

5.1.3. Oceanografia

São descritos a seguir os principais aspectos oceanográficos da área de estudo, englobando a batimetria do fundo, marés, ondas, massas d'água, correntes e parâmetros físico-químicos da água, especialmente temperatura e salinidade.

São apresentados, também, os resultados da avaliação ambiental das características físicas e químicas baseadas nos dados obtidos durante a 1ª Campanha de Bijupirá do Programa de Monitoramento Ambiental do Projeto Bijupirá & Salema, realizado de 22 a 25 de setembro de 2001 (Habtec, 2001). São descritos os valores encontrados antes do início da perfuração e que servirão de “*background*” para avaliações ambientais futuras.

No final deste item é apresentada uma caracterização mais detalhada da oceanografia da região próxima ao porto de Vitória, onde estará instalada a estrutura de apoio às operações de produção da Enterprise Oil na Bacia de Campos.

5.1.3.1 Caracterização geral

a. Batimetria

A plataforma continental no trecho da costa que vai do Cabo de São Tomé (22°S) até Cabo Frio (23° S) estende-se, em média, de 70 a 100 km, e o seu limite situa-se próximo à linha de profundidade de 120 metros, com o talude apresentando uma largura média de 45 km. A topografia do fundo da plataforma é suave, e as isobatimétricas seguem a linha de costa. Seções topográficas entre os dois cabos apresentaram um gradiente de fundo médio de 1:460 (ângulo de 0,15°) na plataforma continental e 1:31 (ângulo de 1,18°) na parte superior do talude (Castro & Miranda, 1999).

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

b. Marés

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

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

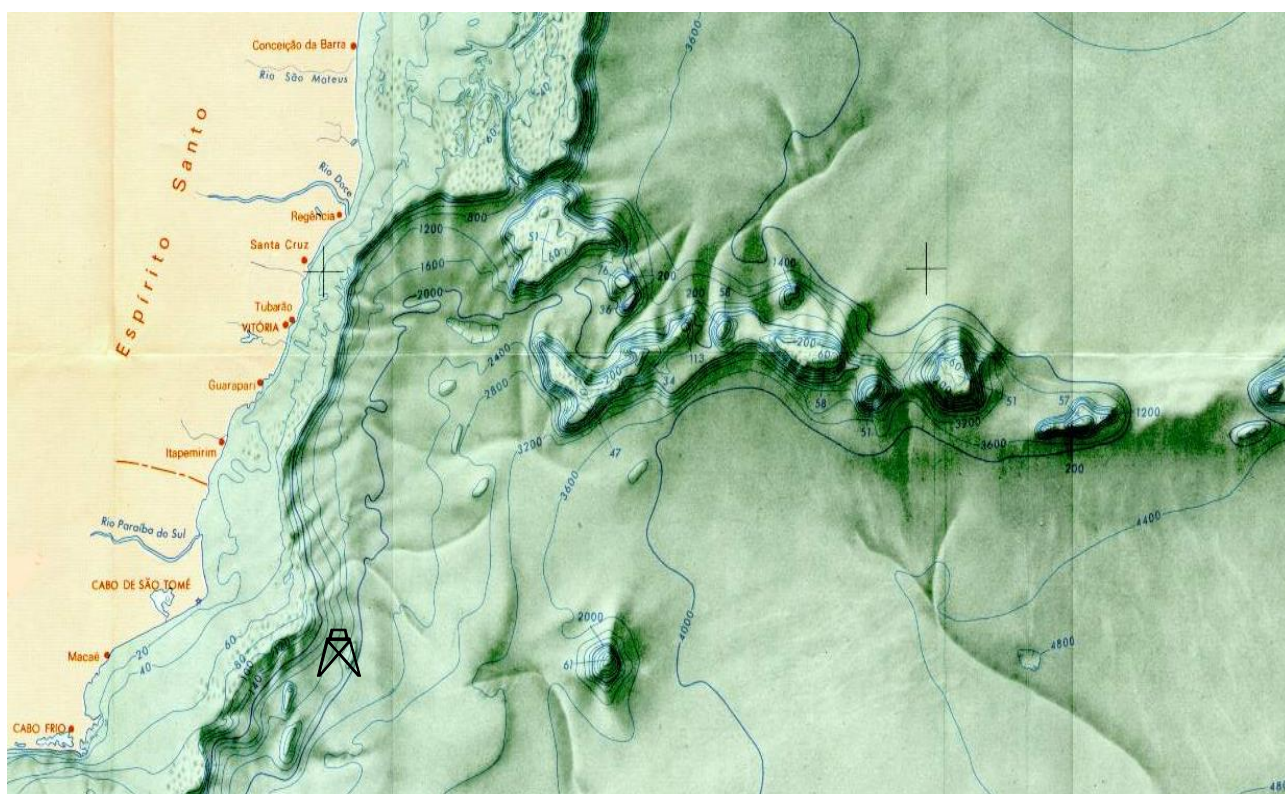



Figura 5.1.3-a. Área do projeto, mostrando a Cadeia Vitória-Trindade e a mudança de orientação da linha de costa.  Localização aproximada dos Campos Bijupirá e Salema.
Fonte: REMAC (1979).

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

c. Ondas

As principais ondas no Atlântico Sul são geradas nas médias e altas latitudes, por tempestades originadas nos centros de baixa pressão que vêm da Antártica, associados às frentes frias. As principais direções de propagação são SW e SE, com as mais intensas ocorrências observadas nas direções SSW e S (Candella, 1997).

O mar na Bacia de Campos apresenta-se de forma bastante complexa em função da combinação da influência dos ventos de NE com as ondas que vêm do quadrante sul e do marulho próximo de leste, muito freqüente nesta área, segundo Parente (1997). É comum a ocorrência de espectros bi, tri e, até mesmo, quadri-modais (Candella, 1997). Na área do projeto, são predominantes ondas de NE, associadas à circulação induzida pelo centro de alta pressão semi-permanente do Atlântico.

A principal fonte de informação considerada 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 constituem um número suficiente para a caracterização geográfica e estatística do regime de ondas na região, contando com dados cadastrados de 1957 até 1995. As ocorrências relativas foram avaliadas para as circunstâncias de vento local como agente de formação (vagas – sea) e para as perturbações originadas em regiões distantes da área de observação (ondas – swell). Os dados de vagas e ondas foram tratados por faixas de 1 grau de latitude e analisados por classes de alturas e períodos, e nas respectivas direções de propagação (Oda, 1999). As observações podem ser representadas conforme mostram os Quadros 5.1.3-a, 5.1.3-b e 5.1.3-c, a seguir.

Quadro 5.1.3-a. Distribuição percentual de períodos de ondas e vagas por octante direcional.

PERÍODOS												
	DIREÇÕES	TOT OBS	COD CALM	COD2 =< 5s	COD3 6/7s	COD4 8/9 s	COD5 10/11s	COD6 12/13 s	COD7 14/15 s	COD8 16/17 s	COD9 18/19 s	COD10 20/21 s
Ondas	E	913	0,00	17,09	50,60	28,48	3,29	0,11	0,33	0,11	0,00	0,00
	N	266	0,00	19,92	48,12	27,07	4,14	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00
	NE	820	0,00	15,24	48,29	33,41	2,93	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
	NW	30	0,00	26,67	40,00	30,00	3,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	S	795	0,00	11,32	41,01	40,00	6,92	0,63	0,13	0,00	0,00	0,00
	SE	585	0,00	19,49	42,22	34,02	3,93	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
	SW	288	0,00	15,63	40,28	37,15	5,56	1,04	0,35	0,00	0,00	0,00
	W	66	0,00	24,24	54,55	18,18	3,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vagas	E	3524	2,61	64,61	22,25	7,86	0,96	1,11	0,34	0,11	0,14	0,00
	N	2975	2,86	51,36	29,38	12,27	1,61	1,68	0,54	0,27	0,00	0,03
	NE	6045	1,84	54,57	26,34	12,51	1,32	2,18	0,74	0,31	0,10	0,08
	NW	642	4,36	65,11	18,69	10,44	0,78	0,47	0,16	0,00	0,00	0,00
	S	2118	3,02	65,39	21,25	7,70	0,71	1,46	0,09	0,24	0,09	0,05
	SE	1699	2,94	69,16	19,60	6,42	0,65	1,00	0,24	0,00	0,00	0,00
	SW	1864	3,22	59,82	23,07	9,39	0,70	2,09	0,97	0,54	0,16	0,05
	W	915	6,12	67,87	16,94	6,67	0,55	1,09	0,66	0,00	0,00	0,11

Fonte : BNDO / DHN.

Quadro 5.1.3-b. Distribuição percentual de ondas e vagas por octante direcional.

DIREÇÕES										
	TOTAL OBS	CALM	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Ondas	3.842	0,00	7,11	21,79	24,13	15,46	21,16	7,78	1,74	0,83
Vagas	20.140	1,78	14,77	30,01	17,50	8,44	10,52	9,26	4,54	3,19

Fonte : BNDO / DHN.

Quadro 5.1.3-c. Distribuição percentual de alturas de ondas e vagas por octante direcional.

ALTURAS																
	DIREÇÃO	TOT OBS	COD 00	COD 05	COD 10	COD 15	COD 20	COD 25	COD 30	COD 35	COD 40	COD 45	COD 50	COD 55	COD 60	COD M60
			0	0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0<
Ondas	E	927	3,56	16,29	23,30	25,78	19,20	5,93	3,67	0,86	0,86	0,11	0,00	0,00	0,32	0,11
	N	273	4,76	19,41	20,15	24,54	17,22	6,96	4,40	0,73	1,10	0,37	0,37	0,00	0,00	0,00
	NE	837	3,11	14,58	22,34	23,66	20,55	9,44	4,18	0,72	1,31	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
	NW	32	9,38	25,00	31,25	6,25	9,38	6,25	12,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	S	813	4,06	10,33	15,25	24,23	20,54	10,09	9,23	3,20	2,46	0,12	0,37	0,00	0,00	0,12
	SE	594	3,54	18,52	18,86	22,90	16,50	9,93	6,73	1,35	1,35	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
	SW	299	6,02	14,05	18,73	18,73	15,38	13,04	8,03	1,67	3,01	0,00	0,67	0,33	0,00	0,33
	W	67	2,99	22,39	34,33	19,40	8,96	5,97	2,99	2,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vagas	E	3524	3,15	19,49	39,87	21,45	6,38	5,76	1,28	1,16	0,34	0,20	0,28	0,06	0,17	0,40
	N	2975	3,09	13,24	29,85	26,32	9,51	11,53	1,98	2,18	0,61	0,30	0,64	0,10	0,13	0,50
	NE	6045	2,18	13,52	32,72	26,53	7,79	10,31	1,94	2,05	0,94	0,28	0,50	0,35	0,23	0,66
	NW	642	4,83	26,95	33,96	17,13	5,76	7,63	1,87	1,40	0,31	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00
	S	2118	3,54	23,09	37,91	19,36	6,66	5,29	1,23	1,37	0,38	0,24	0,47	0,00	0,00	0,47
	SE	1699	3,65	21,95	43,08	19,42	4,47	4,94	0,65	0,82	0,29	0,41	0,06	0,18	0,06	0,00
	SW	1864	3,54	20,39	35,78	21,35	5,63	6,60	1,77	1,72	0,97	0,05	0,59	0,21	0,38	1,02
	W	915	6,56	28,20	36,94	15,41	4,37	5,36	0,33	0,98	0,87	0,00	0,22	0,44	0,22	0,11

Fonte : BNDO / DHN.

Os dados relativos às ondas evidenciam o quadro de complexidade do mar local, com porcentagens de ocorrências distribuídas preferencialmente nas direções E (24,13%), NE (21,79%), S (21,16%) e SE (15,46%). O período mais característico em todas as direções é de 6/7 segundos, com quantidades de observações destacadas para períodos inferiores a 6 segundos e de 8/9 segundos. Nas direções S e SW, há um equilíbrio entre a predominância dos períodos de 6/7 e 8/9 segundos, com observações relacionadas a ondas de maior significância, de período de 10/11 segundos. Praticamente, 90% das ocorrências de alturas encontram-se na faixa de 0 a 3 metros, com destaque para aquelas de 0,5 a 2,0 m. Destacam-se novamente observações mais comuns de eventos significativos, representados por ondas de até 4 metros, nas direções S e SW. É válido ressaltar os registros extremos, com mais de 6 metros de altura, ocorrendo nas direções S, SW e E, relacionados às passagens de frentes frias.

As intensidades médias de corrente superficial registradas para a Bacia de Campos, durante inverno de 1991, foram entre 3,42 cm/s NE e 4,06 cm/s SE, e no verão de 1992 entre 1,59 cm/s e 21,06 cm/s NE. A intensidade média do vento foi de 3,69 m/s NW, no inverno de 1991, e de 5,90 m/s SW, no verão de 1992 (FUNDESPA, 1994).

As vagas representam bem as condições locais de ventos, predominantemente de NE, com inversões para SW nas passagens de sistemas frontais. As direções das vagas destacam-se no octante de NE (30,01%), com ocorrências de E (17,50%) e N (14,77%). O principal período é de 0 a 5 segundos, característico de pequenas ondulações. Por serem representação de um mar local, sofrendo alternâncias deste regime de ventos e, por muitas vezes, sem a constância necessária para a formação de elevações significativas, as alturas observadas concentram-se na faixa de 0 a 1,5 m, com destaque para casos de 2,0 a 2,5 m nas direções N e NE (vento mais freqüente). Eventos extremos são registrados nas direções de NE e SW.

Severo de Souza (1988) mostrou para a área um predomínio com relação percentual de ocorrência de 38,31%, para ondas significativas de alturas de 1,5 a 2,0 m e com períodos de 4 a 8 segundos, e de 24,08%, para ondas de 1,0 a 1,5 m de mesmo período. O autor indicou ainda que as direções S (23,97%), NE (23,47%) e E (17,84%) são as principais para as mesmas ondas significativas.

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

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

d. Massas d'água

As águas presentes sobre a plataforma continental na área de estudo resultam da mistura de três massas d'água:

- Água Tropical (AT), quente e salina ($T > 20,0^{\circ}\text{C}$ e salinidade $> 36,40$, segundo Miranda, 1982), é transportada no sentido sul pela camada superior da Corrente do Brasil (CB) [0-200 m], sobre o talude continental e próximo à borda da plataforma. Sua espessura varia entre 10 e 110 metros, sendo os menores valores encontrados nos pontos próximos ao talude continental. É uma massa d'água sensível às variações sazonais dos processos oceanográficos e meteorológicos, apresentando maior estratificação no verão e no outono, em contraste com a homogeneidade do inverno e primavera, onde as distribuições dos valores de temperatura e salinidade sugerem uma mistura quase isopícnal. O valor máximo de salinidade (37,1) é praticamente comum a todos os períodos, enquanto que o máximo de temperatura decresce de

28,5°C para 24,0°C. As amplitudes das variações da salinidade e da temperatura são maiores no verão, decrescendo de cerca de 1,25 / 8,0°C para 0,7 / 2,5°C no inverno, sendo a menor amplitude a da variação observada no mês de novembro. Os valores de temperatura e salinidade na base da camada de mistura variam entre 20,0°C e 22,0°C e 36,2 e 36,5, respectivamente, e a densidade (σ_T) dessa camada é sempre inferior a 25,7 g/L.

- Água Central do Atlântico Sul (ACAS), massa d'água de origem subtropical, fria (temperaturas menores ou iguais a 18°C) e relativamente menos salgada (com valores entre 34,5 e 36), localiza-se abaixo da Água Tropical, sobre o talude continental.
- Água Costeira (AC), que é caracterizada por baixa salinidade e alta temperatura.

Na plataforma externa, ocorre principalmente a mistura entre a AT e a ACAS. Enquanto a plataforma interna é coberta pela AC, próximo à superfície, a ACAS pode ser dominante na camada de fundo, especialmente durante o verão, quando desenvolve uma forte termoclina sazonal. Os freqüentes eventos de ressurgência que ocorrem principalmente no verão, entre 21°S e 23°S, são responsáveis pela penetração da ACAS por sobre a plataforma.

Na área de quebra de plataforma e ao longo do talude continental, podem ser identificadas outras duas massas d'água, ao longo da coluna d'água:

- Água Intermediária Antártica (AIA), água rica em oxigênio e pouco salina, ocorre comumente entre 500 e 900 metros de profundidade, podendo atingir até 1500 m em algumas regiões e ser rastreada até 20° N. Foi definida por Wüst em 1935 (Gonçalves, 1993). É formada na região superficial da Convergência Antártica (de 48°S a 60°S) e apresenta temperaturas e salinidades entre 4,0 e 6,0°C, e 34,3 e 34,5, respectivamente. O índice termohalino citado por Mamayev (1975) para esta água é de 2,2° C – 33,8. Seu sentido de deslocamento inicialmente foi assumido para o norte, ao contrário das outras (ACAS e APAN). Posteriormente, alguns estudos (Buscaglia, 1977; Reid *et al.*, 1977; Piola & Gordon, 1989; Taft, 1993) sugeriram que a AIA, no Atlântico Sul, não pode ser identificada como uma corrente subsuperficial de contorno oeste estendendo-se até o Equador, e que tampouco possa ser completamente separada do giro subtropical anticiclônico. Eles propõem a hipótese de que o fluxo da AIA para norte, ao longo da costa sul-americana, estende-se somente até cerca de 32°S e, a partir daí, a água nesta camada se dirige para leste como parte do giro subtropical e flui ao redor do Atlântico Sul, atingindo novamente a costa sul-americana em aproximadamente 23°S. Ao sul de Cabo Frio, os autores mencionados sugerem que a AIA flui para o sul, isto é, no mesmo sentido da Corrente do Brasil e da Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). Em oposição a essa hipótese, Zemba (1991), baseado em dados hidrográficos, observou que os traços associados à AIA, na região da Corrente do Brasil, são mais expressivos ao sul do que ao norte. Isto novamente reforça, segundo ele, um fluxo a partir da fonte no sul em direção norte. Baseado nos dados de Lima (1997), e confirmando as observações anteriores, o fluxo desta massa de água na região do projeto se dá para norte.
- Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), desloca-se abaixo da AIA (profundidades maiores que 1500 m), com sentido sul. Conforme indica seu nome, é formada no

Atlântico Norte, nas altas latitudes, próximo aos mares da Noruega e da Groenlândia, na região dos giros ciclônicos subpolares árticos (Brown *et al*, 1989). Caracteriza-se por ser uma água mais salina devido à contribuição das águas vindas do Ártico e segue para sul a grandes profundidades, transportada pela circulação termohalina. Mamayev (1975) indica um índice termohalino de (2,5°C – 34,9).

Segundo Lima (1997), a AT é bem caracterizada e definida pelos dados na profundidade de 0 a 150 metros, ficando a clara assinatura da ACAS entre 150 e 500 metros. A AIA domina a faixa dos 700 aos 1500 metros, apresentando a APAN registros em profundidades de 2000 metros.

Nesta região (de 20°S a 22°S), situa-se uma frente resultante da fronteira entre o giro anti-ciclônico subtropical e o giro ciclônico subequatorial. O máximo de oxigênio dissolvido (4,4 mL/L, característico da AIA) termina nesta área, com uma água equatorial pobre na concentração do parâmetro dominando a faixa de profundidade da AIA ao norte (Tsuchiya *et al.*, 1994).

As Figuras 5.1.3-b e 5.1.3-c a seguir apresentam, respectivamente, a distribuição horizontal das massas d'água presentes na área de estudo no verão e no inverno.

Figura 5.1.3-b. Distribuição horizontal – massas d'água (Léo)

Figura 5.1.3-c. Distribuição horizontal – massas d'água (Léo)

- **Camada de mistura**

Nas primeiras dezenas de metros é comum observar-se uma feição, conhecida como “camada de mistura”, caracterizada pela homogeneidade nos valores de temperatura, salinidade e, conseqüentemente, de densidade.

Tal homogeneidade resulta dos processos dinâmicos de superfície, principalmente ventos e ondas, que promovem uma agitação da superfície, impedindo ou dificultando a estratificação da camada mais superficial.

Outro agente atuante na formação desta camada é a radiação solar, que gera o aquecimento da camada mais superficial. Entretanto, com o aumento da profundidade e a conseqüente atenuação da penetração da radiação, a energia térmica tende a perder intensidade, diminuindo sua influência na massa d'água.

Durante o monitoramento, a camada de mistura estendeu-se até aproximadamente os 40 metros, profundidade a partir da qual desenvolve-se a termoclina (Quadro 5.1.3-d).

- **Termoclina**

A termoclina é uma feição caracterizada por uma abrupta queda de temperatura observada nos perfis térmicos. Nela ocorre um aumento abrupto na densidade, enquanto os valores de salinidade, além da temperatura, diminuem com a profundidade.

Durante o período de realização do monitoramento ambiental, a termoclina desenvolveu-se de cerca de 40 metros (base da camada de mistura) até a profundidade média de 120 metros (Quadro 5.1.3-d). Os valores medidos ao longo desta feição variaram de 23,4 °C a 17,3 °C para temperatura, 37,1 a 35,9 para salinidade e 25,6 a 26,7 para densidade.

Quadro 5.1.3-d. Profundidades da base superior da termoclina e da ACAS nos pontos monitorados.

PONTO	PROF. TERMOCLINA (m)	PROF. ACAS (m)
1	52	94
2	40	74
3	43	75
4	49	89
5	37	75
6	41	79

e. Correntes

A circulação oceânica nesta área da plataforma é alvo de um interesse científico particular devido às feições batimétricas descritas no item a (Batimetria), neste capítulo. Parte significativa do fluxo da Corrente do Brasil (CB) passa através dos canais dos bancos de Abrolhos e divide-se em dois ramos. Um deles flui afastado da costa, além da isóbata de 3000 m (Stramma *et al.*, 1990 *apud* Lima, 1997), enquanto o outro flui seguindo a linha da quebra da plataforma, onde se estende até o fundo, com uma significativa parte fluindo sobre a plataforma externa, que algumas vezes localiza-se aquém da isóbata de 100 m (Signorini, 1978).

A circulação na camada superficial sobre a quebra da plataforma e no talude é caracterizada pelo fluxo da Corrente do Brasil para sul. Esta corrente representa o limite ocidental do giro subtropical do Atlântico Sul. Poucas medições de correntes foram feitas na CB. As primeiras medições diretas foram feitas por Evans & Signorini (1985), nas latitudes de 20° 30' S e 23° S, as quais apresentaram um fluxo confinado aos primeiros 400 m de profundidade, com uma contra-corrente no sentido norte abaixo destes 400 m iniciais. Na parte norte da área, acima do Cabo de São Tomé, a direção da corrente é para 180°, variando para 220° na região de Cabo Frio. Isto está altamente coerente com a variação da linha de costa (e das isóbatas). Esta mudança afeta significativamente a Corrente do Brasil, induzindo a formação de vórtices e meandros. A figura 5.1.3-d indica a direção e a intensidade da corrente medidas na primeira campanha de monitoramento de Bijupirá.

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

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

Imagens AVHRR, usadas por Garfield em 1990, parecem indicar um padrão de meandramento regular entre o Cabo de São Tomé e Cabo Frio, com a separação ocasional de vórtices ciclônicos (Lima, 1997). As Figuras 5.1.3-e a 5.1.3-h, apresentadas a seguir, também demonstram estas oscilações no campo de temperatura superficial.

Próximo ao Cabo de São Tomé (22°S), a CB parece ocupar a maior parte da plataforma durante o verão. Medidas diretas de corrente feitas por Harari *et al.* em 1993 mostram que a circulação sobre a plataforma interna próxima ao Cabo de São Tomé se dá predominantemente em direção ao sul no verão, alternando entre sudoeste e nordeste

durante o inverno, com a magnitude média de 30 a 50 cm/s. Nos primeiros 100 metros da coluna d'água, a velocidade da corrente pode chegar a 1 m/s (Castro & Miranda, 1999).

Os dados do monitoramento indicam uma variação de velocidade da corrente entre 100 cm/s a 10 metros de profundidade e 11 cm/s a 300 metros de profundidade. Esses resultados corroboram o apresentado por Evans & Signorini (1985), que definem que na região de quebra de plataforma e talude, a Corrente do Brasil possui um deslocamento constante em sentido S-SW, com velocidades que variam de 0,30 a 0,50 m/s, em média, em sua camada superior, que vai da superfície até 450 metros.

Associados a ventos de NE, os valores da corrente até 50 metros podem chegar a 1,00 m/s. Abaixo dos 450 metros, o fluxo se inverte, com deslocamento para N da massa d'água, com velocidades variando de 0,10 a 0,20 m/s.

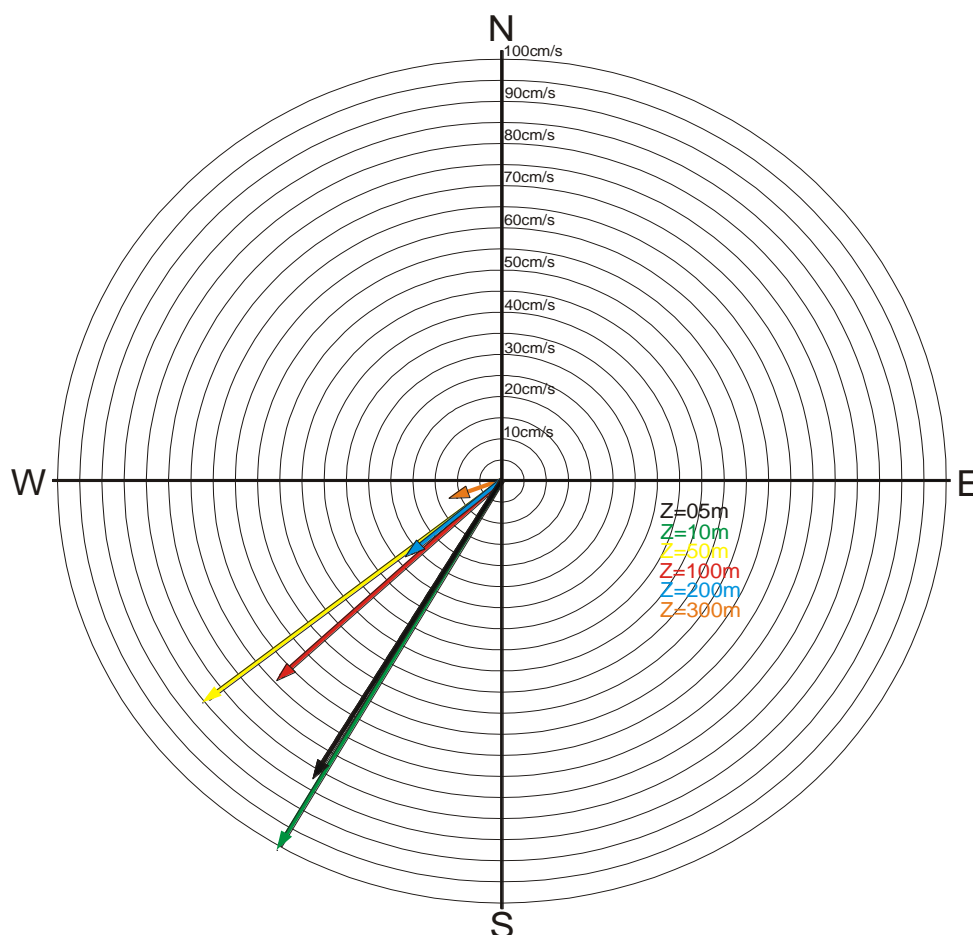


Figura 5.1.3-d. Gráfico de Rumo *versus* Velocidade da corrente medidos.

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

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. Ventos fortes de sudoeste podem impedir a ocorrência do fenômeno nesta área, deslocando a massa fria ressurgida para as proximidades do Cabo de São Tomé, mais ao norte.

A Figura 5.1.3-i, que demonstra o campo de temperaturas em um dia de verão, apresenta a clara identificação da ressurgência próxima a Cabo Frio e também o deslocamento da massa ressurgida para norte. Os dados da estação de Arraial do Cabo, da Marinha do Brasil, confirmam que após um período de cinco dias com ventos predominantes de NE, no dia da imagem e um dia anterior, o padrão mudou para ventos de S e SW. Já no inverno, a ocorrência de ventos de NE no mesmo período da imagem mostra o deslocamento da massa ressurgida em direção SW-W.

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

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

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

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

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

A ação forçante residual de ondas aprisionadas na costa, com sentido de propagação norte (para o Equador) é um possível mecanismo para explicar algumas anomalias no campo de correntes. Maiores estudos para esclarecimento deste fator ainda estão sendo desenvolvidos (Lima, 1997).

INSERIR FIGURAS 5.1.3.e

INSERIR FIGURAS 5.1.3.f

INSERIR FIGURAS 5.1.3.g

INSERIR FIGURAS 5.1.3.h

INSERIR FIGURAS 5.1.3.i

f. Parâmetros físicos e químicos da água

• Salinidade

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

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

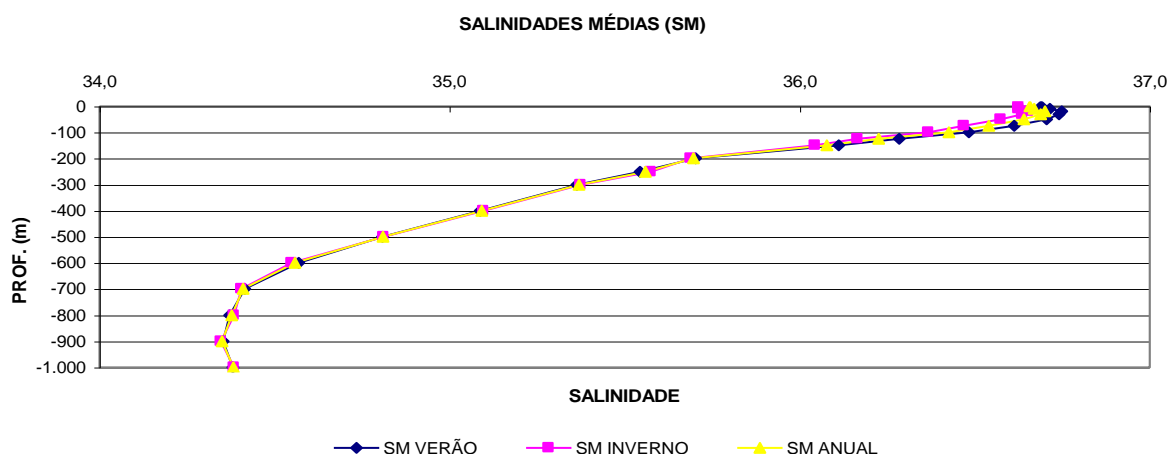


Figura 5.1.3-j. Salinidades médias anuais, de inverno e de verão.
Fonte: Levitus (1994)

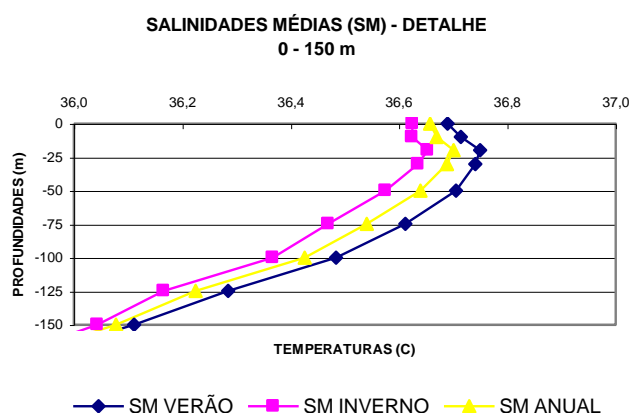


Figura 5.1.3-k. Detalhe de 0 a 150 m.
Fonte: Levitus (1994)

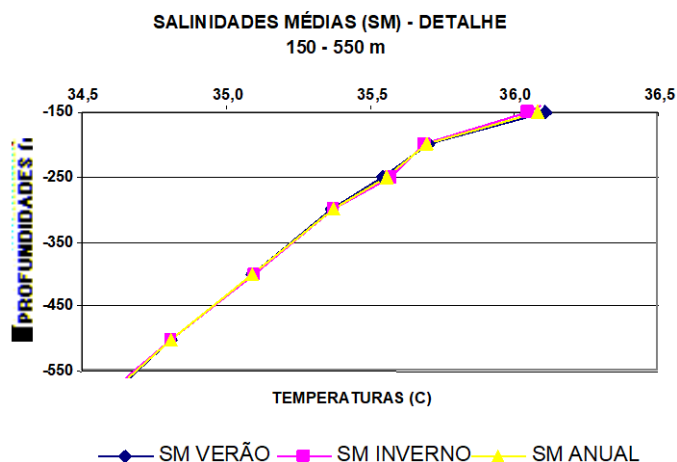


Figura 5.1.3-l. Detalhe de 150 a 550 m.
Fonte: Levitus (1994)

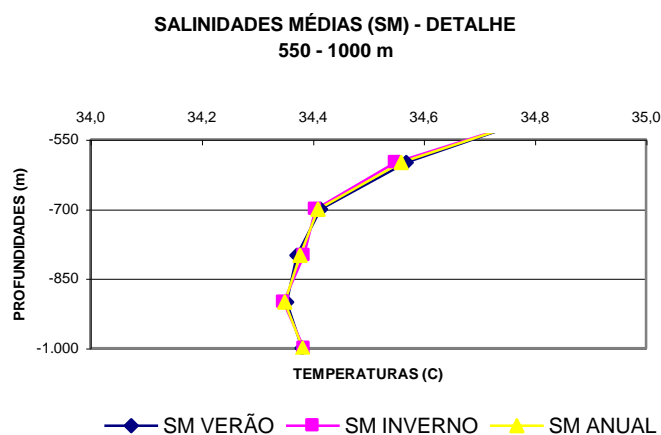


Figura 5.1.3-m. Detalhe de 550 a 1000 m.
Fonte: Levitus (1994)

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

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

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

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

Fonte: Levitus (1994)

- **Temperatura**

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

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

PROF (m)	TEMPERATURA (°C)								
	MÍNIMA	MÉDIA	DESV PAD	VERÃO	DESV PAD	INVERNO	DESV PAD	MÁXIMA	AMPLITUDE
0	22,82	24,62	1,450	25,13	1,52	24,11	1,42	26,89	4,07
-10	22,76	24,53	1,46	24,96	1,48	24,11	1,43	26,80	4,04
-20	22,73	24,42	1,38	24,75	1,41	24,09	1,40	26,59	3,86
-30	22,60	24,20	1,27	24,41	1,26	23,98	1,36	26,16	3,56
-50	21,99	23,22	0,94	23,33	0,91	23,11	1,04	24,75	2,77
-75	21,22	21,90	0,58	22,01	0,41	21,79	0,74	22,98	1,76
-100	20,46	20,98	0,35	21,04	0,30	20,93	0,41	21,59	1,14
-125	19,24	20,18	0,51	20,16	0,37	20,20	0,66	21,14	1,91
-150	18,16	19,17	0,54	19,09	0,30	19,24	0,74	20,27	2,11
-200	16,34	17,02	0,36	17,06	0,27	16,97	0,46	17,37	1,03
-250	14,94	15,39	0,28	15,41	0,27	15,37	0,31	15,85	0,91
-300	13,72	14,12	0,21	14,09	0,15	14,16	0,27	14,42	0,70
-400	11,64	12,04	0,19	12,03	0,15	12,06	0,23	12,28	0,64
-500	8,80	9,78	0,40	9,82	0,32	9,74	0,50	10,37	1,57
-600	6,69	7,67	0,47	7,85	0,19	7,50	0,62	8,34	1,65
-700	5,42	6,03	0,34	6,19	0,22	5,88	0,38	6,48	1,06
-800	4,52	5,08	0,41	5,23	0,51	4,92	0,22	6,24	1,71
-900	3,78	4,08	0,28	4,23	0,32	3,93	0,10	4,87	1,09
-1000	3,35	3,64	0,16	3,76	0,14	3,53	0,10	4,02	0,66

Fonte: Levitus (1994)

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

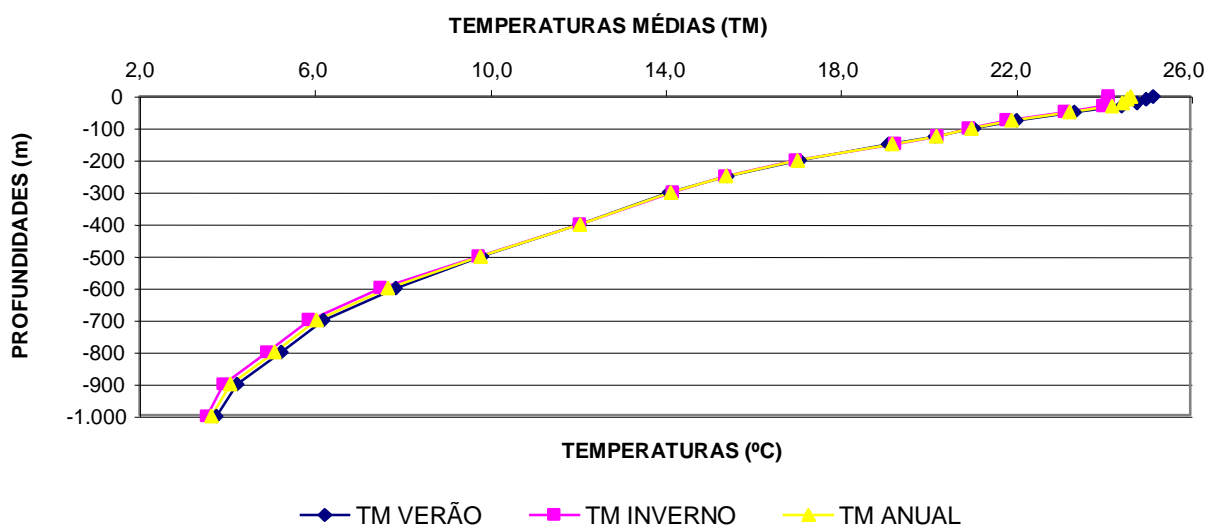


Figura 5.1.3-n. Temperaturas médias anuais, de inverno e de verão.
Fonte: Levitus (1994)

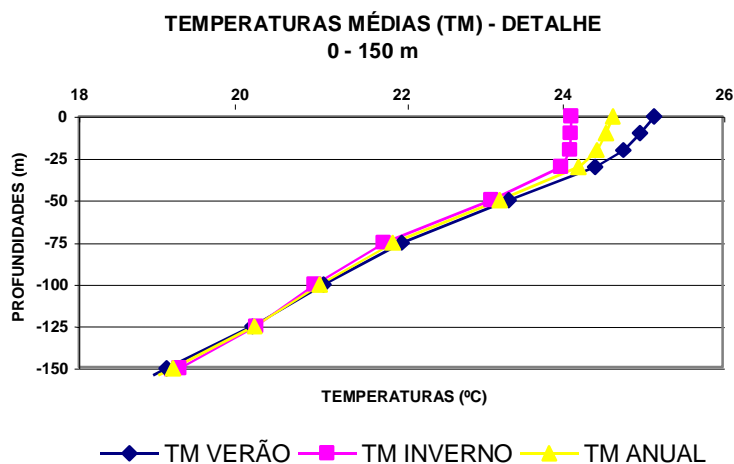


Figura 5.1.3-o. Detalhe de 0 a 150 m.
Fonte: Levitus (1994)

TEMPERATURAS MÉDIAS (TM) - DETALHE
150 - 550 m

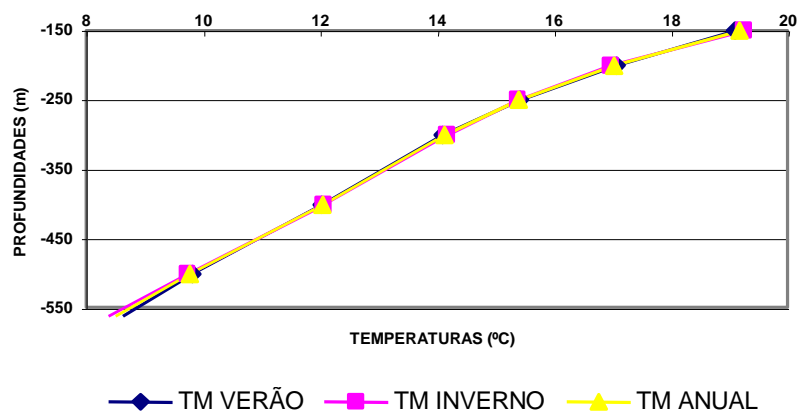


Figura 5.1.3-p. Detalhe de 150 a 550 m.
Fonte: Levitus (1994)

TEMPERATURAS MÉDIAS (TM) - DETALHE
550 - 1000 m

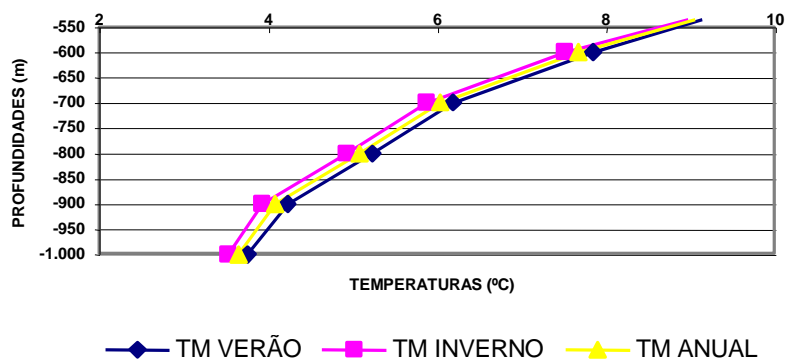


Figura 5.1.3-q. Detalhe de 550 a 1000 m.
Fonte: Levitus (1994)

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

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

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

- **Perfis de Temperatura e Salinidade**

A análise dos perfis de temperatura e salinidade (Figuras 5.1.3-s a 5.1.3-x) gerados a partir dos dados das seis estações amostradas na 1ª Campanha do Programa de Monitoramento Ambiental de Bijupirá (Figura 5.1.3-d), permitem definir no diagrama T-S (Figuras 5.1.3-k) a presença de duas massas d'água na área onde se desenvolverá a atividade: a Água Tropical (AT), que se estende até a profundidade de cerca de 80 metros, e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), identificada até a máxima profundidade amostrada (791 m). A figura a seguir apresenta a malha amostral utilizada para coleta das amostras de água e das perfilagens com CTD e correntômetro.

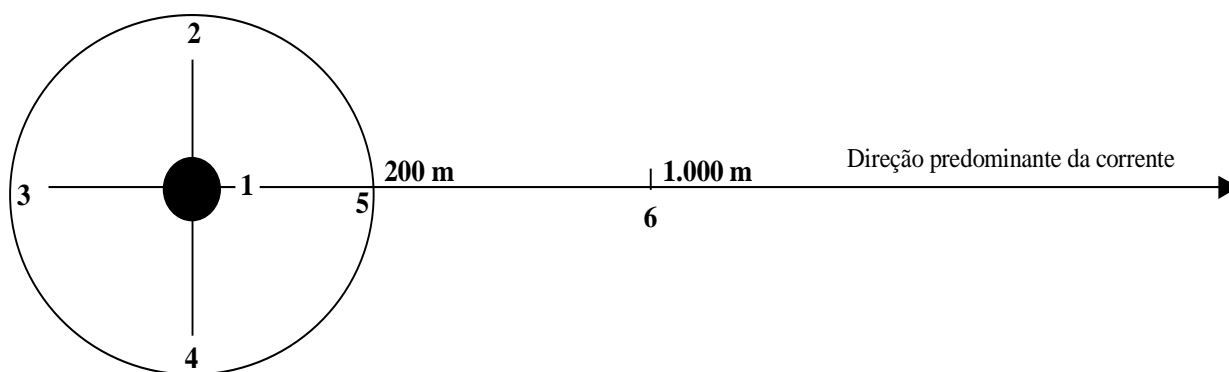


Figura 5.1.3-r. Representação esquemática da malha amostral de água feita durante a 1ª Campanha do Programa de Monitoramento Ambiental de Bijupirá.

Figura 5.1.3-s. Perfis de salinidade, temperatura e densidade da 1ª Campanha do Monitoramento Ambiental – Estação 1.

Figura 5.1.3-t. Perfis de salinidade, temperatura e densidade da 1ª Campanha do Monitoramento Ambiental – Estação 2.

Figura 5.1.3-u. Perfis de salinidade, temperatura e densidade da 1ª Campanha do Monitoramento Ambiental – Estação 3.

Figura 5.1.3-v. Perfis de salinidade, temperatura e densidade da 1ª Campanha do Monitoramento Ambiental – Estação 4.

Figura 5.1.3-w. Perfis de salinidade, temperatura e densidade da 1ª Campanha do Monitoramento Ambiental – Estação 5.

Figura 5.1.3-x. Perfis de salinidade, temperatura e densidade da 1ª Campanha do Monitoramento Ambiental – Estação 6.

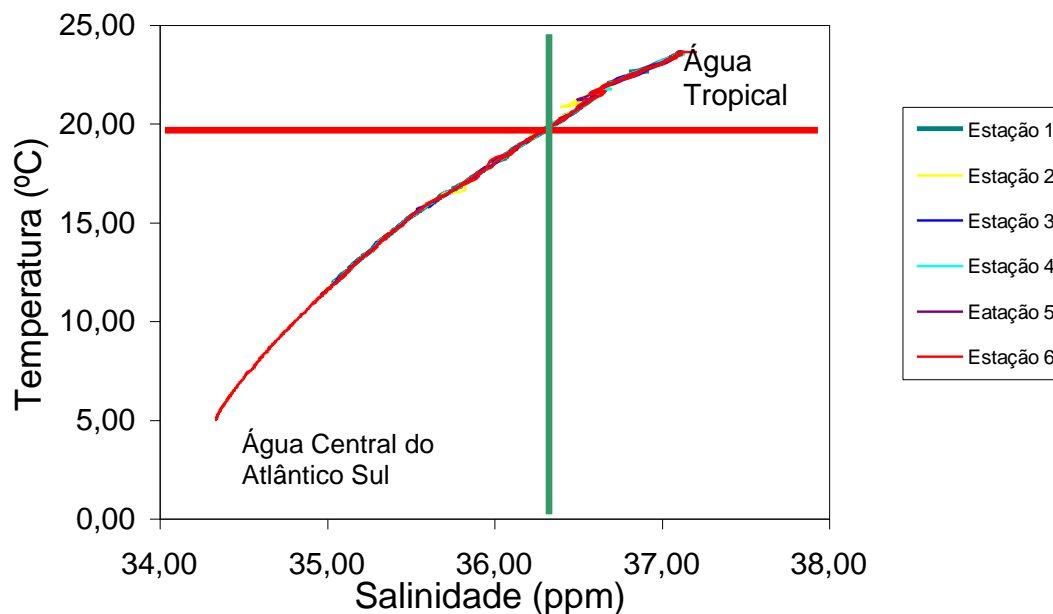


Figura 5.1.3-y. Diagrama T-S das estações de CTD.

De acordo com a climatologia de Levitus (1994), os dados referentes à salinidade obtidos enquadram-se nos valores limite esperados para a distribuição de massas de água nesta região. As massas d'água encontradas também corroboram com o padrão descrito nos levantamentos do Programa REVIZEE na região central (Cupelo, 2000).

5.1.3.2 Oceanografia da área do Porto de Vitória

a. Marés

A posição do nível médio do mar é fator determinante na dinâmica costeira, pois age diretamente na determinação de estruturas como a posição da linha de praia e influi em processos na zona de arrebenção e no gradiente final de rios e estuários. Além disto, a resultante da interação da maré com a vazão dos rios é a principal condicionante da caracterização de um estuário, tanto em sua dinâmica como em sua extensão.

Medições feitas nos Portos de Vitória enquadram a maré como semidiurna, com nível médio em 0,80 m, apresentando amplitude de cerca de 1,85 m. Em março e abril, o regime de ventos (ocorrências dos octantes de NE, E e SE) magnifica a maré, tornando a Praia de Carapebus perigosa para banhos.

No canal da Passagem, que liga o fundo da Baía de Vitória à Praia de Camburi, ocorre o encontro das duas vertentes da penetração da maré no estuário. Este ponto, chamado de "tombo da maré", é de especial importância na dinâmica impressa pela maré na região. Sua localização não é fixa, variando em função das amplitudes das marés e do valor das vazões dos rios. Seu posicionamento espacial permite melhores condições para a

qualidade da água neste canal e no fundo da Baía de Vitória, pois serve de barreira aos efluentes lançados nesta região (SEAMA, 1993).

b. Circulação

A região oceânica adjacente à região estuarina é caracterizada pela presença de massas d'água do tipo tropical oceânica, com salinidades superiores a 36 e temperaturas superiores a 20°C, com clara influência da Corrente do Brasil. As correntes de deriva estão intimamente ligadas ao regime de ventos e são paralelas à costa. Nesta área, as correntes apresentam velocidades baixas, no máximo de 0,5 m/s no verão e de 0,25 a 0,35 m/s no inverno, sofrendo aumento na superfície (e em toda a coluna em águas rasas) pela ação de ventos de NE, ENE e SW.

A circulação no estuário é função da interação entre a maré e a vazão do rio Santa Maria da Vitória, sofrendo efeito ainda, em sua componente superficial, da ação dos ventos. Na Baía de Vitória, os maiores valores acontecem cerca de 3 horas antes da preamar (0,65 m/s) e 3 horas depois da preamar (1,5 m/s), em média, indicando influência direta da vazão do rio. No entanto, há certa homogeneidade ao longo da coluna.

Em função dos contornos geográficos, as variações ocorrem ao longo do eixo E-NE durante as enchentes e W-SW, nas vazantes. Os valores médios também variam em função da fase da maré, apresentando, na sizígia, valores de 0,12 m/s a 0,85 m/s, caindo para 0,07 m/s a 0,55 m/s, na quadratura, e do ciclo, onde atingem na superfície valores de 1,15 m/s em direção E (vazante) e 0,28 m/s em direção SW (enchente). Junto ao fundo, observam-se valores de 0,50 m/s na direção ENE (vazante) e 0,44 m/s, na direção W (enchente). A diferença entre superfície e fundo demonstra a sensível ação do vento sobre a superfície.

Alguns pontos apresentam circulação restrita, como o rio Aribiri (onde não se verificam diferenças significativas entre enchente e vazante), a Praia de Camburi (onde o regime de ventos predominantes de E/NE provoca correntes com deslocamentos significativos da água superficial em direção à sua margem SW, e, nas condições de ventos de SW, a corrente se inverte), a Enseada da Praia do Canto e o rio Bubu.

A praia de Barra do Jucu apresenta-se mais rasa com vento sul ou mais profunda com ocorrência de vento norte, em função da combinação destes regimes de ventos com o posicionamento na saída do rio Jucu e a deriva costeira. No primeiro caso, o vento sul gera uma corrente ao longo do litoral para norte, facilitando a saída das águas do rio. No segundo ocorre o inverso, acarretando seu represamento.

No canal da Passagem, os valores das correntes originadas pela maré chegam, em período de sizígia, a 0,26 m/s na vazante e 0,14 m/s, na enchente, enquanto que, no período de quadratura, podem alcançar 0,18 m/s na vazante e 0,11 m/s, na enchente. O comportamento das correntes de maré neste ponto é peculiar, pois durante o ciclo da maré vazante, este apresenta duas situações. No início do ciclo, por cerca de 1,5 horas, o fluxo ocorre em direção à Praia de Camburi, desde o fundo do estuário, inicialmente com velocidade máxima de 0,3 m/s até atingir a velocidade nula. A partir daí, o fluxo da

vazante se inverte, também na região do tombo, e volta em direção ao fundo da Baía de Vitória, até o início de outro ciclo de maré.

c. Ondas

Na área costeira adjacente à região estuarina, as ondas mais frequentes são provenientes de E e SE, nas direções entre $97,5^\circ$ e $112,5^\circ$, com alturas significativas na faixa de 0,75 a 1,75 m e períodos médios significativos de 5 a 11,5 s. Valores extremos de alturas observados foram relacionados à direção sul (185°), que normalmente ocorrem no inverno. Na Baía do Espírito Santo, foram observadas ondas com altura significativa de 1,05 m.

d. Temperatura

A água costeira no verão apresenta valores de $25,5$ a $26,5^\circ\text{C}$, reduzindo-se para $22,5$ a $23,0^\circ\text{C}$ no inverno. Este parâmetro é bem estável, sendo sua variação sazonal função da insolação no período.

Na Praia de Camburi (Baía do Espírito Santo), a temperatura varia de 22 a 28°C , com uma certa homogeneidade na coluna d'água e uma pequena tendência de acréscimo em valores de fundo. Esta tendência é explicável pelo fato de que a penetração da água salgada mais quente no estuário pode ser pouco expressiva, refletindo em valores próximos da zona costeira.

No inverno, as águas da Baía de Vitória e do canal da Passagem tornam-se mais frias que as da região costeira, apresentando valores de 20 a $25,5^\circ\text{C}$. No verão, os valores podem chegar a 30°C . No canal da Baía, as águas tendem a ter uma distribuição homogênea nas suas temperaturas, principalmente à superfície, com uma leve tendência de esfriamento para as águas no interior.

e. Salinidade

A salinidade na área costeira caracteriza-se por ser bastante conservativa, sem variações sazonais sensíveis, assumindo valores em torno de 36,5. Nas praias da região, a salinidade concorda com estes valores, com reduções nas praias de Barra do Jucu (30-31) e Carapebus (34), indicando sensíveis aportes de águas doces (consideravelmente maiores na primeira).

Na Praia de Camburi (Baía do Espírito Santo), os valores superficiais variam em uma faixa de 34 a 40, indicando mudanças sensíveis não em função de sazonalidade, mas sim, devido à influência de aporte pluvial e de águas continentais. A faixa de variação, acima dos valores oceânicos, é explicada pela grande concentração de sais, metais e outros elementos oriundos da contaminação decorrente das atividades do Porto de Tubarão. Já foram evidenciados valores na faixa de 28 para salinidade nesta enseada, porém esta ocorrência deve estar associada a significativos aportes de água doce (meses de grande intensidade pluviométrica).

De acordo com o tipo de estuário (cunha salina), evidenciam-se maiores valores da salinidade ao longo da coluna junto ao fundo, como no Canal da Passagem e no norte da Baía de Vitória, onde, durante o ano, os valores superficiais variam de 8 a 30 e no fundo, de 24,3 a 32.

No Saco do Aribiri, a mistura de águas doces do rio com águas salobras do canal mantém a salinidade em torno de 24,5. Em geral, a salinidade no estuário do rio Santa Maria da Vitória varia de 18,3 a 33,7, ideal para a ocorrência de manguezais.

f. Oxigênio Dissolvido

O distribuição do parâmetro oxigênio dissolvido é muito importante para caracterização de áreas com problemas de qualidade de água. Nas regiões que não apresentam estes problemas, sua concentração varia de 6,0 a 7,4 mg/L.

Em função da presença de grandes concentrações de matéria orgânica e/ou metais, o oxigênio disponível é consumido, o que resulta em concentrações abaixo dos valores definidos pelo CONAMA para as classes de águas doce e salgada. Em alguns casos, este pode ser inteiramente consumido.

Em algumas áreas do fundo da Baía de Vitória, a concentração pode chegar a 4,8 mg/L, abaixo do limite definido pelo CONAMA para rios de classe 2 e para águas salinas de classe 5. Este quadro pode ser consequência de lançamento de esgotos, uma vez que o rio Marinho também apresenta valores em torno de 4,8 mg/L.

A Baía de Camburi apresenta pontos onde os valores situam-se na faixa de 6,5 mg/L. Para a região próximo à Superintendência do Porto de Tubarão (SUPOT), há registros de concentrações inferiores, menores que o esperado em áreas de influência oceânica (3,2 mg/L) e abaixo do limite mínimo estabelecido pelo CONAMA para águas marinhas de classe 5. Este quadro se deve provavelmente ao efeito da ressuspensão dos sedimentos do fundo na área mais próxima ao pier (devido à menor profundidade) e na região do canal (pelo turbilhonamento causados pelos navios que entram e saem do Porto), com a consequente depleção do oxigênio, através de processos de oxidação de compostos reduzidos e matéria orgânica estocadas nos sedimentos de fundo. No verão, ocorrem processos oxidativos nos pontos próximos à praia e ao terminal da Praia Mole.

g. Parâmetros Indicadores de Qualidade da Água

Para uma melhor caracterização do ambiente estuarino frente aos vários usos de suas águas e margens, bem como dos processos que ocorrem nesta região, a apresentação dos parâmetros de qualificação das águas será compartimentada por áreas, conforme descrito a seguir.

- **Baía do Espírito Santo, entrada da Baía de Vitória e Porto de Praia Mole**

Esta é uma região que sofre intensamente os efeitos da presença dos portos de Tubarão e Praia Mole, além dos impactos do recebimento de corpos d'água utilizados para lançamentos de esgotos tratados e *in natura*. A qualidade é constantemente imprópria nas extremidades da Praia de Camburi, próximo ao Porto de Tubarão, no trecho próximo ao Canal da Passagem (Canal de Camburi), na Praia do Canto e na Ilha do Frade, estando freqüentemente própria em frente à Ilha do Boi e à medida que se desloca em direção à saída da baía. Este fato é claramente detectado através dos valores de DBO, que são, em certas áreas, ligeiramente altos para regiões de baías abertas com o contato com águas costeiras. No Porto de Praia Mole (1,20 a 1,80 mg/L), Canal da Passagem e Porto de Tubarão (1,40 a 1,60 mg/L), os valores contrastam com a tendência geral da área, representada por níveis inferiores a 1,0 mg/L.

Nestas regiões, também é alta a concentração de coliformes fecais, principalmente na região da Praia de Camburi junto ao Canal da Passagem, com valores superiores a 2000 NMP/100mL e com uma distribuição homogênea em toda a coluna d'água.

Quanto à distribuição de nutrientes e amônia, foram encontradas concentrações elevadas em decorrência do aporte continental, disperso ao longo da baía e próximo ao terminal, com os parâmetros variando nas seguintes concentrações:

- Nitrato, de 0 e 0,23 mg/L;
- Nitrito, de 0 e 0,05 mg/L;
- Amônia, de 0 e 0,07 mg/L;
- Fosfato dissolvido, de 0,01 e 0,07 mg/L;
- Fósforo total, de 0,01 e 0,08 mg/L.

As maiores concentrações de nitrato, amônia e fosfato inorgânico dissolvido foram observadas em medições feitas nos anos de 1995 e 1996, nos meses de março e junho, decaindo nos períodos de setembro a dezembro. O fósforo total teve uma distribuição mais homogênea ao longo do ano, indicando redução das formas orgânicas do fósforo inversamente proporcional à variação das formas inorgânicas. A ocorrência de amônia, em valores de até 1,042 mg/L na área sob a influência do Porto de Tubarão, coincide com a observação de águas quase anóxicas, características de ambientes ricos neste composto, nos meses de março e dezembro de 1995 e junho de 1996 (SUPOT, 1996).

Os dados referentes aos coliformes fecais, nitrato e fosfato indicam um aporte de águas continentais servidas, juntamente com efluentes industriais nas adjacências do Porto de Tubarão.

O oxigênio dissolvido apresentou uma distribuição regular na região, porém em concentrações em torno de 3,2 mg/L, muito baixas para áreas com contato com águas costeiras. Releva mencionar a ausência completa de oxigênio em pontos próximos aos cais do Porto de Tubarão e à zona adjacente da Baía de Camburi em algumas medições do serviço de monitoramento da SUPOT. Estes foram atribuídos às manobras dos navios

em procedimentos de atracação e desatracação, quando revolvem o fundo suspendendo novamente a matéria orgânica não decomposta e os metais reduzidos. Estes, em contato com o ambiente oxigenado da coluna, utilizam o oxigênio reduzindo a matéria orgânica e oxidando os metais, provocando, consequentemente, a sua depleção na camada d'água.

É importante mencionar ainda a alta concentração de ferro em toda a região, principalmente na área interna da baía do Espírito Santo e na região do descarte de efluentes da SUPEL (Superintendência de Pelotização) na Praia Mole. Foram encontrados valores significativos até mesmo nas estações de controle do monitoramento, decorrentes do intenso transporte, manipulação e estocagem de minérios de ferro na região. A concentração de ferro total varia de 0,01 a 0,66 mg/L, chegando a atingir extremos de 1,79 mg/L, com o ferro dissolvido na faixa de até 0,23 mg/L (o CONAMA estabelece concentrações de até 0,30 mg/L). Os extremos de ocorrência do parâmetro foram verificados junto ao terminal no fundo, com tendência de aumento da concentração com a profundidade mantida em todos os demais pontos. A fração particulada é predominante, explicando esta distribuição no perfil pela tendência do ferro de sedimentar junto ao material particulado em suspensão. De forma geral, a grande maioria dos valores observados situam-se acima do limite estabelecido pelo CONAMA para classe 5. Alguns pontos da região mais rasa apresentam concentrações maiores devido a processos físicos de ressuspensão do sedimento pela ação de ventos e ondas.

O pH na região situa-se na faixa de 8,07. Foram observados valores mais altos que a média local para turbidez, principalmente junto ao fundo e em frente ao terminal da Praia Mole, variando de 1,1 a 3,4 UTN.

Na Enseada de Camburi e na Curva da Jurema, foram notificadas ocorrências frequentes de lixo sólido flutuante e manchas de óleo, por navegadores e remadores dos clubes da região.

- **Canal do Porto de Vitória e Saco do Aribiri**

Esta região apresenta expressiva variação nos parâmetros analisados, em função da mistura das águas extremamente comprometidas do rio Aribiri com as águas renovadas do canal pela maré. O pH, que na entrada do canal é de 8,04, sofre gradativa redução até uma faixa de 7,65, junto ao fundo, e 6,93, na parte mais interna do canal. Esta variação é função direta da mistura das águas salgadas do mar e doces dos rios.

A contaminação marcante nesta área é provocada pelo rio Aribiri, que apresenta em sua desembocadura condições que permitem sua qualificação como classe 4 do CONAMA (impróprio para captação de água mesmo com tratamento e para contato secundário), encontrando-se este completamente anóxico. A DBO de suas águas é alta, variando de 6,0 a 70,0 mg/L, apresentando ainda concentrações de coliformes fecais na faixa de $8,0 \cdot 10^5$ a $30 \cdot 10^5$ NMP/100 mL. Estes valores são influência direta da contribuição da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Praia da Costa e adjacências.

Altas concentrações de fósforo total e nitrogênio total (1,05 a 2,70 mg/L para o primeiro, e 3,11 a 20,04 mg/L, para o segundo) também são comuns nesta região. Os índices de qualidade de água para o rio Aribiri foram de 36,6 a 58,9, podendo ser considerado como impróprio para utilização para consumo, mesmo com alguma forma de tratamento.

O efeito destas características é perceptível no canal de acordo com a ação da maré que, quando no ciclo de enchente, represa as águas do rio Aribiri, intensificando o problema de contaminação de suas águas.

Nesta região, também foram encontradas altas concentrações de ferro dissolvido, oriundos de operações ainda remanescentes em Capuaba.

- **Fundo da Baía de Vitória**

Apesar de ser corpo receptor de expressivos lançamentos de esgotos, com uma vazão média de efluentes de 106.065 m³/dia e de uma alta carga poluidora de origens doméstica (14.898,14 kg DBO/dia) e industrial (16.355,59 kg DBO /dia), as águas do fundo da Baía de Vitória ainda apresentam qualidade considerada própria para determinados usos. Estes lançamentos ficam confinados no fundo da baía de Vitória, o que explica a ocorrência de altas concentrações nesta região de coliformes fecais ($8,0 \cdot 10^3$ NMP/100mL), concentrações de oxigênio dissolvido de 3,50 mg/L e DBO de 4 mg/L.

Entretanto, em outras áreas da região, a concentração de coliformes fecais registrada foi mais baixa que o valor anterior, com oxigênio dissolvido um pouco abaixo do padrão estabelecido pelo CONAMA, de 5,0 mg/L (4,8 mg/L) e DBO na faixa de 2,9 mg/L.

O tempo de residência de suas águas é de 3,2 dias, sendo entretanto função direta da vazão do rio Santa Maria da Vitória. O desenvolvimento expressivo do manguezal em suas margens deve-se, entre outros fatores, aos grandes aportes diários de nutrientes (fósforo: 488 kg/dia; nitrogênio: 1.960 kg/dia). Porém, estudos complementares sobre a concentração de algas indicam que, com a atual taxa de $1,50 \cdot 10^{17}$ indivíduos/dia, é grande a probabilidade da ocorrência de condições eutróficas em suas águas, comprometendo sua qualidade.

- **Zona de penetração da cunha salina no rio Santa Maria da Vitória**

O rio Santa Maria da Vitória vem apresentando, neste trecho, bons índices de qualidade de água, com uma certa estabilidade dos parâmetros. O pH situa-se em uma faixa de 6,5, com altas concentrações de oxigênio dissolvido (7,5 a 8,0 mg/L). A DBO não atinge 2,0 mg/L, e os valores de nitrogênio e fosfato total são baixos, com concentrações de 0,95 mg/L e 0,02 mg/L, respectivamente.

O único parâmetro que merece destaque, neste contexto, é o índice de coliformes fecais, que variou, nos últimos três anos, de 9.000 a 160.000 NMP/100mL. Em comparação com o limite estabelecido pelo CONAMA para rios da classe 2 (1.000 NMP/100mL), estes valores apresentam-se muito elevados, indicando uma significativa contribuição de lançamentos de esgotos não tratados ao longo do rio e principalmente em sua zona baixa, provavelmente oriunda de áreas urbanas do município da Serra.

- **Praias Oceânicas**

A qualidade das praias é medida pelo seu índice de balneabilidade, que por sua vez é função da avaliação do comportamento de parâmetros como a concentração de oxigênio dissolvido, temperatura e concentração de coliformes fecais e totais, entre outros. A classificação estabelece uma sequência de níveis que vai de imprópria a excelente, passando por satisfatória e muito boa. Excetuando-se a primeira, nos outros três casos o banho de mar é permitido. As análises feitas neste item basearam-se em extratos da “Síntese dos Resultados de Balneabilidade – abril a dezembro/1993” da SEAMA.

As praias entre a barra do rio Jucu (inclusive) e a entrada da Baía de Vitória apresentam, de modo geral, qualidade superior àquelas localizadas ao norte. Todas apresentaram um baixo índice de coliformes fecais, destacando-se apenas a praia da Barra do Jucu, embora suas concentrações ainda estejam baixas (170 NMP/100mL).

As praias do Libanês, Itapoã, Barra do Jucu e Fundão classificaram-se como excelentes durante a maior parte do ano, apenas com uma tendência de redução do nível para muito bom no mês de dezembro, provavelmente em decorrência da maior pluviosidade, aumentando o carreamento de águas pluviais e fluviais para a zona costeira.

As praias de Carapebus, Nova Almeida e Jacareípe demonstraram uma alternância nos níveis de classificação, com expressiva ocorrência de casos satisfatórios e alguns impróprios, também coincidentes com os meses chuvosos. A praia de Carapebus apresenta a maior taxa de DBO (1,50 mg/L), evidenciando algum lançamento de esgoto juntamente com a descarga do córrego de mesmo nome, tendo sido registrada ainda uma alta concentração de ferro total na água (1,44 mg/L), valor elevado para águas salinas da classe 5 do CONAMA, provavelmente devido à influência do Porto de Praia Mole.

- **Material em Suspensão**

O parâmetro material em suspensão apresenta um comportamento bem definido, com as concentrações mais elevadas no interior da Baía de Vitória, decrescendo à medida que se segue em direção ao mar (valores superficiais de 9,96 mg/L até 4,0 mg/L). Na coluna d'água, as maiores concentrações encontram-se junto ao fundo, decrescendo na superfície (valores de fundo de 20,8 mg/L até 8,3 mg/L).

Especialmente, a maior concentração ocorre entre as ilhas da Baía, o Morro do Penedo e a foz do Aribiri, onde aparecem os valores máximos, apresentando a partir daí um ligeiro decréscimo tanto para a entrada quanto para a saída da Baía. A influência do rio Aribiri e as grandes concentrações de material em suspensão carreados por ele são bem sensíveis nesta distribuição.

Na região da entrada do Canal, o aterro hidráulico construído em 1993 está acarretando eventuais ocorrências de concentrações mais baixas.

5.1.4 Qualidade da água de Bijupirá & Salema

A distribuição dos parâmetros que caracterizam a qualidade da água marinha na região do empreendimento é fortemente afetada pela interação da Corrente do Brasil. Niencheski *et al.* (1999), analisaram os dados existentes no Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) da Marinha do Brasil e resumiram os valores limites de ocorrência de concentrações de alguns nutrientes, bem como de oxigênio dissolvido e pH, na costa brasileira até 200 metros (Quadro 5.1.4-a)

Quadro 5.1.4-a. Valores máximos e mínimos de ocorrências de alguns parâmetros físico-químicos na costa brasileira.

PROFUNDIDADE (m) →		VERÃO				OUTONO				PRIMAVERA				INVERNO			
		0	50	100	200	0	50	100	200	0	50	100	200	0	50	100	200
pH	Max	8,40	8,45	8,25	8,40	8,25	8,35	8,25	8,20	8,00	8,00	8,00	8,00	8,35	8,40	8,40	8,35
	Min	7,50	7,85	7,80	7,60	7,75	7,75	7,75	7,75	----	----	----	----	7,85	7,90	7,80	7,65
OD (mL/L)	Max	6,00	6,20	6,40	6,00	5,60	5,40	5,20	5,00	5,50	5,50	5,30	4,70	5,80	5,50	5,40	5,20
	Min	4,40	3,80	3,60	3,00	4,00	3,90	3,60	3,00	----	----	----	----	3,80	4,30	4,20	2,80
NITRITO (μ atg/L)	Max	0,18	0,18	0,32	0,15	0,46	0,40	0,85	0,35	0,95	0,90	0,90	0,75	0,28	0,30	0,30	0,28
	Min	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0,10	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,05	0,00	0,00	0,06	0,04
NITRATO (μ atg/L)	Max	1,8	2,6	8,0	6,0	2,8	8,0	9,0	20,0	3,2	5,0	5,5	10,	3,5	5,5	10,0	16,0
	Min	0,2	0,2	0,5	0,5	0,2	1,0	1,0	1,0	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	2,0
FOSFATO (μ atg/L)	Max	0,5	0,5	0,8	1,4	0,8	0,7	1,4	1,9	0,90	1,0	1,1	1,5	0,7	0,7	0,8	1,6
	Min	0,05	0,05	0,10	0,30	0,05	0,05	0,10	0,20	0,05	0,05	0,10	0,30	0,05	0,05	0,05	0,10
FÓSFORO TOTAL (μ atg/L)	Max	1,8	2,4	1,6	2,2	1,1	1,0	1,0	0,8	0,9	0,9	1,1	1,6	0,9	0,9	1,2	1,2
	Min	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,2

Fonte: Projeto REVIZEE – Oceanografia química (Niencheski *et al.*, 1999).

Para uma melhor caracterização da qualidade da água dos campos de Bijupirá e Salema serão utilizados os dados primários obtidos durante a 1ª Campanha do Monitoramento Ambiental de Bijupirá, realizado em setembro de 2001.

a. Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido tem suas altas concentrações associadas às regiões de ressurgência no verão, representadas por pequenos vórtices de ocorrência do composto. Na coluna d'água, na faixa de profundidade da AIA, os valores também são altos (4,4 mL/L), o que é característica desta massa d'água. Ao norte do paralelo de 21° S, a AIA dá lugar a uma água equatorial pobre no parâmetro, havendo portanto uma queda no seu valor.

Com o decréscimo das ressurgências no outono, os valores diminuem, reduzindo também os vórtices. A primavera é marcada pela presença de núcleos com concentrações decrescentes, com um máximo em 4,7 mL/L na costa do Espírito Santo.

Alguns estudos (Programa REVIZEE – Central III apresentado em Cupelo, 2000 e Niencheski *et al.*, 1999) indicam valores máximos de 5,50 mL/L durante a primavera, tendendo a diminuir após a profundidade de 100m.

b. pH

A distribuição dos valores de pH no verão é caracterizada pela convergência de núcleos de máxima concentração, em frente às costas dos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, estando este fenômeno também associado à ressurgência. No outono, há um espalhamento de vórtices de máximos por toda a área, dispersando a referida alta concentração na costa do Rio de Janeiro.

Os valores de pH obtidos em todos os pontos do monitoramento de Bijupirá foram relativamente homogêneos, tendo variado entre 8,0 e 8,2, dentro dos padrões definidos por Niencheski *et al.* (1999) e apresentados por Cupelo (2000) para a região oceânica tropical.

c. Carbono Orgânico Total

A maioria dos pontos de coleta apresentaram concentrações de COT abaixo do nível de detecção do método (1 ppm), conforme apresentado no Quadro 5.1.4-b. Os pontos 2 e 6, apresentaram, respectivamente, 2,5 e 2,0 ppm nas amostras coletadas na superfície. No ponto 5 - 70m, foi registrada a maior concentração de COT (3,0 ppm). Estes valores são corroborados pelos dados registrados pelo Programa REVIZEE – Central III, apresentados em Cupelo (2000), os quais apresentam como valores máximos e mínimos de COT, 2,5 e 0,37 mg/L, para a região da costa central do Brasil.

Quadro 5.1.4-b. Concentrações de Carbono Orgânico Total (COT), Oxigênio Dissolvido (OD) e pH nas amostras de água coletadas durante a 1ª campanha do Programa de Monitoramento Ambiental de Bijupirá, Bacia de Campos.

PONTOS DE COLETA	PROFUNDIDADE (m)	COT (ppm)	OD (ml/L)	pH
# 1	10	< 1,00	6,26	8,23
	70	< 1,00	6,16	8,13
# 2	10	2,51	6,38	8,19
	70	< 1,00	6,14	8,13
# 3	10	< 1,00	6,43	8,24
	70	< 1,00	6,46	8,19
# 4	10	< 1,00	6,36	8,17
	70	< 1,00	6,46	8,14
# 5	10	< 1,00	6,28	8,22
	70	3,05	6,20	8,16
# 6	10	1,99	6,04	8,08
	120	< 1,00	4,63	8,03

d. Nutrientes

No verão, da Bahia ao Rio de Janeiro, são observadas formações de vórtices e ressurgências locais para os valores de fosfato. Durante o inverno, em toda a plataforma da região leste, as concentrações encontram-se relativamente mais reduzidas e homogêneas.

Para o nutriente fósforo total, no verão, as concentrações são menores, sem registros de vórtices ao norte do estado do Rio de Janeiro. Estes aparecem na primavera, em altas concentrações observadas, na região de Cabo Frio. Em toda a costa brasileira, as maiores concentrações localizam-se sempre junto ao fundo.

O nitrito é um dos nutrientes mais bem representados no universo dos dados. No verão, nos 100 primeiros metros de profundidade, podem-se distinguir vórtices na região leste, possivelmente ressurgidos da ACAS, que flui em profundidades abaixo da Corrente do Brasil. No outono, este registro fica muito tênue, associado ao enfraquecimento do fenômeno dinâmico. No inverno, as concentrações são pequenas, atingindo valores de 0,3 $\mu\text{mol/L}$. Com a chegada da primavera e o reinício da ressurgência, ao longo da região leste, aparecem em todas as profundidades vórtices de concentrações crescentes, chegando a um máximo de 0,9 $\mu\text{mol/L}$.

O nitrato apresenta baixos valores de 0 a 100 metros no verão, nas regiões de domínio da Corrente do Brasil (áreas costeiras e oceânicas). Confirmando a relação direta com o fenômeno da ressurgência, no outono, é encontrado em maiores valores nas profundidades de 200 metros, relacionadas à posição da ACAS na coluna d'água. Na

primavera, as isolinhas alinham-se em ordem crescente paralelas à costa, com registro de altas concentrações nas proximidades de áreas de água ressurgida.

Em todos os pontos de coleta do monitoramento ambiental (superfície e termoclina) foram analisados os nutrientes nitrato e amônia. Ambos os parâmetros apresentaram concentrações abaixo do nível de detecção ($< 0,01$ mg/L) em todas as amostras coletadas.

Os compostos nitrogenados são elementos importantes para o desenvolvimento fitoplanctônico, sendo limitantes da atividade fotossintética. Entretanto, sua velocidade de regeneração através de reações bioquímicas é inferior a taxa de utilização por organismos fotossintéticos, constituindo-se como um fator limitante à atividade fotossintética do fitoplâncton.

Observa-se que as águas oligotróficas da Corrente do Brasil comumente apresentam valores baixos de nitrato e amônia, gerando condições tróficas baseadas na produção regenerada do bacterioplâncton (Cupelo, 2000). Por esse motivo, suas concentrações freqüentemente encontram-se inferiores aos limites de detecção dos métodos analíticos em sistemas com características oligotróficas como as águas oceânicas do campo de Bijupirá (Niencheski *et al.*, 1999).

e. Clorofila *a*

A concentração de clorofila *a* registrada na 1ª Campanha de Monitoramento Ambiental esteve abaixo do limite de detecção (0,01 mg/L) nas amostras de superfície das estações 1 e 5. Nas demais amostras de superfície, as concentrações variaram entre 0,26 e 0,27 mg/L. Nas amostras coletadas a 70 metros de profundidade, os valores oscilaram entre 0,27 e 0,54 mg/L. As concentrações de clorofila na termoclina foram geralmente maiores que as da superfície. Os resultados de clorofila *a* encontram-se apresentados no Quadro 5.1.4-c.

Quadro 5.1.4-c. Concentração de clorofila *a* e feofotina *a* nas amostras de água coletadas durante a 1ª Campanha do Programa de Monitoramento Ambiental de Bijupirá, Bacia de Campos.

PONTOS DE COLETA	PROFUNDIDADE (m)	CLOROFILA <i>a</i> (mg/L)	FEOFITINA <i>a</i> (mg/L)
# 1	10	$< 0,01$	0,18
	70	0,27	0,38
# 2	10	0,26	0,20
	70	0,40	$< 0,01$
# 3	10	0,27	0,01
	70	0,53	0,03
# 4	10	0,27	$< 0,01$
	70	0,54	$< 0,01$
# 5	10	$< 0,01$	0,09
	70	0,27	0,01
# 6	10	0,27	$< 0,01$
	120	0,13	0,05

Estes valores estão de acordo com Cupelo (2000), que encontrou, para a região da costa central do Brasil, valores entre 0,04 e 1,63 mg/L. A análise do teor de clorofila na água é um importante indicativo da biomassa fitoplanctônica. Sua maior concentração na profundidade relativa à termoclina, corrobora a hipótese desta feição oceanográfica representar uma barreira física à sedimentação dos organismos fitoplanctônicos. Ressalta-se que esta região é considerada a mais produtiva da zona fótica dos oceanos tropicais estratificados (Mann & Lazier, 1991; Cupelo, 2000).

Quanto aos valores de feofitina *a*, foram observados valores iguais ou abaixo do limite de detecção (0,01 mg/L) na maioria dos pontos amostrados, conforme apresentado no Quadro 5.1.4-c. Os demais pontos registraram valores entre 0,18 e 0,38 mg/L, sendo as concentrações de superfície menores do que na termoclina, nos pontos 1, 3 e 6. Ressalta-se que os valores de feofitina representam a degradação da clorofila por organismos heterotróficos, principalmente zooplânctônicos.

f. Hidrocarbonetos

Os resultados das análises de HPAs e de óleos graxas, realizadas nas amostras de água coletadas nesta 1ª Campanha do Monitoramento Ambiental, encontram-se apresentados no Quadro 5.1.4-d.

Quadro 5.1.4-d. Resultados das análises de hidrocarbonetos e óleos e graxas nas amostras de água coletadas durante a 1ª Campanha do Programa de Monitoramento Ambiental de Bijupirá, Bacia de Campos.

PARÂMETROS ¹	PONTOS DE COLETA / PROFUNDIDADE (m)											
	#1		#2		#3		#4		#5		#6	
	10	70	10	70	10	70	10	70	10	70	10	120
Naftaleno	0,06	nd	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	nd	0,04	nd	0,05	nd
Acenaftaleno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Acenafteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Fluoreno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Fenantreno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Fluorantreno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzantraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Crizeno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzofluoranteno b	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzofluoranteno k	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzopireno a	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Indenopireno 123-cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Dibenzoantraceno ah	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzoperileno ghi	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Óleos e Graxas	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4

¹ Limite de Detecção: HPA's - 0,03 µg/L e Óleos e Graxas - < 4 mg/L.

Foram determinados os 16 HPAs prioritários listados pela agência americana de proteção ambiental (U.S.EPA), incluindo compostos entre 2 e 6 anéis aromáticos. Esta identificação foi possível pelo uso de cromatografia em fase gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG/EM), que é a técnica mais adequada para este tipo de determinação pela sua alta sensibilidade e por permitir identificar HPAs individuais de forma inequívoca.

Segundo os resultados obtidos, apenas o naftaleno apresentou concentrações acima do limite de detecção do método usado, que é de 0,03 µg l⁻¹. As concentrações de naftaleno nas amostras de superfície (10m) foram de 0,05±0,01 µg l⁻¹. Nas amostras da remocline, o naftaleno foi encontrado apenas em duas amostras (# 2 e 3), na concentração de 0,05 µg l⁻¹.

Não existem informações sobre a concentração de HPAs individuais para águas brasileiras, medidos por CG/EM, o que dificulta a correta avaliação dos resultados encontrados. Os dados existentes sobre HPAs em águas de regiões *offshore* no Brasil referem-se à determinação pela técnica de fluorescência. Os dados gerados pelas duas metodologias não podem ser diretamente correlacionados. Para a Bacia de Campos, concentrações entre 0,16 e 1,88 µg l⁻¹ (padrão óleo Carmópolis) foram consideradas como características de áreas não impactadas por óleo (Tommasi, 1994). Trata-se de um

valor até 2 ordens de grandeza superiores aos encontrados na 1ª Campanha de Bujupirá pela técnica de CG/EM.

A título de comparação, podem ser citados os níveis de HPAs (somatório de 15 ou 16 compostos individuais), para águas oceânicas, sem a presença de contaminação por petróleo. Geralmente eles ficam abaixo do nível de detecção dos métodos usados (entre 0,015 e 0,030 $\mu\text{g.L}^{-1}$) (Laws, 1997 e NRC, 1995), embora possam chegar a 0,045 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Utvik, 1999). Esta variabilidade encontrada para o que seriam valores de referência (*background*) está associada às dificuldades analíticas de trabalho em baixas concentrações, aos métodos de coleta e de análise usados e a parâmetros ambientais, como o teor de material particulado em suspensão, que podem interferir nos resultados devido à tendência dos HPAs estarem associados à fase sólida.

Nas áreas próximas a plataformas de produção, com o lançamento de água de produção, as concentrações de naftaleno, fenantreno e dibenzotiofeno variam entre 0,3 e 0,8 $\mu\text{g l}^{-1}$ em função da distância do ponto de lançamento (Patin, 1999).

Nas amostras coletadas em Bijupirá, o único HPA detectado foi apenas o naftaleno. Este fato deve ser avaliado com cautela, uma vez que contaminação por hidrocarboneto de petróleo geralmente ocorre pela introdução de mais de um composto aromático. O naftaleno é um composto de baixo peso molecular, composto por 2 anéis aromáticos. Normalmente, está presente em grande quantidade na água de produção, embora não seja o único aromático encontrado (também há presença de fenantreno e dibenzotiofeno), tendo ainda concentrações significativas de compostos alquilados. Neste trabalho não foram determinadas as concentrações de compostos alquilados, o que inviabiliza a origem petrogênica do naftaleno. Outra fonte possível de HPAs para a água é através da combustão e transporte atmosférico. Neste caso, os nafatlenos não seriam componentes principais (NRC, 1985), o que elimina a origem pirolítica de hidrocarboentos nas amostras estudadas.

Como o naftaleno foi encontrado em todas as amostras superficiais praticamente na mesma concentração, assim como em algumas amostras de fundo, é descartada a hipótese de que a fonte deste composto sejam atividades de perfuração, ressaltando que a Ocean Yorktown ainda não estava lançando cascalho ao mar. Também não é possível correlacionar sua presença com as atividades anteriormente desenvolvidas na área pela PETROBRAS, uma vez que a dinâmica de circulação da água e processos de biodegradação e volatilização seriam responsáveis pela rápida queda na concentração destes compostos.

Devido à dificuldade em estabelecer a origem do naftaleno nas amostras estudadas, não se pode descartar a introdução de contaminação nestas amostras. O naftaleno é um composto extremamente volátil, que pode contaminar ambientes de trabalho (Netto *et al.*, 2000). Portanto, é possível que a contaminação tenha sido introduzida durante os procedimentos de coleta e/ou análise.

Por fim, ressalta-se que as concentrações de naftaleno encontradas, no caso de não serem derivadas de contaminação das amostras, não representam risco ambiental representativo. Embora não haja na legislação brasileira níveis máximos de HPAs em águas salinas, podemos considerar as concentrações máximas permitidas (acima das

quais efeitos biológicos adversos são observados), de naftaleno em água de $1,2 \mu\text{g l}^{-1}$ citadas por Kalf *et al.* (1997). Este valor é duas ordens de grandeza superiores aos encontrados neste trabalho.

Considerando o que se conhece sobre a distribuição de HPAs em águas oceânicas e em águas próximas a campos de produção de petróleo, que não há dados disponibilizados sobre a distribuição de HPAs individuais para águas brasileiras, e que o único HPA encontrado foi naftaleno, concluímos que as amostras coletadas em Bijupirá não caracterizam contaminação por hidrocarbonetos de petróleo.

Como pode ser observado no Quadro 5.1.4-d, não foi constatada a presença de óleos e graxas nas amostras de água na 1ª Campanha do monitoramento ambiental da Enterprise. Esta informação é bastante relevante, uma vez que indica as condições ambientais de *background* para Bijupirá.

f. Metais Pesados

As concentrações de metais pesados analisadas nas amostras de água do mar, apresentaram valores abaixo do nível de detecção para todos os metais mensurados, com exceção do chumbo, conforme pode ser observado no Quadro 5.1.4-e. As concentrações de chumbo variaram entre 0,05 e 0,09 mg/L, tendo sido o maior valor registrado na superfície do Ponto 1.

Quadro 5.1.4-e. Concentração de metais-traço nas amostras de água coletadas durante a 1ª Campanha do Programa de Monitoramento Ambiental de Bijupirá, Bacia de Campos.

PONTOS DE COLETA	PROFUNDIDADE (m)	BÁRIO (mg/L)	CÁDMIO (mg/L)	CHUMBO (mg/L)	COBRE (mg/L)	CROMO (mg/L)	MERCÚRIO ($\mu\text{g/L}$)
# 1	10	< 0,2	< 0,001	0,09	< 0,005	< 0,01	< 0,10
	70	< 0,2	< 0,001	0,06	< 0,005	< 0,01	< 0,10
# 2	10	< 0,2	< 0,001	0,06	< 0,005	< 0,01	< 0,10
	70	< 0,2	< 0,001	0,07	< 0,005	< 0,01	< 0,10
# 3	10	< 0,2	< 0,001	0,06	< 0,005	< 0,01	< 0,10
	70	< 0,2	< 0,001	0,06	< 0,005	< 0,01	< 0,10
# 4	10	< 0,2	< 0,001	0,05	< 0,005	< 0,01	< 0,10
	70	< 0,2	< 0,001	0,05	< 0,005	< 0,01	< 0,10
# 5	10	< 0,2	< 0,001	0,06	< 0,005	< 0,01	< 0,10
	70	< 0,2	< 0,001	0,07	< 0,005	< 0,01	< 0,10
# 6	10	< 0,2	< 0,001	0,06	< 0,005	< 0,01	< 0,10
	120	< 0,2	< 0,001	0,07	< 0,005	< 0,01	< 0,10

As concentrações de bário, cádmio, cobre, cromo total e mercúrio em todas as amostras estudadas estiveram abaixo dos limites de detecção dos métodos empregados. A exceção foi o chumbo, que apresentou concentração média de $0,06 \pm 0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ (válida para amostras de superfície e de fundo). Com exceção do Ponto 4, a análise de metais pesados identificou a presença de chumbo em níveis acima do estabelecido pela

Resolução CONAMA 020/86, para a proteção da fauna e da flora marinha (0,05 mg/L). Esta concentração elevada de chumbo foi mais acentuada na amostra de superfície do ponto 1, com valores de 0,09 mg/L.

Embora não haja valores específicos para o Brasil, as concentrações de *background* para metais pesados dissolvidos no Mar do Norte são as seguintes: 20-80 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para bário; 4-28 ng.L^{-1} para cádmio; 20-500 ng.L^{-1} para cobre; e 30 ng.L^{-1} para mercúrio, não tendo sido encontrados dados para cromo total (Utvik, 1999).

Para o chumbo, o valor de *background* é de 20-100 ng.L^{-1} (Utvik, 1999). Ainda a título de comparação, a concentração de chumbo na água de produção típica do Mar do Norte é de 0,4 a 8,4 mg.L^{-1} . Portanto, as concentrações de chumbo encontradas neste trabalho são 1000 vezes maiores do que os valores de *background* e estão na mesma ordem de grandeza daquelas encontradas em água de produção. Como há pequena variação nos valores encontrados, tanto lateralmente como em profundidade, é possível que este resultado seja originado por introdução de contaminação durante a coleta ou processamento das amostras, ou mesmo por erros analíticos.

Os valores de chumbo encontrados também podem estar relacionados às atividades de perfuração e produção executadas no campo de Bijupirá entre 1990 e 1998 pela PETROBRAS. Outra hipótese seria de que esta contaminação observada seja resultante de um efeito sinérgico das plataformas estabelecidas em outros campos localizados em águas adjacentes ao campo de Bijupirá. Ressalta-se que as campanhas de monitoramento a serem realizadas durante e após as atividades de perfuração da Enterprise servirão de subsídio para confirmação destas hipóteses.

Entretanto, valores semelhantes de chumbo não foram encontrados no campo de Marlim Sul, Bacia de Campos. Os valores de metais encontrados durante o licenciamento ambiental das plataformas P-38 e P-40 (CEPEMAR, 2001), encontravam-se dentro das concentrações normais do metal na água do mar: 5-10 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Segundo este relatório, não existem indícios que comprovem a contaminação da água oceânica por metais pesados no campo de Marlim Sul.

5.1.5 [Qualidade do sedimento em Bijupirá & Salema](#)

a. [Granulometria](#)

O diâmetro médio do sedimento das estações monitoradas durante a 1ª Campanha de Monitoramento Ambiental de Bijupirá variou entre 6,7 (Ponto 8) e 7,1 ϕ (Ponto 6). Estes valores correspondem a sedimentos bastante finos compostos por silte e argila (Figura 5.1.5-a). Em termos percentuais a fração silte-argila representou aproximadamente 85 % do sedimento, enquanto que a fração areia, apenas 5 %. Este tipo de sedimento corresponde ao encontrado nas planícies abissais, onde também podem ser encontrados depósitos biogênicos, dependendo da produtividade das águas superficiais, tais como vasas de foraminíferos, radiolários e diatomáceas silicosas (Gage & Tyler, 1996).

Nas amostras de Bijupirá não foi observado um gradiente de distribuição espacial do sedimento, com todos os pontos apresentando granulometria relativamente homogênea, característica corroborada pelo grau de seleção onde o desvio-padrão para todos os pontos foi de aproximadamente 2,2.

Já os teores de matéria orgânica (Figura 5.1.5-b) foram relativamente baixos, com as maiores concentrações no Ponto 3 (3%). Nos pontos 1, 5, 6 e 7 onde foram realizados os ensaios de biodegradabilidade do sedimento (item 4.2.6), o teor de matéria orgânica foi de 2%. Estes valores indicam que, antes do descarte do cascalho com fluido sintético adsorvido, o sedimento de Bijupirá apresentava um baixo teor de matéria orgânica susceptível a biodegradabilidade natural. Entretanto, estes valores de matéria orgânica são considerados compatíveis com o observado para fundos localizados em regiões produtivas onde podem alcançar valores superiores a 0,5 % (Gage & Tyler, 1996).

A porcentagem de carbonatos variou de 28,5 % (Ponto 7) a 31,8 % (Ponto 3) o que provavelmente indica a presença de depósitos biogênicos provenientes de organismos com carapaças calcárias ou exoesqueletos de carbonato de cálcio.

Desta forma, o sedimento coletado na 1ª Campanha de Bijupirá apresentou uma textura semelhante em todas as estações, caracterizado por um sedimento muito fino e biogênico, rico em carapaças de foraminíferos, o que corrobora o encontrado pela CEPEMAR (2001) para o campo de Marlim Sul.

Figura 5.1.5-a (excel), Granulometria do sedimento coletado durante a 1ª Campanha do Programa de Monitoramento Ambiental de Bijupirá.

Figura 5.1.5-a (excel)

b. Hidrocarbonetos

O Quadro 5.1.5-a apresenta os resultados de THP, HPA e MCNR para as amostras de sedimento coletadas durante a 1ª Campanha do Monitoramento Ambiental de Bijupirá.

Quadro 5.1.5-a. Resultados das análises de hidrocarbonetos nas amostras de sedimento coletadas durante a 1ª campanha do Programa de Monitoramento Ambiental realizada em Bijupirá, Bacia de Campos.

PARÂMETROS ¹	PONTOS DE COLETA DE SEDIMENTO							
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
THP (C10-C24)	nd	nd	nd	nd	nd	120	44	40
THP (C25-C40)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HPA (naftaleno)	nd	0,05	0,05	nd	nd	0,07	nd	nd
HPA (acenaftaleno)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HPA (acenafteno)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HPA (fluoreno)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HPA (fenantreno)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HPA (antraceno)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HPA (fluorantreno)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HPA (pireno)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HPA (benzantraceno)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HPA (crizeno)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HPA (benzofluoranteno b)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HPA (benzofluoranteno k)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HPA (benzopireno a)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HPA (indenopireno 123-cd)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HPA (dibenzoantraceno ah)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HPA (benzoperileno ghi)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
n-alcanos (2-metilpentano)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
n-alcanos (n-hezano)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
n-alcanos (2-metilhexano)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
n-alcanos (n-heptano)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
n-alcanos (2-metilheptano)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
n-alcanos (n-octano)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
n-alcanos (2-metiloctano)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
n-alcanos (n-nonano)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
n-alcanos (n-decano)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
n-alcanos (n-undecano)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
n-alcanos (n-dodecano)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

¹ Limites de detecção: THP: 1 mg/Kg; HPA: 0,03 µg/L; n-alcanos: 1-5 µg/Kg.

De modo semelhante ao observado nas amostras de água, o sedimento coletado e analisado para avaliar a presença de HPA, registrou concentrações de Naftaleno variando

entre 0,05 e 0,07 $\mu\text{g/L}$, nos pontos 2, 3 e 6. Os demais hidrocarbonetos poliaromáticos analisados não foram detectados nas amostras de sedimento.

A fração alifática dos hidrocarbonetos de petróleo nos sedimentos foi medida por três formas: (i) faixa de ‘leves’, com hidrocarbonetos entre 5 e 12 átomos de carbono; (ii) faixa entre 10 e 24 átomos de carbono; e (iii) faixa entre 25 e 40 átomos de carbono. Nesta duas últimas faixas, os valores foram apresentados como ‘somatório dos compostos’, ou seja, como total de hidrocarbonetos para cada faixa.

Nas faixas entre C5-C12 e C25-C40, todas as amostras apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção do método. Na faixa entre C10-C24, os pontos 6 (120 mg.kg^{-1}), 7 (44 mg.kg^{-1}) e 8 (40 mg.kg^{-1}) tiveram concentrações detectáveis. Estes valores, da ordem de ppm (parte por milhão), são superiores aos encontrados em escala regional na Bacia de Campos (<2 mg.kg^{-1} até 5,49 mg.kg^{-1}), embora tenham sido empregados métodos diferentes de análise; as concentrações mais altas da Bacia de Campos apontam uma leve contaminação dos sedimentos por hidrocarbonetos de petróleo (Tommasi, 1994). Nos casos dos sedimentos de Bijupirá, as concentrações encontradas são comparáveis a sedimentos costeiros contaminados por hidrocarbonetos (Wakeham, 1996).

Os sedimentos foram coletados em coluna d’água de 800m, o que facilita a maior dispersão, portanto, não se esperaria a deposição extensiva deste cascalho no sedimento. Como comparação, foram encontradas concentrações de total de hidrocarbonetos da ordem de 50-100 mg.kg^{-1} em sedimentos de plataformas no Golfo do México (Kennicut, 1995), mas em condições bastante diferentes de Bijupirá (800m de profundidade), em águas rasas (<100m) e limitados a distância de 200m da plataforma.

A presença de hidrocarbonetos leves e a ausência de mistura complexa não-resolvida (MCNR) no cromatograma indicam o aporte recente e contínuo de hidrocarbonetos, possivelmente derivado de vazamentos de dutos de atividades de produção vizinhas ou da exudação natural de petróleo.

Em relação aos hidrocarbonetos aromáticos, assim como já observado nas amostras de água, o único HPA encontrado em sedimento foi o naftaleno: nos pontos 2 e 3, com concentração de 0,05 mg.kg^{-1} e no ponto 7, com concentração de 0,07 mg.kg^{-1} . Estes valores estão praticamente no nível de detecção do método (0,05 mg.kg^{-1}).

Considerando os dados obtidos, podemos afirmar que não há a presença de hidrocarbonetos aromáticos nos sedimentos da região de Bijupirá & Salema. O valor encontrado para naftaleno é irrelevante e possivelmente está associado a questões analíticas, e não ambientais.

c. Metais Pesados

Os parâmetros cádmio, cromo III, cromo VI e mercúrio apresentam-se em concentrações abaixo dos limites de detecção durante a 1ª Campanha de Monitoramento Ambiental de Bijupirá (Quadro 5.1.5-b).

Quadro 5.1.5-b. Concentração de metais - traço nas amostras de sedimento coletadas durante a 1ª campanha do Programa de Monitoramento Ambiental realizada em Bijupirá, Bacia de Campos.

PONTOS DE COLETA	BÁRIO (mg/g)	CÁDMIO (mg/g)	CHUMBO (mg/g)	COBRE (mg/g)	CROMO III (mg/g)	CROMO VI (mg/g)	MERCÚRIO (μg/g)
# 1	0,12	< 0,001	0,03	0,008	< 0,002	< 0,01	< 0,05
# 2	0,20	< 0,001	0,03	0,006	< 0,002	< 0,01	< 0,05
# 3	0,14	< 0,001	0,03	0,008	< 0,002	< 0,01	< 0,05
# 4	0,10	< 0,001	0,03	0,010	< 0,002	< 0,01	< 0,05
# 5	0,20	< 0,001	0,04	0,010	< 0,002	< 0,01	< 0,05
# 6	0,12	< 0,001	0,04	0,008	< 0,002	< 0,01	< 0,05
# 7	0,16	< 0,001	0,02	0,008	< 0,002	< 0,01	< 0,05
# 8	0,12	< 0,001	0,02	0,008	< 0,002	< 0,01	< 0,05

Para o elemento bário, foram registradas concentrações entre 0,10 mg/g (ponto 4) e 0,20 mg/g (pontos 2 e 5). O elemento chumbo apresentou concentrações entre 0,02 e 0,04 mg/g em todos os pontos de coleta. O cobre foi encontrado entre as concentrações 0,006 e 0,010 mg/g, nos pontos amostrados.

As faixas de variação de metais em sedimentos estão apresentadas no Quadro 5.1.5-c. De forma geral, todos os metais nos sedimentos de Bijupirá apresentam concentrações comparáveis aos encontrados nas plataformas de produção de Pargo e Pampo e na média de sedimentos da costa fluminense.

Nas plataformas de Pargo e Pampo, situadas em coluna d'água de 100m de profundidade na Bacia de Campos, Ovalle *et al.* (2000) observaram enriquecimento de Ba em relação aos sedimentos da costa fluminense. Em Pampo, os resultados apontam enriquecimento de Cr, Ba e Cu nas estações próximas à plataforma, derivado de atividade antropogênica, enquanto em Pargo foi detectada a presença de fonte terrestre.

Considerando que não foi observado um gradiente de concentração definido em função da distância da plataforma e que as concentrações dos metais estudados estão na ordem de grandeza observada em escala regional, conclui-se que os sedimentos de Bijupirá apresentam valores de *background* para os metais estudados, não estando possivelmente, associados a atividades de exploração e produção de petróleo.

Quadro 5.1.5-c. Média e faixa de variação de metais pesados em sedimentos coletados durante a 1ª Campanha de Bijupirá, no entorno das plataformas de produção de Pampo e Pargo e para sedimentos da costa do Rio de Janeiro.* (Ovalle *et al.*, 2000)

METAL	BIJUPIRÁ (1ª Campanha) ($\mu\text{g g}^{-1}$)	PARGO* ($\mu\text{g g}^{-1}$)	PAMPO* ($\mu\text{g g}^{-1}$)	RIO DE JANEIRO* ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Bário	145 100-200	165 70,4-269	188 76,2-402	193 103-242
Cádmio	<1	<0,10 <0,10-0,21	<0,10 <0,10-0,27	0,52 <0,10-2,61
Chumbo	30 20-40	5,54 3,50-11,9	6,70 1,57-10,9	15,4 0,40-34,1
Cobre	8,2 6-10	3,38 1,86-7,06	6,30 3,92-9,48	7,29 0,30-11,2
Cromo III	<2	-	-	-
Cromo VI	<10	-	-	-
Cromo total	-	15,0 9,36-20,4	14,0 9,85-20,6	24,4 5,74-47,2