

## II.5.1.2 - Oceanografia

### *Oceanografia Física*

São apresentados, a seguir, os principais aspectos oceanográficos da Bacia de Santos, com ênfase na área prevista para as atividades do projeto Mexilhão, englobando as massas d'água, parâmetros físicos e químicos da água (especialmente temperatura e salinidade), correntes, batimetria, marés e ondas.

Este diagnóstico é baseado nos dados oceanográficos levantados em diversos trabalhos realizados na Bacia de Santos, como um todo, e na área do Bloco BS-400, onde se insere o campo de Mexilhão.

O Quadro II.5.1.2-1 lista os trabalhos consultados, especificando os parâmetros oceanográficos analisados e o método de amostragem utilizado em cada estudo, enquanto na Figura II.5.1.2-1 encontram-se plotadas as estações de coleta dos mesmos. A única exceção é o estudo de Levitus (1994), que trabalhou com a média de inúmeras estações e diferentes equipamentos de coleta dentro de um quadrado de Mardsen (QMD376/SQMD54).

**Quadro II.5.1.2-1 - Métodos de amostragem dos parâmetros oceanográficos analisados, por estudo.**

ESTUDO	PARÂMETRO	MÉTODO de AMOSTRAGEM
Levitus, 1994	Temperatura e Salinidade	CTD, XBT e DBT
Campos <i>et al.</i> , 1994	Temperatura e Salinidade	CTD
Projeto Coroas, 1999	Correntes	Derivadores
Moreira, 1997	Correntes	Correntômetro
BNDO-DHN	Ondas	-
Salles, 2000	Maré	Marégrafo

**Mapa II.5.1.2-1 - Mapa de estações de coleta de dados  
georeferenciadas. (A3)**

**Mapa II.5.1.2-1 - Mapa de estações de coleta de dados  
georeferenciadas. (A3)**

### 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 Oceano Índico (através da extensão da Corrente das Agulhas). Estas massas d'água apresentam seus padrões próprios de temperatura e salinidade, e níveis de circulação, com cada uma delas contribuindo, distintamente, na formação da circulação termohalina do Atlântico Sul.

A análise das seções realizadas em cruzeiros oceanográficos na Bacia de Santos mostram a ocorrência de estruturas termohalinas típicas, identificadas, basicamente, pela estratificação vertical em camadas de massas de água com diferentes origens.

Os trabalhos realizados por Reid (1989), FUNDESPA (1994), Schmid *et al.* (1995), Siedler *et al.* (1996) e Lima (1997) contribuíram para a caracterização das cinco massas d'água identificadas para a região da Bacia de Santos, cujas características são apresentadas a seguir:

- **Água Costeira (AC)** – Água de mistura localizada sobre a plataforma continental e caracterizada por baixa salinidade quando comparada com a Água Tropical (AT), 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. Seus limites termohalinos e seu posicionamento na coluna d'água são definidos como:

- ✓ Posicionamento: Superfície chegando até a 50 m de profundidade
- ✓ Salinidade: < 36,0
- ✓ Temperatura:  $\geq 20$  °C

- **Água Tropical (AT)** – Massa d'água formada em baixas latitudes, onde a taxa de evaporação é maior que a taxa de precipitação. Caracterizada,

principalmente, pelos seus altos valores de salinidade e temperatura, a Água Tropical (AT) é transportada para sul pela corrente do Brasil, onde penetra na plataforma continental externa, formando uma frente na superfície com a Água Costeira. A AT situa-se acima da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e por ter a superfície do oceano como limite superior, é influenciada pelas condições climáticas da região onde se encontra. A AT pode ser caracterizada pelos seguintes valores:

- ✓ Posicionamento (média): 0 a 170 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, normalmente, ocupa a termoclina principal da região oceânica adjacente à plataforma continental brasileira, sendo caracterizada por uma reta no diagrama TS. Embora seu fluxo principal seja na direção Norte, a ACAS circula com as correntes do Atlântico Sul e Benguela, Transportada pela corrente Sul Equatorial, ela atinge a costa da América do Sul, onde se bifurca, parte fluindo rumo ao Equador e outra rumo ao Sul. Este padrão de circulação é confirmado por autores como Tsuchya (1986), Reid (1989) e Stramma & England (1999), que mostram o movimento da ACAS na direção Sul, ao largo da costa do sudeste brasileiro, em latitudes abaixo de 20° S (Silveira *et al.*, 2000). Suas características são:

- ✓ Limite Superior: Posicionamento (média): 170 m de profundidade
- ✓ Salinidade: 36,0
- ✓ Temperatura: 18°C
- ✓ Limite Inferior: Posicionamento (média): 590 m de profundidade
- ✓ Salinidade: 34,6
- ✓ Temperatura: 8 °C

• **Água Intermediária Antártica (AIA)** – Formada por misturas sub-superficiais na região da Convergência Antártica, a AIA flui em direção ao norte (Muller *et al.*, 1998), entre a ACAS e a APAN (Água Profunda do Atlântico Norte,

descrita logo adiante). É caracterizada por apresentar um núcleo de mínima salinidade no diagrama TS, embora estes valores sejam maiores nos seus limites superior (com a ACAS) e inferior (com a APAN), conforme ilustrado abaixo.

- ✓ Salinidade Máxima (média): 34,6
- ✓ Salinidade Mínima (média): 34,35
- ✓ Limite Superior: Posicionamento (média): 590 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. Origina-se na 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 d'água é formada a partir do resfriamento das águas de superfície, fato este que, acoplado ao alto teor salino da água torna-a ainda mais densa, causando o seu afundamento. A APAN flui em direção ao sul através do Equador (Reid, 1989), sendo identificada por apresentar as seguintes características:

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

Dentre os eventos locais de maior importância observados na Bacia de Santos, pode-se citar o afloramento da ACAS em direção à plataforma continental, fenômeno onde esta massa d'água é capaz de chegar a 50 km da costa, durante o verão, recuando para próximo da quebra de plataforma continental durante o inverno. Na Bacia de Santos, este processo responde, praticamente, aos meandros da Corrente do Brasil, no inverno, e ao regime de ventos, no verão (Campos et al. 2000).

Já a Baía de Guanabara, em cuja margem se localiza a futura base de apoio terrestre do empreendimento, pode ser classificada como um estuário de cunha

salina, onde a estratificação é máxima no verão - com a água doce escoando por sobre a água do mar, praticamente, sem mistura vertical - e mínima no inverno - quando ocorre um aumento das trocas verticais, não sendo observado um gradiente salino bem definido. Estas duas condições variam ao longo do tempo e do espaço no interior da Baía, em função de seu dinamismo, que está relacionado a fatores tais como morfologia, batimetria, ação dos ventos e vazão dos rios.

### *b) Temperatura e Salinidade da Água do Mar*

Os campos de temperatura e salinidade da água do mar na região de quebra da plataforma continental na Bacia de Santos, região de localização do campo de Mexilhão, são típicos da região de quebra de plataforma continental ao longo de toda a 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, de acordo com os estudos citados na seqüência, comprovou a disposição apresentada anteriormente das massas d'água na área.

Levitus (1994) apresenta perfis de dados até 1000 metros de profundidade não contemplando, então, a profundidade limite entre a AIA e a APAN. Os valores médios de temperatura encontrados por Levitus (1994) na região do Campo de Mexilhão podem ser observados no Quadro II.5.1.2-2, indicando uma variação anual de 22,72° C a 24,49° C, na superfície; de 7,95° C a 7,96° C, a 600 metros; e de 3,73° C a 3,74° C, a 1000 m.

**Quadro II.5.1.2-2 - Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão de temperatura para o QMD 376/SQMD 54.**

Prof (m)	ANUAL				VERÃO (Out a Mar)				INVERNO (Abr a Set)			
	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIA	DP	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIA	DP	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIA	DP
0	26,50	21,29	23,61	1,95	26,50	21,73	<b>24,49</b>	1,88	26,05	21,29	<b>22,72</b>	1,72
10	25,66	21,07	23,26	1,75	25,66	21,50	23,95	1,70	25,58	21,07	22,57	1,65
20	24,73	20,92	22,71	1,41	24,73	21,15	23,09	1,36	24,73	20,92	22,33	1,48
30	23,80	20,82	22,12	1,05	23,80	20,82	22,29	1,06	23,80	20,88	21,95	1,10
50	22,69	20,55	21,50	0,71	22,69	20,55	21,48	0,72	22,69	20,80	21,51	0,76
75	21,33	19,80	20,38	0,47	20,93	19,82	20,35	0,39	21,33	19,80	20,42	0,57
100	20,14	18,94	19,53	0,38	20,06	19,35	19,66	0,27	20,14	18,94	19,41	0,46
125	19,37	17,95	18,78	0,40	19,37	18,62	19,00	0,24	19,12	17,95	18,56	0,43
150	18,79	17,24	18,24	0,44	18,79	18,00	18,43	0,28	18,62	17,24	18,04	0,51
200	16,73	15,92	16,41	0,22	16,73	16,17	16,47	0,21	16,61	15,92	16,36	0,24
250	15,36	14,78	15,06	0,14	15,36	14,78	15,07	0,19	15,21	14,95	15,06	0,10
300	14,42	13,81	14,05	0,17	14,42	13,81	14,03	0,22	14,25	13,84	14,07	0,13
400	12,81	11,95	12,34	0,23	12,81	12,16	12,34	0,24	12,58	11,95	12,33	0,23
500	10,88	9,38	9,99	0,40	10,30	9,38	9,84	0,38	10,21	9,81	10,13	0,40
<b>600</b>	8,67	7,29	7,95	0,42	8,59	7,29	<b>7,95</b>	0,43	8,19	7,52	<b>7,96</b>	0,44
700	6,62	6,03	6,30	0,21	6,45	6,04	6,28	0,16	6,62	6,03	6,31	0,26
800	5,40	4,67	5,07	0,21	5,35	4,67	5,01	0,22	5,40	4,88	5,13	0,20
900	4,59	4,12	4,34	0,15	4,49	4,12	4,32	0,14	4,59	4,15	4,36	0,17
<b>1000</b>	3,89	3,55	3,73	0,10	3,87	3,55	<b>3,73</b>	0,12	3,89	3,61	<b>3,74</b>	0,10

Fonte: Levitus (1994)

As Figuras II.5.1.2-1 a II.5.1.2-4, apresentadas a seguir, ilustram o perfil vertical de temperatura média anual, de inverno e verão da superfície até a profundidade de 1000 metros e detalhes das faixas de 0 a 150 metros, 150 a 600 metros e 600 a 1000 metros.



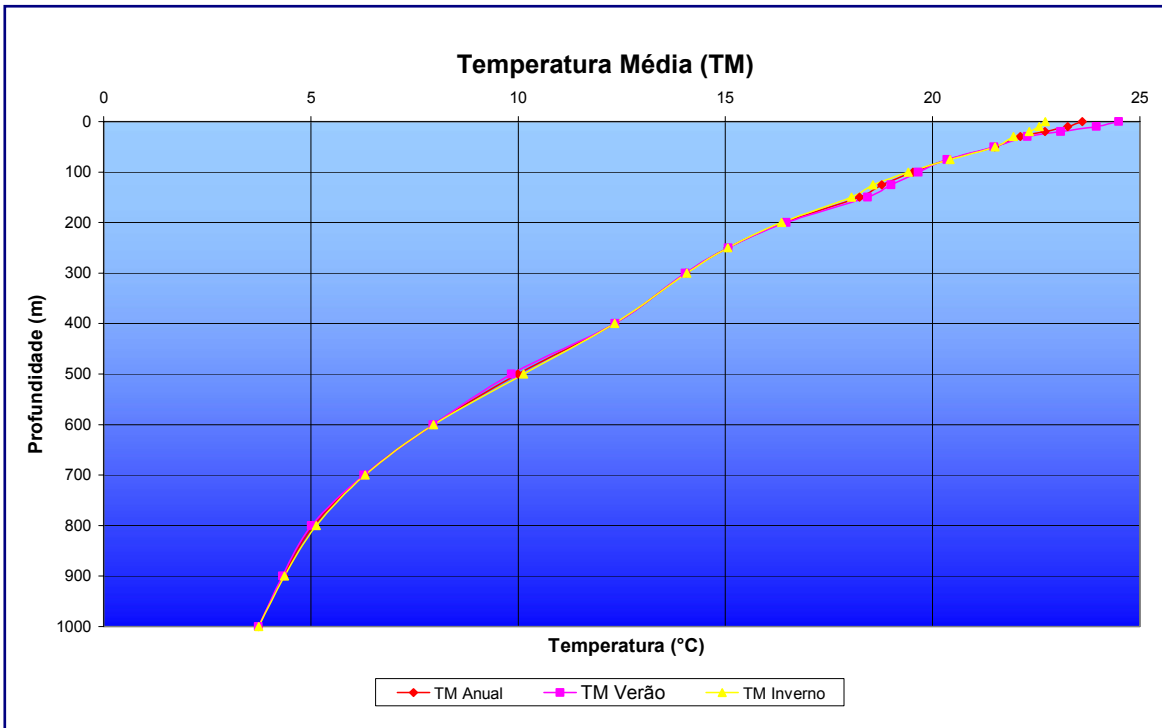


Figura II.5.1.2-1 - Temperaturas médias anuais, de inverno e de verão. Fonte: Levitus (1994)

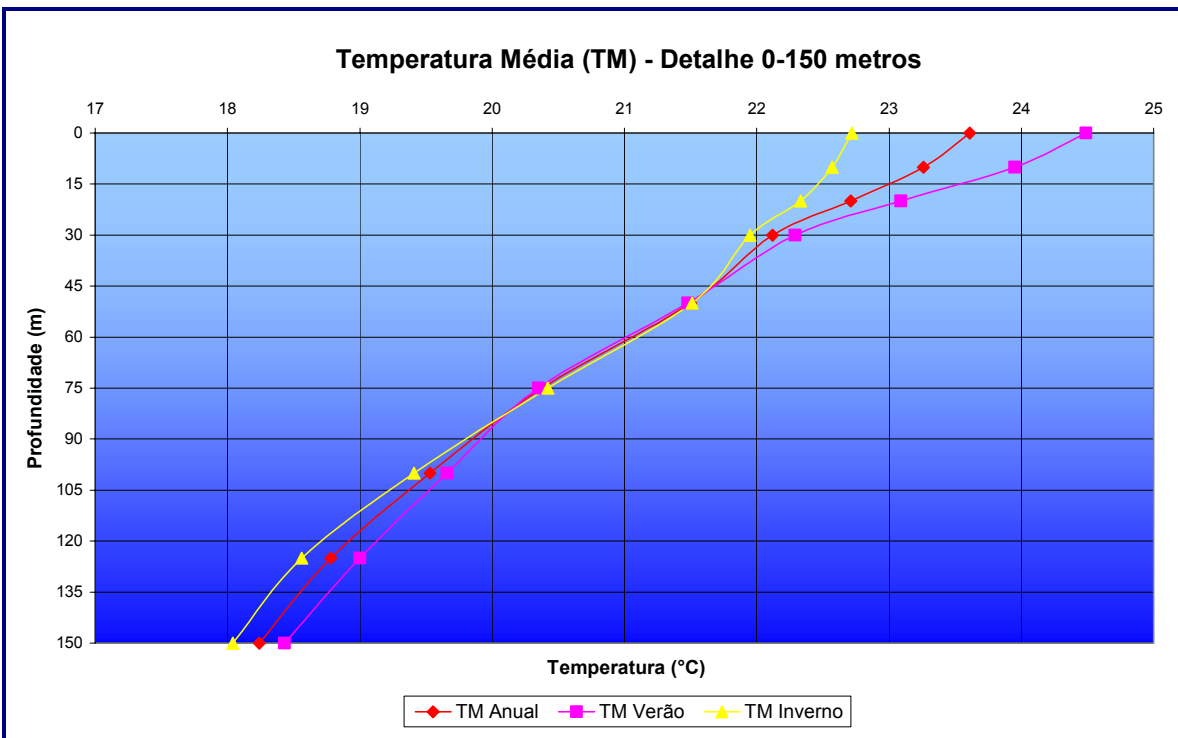


Figura II.5.1.2-2 - Detalhe de 0 a 150 m. Fonte: Levitus (1994)

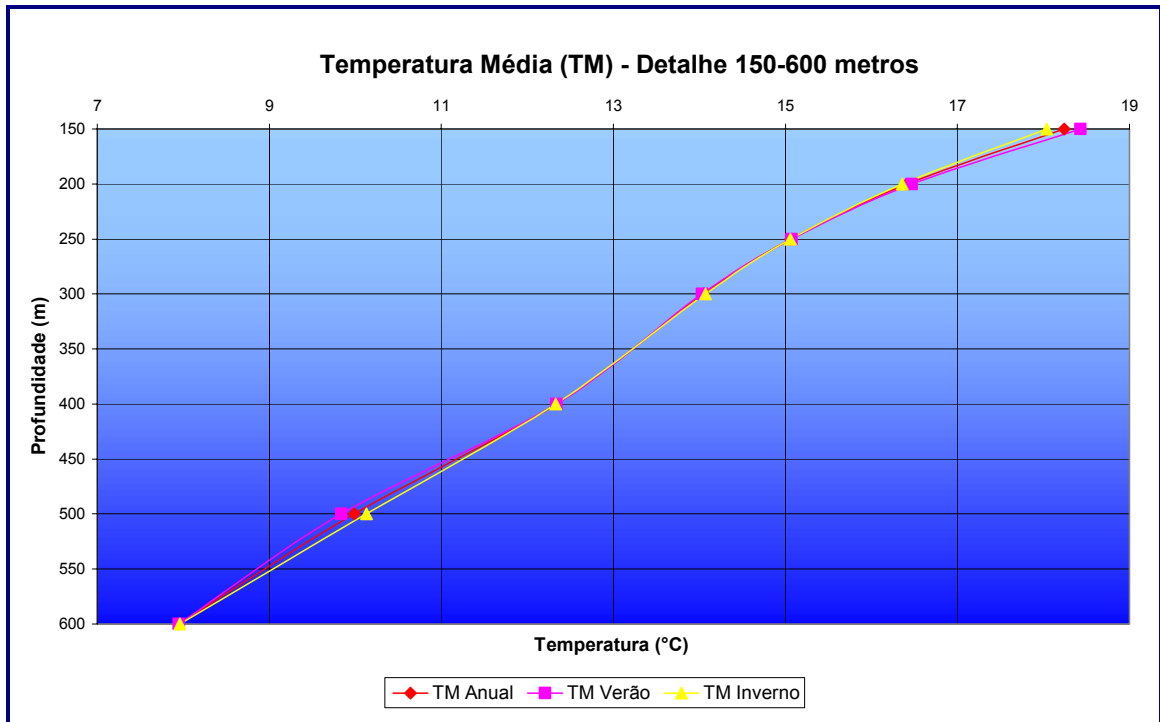


Figura II.5.1.2-3 - Detalhe de 150 a 600 m. Fonte: Levitus (1994)

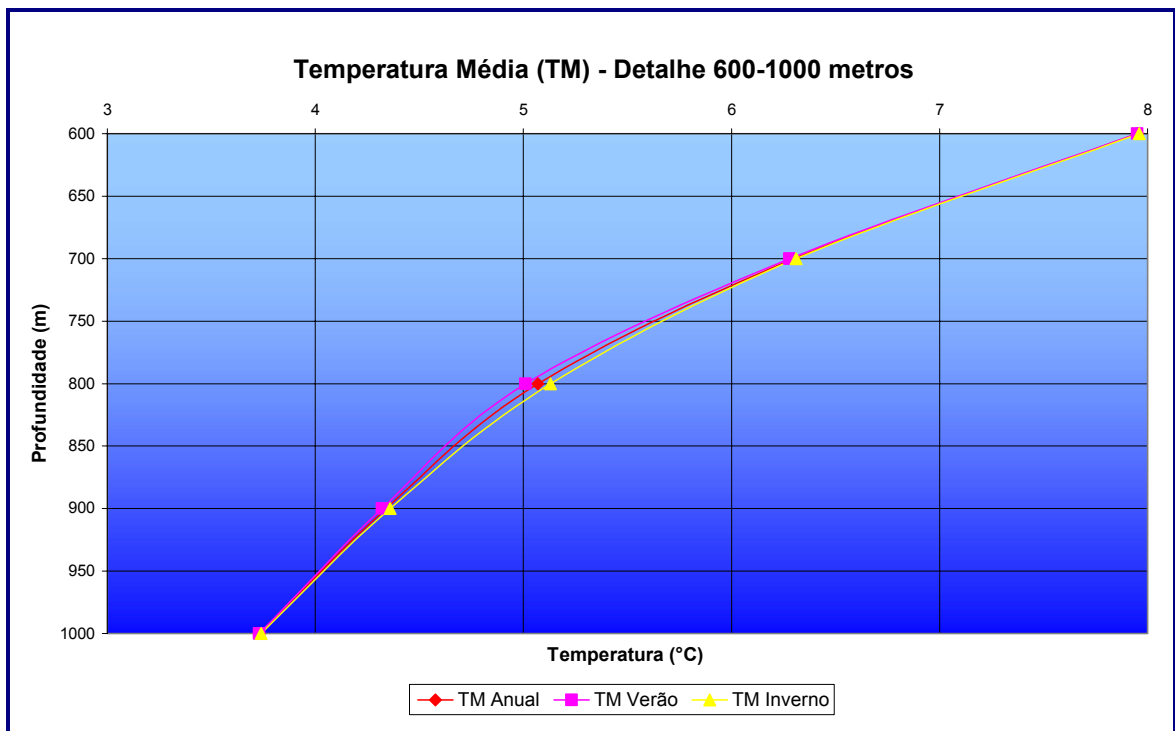


Figura II.5.1.2-4 - Detalhe de 600 a 1000 m. Fonte: Levitus (1994)

Os primeiros 50 metros, principalmente no verão, apresentam uma grande instabilidade possivelmente em função de condições meteorológicas com o mês de dezembro apresentando as maiores temperaturas superficiais durante o ano.

No inverno, observa-se um comportamento da temperatura parecido com o verão, porém com uma variação menor dos valores superficiais, com a termoclina na faixa dos 50 metros, sendo no mês de Agosto observadas as menores temperaturas superficiais durante o ano. Apesar de no verão e inverno o comportamento da temperatura superficial ser parecido, as maiores diferenças de valores estão na faixa da superfície até 150 metros.

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). A camada intermediária de 150 a 600 metros apresenta-se bem homogênea, sendo um registro da posição e da largura da ACAS, com a interface entre a AT e a ACAS ocorrendo de 150 a 200 metros e o limite superior da AIA na coluna d'água podendo ser localizado na faixa de profundidade entre 600 e 610 metros.

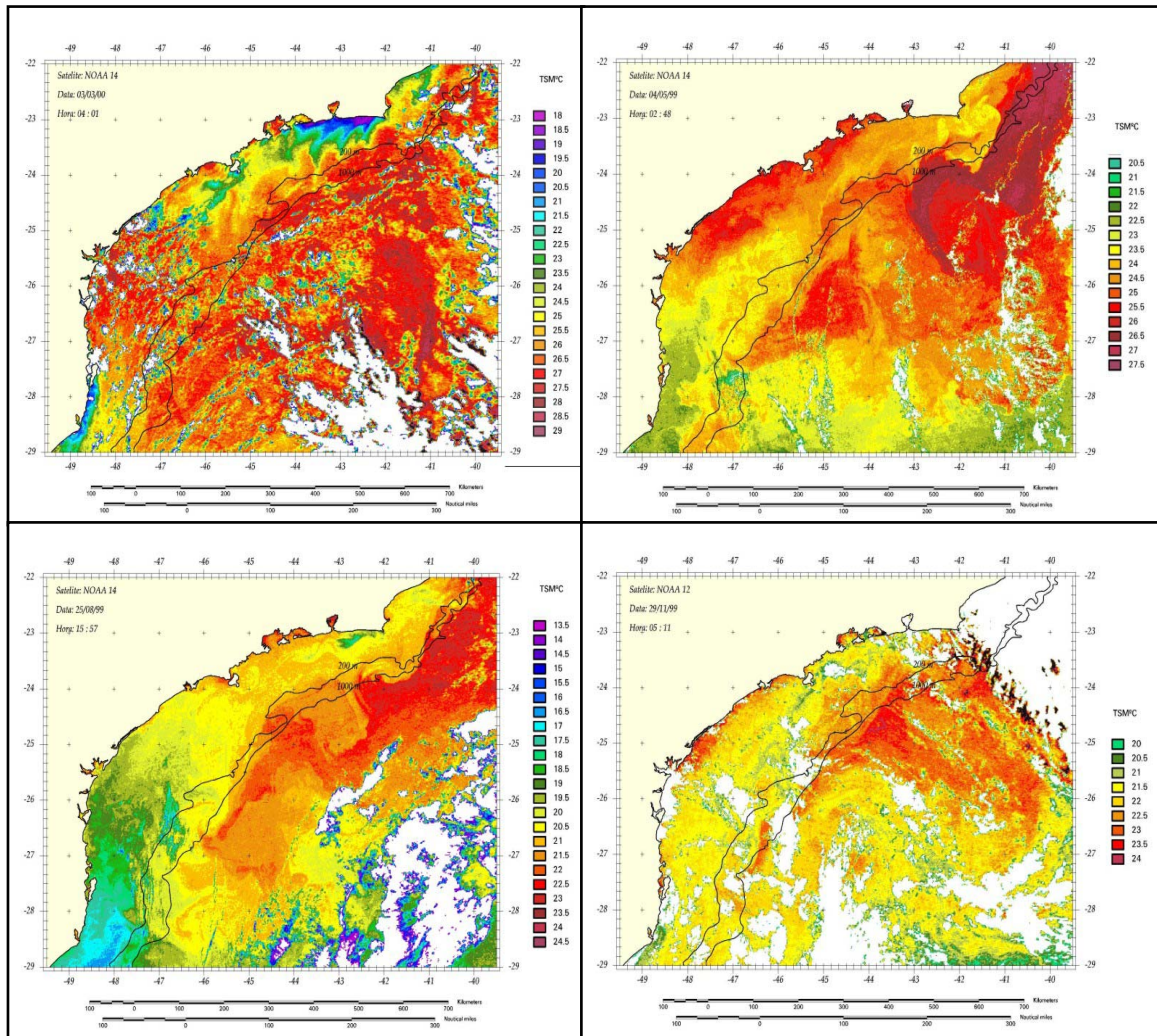
Na faixa de profundidade entre 600 e 1000 metros observam-se pequenas diferenças entre os valores de verão para os de inverno.

De forma conclusiva, no verão, as maiores variações encontram-se junto à superfície (em função de condições climáticas), 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 diminuem os processos de ressurgência da ACAS, principalmente sobre a plataforma.

Levantamento realizado mais recentemente, em outubro de 2002, na parte leste da Bacia de Santos, onde foram obtidos 20 perfis de temperatura no período de um dia, indicou valores de temperatura próximos dos limites térmicos descritos por Levitus (1994), com a temperatura variando de 23,38 a 24,26°C, na superfície; de 8,12 a 9,44°C a 600 metros e de 3,69 a 4,06°C, na profundidade de 1000 metros (Petrobras / Habtec, 2003).

A análise de mapas de Temperatura Superficial do Mar -TSM (Habtec, 2000) gerados a partir de imagens de satélite (Figura II.5.1.2-5) mostra uma variação sazonal deste parâmetro na Bacia de Santos. Esta variação acontece,

principalmente, em função da instabilidade da Corrente do Brasil (CB), a qual é influenciada pelas mudanças climáticas na região ao longo das diferentes épocas do ano.



**Figura II.5.1.2-5 - Mapas de Temperatura Superficial do Mar (TSM) gerados a partir de imagens de satélites na Bacia de Santos, mostrando a TSM para as quatro estações do ano: Verão (1), Outono (2), Inverno (3) e Primavera (4). Fonte: Habtec, 2000.**

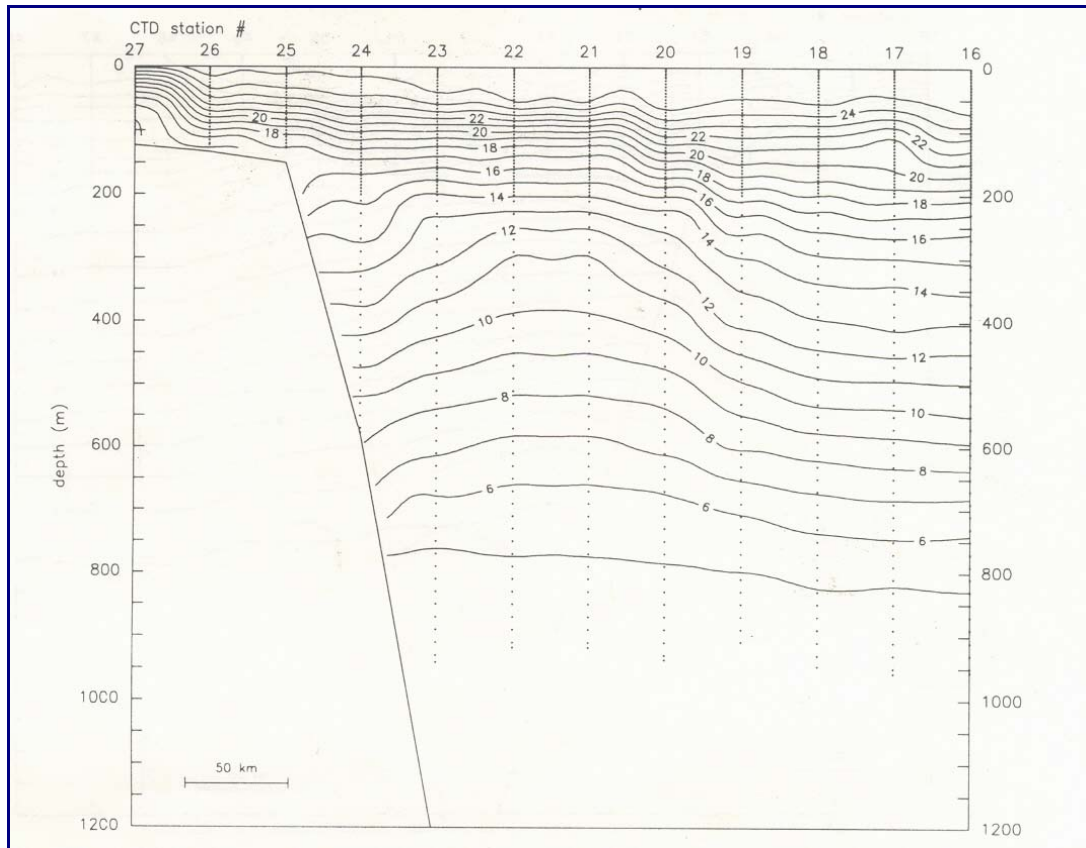
As cartas de temperatura derivadas das imagens de satélite (Figura II.5.1.2-6) mostram, que a fronteira oeste da CB na região ao norte da Bacia de Santos tende a seguir a quebra da plataforma continental. Na região de Cabo Frio, a brusca mudança de orientação da linha de costa e do talude continental, faz com que a corrente se desloque de sua posição sobre o talude, criando uma divergência no

escoamento e ocasionando a geração de vórtices, isolados ou em pares. Ao sul do Cabo Frio, a Corrente o Brasil torna-se extremamente instável, ocasionando a formação de inúmeros vórtices frontais, fato este claramente refletido nos perfis de temperatura e salinidade.

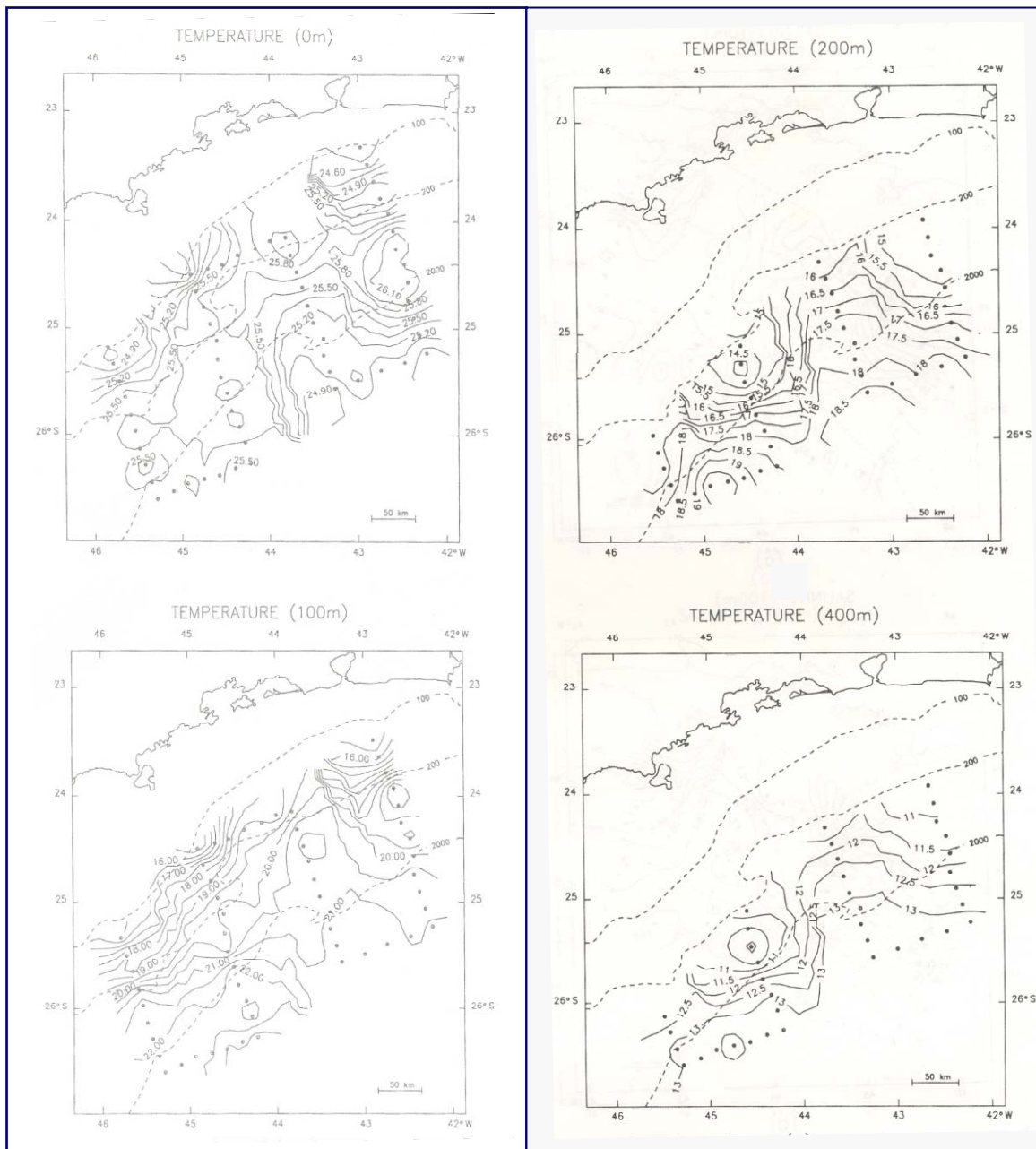
Durante o inverno, as temperaturas superficiais são mais homogêneas nas partes central e norte da Bacia de Santos, apresentando valores entre 20° C e 23° C. É observado um gradiente horizontal na parte sul da área da Bacia de Santos, onde há a penetração de águas relativamente frias (temperaturas superficiais de 21,5° C a 22,5° C), oriundas do ramo costeiro da Confluência Brasil-Malvinas. Este gradiente é bem visualizado nos mapas de temperatura superficial do mar no outono (Figura II.5.1.2-5 (2)) e no inverno (Figura II.5.1.2-5 (3)), chegando, nesta última, até a latitude de 24° S.

A Corrente do Brasil (CB) pode ser observada com temperaturas superficiais de cerca de 24° C, no seu eixo, e de 21,5° C nas suas bordas. O gradiente térmico definindo o limite oeste da CB é bastante claro na superfície.

As Figuras II.5.1.2-6 e II.5.1.2-7 , extraídas do estudo realizado no verão de 1991 por Campos *et al.* (1994), demonstra os comportamentos vertical e horizontal da temperatura da água nas proximidades do campo de Mexilhão. Conforme pode ser observado na Figura II.5.1.2-6 a temperatura apresenta uma estratificação intensa nos primeiros 200 metros da coluna d'água, com valores entre 25 e 16°C sobre a plataforma continental. Já a distribuição horizontal de temperatura, em diferentes níveis de profundidade, (Figura II.5.1.2-7) evidencia uma tendência de aumento da temperatura da água com a profundidade, sugerindo uma intrusão de águas profundas sobre a plataforma continental.



**Figura II.5.1.2-6** - Distribuição vertical da temperatura ao longo da longitude de aproximadamente 44,5° W na região do campo de Mexilhão (Campos et al. 1994).



**Figura II.5.1.2-7 - Distribuição horizontal da temperatura em diferentes camadas de profundidade na região do campo de Mexilhão (Campos et al. 1994).**

Na Baía de Guanabara, em cuja margem se localiza a futura base de apoio terrestre de empreendimento, observa-se um padrão de aumento de temperatura em direção ao interior da mesma, com a temperatura variando entre 17° C e 31° C e apresentando um valor médio de 24° C  $\pm$  2,6° C (Kjerfve et al., 1997). Segundo

estes autores, a penetração das águas oceânicas faz com que as temperaturas junto ao fundo sejam mais frias.

- *Salinidade*

Os dados de salinidade de acordo com os estudos citados na seqüência comprovam os valores limites esperados segundo a distribuição de massas de água nesta região.

Levitus (1994) apresenta perfis de dados até 1000 metros de profundidade não contemplando, então, a profundidade limite entre a AIA e a APAN. Os valores médios de salinidade encontrados por Levitus (1994) na região do Campo de Mexilhão podem ser observados no Quadro II.5.1.2-3

Os perfis de Levitus, 1994 apresentam valores superficiais superiores a 36 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.

As Figuras II.5.1.2-8 a II.5.1.2-11, apresentam o comportamento da salinidade, enfocando a sua grande estabilidade, com pequena variação anual, na faixa intermediária da coluna d'água, que vai dos 150 aos 600 metros. O registro da ACAS estende-se até cerca de 600 metros.

Abaixo desta profundidade e se estendendo até 1000 m, observa-se grande estabilidade entre os perfis de salinidade média anual, de verão e de inverno. Esta região fica sob o domínio da AIA que apresentou seu núcleo, que é caracterizado pela salinidade mínima no diagrama TS, localizado na profundidade aproximada de 900 metros.



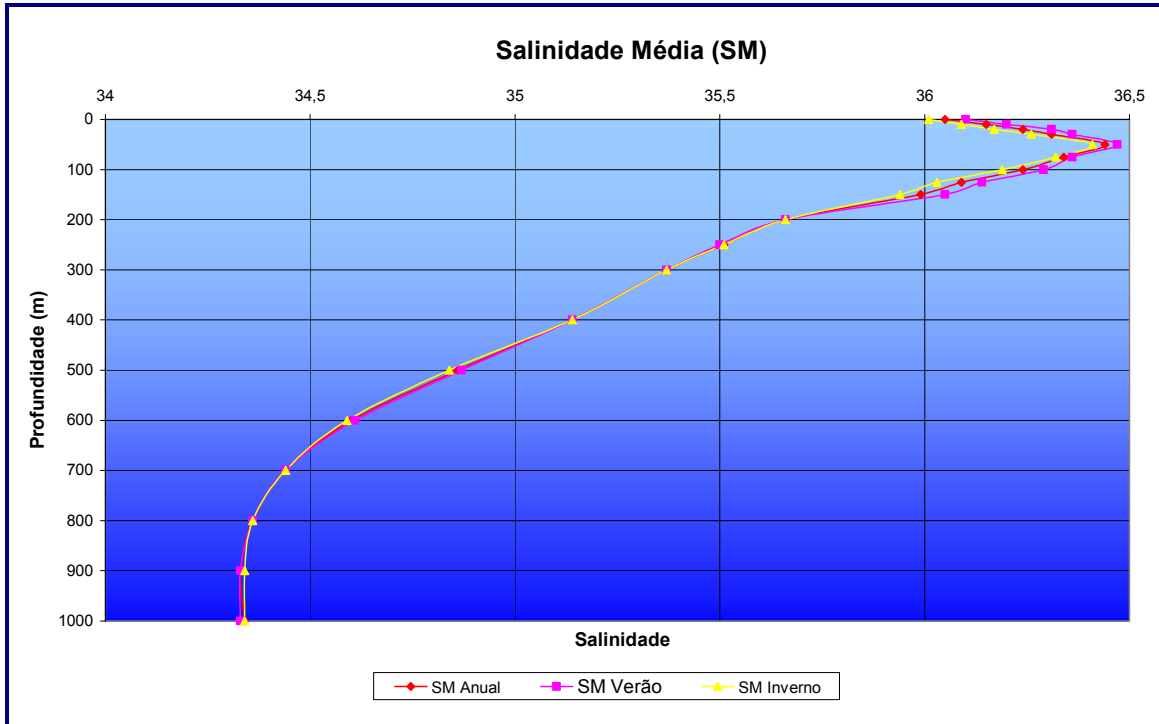


Figura II.5.1.2-8 - Salinidades médias anuais, de inverno e de verão. Fonte: Levitus (1994)

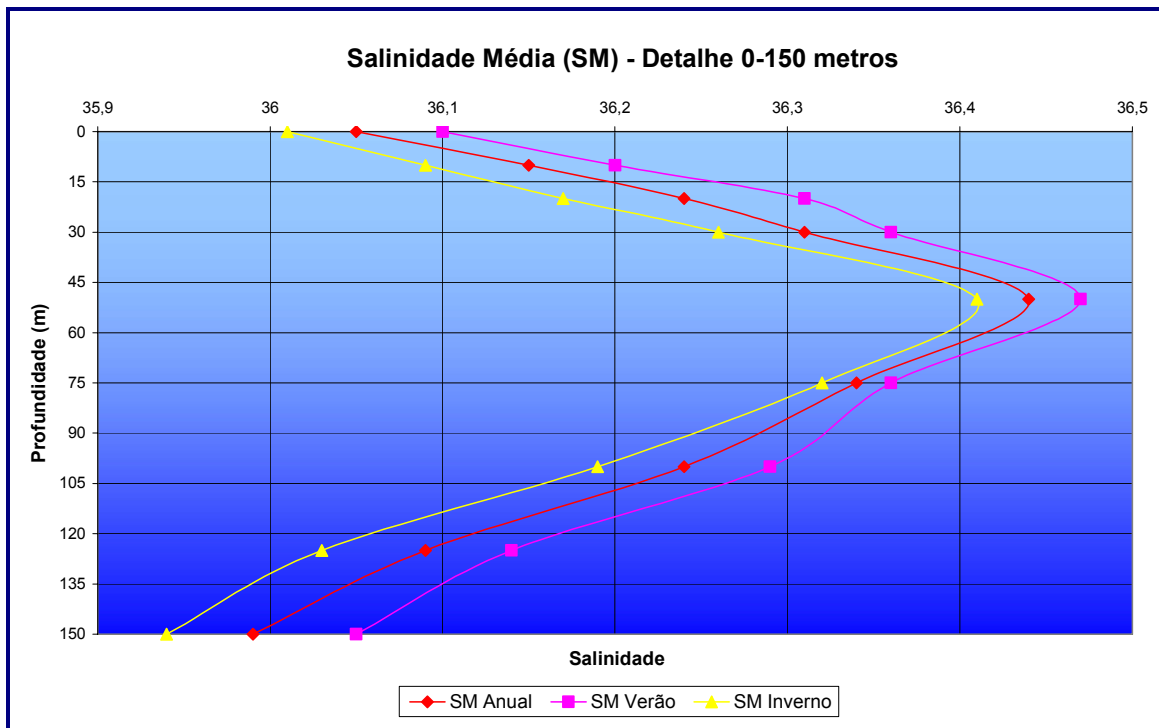


Figura II.5.1.2-9 - Detalhe de 0 a 150 m. Fonte: Levitus (1994)

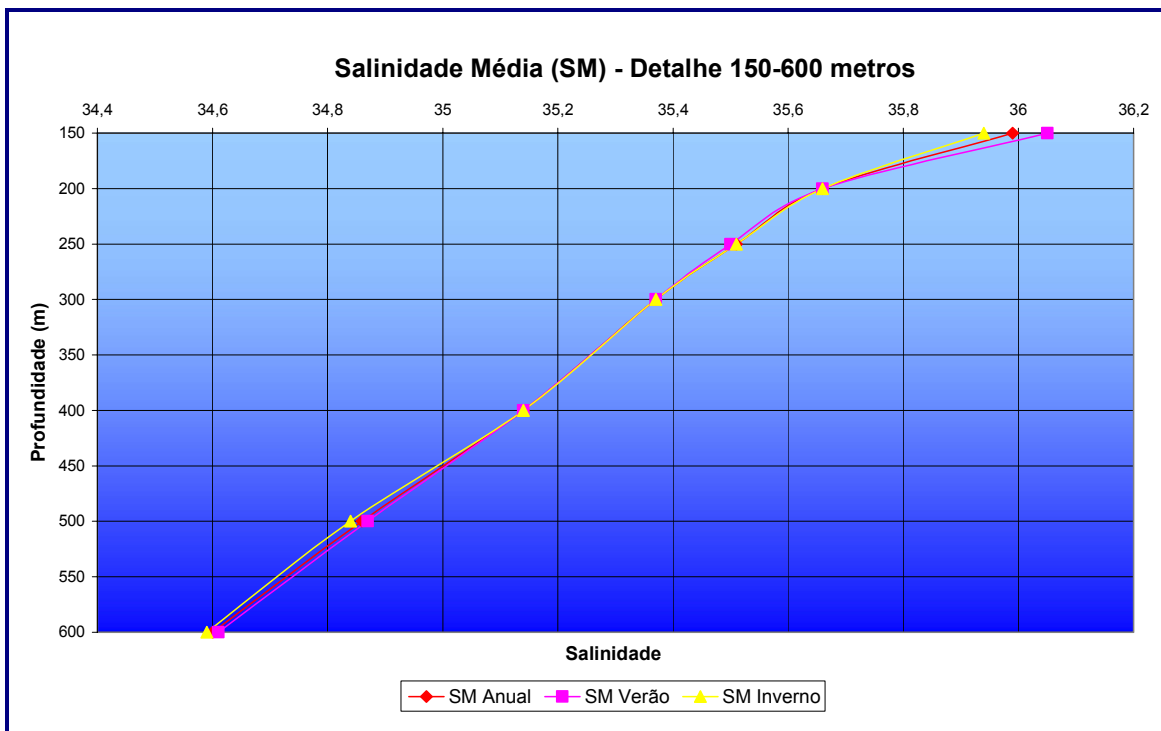


Figura II.5.1.2-10 - Detalhe de 150 a 600 m. Fonte: Levitus (1994)

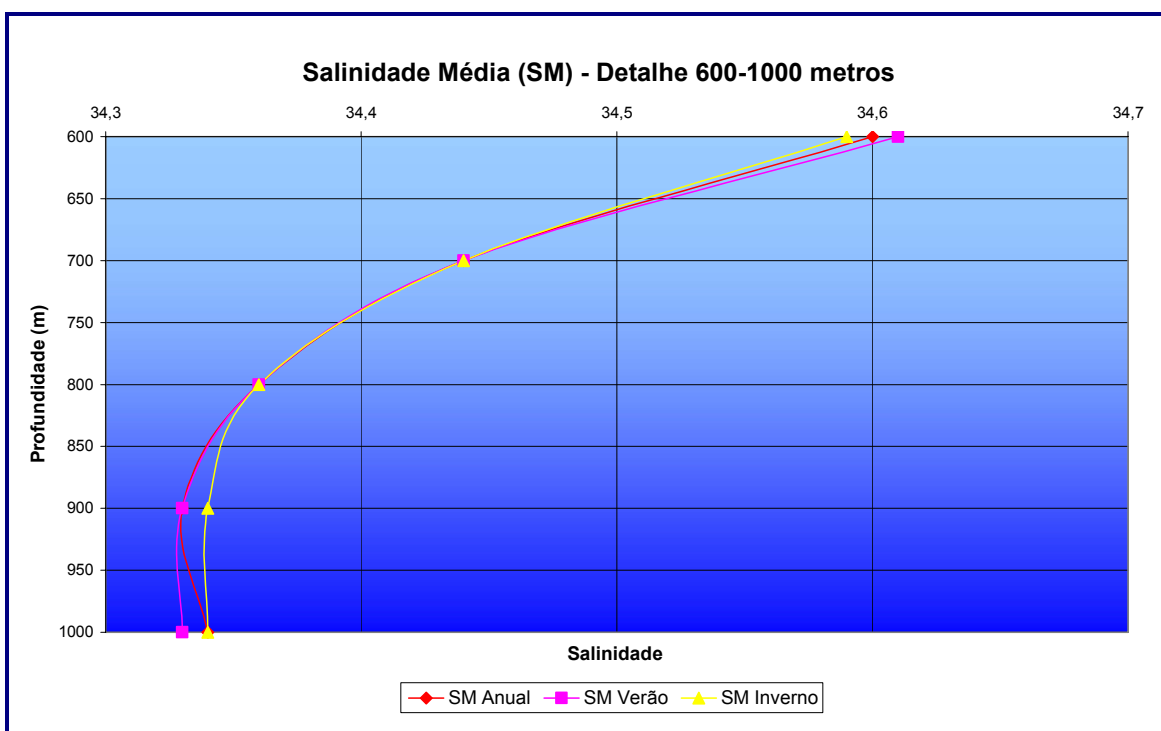


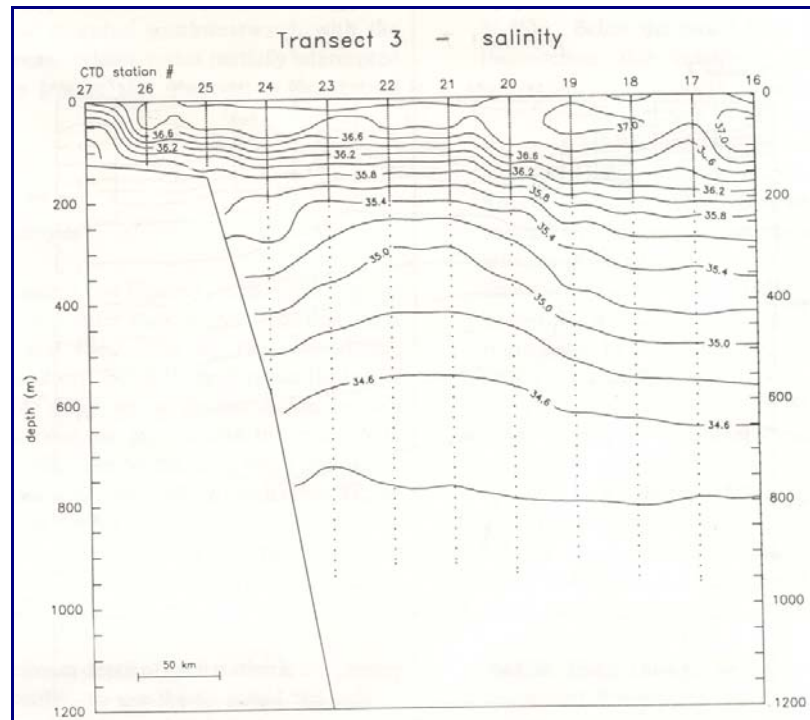
Figura II.5.1.2-11 - Detalhe de 600 a 1000 m. Fonte: Levitus (1994)

**Quadro II.5.1.2-3 - Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão de salinidade para o QMD 376/SQMD 54.**

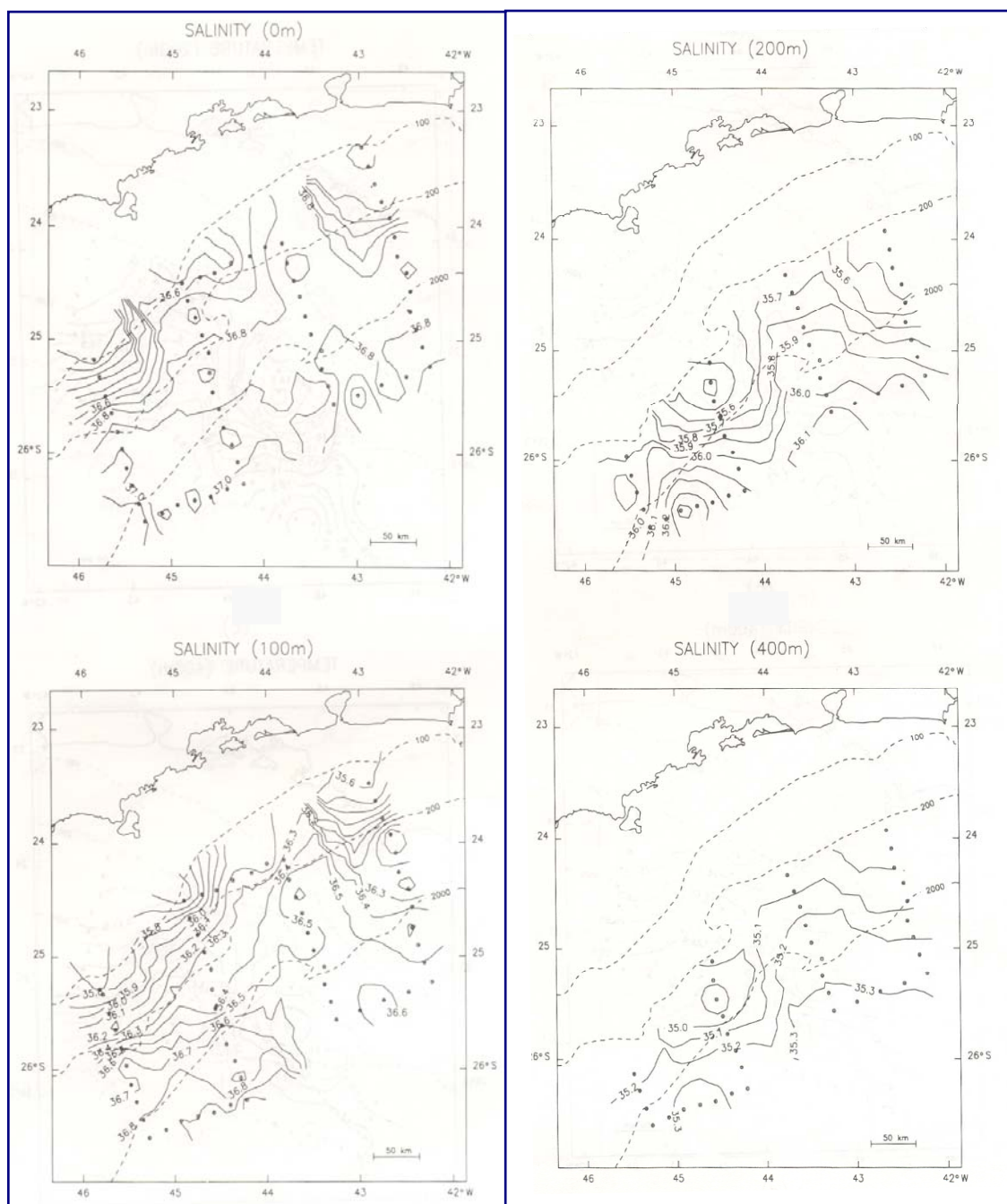
Prof (m)	ANUAL				VERÃO (Out a Mar)				INVERNO (Abr a Set)			
	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIA	DP	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIA	DP	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIA	DP
0	36,27	35,58	36,05	0,19	36,27	35,79	36,10	0,16	36,27	35,58	36,01	0,22
10	36,32	35,66	36,15	0,17	36,32	36,04	36,20	0,09	36,32	35,66	36,09	0,22
20	36,40	35,78	36,24	0,16	36,40	36,26	36,31	0,05	36,40	35,78	36,17	0,21
30	36,45	35,98	36,31	0,13	36,43	36,31	36,36	0,04	36,45	35,98	36,26	0,16
50	36,56	36,28	36,44	0,08	36,52	36,43	36,47	0,03	36,56	36,28	36,41	0,10
75	36,45	36,13	36,34	0,09	36,40	36,29	36,36	0,04	36,45	36,13	36,32	0,11
100	36,33	36,04	36,24	0,09	36,31	36,27	36,29	0,02	36,33	36,04	36,19	0,11
125	36,20	35,92	36,09	0,08	36,20	36,07	36,14	0,04	36,16	35,92	36,03	0,08
150	36,11	35,77	35,99	0,12	36,11	35,95	36,05	0,06	36,07	35,77	35,94	0,14
200	35,79	35,52	35,66	0,08	35,72	35,52	35,66	0,07	35,79	35,58	35,66	0,09
250	35,60	35,42	35,51	0,06	35,58	35,43	35,50	0,05	35,54	35,42	35,51	0,06
300	35,46	35,27	35,37	0,05	35,42	35,32	35,37	0,04	35,43	35,27	35,37	0,07
400	35,23	35,02	35,14	0,06	35,18	35,07	35,14	0,04	35,21	35,02	35,14	0,08
500	34,96	34,75	34,86	0,06	34,93	34,79	34,87	0,06	34,89	34,75	34,84	0,07
600	34,70	34,48	34,60	0,07	34,70	34,53	34,61	0,06	34,64	34,48	34,59	0,08
700	34,49	34,38	34,44	0,04	34,49	34,38	34,44	0,04	34,48	34,39	34,44	0,04
800	34,40	34,32	34,36	0,03	34,40	34,33	34,36	0,02	34,40	34,32	34,36	0,03
900	34,39	34,28	34,33	0,03	34,34	34,30	34,33	0,02	34,39	34,28	34,34	0,03
1000	34,38	34,27	34,34	0,03	34,35	34,31	34,33	0,01	34,38	34,27	34,34	0,04

Fonte: Levitus (1994)

Campos *et al.* (1994) analisou o comportamento vertical e horizontal da salinidade na coluna d'água nas proximidades do campo de Mexilhão, durante o verão de 1991. Assim como foi observado no parâmetro temperatura, a salinidade apresenta uma estratificação intensa nos primeiros 200 metros da coluna d'água, exibindo valores entre 37 e 35,8 sobre a plataforma continental (Figura II.5.1.2-12). Nos mapas de distribuição horizontal de salinidade em diferentes níveis de profundidade (Figura II.5.1.2-13) pode se observar uma tendência do aumento da salinidade da água com o aumento da profundidade, sugerindo uma intrusão de águas profundas sobre a plataforma continental.



**Figura II.5.1.2-12** – Distribuição vertical da salinidade ao longo da longitude de aproximadamente  $44,5^{\circ} W$ , na região do campo de Mexilhão (Campos et al. 1994).



**Figura II.5.1.2-13** – Distribuição horizontal da salinidade em diferentes camadas de profundidade na região do campo de Mexilhão (Campos *et al.* 1994).

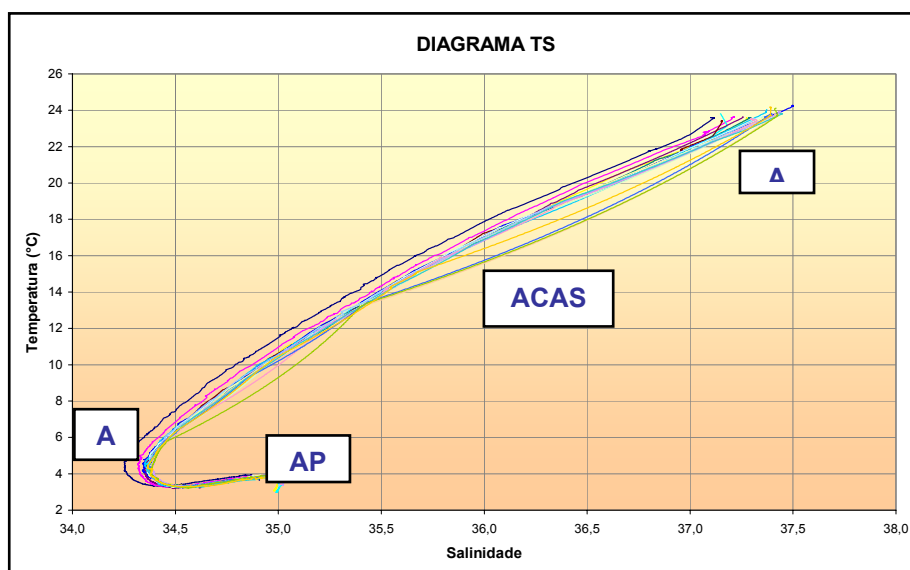
Para a Baía de Guanabara, os valores de salinidade medidos entre 1980 e 1992 variaram de 9,9 até 36,8, com valores médios de  $29,5 \pm 4,8$  (Kjerfve *et al.*, 1997). A salinidade mostrou um padrão inverso à temperatura, com um

decréscimo em direção ao interior da baía, efeito este esperado, dada a descarga dos inúmeros rios localizados no seu entorno. No mesmo estudo, os valores de salinidade próximo ao fundo variaram de 34,59 a 26,1. Em perfil, a estratificação da salinidade se mostrou de moderada a fraca, raramente excedendo 4 unidades. O mínimo observado no período de seca (inverno) foi de 26, na parte oeste da baía. No período de chuvas (verão), este mínimo chegou a 10, deslocando-se para nordeste da baía em função da grande vazão dos rios lá localizados.

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

A Figura II.5.1.2-14 apresenta o diagrama T-S obtido através de perfilagens de CTD realizadas na Bacia de Santos (região dos blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21) no ano de 2002 (Petrobras/Habtec, 2003), tendo sido identificadas as seguintes massas d'água: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN).



**Figura II.5.1.2-14 - Diagrama TS espalhado para a Bacia de Santos.**

Fonte: Petrobras/Habtec, 2003.

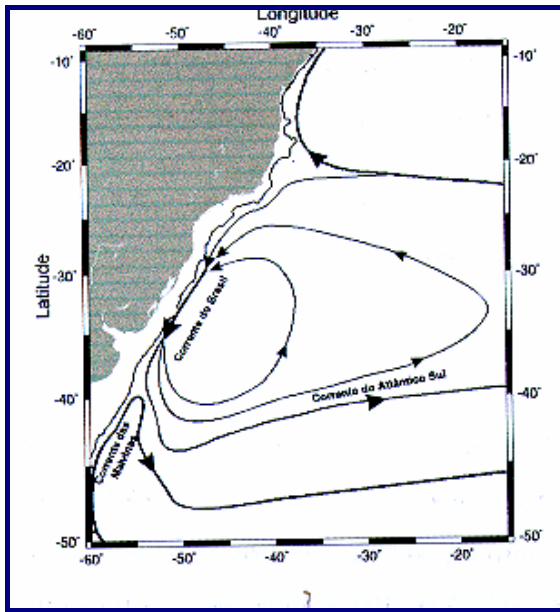
### c) Correntes

A dinâmica da circulação ao largo da costa SE brasileira é determinada pelo fluxo das massas d'água encontradas na região (AT, ACAS, AIA e APAN) e, também, influenciada pelas feições batimétricas locais. 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.

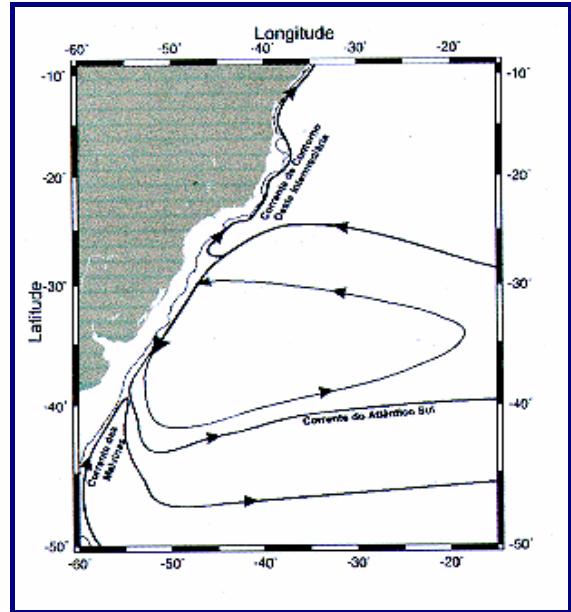
Antes de chegar à Bacia de Santos, parte significativa do fluxo da Corrente do Brasil (CB) passa através dos canais dos bancos de Abrolhos, dividindo-se em dois ramos: um deles fluindo afastado da costa, além da isóbata de 3000 m (Stramma *et al.*, 1990 *apud* Lima, 1997), e o outro seguindo a linha de quebra da plataforma, se estendendo até o fundo e apresentando um estreitamento no seu lado oriental (devido a um cisalhamento ciclônico) durante a maioria dos meses (Signorini, 1976). Significativa parte deste último flui sobre a plataforma externa a qual, algumas vezes localiza-se aquém da isóbata de 100 m (Signorini, 1978).

Embora acompanhe o formato da costa durante praticamente o ano todo (Lima, 1997), o núcleo da Corrente do Brasil possui grande variabilidade sazonal, afastando-se para o largo durante o inverno (Paviglione & Miranda, 1985) e se aproximando da costa durante o verão (Moreira, 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).

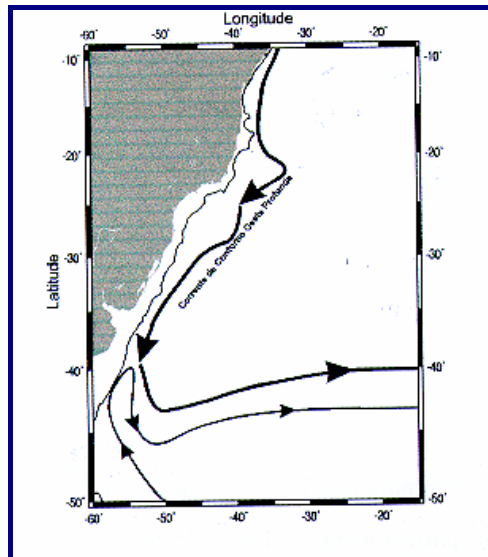
Em larga escala a direção e a intensidade das correntes na Bacia de Santos são explicadas pelo padrão de circulação no oceano Atlântico Sudoeste em diferentes profundidades na coluna d'água, conforme mostram as Figuras II.5.1.2-15, II.5.1.2-16 e II.5.1.2-17 a seguir.



**Figura II.5.1.2-15** - Representação esquemática da circulação no Oceano Atlântico Sudoeste ao nível de 250 metros.  
Fonte: Silveira et al., 2000



**Figura II.5.1.2-16** - Representação esquemática da circulação no Oceano Atlântico Sudoeste ao nível de 800 metros.  
Fonte: Silveira et al., 2000



**Figura II.5.1.2-17** - Representação esquemática da circulação no Oceano Atlântico Sudoeste ao nível de 2000 metros.  
Fonte: Silveira et al., 2000



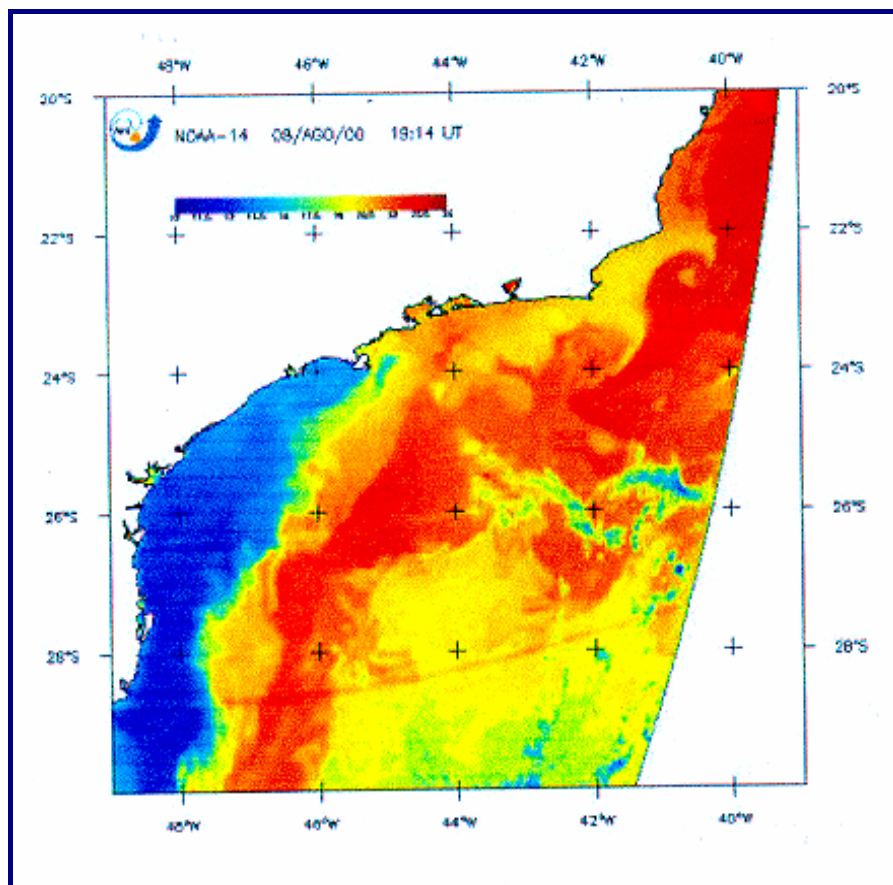
Nos primeiros 100 metros da coluna d'água, a CB flui na direção Sul-Sudoeste na Bacia de Santos (Moreira, 1997), após ter tido origem na bifurcação da Corrente Sul Equatorial (CSE), em torno de 12°S. Na Figura II.5.1.2-15 nota-se que, a partir do Cabo de São Tomé (22°S), a ACAS flui para sul ao largo da costa brasileira. Neste ponto da costa sudeste brasileira, considera-se a CB como sendo formada pela AT e pela ACAS (Calado, 2001).

Na Figura II.5.1.2-16, na profundidade de 800 metros, observa-se uma bifurcação no fluxo da AIA. Esta se dá na altura de 25°S, quando a AIA passa a fluir para norte, acompanhando a quebra da plataforma continental. O escoamento da AIA fluiria, então, para o norte como uma Corrente de Contorno Oeste Intermediária (CCI) no interior da Bacia de Santos enquanto apresenta-se como uma corrente de contorno oeste fluindo para sul, ao sul de 28° C (Silveira et. al 2000). A corrente medida para o deslocamento da AIA, em profundidade, durante o verão de 1993, indicou o valor de 0,3 ms<sup>-1</sup> (Moreira, 1997).

Na Figura II.5.1.2-17, que ilustra a circulação ao nível de 2000 metros de profundidade, nota-se uma Corrente de Contorno Oeste Profunda, definida na APAN, que se apresenta como um fluxo organizado fluindo para Sul.

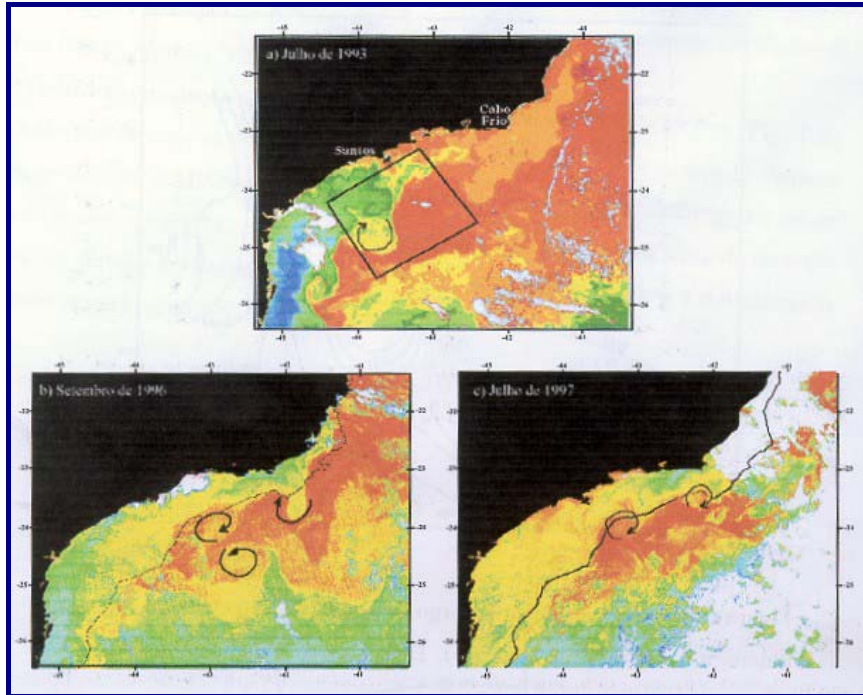
A circulação na camada superficial sobre a quebra da plataforma e talude é caracterizada pelo fluxo da Corrente do Brasil para sul representando o limite ocidental do giro subtropical do Atlântico Sul. As primeiras medições diretas da Corrente do Brasil foram feitas por Evans e Signorini em 1985, nas latitudes de 20° 30' S e 23° S, a norte da Bacia de Santos, indicando um fluxo confinado aos primeiros 400 m da coluna d'água, com uma contra-corrente no sentido norte, abaixo destes 400 m iniciais. Na parte norte da costa sudeste brasileira, acima do Cabo de São Tomé, a CB flui na direção de 180°, sofrendo uma rotação para 220° na região de Cabo Frio, de acordo 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 na região da Bacia de Campos e de meandros ciclônicos e anticiclônicos na Bacia de Santos, na sua tentativa de estabilização na coluna d'água (Silveira & Lima, 2001 *apud* Calado, 2001). As imagens AVHRR apresentadas nas Figuras II.5.1.2-18 e II.5.1.2-19, usadas por Garfield (1990), Silveira (2000), Calado (2001) e outros

autores, ilustram este padrão de meandramento na Bacia de Santos, com a separação ocasional de vórtices ciclônicos e anticiclônicos.



**Figura II.5.1.2-18** - Imagem AVHRR da região sudeste do Brasil englobando a Bacia de Santos. 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.5.1.2-19** - Imagem AVHRR da região sudeste do Brasil mostrando o comportamento da Corrente do Brasil e os meandros na Bacia de Santos.

Fonte: Calado, 2001.

A componente da CB 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). Abaixo destes primeiros 400 metros, o restante da ACAS e da 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 nas proximidades do Campo de Mexilhão, na região da quebra da plataforma e do talude próximo a latitude de 25° S é de 7,3 Sv, relativo ao nível de 750 db. A CB dentro da Bacia de Santos se estende, em média, até a profundidade de 750 metros, limite aproximado entre a ACAS e AIA. O Quadro II.5.1.2-4, a seguir, apresenta a estimativa de transporte de volume e a velocidade máxima da CB segundo diversos autores.

**Quadro II.5.1.2-4 - Estimativa de transporte de volume e velocidade máxima da CB.**

LATITUDE (Sul)	PROFUNDIDADE DE REFERÊNCIA (m)	TRANSPORTE DE VOLUME (Sv)	VELOCIDADE MÁXIMA (ms <sup>-1</sup> )	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA
20° 28' S	500/1000	3,8/6,8	0,52	Evans et al. [1983]
22° S	500/1300	5,2	0,19	Signorini [1978]
22° S	Correntômetro	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 et al. [1983]
25° 30' S	750	7,3	0,60	Campos et al. [1985]

Fonte: Calado, 2001.

A circulação na Bacia de Santos é influenciada por duas correntes principais: a do Brasil (CB), que flui em direção ao pólo sul ao longo da costa brasileira, e a das Malvinas (CM), que flui para norte, sobre a quebra da plataforma continental argentina. As águas quentes da Corrente do Brasil se encontram com as águas frias da Corrente das Malvinas nas proximidades do paralelo 36°S, sobre o talude continental da Bacia Argentina. Este fenômeno cria uma região de fortes gradientes térmicos, conhecida como Convergência Subtropical, marcando a região limítrofe entre as águas subtropicais e subantárticas, defletindo-se para o largo e penetrando no giro subtropical.

Na região da Bacia de Santos, ao balanço entre a CB e a CM, são adicionadas forçantes de caráter meteorológico (ventos sazonais e insolação), astronômico (marés) e batimétricos (profundidade local). A interação destes fatores é a diretriz para o entendimento dos padrões de corrente observados na região.

A velocidade da corrente relativa à contribuição da maré é baixa, de cerca de 0,05 m/s, e quase em sua totalidade, no eixo perpendicular à plataforma (Moreira, 1997).

Em trabalho realizado pela Habtec (Habtec, 2000), na Bacia de Santos, dividiu-se a plataforma continental em três regiões, em função das características

dinâmicas e termodinâmicas de suas águas, que se mostraram separadas por duas frentes. Estas regiões encontram-se definidas a seguir:

A **Plataforma Continental Interna (PCI)** varia sazonalmente sua extensão e apresenta grande homogeneidade de suas propriedades físicas. Seu limite externo é função do contato da região da termoclina sazonal com o fundo, porção denominada de Frente Térmica Sub-superficial (FTS), que se localiza entre 10 e 30 Km da costa.

A **Plataforma Continental Média (PCM)** aparece de forma nítida durante o verão. Se estendendo da Frente Térmica Sub-superficial (FTS) à região de 60 a 80 Km da costa, denominada Frente Halina Superficial (FHS), a PCM é caracterizada por uma não homogeneidade de salinidade entre a CB e as águas da plataforma, sendo identificada pela presença da termoclina sazonal (18° C a 22° C), com temperaturas entre os 22° C e 24° C próximo à superfície, e de 14° C a 15° C junto ao fundo.

A **Plataforma Continental Externa (PCE)** apresenta uma estratificação vertical pouco intensa, com pequena variação sazonal. Estende-se desde as isóbatas de 70m a 90m, até a quebra da plataforma, com registros de intrusões subsuperficiais da CB. (Moreira, 1997, Castro Filho, 1996)

As correntes sazonais predominantes na parte mais interna da Plataforma da Bacia de Santos são altamente dependentes do sentido do vento. Ventos provenientes de NE forçam a corrente no sentido SW, e vice-versa. O vento médio sazonal não é bem definido devido à alta variância observada. Por isso, as correntes médias sazonais também não são bem definidas. Essas últimas fluem predominantemente ao longo da costa e demonstram uma distribuição bimodal (NE-SW), sendo mais freqüentes as correntes de SW para NE. Análises de Fontes (1995 *apud* Moreira, 1997) mostraram, no verão, uma circulação predominante para SW na superfície e para NE na camada profunda. No inverno, a circulação predominante foi de NE.

Stech e Lorenzetti (1992 *apud* Castro Filho, 1996) puderam confirmar que a passagem de sistemas de frentes frias é capaz de causar uma inversão completa no fluxo das águas, o qual flui predominantemente para SW antes da passagem da frente, e para nordeste sob a ação do sistema meteorológico, embora

mantenha o balanço geostrófico na direção perpendicular à costa durante a maior parte do tempo.

As velocidades médias são maiores para as correntes que fluem para SW (0,20 a 0,30  $\text{ms}^{-1}$ , com máximos na ordem de 0,60  $\text{m s}^{-1}$ ), seguidas por aquelas que fluem para NE e NW. As correntes que fluem para o quadrante de NW, embora não muito freqüentes, são relativamente intensas. Resultados de modelos com ventos de noroeste mostram que o campo estacionário de velocidade apresentou sentidos opostos nas regiões sul e norte da PCI, com uma célula de circulação horária podendo ser observada junto à extremidade sul da Ilha de São Sebastião.

Na parte sul da plataforma, foi observada a presença de uma água fria e menos salina, bem próxima da costa. Esta água fria pode ser observada todos os anos, durante os meses de inverno, onde se nota sua ação até o paralelo de 24°S. A origem desta massa de água também é uma matéria de debates, embora as imagens disponíveis sugiram que ela seja formada por uma mistura de águas da Corrente das Malvinas com águas da região estuarina do Rio da Prata (Habtec,2000).

Essa corrente, doravante definida como Ramo Costeiro da Confluência Brasil-Malvinas (RCCBM), apresenta profundidade máxima de ocorrência de 50 metros. Estudos com derivadores mostraram uma recirculação na Confluência Brasil-Malvinas, com período de cerca de 140 dias, velocidades de 0,05-0,17  $\text{ms}^{-1}$  e temperaturas de 17,6° a 23,3°C. Entretanto, a extensão norte de sua penetração na região varia de ano para ano. A RCCBM bloqueia a AT e a ACAS, impedindo um maior alcance desta última sobre as áreas mais rasas da plataforma, reduzindo os níveis de produtividade na plataforma interna.

Outra forçante que atua sobre a circulação na Plataforma Continental Interna é a maré. A distribuição de energia entre as correntes de maré e as correntes de maior período, mostraram que, para as componentes paralelas à topografia, as correntes subinerciais são dominantes, contribuindo com cerca de 80% da variância. As correntes de maré normais à costa contribuíram com cerca de 40-50% da variância total (Habtec, 2000).

A direção predominante das correntes na PCI é no alinhamento NE-SW, sugerindo que os eventos com sentido SW são mais longos do que aqueles com

sentido NE, em ambas as estações. O número de inversões de corrente para NE indica a existência de uma pequena tendência para mais ocorrências deste efeito durante o inverno (13 a 17) do que no verão (8 a 13). Este efeito é mais sentido em águas mais rasas do que em lâminas d'água profundas (Castro Filho, 1996).

Valores típicos das correntes para SW e NE medidos na Bacia de Santos, foram da ordem de  $0,20 \text{ ms}^{-1}$  e  $0,10 \text{ ms}^{-1}$ , respectivamente. A corrente normal é, com maior frequência, convergente à costa, com intensidade típica de  $0,05 \text{ ms}^{-1}$ .

A Plataforma Continental Média tem padrão de regime de correntes semelhante ao da PCI. A dificuldade em caracterizar as correntes sazonais advém da alta variabilidade temporal das correntes em escala subinercial (Habtec, 2000). Durante o inverno, o fluxo de água predominante tem sentido SW, embora eventos com correntes fluindo para NE sejam freqüentes. As intensidades típicas das correntes com sentido SW variam de  $0,40$  a  $0,50 \text{ ms}^{-1}$ , sendo ligeiramente inferior às intensidades daquelas com sentido oposto ( $0,30$  a  $0,40 \text{ ms}^{-1}$ ).

A corrente normal é semelhante à ocorrida na PCI, e em intensidade significativamente menor do que as correntes paralelas. Na direção normal, os fluxos nas camadas intermediária e profunda estão mais bem relacionados entre si do que com o da camada superficial. Os autoespectros das correntes paralelas mostram máximos de energia para os períodos médios (6 a 10 dias) e curtos (3 a 4 dias). É exatamente nessas duas bandas que as coerências entre as componentes paralelas da corrente e da tensão de cisalhamento do vento são máximas, demonstrando que as correntes submaregráficas da PCM são essencialmente geradas pelo vento (Habtec, 2000).

Também durante o verão, na PCM, as correntes fluem predominantemente para SW, com intensidade média de  $0,25 \text{ ms}^{-1}$ . O número de eventos apresentando fluxo para NE é menor, quando comparado ao inverno.

De forma geral, na PCM, as características das correntes mais freqüentes, que são quase paralelas à topografia, confirmam que as mesmas são primariamente forçadas pelo vento, durante o verão.

A dinâmica das águas da Plataforma Continental Externa é altamente influenciada pela proximidade da Corrente do Brasil (CB). As correntes ali fluem para SW durante praticamente todo o tempo, ocorrendo inversões esporádicas

apenas quando meandros ou vórtices frontais são gerados na CB. Parte substancial do transporte da CB ocorre sobre a PCE. Os movimentos são forçados essencialmente pela CB, ocorrendo o transporte da AT na camada superior e da ACAS na inferior.

Os trabalhos realizados na área, no âmbito do Projeto COROAS (1999) indicam que, durante o verão, as correntes apresentam-se menos polarizadas num determinado sentido do que durante o inverno, fluindo preferencialmente para SW. Algumas inversões em pontos da região parecem estar associadas a um provável vórtice ou meandro anti-ciclônico, como o vórtice ciclônico semi-permanente identificado na região do Cabo de Santa Marta, que induz, sobre a plataforma continental correntes de SW para NE, contrárias portanto ao escoamento médio de NE para SW associado a CB. Estudos com derivadores indicam que o tempo tomado para circularem através deste vórtice variou de 6 a 14 dias e suas velocidades durante este período variaram de 0,24 a 0,71 ms<sup>-1</sup> (Projeto COROAS, 1999).

O padrão das isolinhas de altura dinâmica mostrou a CB fluindo paralela à isóbata de 200m, com padrão de meandramento sugestivo de sua maior intrusão na região central da área de estudo. Foi observado um vórtice ciclônico sobre o talude superior, associado ao aporte da ACAS na plataforma, cuja influência foi notada até a profundidade de 500 m. Também foram observadas, tanto no verão quanto no inverno, elevações das isotermas em direção à plataforma, mostrando o ajuste baroclínico do movimento geostrófico da CB (Campos *et al*, 1994).

No verão observa-se intensa penetração da ACAS até profundidades intermediárias com temperaturas inferiores a 20° C. Durante o inverno, ela esteve mais ao largo, sendo que ao sul da Bacia de Santos se estendeu em direção à costa. Por outro lado, a penetração da AT foi maior na porção norte da região, se afastando ao sul em direção ao oceano. No inverno ocupou toda a coluna d'água nas áreas localizadas mais ao sul.

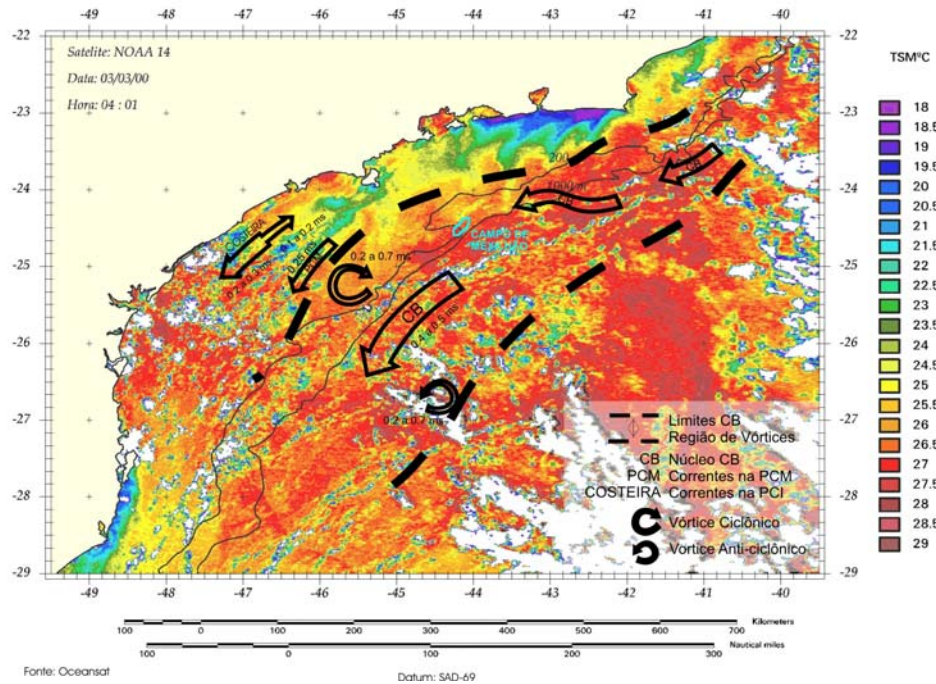
Estas intrusões das águas da CB em direção à costa definem a estrutura termohalina na Plataforma Continental Externa, e principalmente, na Plataforma Continental Média. A ACAS, pelo ajuste baroclínico da CB, está sempre presente na camada profunda da PCE nas imediações do talude. A água ressurgida em Cabo Frio desloca-se em direção sudeste, chegando até mesmo nas



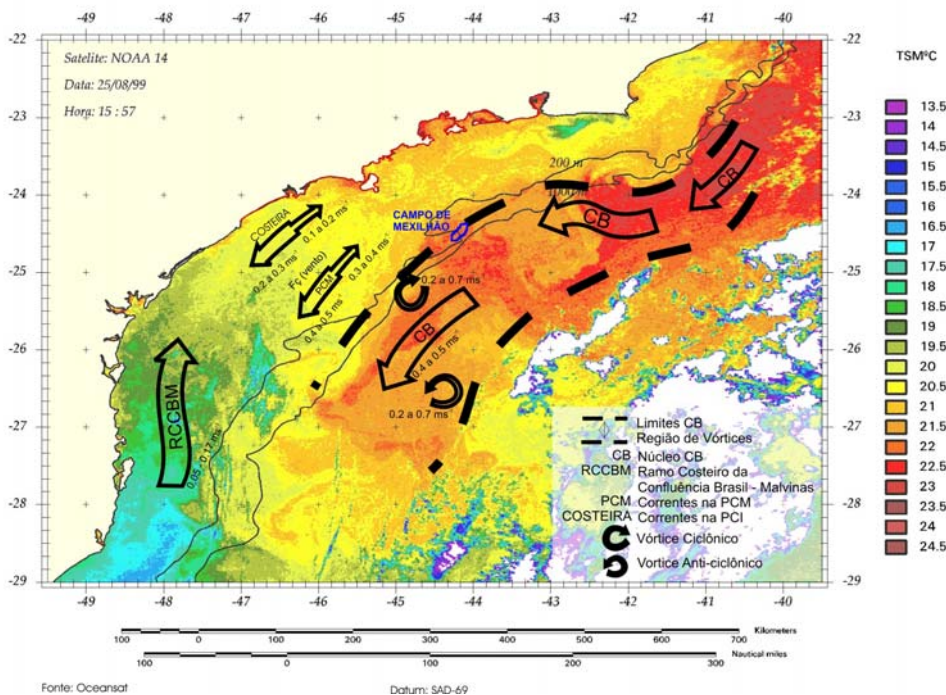
proximidades da Ilha de São Sebastião, em um processo chamado de intrusão remota (Castro Filho, 1996).

Os meandros ciclônicos e, particularmente, os vórtices frontais, intensificam o processo de intrusão da ACAS em direção à costa, particularmente na Plataforma Continental Externa. Essas perturbações dificilmente atingem a Plataforma Continental Média na ausência de ventos favoráveis à ressurgência. Mesmo durante o inverno, os ventos predominantes continuam sendo de NE, isto é, favoráveis à ressurgência. Dessa forma, a ACAS penetra em direção à costa também na estação fria, porém menos freqüentemente, mas mantendo a PCE estratificada durante o ano todo. No inverno as águas da PCM são mais densas devido, principalmente, ao fluxo de calor negativo existente na superfície livre. Isto faz com que a ACAS encontre maior resistência das águas interiores à sua intrusão, pela diminuição do gradiente vertical médio de densidade normal à costa.

Nas Figuras II.5.1.2-20 e II.5.1.2-21 são apresentados os padrões de circulação na Bacia de Santos, no verão e no inverno, respectivamente; e os comportamentos tanto das correntes costeiras quanto oceânicas.



**Figura II.5.1.2-20 - Caracterização das correntes na Bacia de Santos para uma situação de verão.**  
(Fonte: Habtec, 2000).



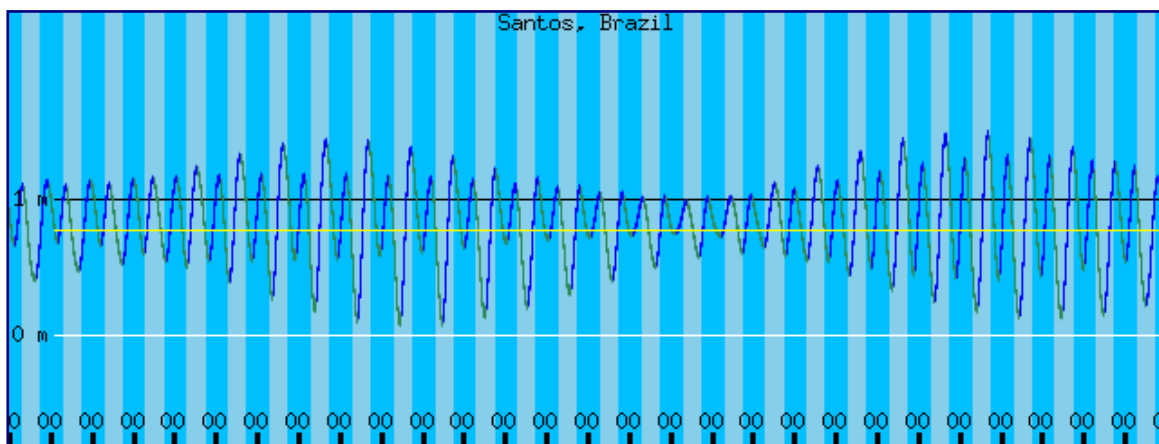
**Figura II.5.1.2-21 - Caracterização das correntes na Bacia de Santos para uma situação de verão.**  
(Fonte: Habtec, 2000).

No interior da Baía de Guanabara, o comportamento das correntes pode ser descrito como a composição de uma circulação gravitacional e residual de maré. Esta circulação gravitacional e residual de maré fortemente direcionada pela distribuição das isobatimétricas e com contribuição significativa do volume dos fluxos dos rios contribuintes e do regime de ventos. Geralmente, não se observa uma grande variação nas direções das correntes, nem em períodos de maré, nem em escala sazonal. Entretanto, podem ser verificadas sensíveis diferenças na intensidade das mesmas nos períodos de sizígia e quadratura, bem como nas estações chuvosa e seca (Kjerfve *et al.*, 1997).

Ao longo do canal central da baía, os valores de intensidade das correntes são equivalentes, tanto na enchente quanto na vazante (50 cm/s). Entretanto, também foi constatado que, de forma sistemática, as velocidades eram maiores à superfície do que no fundo, o que pode ser atribuído à ação da superfície livre de maré e à ação dos ventos (Kjerfve *et al.*, 1997).

#### d) Marés

Conforme pode ser observado na Figura II.5.1.2-22, a maré na região é predominantemente semi-diurna, com pequena contribuição diurna. Nota-se, 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 II.5.1.2-22 - Maregrama previsto para região de Santos no período de 01/06 até 31/06/2003.** Fonte: <http://tbone.biol.sc.edu/tide/tideshow.cgi>

★	Nível Médio do Mar	0,77 m
★	Média de Baixamar	0,43 m
★	Média de Preamar	1,17 m
★	Média de Baixamar de Sizígia	0,34 m
★	Média de Preamar de Sizígia	1,26 m
★	Variação Média da Maré	0,75 m
★	Variação Média de Sizígia	0,91 m
★	Maré Astronômica Mínima	-0,01 m
★	Maré Astronômica Máxima	1,56 m
★	Maré (Astronômica + Meteorológica) Mínima	-0,41 m
★	Maré (Astronômica + Meteorológica) Máxima	1,96 m
★	Variação Máxima	1,51 m

Os primeiros estudos sobre correntes de maré com utilização de correntógrafos analisaram dados de temperatura, salinidade, correntes e ventos em 3 posições da plataforma continental sudeste (Cabo do Frio, Angra dos Reis e Santos), sobre a isóbata de 100 m, (Johanessen, 1968 *apud* Moreira, 1997). Ao largo de Santos foram observadas correntes rotatórias em todos os níveis amostrados (5, 15, 30, 50 e 90 m) e a predominância de constituintes diurnas e semi-diurnas, (Mesquita, 1977 *apud* Moreira, 1997).

Harari e Camargo (1995) analisaram dados horários de elevação do nível do mar no Porto de Santos (23° 57' S e 16° 19' W), relativos ao período de 1944 a 1989, onde os espectros dos valores médios mensais mostraram periodicidades significativas, próximas aos ciclos do fenômeno El Niño - Oscilação Sul. As variações sazonais do nível médio do mar no Atlântico Sul apresentam uma onda anual dominante, com 2,5 cm de amplitude e que produz níveis baixos durante a primavera (setembro-novembro), e altos no outono (abril-maio) (Castro, 1996).

A constituinte  $M_2$  da maré é a dominante nas oscilações maregráficas do nível do mar, seguida pelas constituintes  $S_2$ ,  $O_1$  e  $K_1$  (Mesquita e Harari, 1987, *apud* Moreira 1997). As amplitudes são pequenas nas costas sul e sudeste do Brasil. No extremo norte da PCSE, as amplitudes na região do talude são da ordem de 0,3 m, continuando a decrescer até a área ao largo do Cabo de Santa Marta,

onde atingem apenas 0,1 m. Existe ainda uma convergência da fase em direção às áreas centrais da região. Assim, aparentemente, a onda da constituinte  $M_2$  penetra na PCSE a partir de suas extremidades norte e sul. Esta constatação é verificada a partir de resultados de modelos tanto numéricos (Harari e Camargo, 1994 *apud* Castro, 1996) quanto baseados em dados altimétricos e maregráficos, como o trabalho de Mesquita e Harari (1987). A partir de medições pelágicas do nível do mar, onde os autores sugerem a existência de dois pontos anfidrômicos de  $M_2$ , um no meio do Atlântico Sul com giro no sentido anti-horário (propagando-se para sudoeste de Cabo Frio) e outro próximo à costa brasileira mais ao sul, com giro da onda de maré no sentido horário (propagando-se da plataforma de Paranaguá para a de Santos). O encontro ocorre nas proximidades da cidade de Santos (SP). A maré da região foi considerada como sendo do tipo mista com predominância semi-diurna (Alves, 1992).

Vários estudos mencionados em Castro (1996) também demonstraram as significativas correlações entre o nível médio mensal da maré, corrigido para o efeito barométrico, e ambas as componentes do vento (paralela e normal à costa). Segundo este aspecto, as análises da frequência de passagem de frentes frias e dos valores dos ventos fortes na região devem ser consideradas para avaliações das variações em escala subinercial de tempo (2 a 15 dias), sendo importantes forçantes nos modelos numéricos de previsão de alturas do nível do mar.

Mesquita e Leite (1986, *apud* Castro 1996) concluíram que o nível médio mensal da costa na Bacia de Santos apresenta caracterização própria sobre a variação sazonal, com picos em fevereiro, abril e maio, máximos secundários em agosto e novembro, e mínimos observados em dezembro e janeiro.

Para referenciar a análise de marés em um local oceânico na Bacia de Santos é mais adequado utilizar os dados de maré coletados em um fundeio oceanográfico e analisados por Salles et al. (2000) no Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. O Quadro II.5.1.2-5 apresenta os resultados da estação Santos (Porto) - SP, medida em  $23^{\circ} 57.3' S$  e  $46^{\circ} 18.6' W$ .

Observando estes resultados, verifica-se que as componentes mais significativas são as semi-diurnas, com amplitude de 36,4 cm para  $M_2$  e 22,5 cm para  $S_2$ , confirmando as avaliações anteriores.

Quadro II.5.1.2-5 - Estação maregráfica medida na Bacia de Santos.

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR <i>Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras</i>					
Nome da Estação :		SANTOS (PORTO) – SP			
Localização :		Na torre de passagem dos cabos elétricos pelo canal (Torre Grande)			
Organ. Responsável :		INPH / CODESP / DHN .			
Latitude :		23° 57,3' S	Longitude :		46° 18,6' W
Período Analisado :		01/01/56 a 23/12/56		Nº de Componentes : 32	
Análise Harmônica :		Método Tidal Liverpool Institute			
Classificação :		Maré de Desigualdades Diurnas			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		II H 55 min	Nível Médio (Zo):		77 cm acima do NR.
Média das Preamares Superiores (MHHW) :		141 cm acima do NR.	Média das Preamares Inferiores (MLHW) :		130 cm acima do NR.
Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :		29 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) :		7 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi- amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi- amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	10,2	025	MU <sub>2</sub>	2,1	122
Ssa	5,0	180	N <sub>2</sub>	5,4	149
Mm	4,2	289	NU <sub>2</sub>	0,4	139
Mf	1,7	141	M <sub>2</sub>	36,4	088
MTM	-	-	L <sub>2</sub>	1,6	037
Msf	1,5	121	T <sub>2</sub>	0,8	020
Q <sub>1</sub>	2,5	058	S <sub>2</sub>	22,5	091
O <sub>1</sub>	11,5	081	K <sub>2</sub>	7,4	082
M <sub>1</sub>	0,8	095	MO <sub>3</sub>	0,7	096
P <sub>1</sub>	2,3	136	M <sub>3</sub>	4,9	234
K <sub>1</sub>	6,3	143	MK <sub>3</sub>	2,5	117
J <sub>1</sub>	0,8	192	MN <sub>4</sub>	1,3	318
OO <sub>1</sub>	0,2	133	M <sub>4</sub>	2,6	355
MNS <sub>2</sub>	0,2	189	SN <sub>4</sub>	0,6	061
2N <sub>2</sub>	2,0	149	MS <sub>4</sub>	2,2	143
<b>Referências de Nível:</b> RN Alfândega, situada na Praça da República, no meio fio em frente ao prédio da Delegacia da Receita Federal (antiga Alfândega). RN 2 implantada na sapata da torre do lado do porto.					
<b>Obs:</b> Outros Períodos: 01/01/51 a 04/01/51; 14/11/59 a 15/12/59; 07/02/78 a 23/02/78; 27/02/78 a 27/03/78; 05/09/95 a 07/10/95. Existem outros períodos no INPH e na CODESP Consta das Tábuas das Marés.					
Código BNDO: 50225					

- 237 -

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

Para a região da Baía de Guanabara, a maré constitui a grande força motriz atuante no sistema, determinando de forma periódica a interação das suas águas interiores com as águas oceânicas da região adjacente. Esse movimento

oscilatório é fundamental para a renovação das águas da baía, já que força a entrada de águas limpas, mais frias e salinas no período da enchente e a saída da água de mistura da primeira com a da descarga dos rios contribuintes (Kjerfve *et al.*, 1997).

As marés astronômicas na Baía de Guanabara podem ser classificadas como de pequena amplitude e semi-diurnas com desigualdade, pois se caracterizam por duas preamares e duas baixamares de alturas diferentes por dia lunar (24 h 50 min). Segundo Kjerfve *et al.*, (1997), a variação média da maré é de aproximadamente 0,7 m para toda a baía, com uma variação 1,1 m na sizígia e de 0,3 m na quadratura.

Um outro componente da maré real é a maré meteorológica, gerada pelo empilhamento de água no interior da baía pela ação dos ventos de tempestade. A maré meteorológica ocorre devido à chegada de frentes frias, quando os ventos de quadrante Sul incidem de forma frontal à entrada da baía, provocando o represamento da água (Kjerfve *et al.*, 1997).

#### e) Batimetria

A região da Bacia de Santos, que se estende do trecho da costa que vai de Cabo Frio (23°S) até o Cabo de Santa Marta (28° 40' S), possui uma margem continental caracterizada por províncias amplas, de gradientes relativamente suaves, com isóbatas dispostas paralelamente à linha de costa, e uma quebra da plataforma localizada entre 120m e 180m de profundidade. Seu talude é geralmente suave (4°), de perfil levemente côncavo, característico de margens deposicionais (Borges Moreira, 1997) (Mapa II.5.1.2-2).

A plataforma interna (PCI) apresenta uma declividade suave, com sua borda externa acompanhando a curvatura do embaiamento. Na metade norte da Bacia de Santos, a partir de Santos, existe uma plataforma externa (PCE), com largura variando de 30 a 50 Km, separada da interna por um degrau situado entre as cotas de 80 a 110 m, degrau este caracterizado por uma declividade média de 1:550 e largura média de 25 km. Para sul este declive intermediário se alarga e se iguala, em amplitude, aos níveis da PCI e PCE, estabelecendo uma plataforma média, com aproximadamente 30 a 50 Km de largura. Nesse trecho a plataforma

externa possui largura reduzida, em média 42 Km. Toda a plataforma é regularmente cortada por canais relativamente rasos, estreitos e orientados perpendicularmente ao declive geral.

O talude continental possui largura média de 120 Km. Porém, ao largo de Santos, a borda da plataforma avança para o oceano, reduzindo sua largura para 70 km. O talude é formado por dois segmentos: o talude superior, que é mais estreito e íngreme, e o inferior, mais largo (40 km) e com declividade de 1° 50', tendo sua base situada em torno da isóbata de 2000 m. O talude superior apresenta na parte norte da Bacia de Santos sua base entre as profundidades de 400m e 500m, uma largura média de 9 Km e declividade aproximada de 4°. Na sua parte sul a largura aumenta, chegando a 20 km ou até 30 km, com base entre as isóbatas de 700 m e 800 m e declividade caindo para 2° a 3° (Cirano, 1995).

A geometria costeira da região da Bacia de Santos apresenta uma mudança abrupta na orientação da linha de costa, de NE-SW, ao norte de Cabo Frio, para E-W, ao sul do mesmo. Esta mudança de orientação tem influência direta na dinâmica de meso-escala local (Chen, 2002).

O campo de Mexilhão está situado, em quase sua totalidade, entre as linhas isobatimétricas de 300 e 600 metros, na região do Talude Continental Superior (Mapa II.5.1.2-3).





**Mapa II.5.1.2-2 - Mapa Batimétrico da Bacia de Santos (A3)**

---

**Mapa II.5.1.2-2** - Mapa Batimétrico da Bacia de Santos (A3)

**Mapa II.5.1.2-3** - *Localização batimétrica do campo de Mexilhão.* (A4)

---

**Mapa II.5.1.2-3** - *Localização batimétrica do campo de Mexilhão.* (A4)

Baía de Guanabara, base de apoio terrestre, é caracterizada por possuir uma entrada estreita, com aproximadamente 1,6 Km entre a pontas de São João e de Santa Cruz e à medida que adentramos os 30 Km de extensão N-S até o fundo da baía ocorre um alargamento na direção E-W até o máximo de 28 Km. A feição morfológica de fundo mais proeminente da baía é representada pelo seu canal central que pode alcançar 58 m de profundidade.

#### f) Regime de Ondas

Entre os vários tipos de ondas que se propagam pelo oceano, as mais comuns e as mais fáceis de se observar são as ondas superficiais de gravidade. Geradas pelo vento, tais ondas se propagam pela superfície do mar transportando, por longas distâncias, a energia que o vento lhes transmitiu. A ação das mesmas sobre uma obra ou instalação oceânica e, particularmente, sobre plataformas de exploração de petróleo, é fator de suma importância tanto na fase de projeto quanto na de exploração (Habtec,2000).

As ondas superficiais também desempenham um papel importante na interação da atmosfera com o oceano, representando o principal agente dinâmico dos processos litorâneos.

Um outro tipo de movimento ondulatório que ocorre no oceano são as chamadas ondas internas, 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 e sim no seu 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 se comparada às ondas superficiais de gravidade, seus efeitos sobre estruturas de exploração *offshore* de petróleo, principalmente nas áreas do talude continental, estão sendo consideradas, embora do ponto de vista da engenharia oceânica o interesse maior esteja nas ondas superficiais.

Outras campanhas realizadas na região foram feitas entre Peruíbe e Iguape (SP, de fevereiro de 1982 a janeiro de 1986), na Praia do Una, numa lâmina

d'água de 20 m. O ondógrafo utilizado foi do tipo *Waverider* a acelerômetro, com capacidade para obter 8 registro diários. Esta campanha foi efetuada pelo Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN).

Embora o ideal fosse medir as ondas, sua altura, período médio e direção de propagação em regiões abertas e profundas (com lâmina d'água superior a 100m), sem influência da topografia e do fundo na propagação, por motivos de ordem logística ou econômica, a maioria das medições acaba sendo realizada em águas rasas (profundidades inferiores a 20 m) e até em pontos da costa parcialmente protegidos, sendo por isso representativas dos respectivos locais de medição.

Devido à carência de medições de dados em águas profundas normalmente recorre-se a observações visuais feitas a partir de navios, prática comum em navios comerciais e da Marinha de Guerra. Uma das compilações do gênero, relativa ao Atlântico Sul, é o *Global Wave Statistics - GWS* (Hogben, 1986 *apud* Melo Filho, 1994), que apresenta uma análise estatística de séries de até 20 anos de dados para a região.

Os dados do GWS são organizados por setores. A área da Bacia de Santos se encontra no setor 66, que vai de Santa Catarina a Pernambuco, cobrindo vasta área da costa brasileira. Outra fonte de informações, considerada a melhor opção para esta área, foi a Base Ship de Meteorologia do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), da Marinha do Brasil. Apesar de escassas, as observações são em número suficiente para permitir a caracterização geográfica e estatística do regime de ondas na região, contando com dados cadastrados até 1995. As ocorrências relativas foram avaliadas para as circunstâncias de vento local como agente de formação (vagas – *sea*) e para as perturbações originadas longe da área de observação (ondas – *swell*).

Os dados de vagas e ondas obtidos nos estudos acima citados foram tratados e analisados por classes de altura e período, e nas respectivas direções de propagação na região de estudo. Estes dados encontram-se listados nos Quadros II.5.1.2-6 a II.5.1.2-11, a seguir.

**Quadro II.5.1.2-6 - Distribuição percentual das direções das vagas**

LAT	TOTAL (OBS)	CALM	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
-25,5	11262	1,19	10,72	23,5	20,95	12,37	14,31	8,53	4,74	3,68
-24,5	19895	1,32	8,52	21,1	25,22	11,35	12,17	9,71	6,70	3,92

Fonte: BNDO – DHN/Marinha do Brasil.

**Quadro II.5.1.2-7 - Distribuição percentual das alturas das vagas (m).**

LAT	DIR	TOTAL	< 0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	> 6,0
-25,5	E	2359	3,05	18,95	40,23	23,23	6,44	5,43	0,55	0,85	0,08	0,30	0,38	0,08	0,17	0,25
-25,5	N	1207	2,73	21,87	33,8	22,29	6,96	6,71	1,66	1,66	0,50	0,17	0,75	0,08	0,41	0,41
-25,5	NE	2647	3,14	16,17	34,98	24,78	7,10	8,50	1,66	1,55	0,76	0,08	0,38	0,19	0,26	0,45
-25,5	NW	415	3,61	27,47	29,4	21,20	6,75	7,47	1,20	0,24	1,45	0,24	0,24	0	0	0,72
-25,5	S	1612	3,60	19,42	36,17	19,98	6,95	7,44	1,55	2,05	0,81	0,31	0,50	0,37	0,37	0,50
-25,5	SE	1393	3,45	20,96	39,2	22,33	6,03	5,24	0,79	1,22	0,14	0	0,22	0	0,07	0,36
-25,5	SW	961	3,75	20,4	35,59	21,02	5,52	7,49	1,14	2,08	1,14	0,31	0,42	0	0,42	0,73
-25,5	W	534	3,75	29,59	34,83	16,1	4,87	6,37	1,12	2,06	0,37	0	0,19	0	0,19	0,56
-24,5	E	5017	2,61	20,17	40,36	22,12	5,64	5,34	1,04	1,22	0,30	0,24	0,34	0,10	0,12	0,40
-24,5	N	1695	3,95	25,19	33,98	20,35	6,78	6,19	1,24	1,00	0,12	0,06	0,53	0,18	0,18	0,24
-24,5	NE	4197	2,95	18,75	35,67	22,71	7,51	8,20	1,14	1,33	0,50	0,17	0,38	0,17	0,19	0,33
-24,5	NW	780	5,26	31,41	38,21	13,33	4,10	4,36	0,64	1,15	0,51	0,51	0,26	0	0	0,26
-24,5	S	2421	4,13	23,87	39,61	18,75	4,50	5,41	1,12	1,12	0,37	0,08	0,29	0,08	0,12	0,54
-24,5	SE	2259	3,32	24,21	39,44	20,19	4,74	5,09	0,75	1,24	0,35	0,13	0,18	0,13	0	0,22
-24,5	SW	1931	3,63	23,15	40,60	16,36	4,25	6,73	1,40	1,55	0,78	0,05	0,31	0,16	0,21	0,83
-24,5	W	1333	3,98	30,68	39,31	15,23	3,08	4,20	0,68	1,13	0,30	0,15	0,45	0,15	0,08	0,60

Fonte: BNDO – DHN/Marinha do Brasil.

**Quadro II.5.1.2-8 - Distribuição percentual dos períodos das vagas.**

LAT	DIR	OBS	CALM	5 a 6s	7 a 8s	9 a 10s	11 a 12s	13 a 14	15 a 16s	17 a 18s	19 a 20s	21 a 22s
-25,5	E	2359	2,25	65,83	24,08	5,72	0,68	0,93	0,38	0,13	0	0
-25,5	N	1207	2,32	61,97	23,12	9,03	0,99	1,57	0,66	0,25	0,08	0
-25,5	NE	2647	2,61	59,35	25,54	9,14	1,06	1,40	0,64	0,19	0,08	0
-25,5	NW	415	3,37	63,37	22,17	7,71	0,96	1,93	0,24	0,24	0	0
-25,5	S	1612	3,04	62,66	20,91	9,12	0,99	2,05	0,87	0,25	0,06	0,06
-25,5	SE	1393	2,80	67,70	21,90	5,60	0,79	0,79	0,22	0,07	0,14	0
-25,5	SW	961	3,12	60,87	23,73	7,49	1,14	2,50	0,73	0	0,21	0,21
-25,5	W	534	2,81	68,35	19,66	5,81	1,50	1,12	0,37	0,19	0,19	0

(continua)



Quadro II.5.1.2-8 (conclusão)

LAT	DIR	OBS	CALM	5 a 6s	7 a 8s	9 a 10s	11 a 12s	13 a 14	15 a 16s	17 a 18s	19 a 20s	21 a 22s
-24,5	E	5017	2,21	64,42	24,00	6,80	0,84	1,16	0,32	0,18	0,08	0
-24,5	N	1695	3,24	65,25	21,3	8,08	0,53	1,00	0,41	0	0,12	0,06
-24,5	NE	4197	2,53	61,88	23,64	9,24	0,88	1,17	0,33	0,24	0,05	0,05
-24,5	NW	780	4,74	71,41	15,26	6,28	0,77	1,28	0,13	0,13	0	0
-24,5	S	2421	3,59	68,57	18,67	6,61	0,74	0,91	0,37	0,17	0,21	0,17
-24,5	SE	2259	2,74	69,28	19,74	6,20	0,89	0,80	0,13	0,04	0,13	0,04
-24,5	SW	1931	3,11	66,60	19,73	6,99	0,98	1,40	0,57	0,41	0,16	0,05
-24,5	W	1333	3,75	72,09	16,73	4,73	0,83	1,05	0,23	0,53	0,08	0

Fonte: BNDO – DHN/Marinha do Brasil.

**Quadro II.5.1.2-9 - Distribuição percentual das direções das ondas.**

Lat	Total (Obs)	CALM	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
-25,5	3412	0	5,77	20,52	22,77	13,1	23,36	10,32	2,70	1,47
-24,5	3772	0	5,28	18,74	23,25	15,91	22,59	9,49	3,05	1,7

Fonte: BNDO – DHN/Marinha do Brasil.

**Quadro II.5.1.2-10 - Distribuição percentual das alturas das ondas.**

LAT	DIR	OBS	<0,5m	0,5m	1,0m	1,5m	2,0m	2,5m	3,0m	3,5m	4,0m	4,5m	5,0m	5,5m	6,0m	>6,0m
-25,5	E	777	4,50	9,40	27,03	24,58	18,92	9,14	3,09	1,93	0,64	0,13	0,13	0,13	0,39	0
-25,5	N	197	6,6	7,61	18,78	22,84	20,3	12,18	7,11	2,54	1,52	0,51	0	0	0	0
-25,5	NE	700	6,00	9,86	19,71	23,71	20,14	10,71	4,43	2,43	2,00	0,43	0,14	0	0,14	0,29
-25,5	NW	50	6,00	8,00	22,00	22,00	24,00	6,00	2,00	2,00	8,00	0	0	0	0	0
-25,5	S	797	3,39	5,65	17,31	20,95	20,70	14,43	9,28	3,39	2,76	1,00	0,63	0,13	0,38	0
-25,5	SE	447	4,03	7,16	21,03	26,17	20,81	9,84	5,15	2,91	2,01	0,45	0,45	0	0	0
-25,5	SW	352	3,13	11,08	10,23	15,91	19,89	14,77	9,66	7,67	4,26	1,99	0,57	0	0,57	0,28
-25,5	W	92	13,04	6,52	17,39	21,74	14,13	9,78	15,22	0	1,09	0	1,09	0	0	0
-24,5	E	877	6,96	14,6	24,74	23,83	16,31	7,98	2,39	1,48	1,25	0,11	0,23	0	0,11	0
-24,5	N	199	4,02	8,04	20,6	20,1	21,11	14,07	8,54	1,01	2,51	0	0	0	0	0
-24,5	NE	707	7,07	12,59	20,08	25,88	15,28	8,63	7,50	1,27	1,27	0,14	0,14	0,14	0	0
-24,5	NW	64	1,56	14,06	14,06	35,94	14,06	10,94	7,81	0	1,56	0	0	0	0	0
-24,5	S	852	6,22	10,09	18,31	22,54	19,01	9,74	6,57	3,64	1,76	1,17	0,35	0	0,35	0,23
-24,5	SE	600	4,33	10,83	19,83	22,33	22,17	9,50	7,83	0,83	1,50	0,17	0,33	0	0	0,33
-24,5	SW	358	4,75	12,01	15,08	20,67	13,13	12,85	11,45	3,91	3,07	1,96	0,56	0,28	0,28	0
-24,5	W	115	9,57	20,00	22,61	12,17	10,43	7,83	9,57	6,09	0,87	0,87	0	0	0	0

Fonte: BNDO – DHN/Marinha do Brasil.

**Quadro II.5.1.2-11 - Distribuição percentual dos períodos das ondas.**

LAT	DIR	TOTAL	5 a 6s	7 a 8s	9 a 10s	11 a 12s	13 a 14s	15 a 16s	16 a 17s	18 a 19s	20 a 21s	21 a 22s
-25,5	E	750	0	10,00	53,60	32,40	3,20	0,40	0,40	0	0	0
-25,5	N	194	0	7,73	42,27	40,21	9,28	0,52	0	0	0	0
-25,5	NE	672	0	10,71	45,24	36,76	6,25	0,60	0,45	0	0	0
-25,5	NW	50	0	10,00	44,00	32,00	12,00	2,00	0	0	0	0
-25,5	S	782	0	5,88	39,26	45,01	7,67	1,79	0,38	0	0	0
-25,5	SE	433	0	7,39	48,73	36,95	6,00	0,92	0	0	0	0
-25,5	SW	347	0	11,82	26,51	45,24	13,26	2,31	0,86	0	0	0
-25,5	W	87	0	8,05	41,38	41,38	8,05	1,15	0	0	0	0
-24,5	E	833	0	16,21	51,14	28,09	4,08	0,36	0,12	0	0	0
-24,5	N	198	0	9,09	41,41	43,43	6,06	0	0	0	0	0
-24,5	NE	667	0	14,09	48,73	33,28	3,45	0,45	0	0	0	0
-24,5	NW	63	0	14,29	50,79	33,33	1,59	0	0	0	0	0
-24,5	S	815	0	11,04	42,82	36,81	6,99	1,72	0,37	0,25	0	0
-24,5	SE	580	0	11,72	43,79	40,34	3,28	0,52	0	0	0	0,34
-24,5	SW	350	0	13,14	36,86	38,00	8,86	2,86	0,29	0	0	0
-24,5	W	110	0	21,82	36,36	29,09	11,82	0,91	0	0	0	0

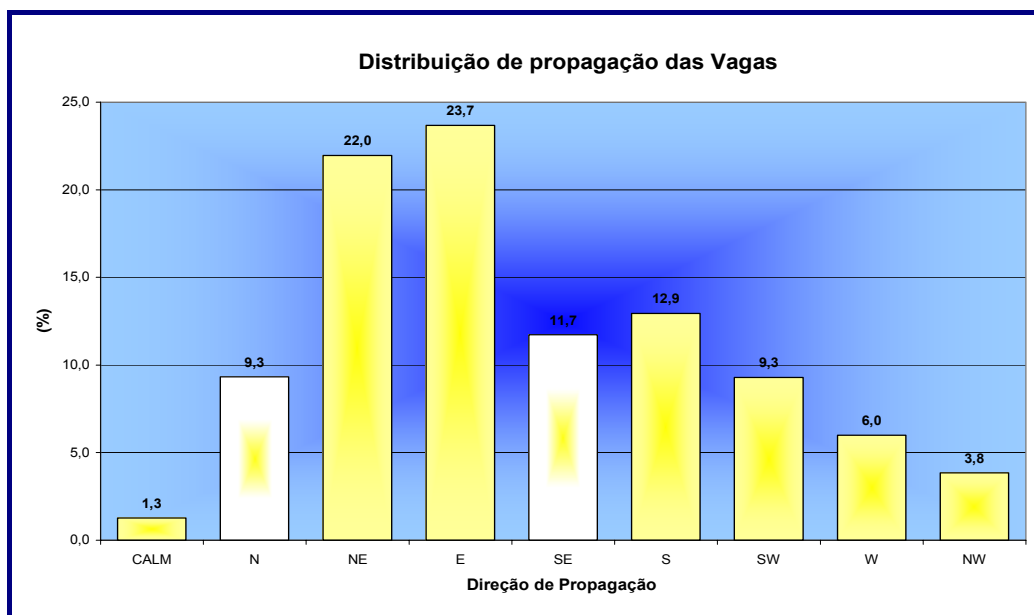
Fonte: BNDO – DHN/Marinha do Brasil.

Uma avaliação preliminar do clima de ondas na região da Bacia de Santos foi sintetizada, a partir da análise dos histogramas de distribuição de freqüências, das respectivas alturas e períodos listados nas tabelas acima. Nas Figuras II.5.1.2-23 a II.5.1.2-28 encontram-se representados, graficamente, os valores para as maiores ocorrências de vagas e ondas, em termos de direção de propagação, altura e período.

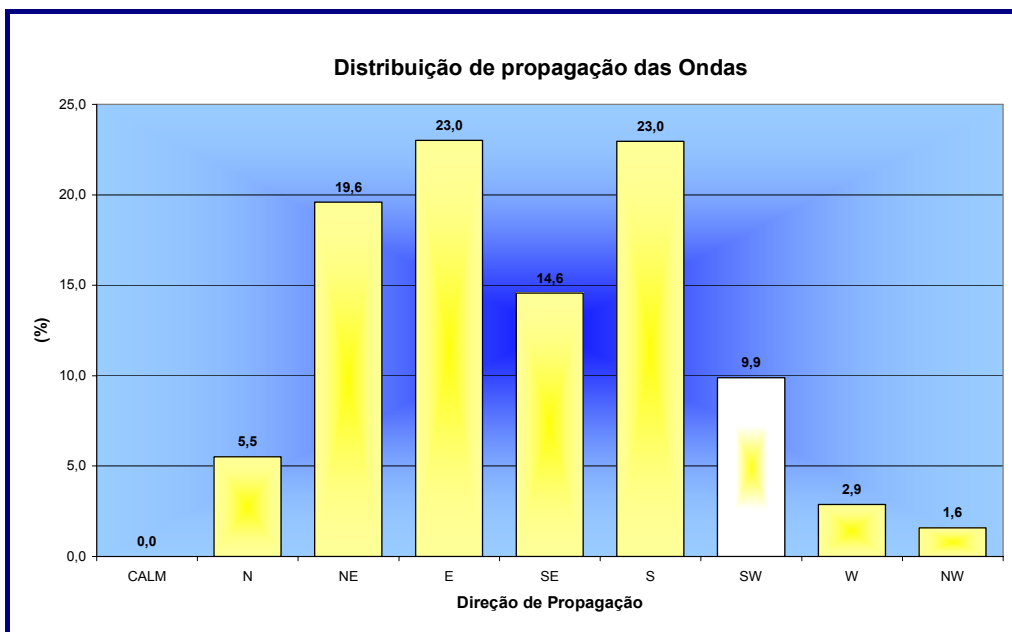
Os gráficos de direção de propagação (Figuras II.5.1.2-23 e II.5.1.2-24) mostraram que as principais direções de propagação das vagas foram E (23,7%) e NE (22%), totalizando quase 50% das observações. Vagas oriundas de S (12,9%) e SE (11,7%) também mostraram valores significativos, podendo estar relacionadas com a passagem de frentes frias pela região. No caso das ondas, as direções predominantes foram E e S, ambas responsáveis por 23% do número de observações, seguidas de NE (19,6%) e SE (14,6%). Estas quatro direções correspondem a, aproximadamente, 80% das observações locais.

Com relação às vagas, aproximadamente 80% dos valores ocorrem entre as alturas de 0,5 m a 1,5 m, cerca de 13% entre 2 m e 3 m e, eventualmente, menos que 5% das vagas conseguem ultrapassar os 3 m de altura. Os períodos dominantes apresentam-se entre 5 e 10s em quase 95% dos casos, prevalecendo a classe de 5 a 6s, com cerca de 65% das observações. Eventos de calmaria acontecem em 2,8% do período observado e os restantes 2,8% ocorrem na faixa de 11 a 18s (Figuras II.5.1.2-25 e II.5.1.2-26).

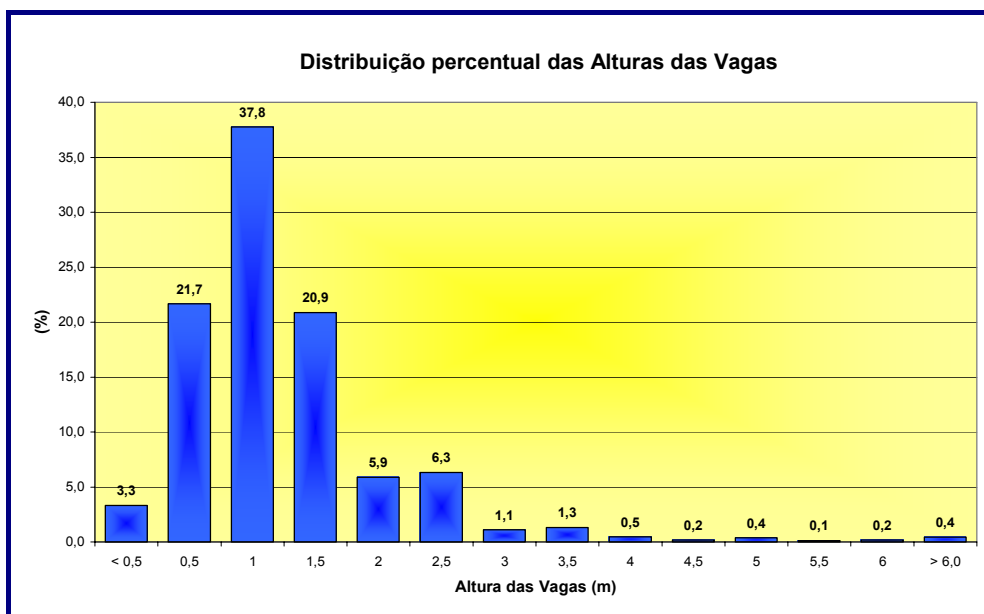
Para as ondas, a maior ocorrência das alturas acontece entre 1 m a 2 m, correspondendo a aproximadamente 60% das observações. O intervalo de 2,5 m a 4 m ocorre em, aproximadamente, 21% das observações, enquanto que ondas maiores que 4 m são observadas em apenas 1% dos casos. Os períodos dominantes apresentam-se entre 7s e 10s em mais de 80% dos casos, prevalecendo a classe de 7 a 8s, com cerca de 44% das observações. Períodos maiores do que 10s ocorrem em aproximadamente 7% dos casos (Figuras II.5.1.2-27 e II.5.1.2-28).



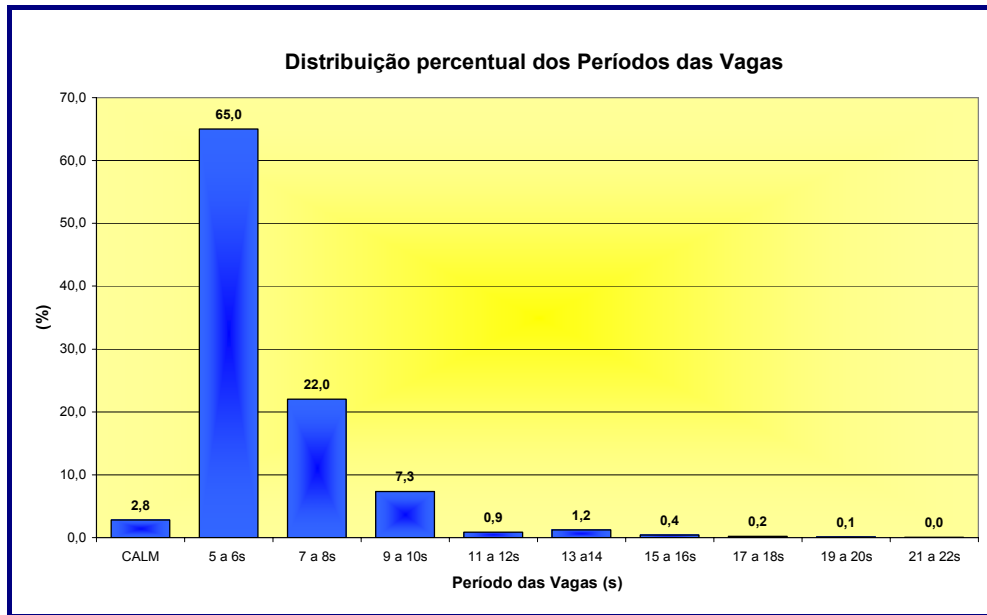
**Figura II.5.1.2-23** - Distribuição de freqüências de ocorrência das direções de propagação das vagas para a latitude estimada de 25° S nas proximidades do Campo de Mexilhão .



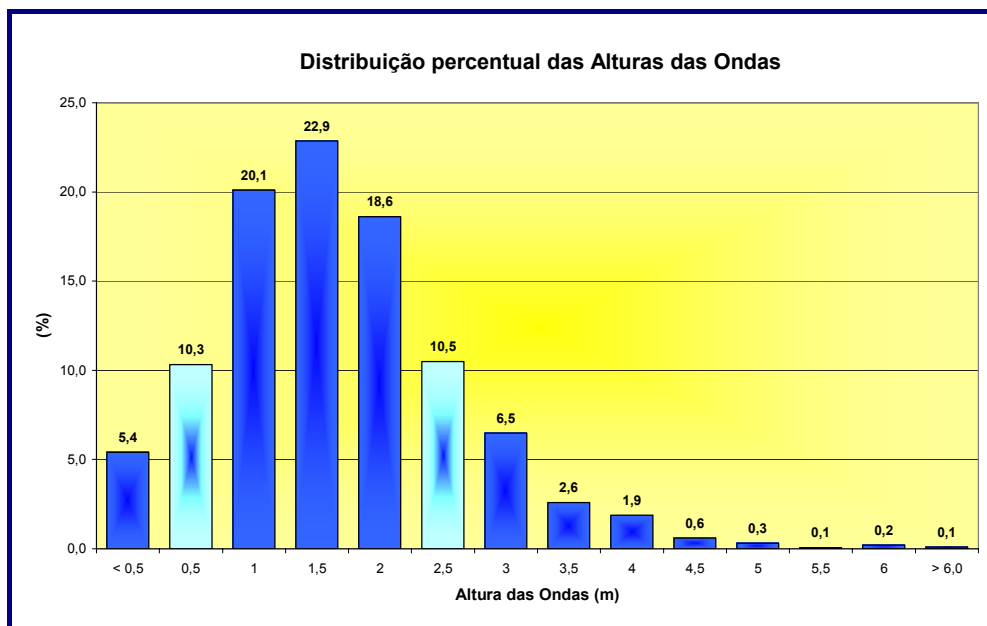
**Figura II.5.1.2-24** - Distribuição de freqüências de ocorrência das direções de propagação das ondas para a latitude estimada de 25° S nas proximidades do Campo de Mexilhão.



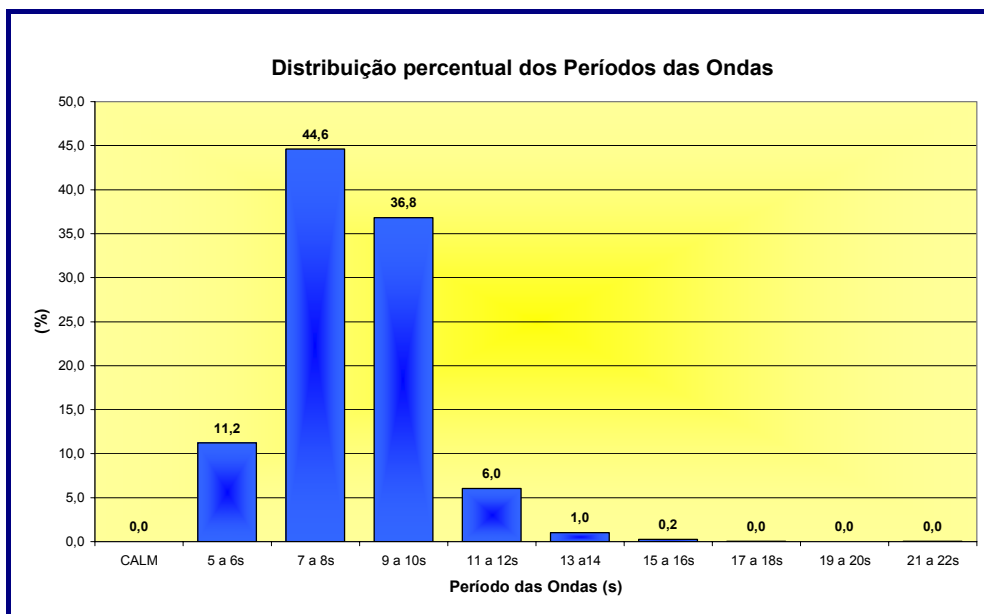
**Figura II.5.1.2-25** - Histogramas de distribuição de freqüência para as alturas das vagas.



**Figura II.5.1.2-26** - Histogramas de distribuição de frequência para os períodos das vagas.



**Figura II.5.1.2-27** - Histogramas de distribuição de frequência para as alturas das ondas.



**Figura II.5.1.2-28** - Histogramas de distribuição de freqüência para os períodos das ondas.

No intuito de melhorar a caracterização do comportamento das ondas em regiões oceânicas são amplamente utilizados modelos de propagação que se valem do conhecimento otimizado dos ventos predominantes e dos valores dos mesmos, resultantes de modelos atmosféricos consagrados, uma vez que os ventos atuam como forçantes na formação das ondas.

Existem dois trabalhos que tratam da questão na região de estudo: o primeiro é um relatório encomendado pela *Pecten Inc.* à firma americana *Oceanweather* (*Oceanweather*, 1987 *apud* Melo Filho, 1994) e o segundo um estudo feito pela COPPE/UFRJ (Melo Filho, 1991 *apud* Melo Filho, 1994).

As medições de ondas realizadas pela empresa *Pecten Inc.*, numa plataforma marítima localizada em águas profundas da Bacia de Santos, ocorreram em duas campanhas (de novembro de 1984 a fevereiro de 1985 e de março de 1986 a agosto de 1986). Estes dados foram utilizados na calibração de modelos de simulação, que utilizam o conhecimento prévio do campo de ventos na geração de ondas superficiais de gravidade.

O objetivo do estudo da *Oceanweather* foi o de estimar as condições extremas do clima de ondas na região da Bacia de Santos. O modelo fazia uma

reconstituição (*'hindcast'*) das condições de agitação causadas por situações atmosféricas tempestivas.

Baseado nos dados obtidos a partir de cartas sinóticas do *Australian Bureau of Meteorology* (ABM) e da *National Oceanic and Atmospheric Administration Agency* (NOAA), para o Atlântico Sul, foi realizada uma validação do modelo através da simulação de três eventos:

- ★ Anticiclone intenso com ventos e ondas de nordeste (calibração com dados coletados em 21/11/84)
- ★ Tempestade local com ventos e ondas de sul (calibração com dados coletados em 16/04/86)
- ★ Episódio de ondulação (*swell*) de sul gerado por um ciclone ao largo da costa da Argentina (calibração com dados coletados em 15/05/86)

Os resultados estimados através do método de distribuição de extremos (Borgman, 1973 apud Melo Filho, 1994), para um tempo de recorrência de 100 anos, forneceu os seguintes valores:

- ★ HSL (altura significativa limite): 9,5 m
- ★ PP (período de pico) : 12,5 s
- ★ DM (direção média de propagação): SSW

O segundo trabalho citado para a região (Melo Filho, 1991 apud Melo Filho, 1994) apresenta uma análise do clima de ondas na costa da cidade do Rio de Janeiro, baseada no regime de ventos do Atlântico Sul e em observações visuais do mar. Este trabalho serve de referencial para a Bacia de Santos, visto que foi realizado dentro do trecho de costa orientado na direção este-oeste (EW), a mesma que predomina na área. Além disso, as dimensões dos sistemas atmosféricos que atuam na geração de ondas indicam que o clima de ondas em Santos deve ser similar ao do Rio de Janeiro (Melo Filho, 1994).

Foram analisadas diversas condições meteorológicas, com obtenção dos respectivos resultados: altura significativa ( $H_S$ ), período de pico ( $P_P$ ) e direção média de propagação ( $D_M$ ), identificados a seguir:

- ★ Anticiclone do Atlântico Sul (com centro à nordeste da área): mar calmo, com possível presença de ondulações de sul.
- ★ Passagem de frente fria:
  - ✓  $H_S$  (altura significativa): 1,0m a 2,5m
  - ✓  $P_P$  (período de pico): 9,0 a 12,0 s
  - ✓  $D_M$  (direção média de propagação): SW a SE
- ★ Passagem de frente com formação de depressão no oceano. De acordo com a situação da depressão, foram identificadas as seguintes circunstâncias:
  - ✓ Tempestade Local:
    - ↻  $H_S$  (altura significativa): 1,0m a 2,5m
    - ↻  $P_P$  (período de pico): 9,0 a 12,0 s
    - ↻  $D_M$  (direção média de propagação): SW rondando a SE
  - ✓ Depressão ao sul:
    - ↻  $H_S$  (altura significativa): 3,0m a 4,0m
    - ↻  $P_P$  (período de pico): 12,0 a 15,0 s
    - ↻  $D_M$  (direção média de propagação): SSW a S
  - ✓ Depressão a SE:
    - ↻  $H_S$  (altura significativa): 2,0m a 3,5m
    - ↻  $P_P$  (período de pico): 10,0 a 14,0 s
    - ↻  $D_M$  (direção média de propagação): SSE a S
- ★ Ciclone de grandes dimensões semi-estacionário ou movendo-se lentamente em direção à costa:



- ✓  $H_S$  (altura significativa): 5,0m a 7,0m
- ✓  $P_P$  (período de pico): 12,0 a 16,0 s
- ✓  $D_M$  (direção média de propagação): SW a SE.

★ Anticlone a S-SE (mar de leste):

- ✓ Anticlone fraco (bom tempo):

- ↪  $H_S$  (altura significativa): 0,5m a 1,5m
- ↪  $P_P$  (período de pico) : 6,0 a 8,0 s
- ↪  $D_M$  (direção média de propagação): E

- ✓ Anticlone intensificado (tempestade de leste):

- ↪  $H_S$  (altura significativa): 1,5m a 3,0m
- ↪  $P_P$  (período de pico): 8,0 a 10,0 s
- ↪  $D_M$  (direção média de propagação): E a SE

★ Tempestades Longínquas:

- ✓  $H_S$  (altura significativa): 0,5m a 2,5m
- ✓  $P_P$  (período de pico): 15,0 a 20,0 s
- ✓  $D_M$  (direção média de propagação): S

Os resultados obtidos através da modelagem mostraram-se, de uma maneira geral, compatíveis com a análise realizada através das informações processadas a partir dos dados do BNDO-DHN. Os eventos tempestivos de alta intensidade e baixa frequência de ocorrência foram caracterizados, basicamente, pelo cálculo de uma circunstância limite no primeiro trabalho de modelagem citado (Oceanweather, 1987 *apud* Melo Filho, 1994) e por três circunstâncias climáticas extremas no segundo trabalho (Melo Filho, 1991 *apud* Melo Filho, 1994). A direção de propagação foi comum a todos, onde prevaleceu o quadrante sul. As

respectivas alturas, variando de 3 a 9,5 metros, são coerentes com as frequências das observações, com uma maior incidência da direção SW. Já os respectivos períodos (7,0 a 14,0 s) são os mais comumente observados. As situações climáticas mais frequentes mostraram-se bem coerentes nos dois tipos de abordagem.

Dentro da Baía de Guanabara, somente são observadas pequenas ondulações, resultantes da ação do vento em regiões de pequena profundidade, porém sem energia suficiente para geração de ondas de gravidade. As ondas que ocorrem no litoral do Estado do Rio de Janeiro distribuem-se entre os três octantes de Sul (S - 44%, SW - 39% e SE - 14%, segundo Muehe, 1979 apud DTSE/REDUC, 2000).

Dentro da baía, as ondas que geram maior energia são as de S-SW, ou seja, aquelas associadas a frentes frias, podendo trazer ondas de swell que chegam a ter alturas de 2 a 4 m e períodos de 8 a 12 s, gerando arrebentações nas praias oceânicas e na entrada da baía mas raramente são sensíveis em pontos além da Ponte Rio-Niterói (Kjerfve et al, 1997).

#### 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.5.1.2-12 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.5.1.2-12 - Resumo das condições extremas dos parâmetros ondas, correntes e vento para a área de estudo.**

PARÂMETRO	CONDIÇÃO EXTREMA
Ondas	Altura Significativa (Hs) = 9,5 m (Direção Norte / Nordeste)
Correntes	Corrente do Brasil superficial = 1 m/s (Direção Sul)
Ventos	5,6 m/s (Direção Sul/Sudoeste) *
Marés	Maré astronômica máxima + maré meteorológica máxima: 1.96 m

\* Os dados de vento foram adquiridos em relação as suas médias, portanto não foi possível a determinação de valores extremos para a região.