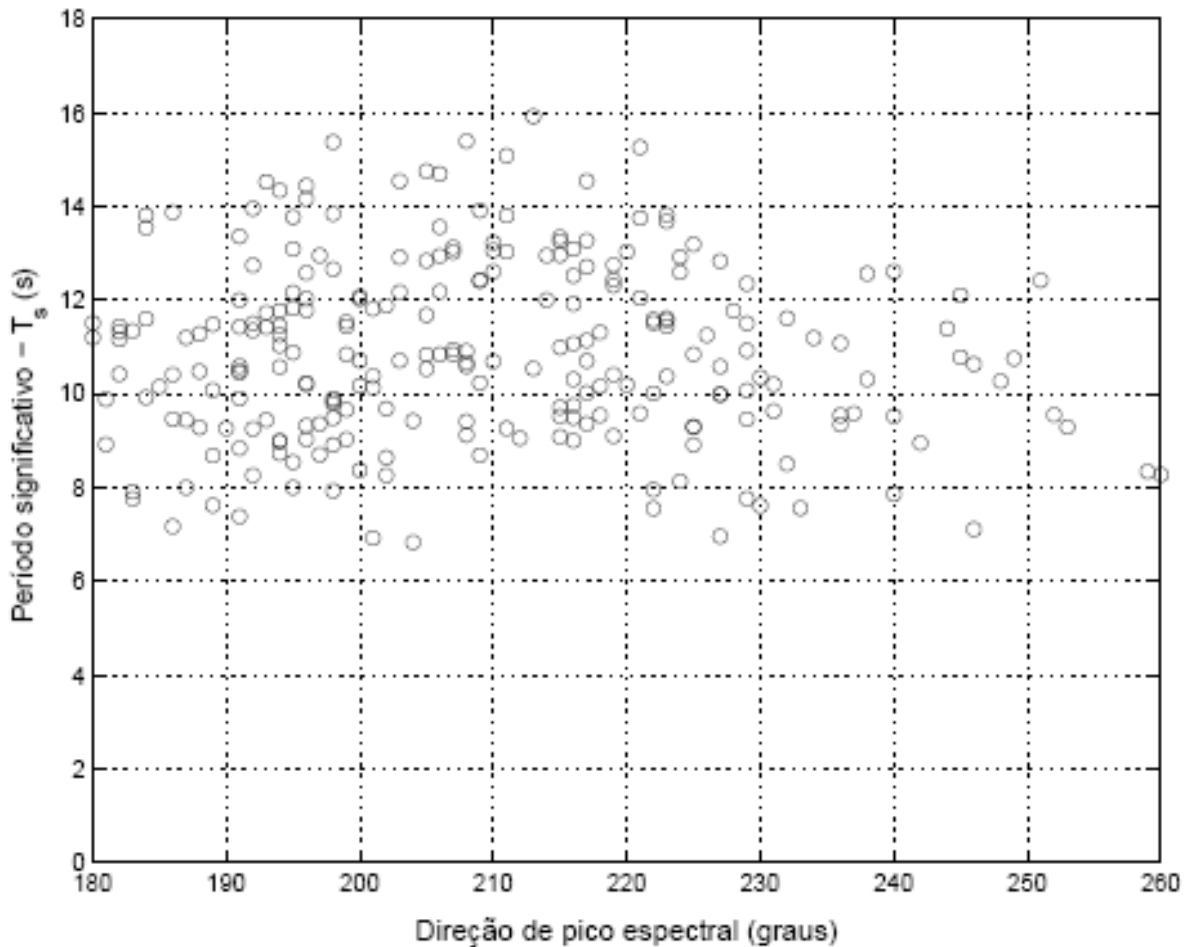


Figura 5.1.2-40. Relação entre direção do pico espectral e período significativo para situações de mau tempo na Bacia de Campos. Fonte: Pinho (2003)

◆ 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, conseqüência 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 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. Para a condição extrema de vento na área de estudo foram considerados valores medidos, porém na ocorrência de tormentas os valores máximos de velocidade de vento podem ser maiores do que o apresentado no quadro a seguir.

Quadro 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 ⁻¹ (Direção Sul)
Ventos	14,3 m/s (Direção Sul/Sudeste)
Marés	Maré astronômica máxima + maré meteorológica máxima: 1,56 m

Fonte: Castro e Miranda (1998), <http://www.cdc.noaa.gov/coads/e-doc/citation>, Banco de dados do NOAA (<http://www.cdc.noaa.gov/coads/e-doc/>), <http://tbone.biol.sc.edu/tide/tideshow.cgi>