

5.1.4 Qualidade da água marinha

Para caracterização das condições ambientais da área de influência do FPSO P-50 foram utilizados dados obtidos na Bacia de Campos, onde atividades de exploração e produção de óleo e gás vêm sendo desenvolvidas em diversos campos petrolíferos.

De forma geral, as variáveis que caracterizam a qualidade da água marinha na região de Albacora Leste são fortemente influenciadas pela interação da AT (Água Tropical - Corrente do Brasil) com a ACAS (Água Central do Atlântico Sul - Corrente das Malvinas), principais massas d'água que regem o sistema hidrológico local.

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, região diretamente influenciada pela interação entre AT e ACAS (Quadro 5.1.4-a).

Quadro 5.1.4-a. Valores máximos e mínimos de ocorrências de algumas variáveis físicas e químicas na costa brasileira.

ESTAÇÃO / PROF (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 (mg/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 (μM)	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 (μM)	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 (μM)	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 (μM)	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).

O estudo de monitoramento ambiental das plataformas de produção dos campos de Pargo e Pampo, realizado durante o verão e o inverno de 1998, também evidenciou as diferenças na qualidade das águas da AT e da ACAS (PETROBRAS/CENPES, 2001). Estas plataformas de produção estão situadas a aproximadamente 60km da costa, a 100m de profundidade, e alinhadas na direção NE-SO, no sentido preferencial da corrente do Brasil (Figura 5.1.4-a).



Figura 5.1.4-a. Localização dos campos de Pampo e Pargo (Bacia de Campos – RJ).
Fonte: PETROBRAS/CENPES (2001).

Na campanha de inverno/1998, os resultados obtidos para oxigênio dissolvido, pH, fosfato, fósforo total, nitrito e nitrato nas profundidades de 0, 50 e 100 metros foram similares aos registrados por Niencheski *et al.* (1999) para a costa brasileira. No entanto, durante o verão/1998 foram detectados níveis de nitrato superiores na camada superficial de Pampo e Pargo (média: $2,15 \mu\text{M} \pm 0,52$ e $2,68 \mu\text{M} \pm 0,37$, respectivamente) e, principalmente, aos 50 metros de profundidade em Pargo (média: $4,41 \mu\text{M} \pm 1,46$).

Foram realizadas ainda medições das variáveis amônia, silicato, clorofila *a*, Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's) e metais pesados na área das

plataformas de Pampo e Pargo, nas profundidades de superfície (0 m), meio (50 m) e fundo (100 m), conforme apresenta o Quadro 5.1.4-b a seguir.

Quadro 5.1.4-b. Valores máximos e mínimos de ocorrências de algumas variáveis químicas na região das plataformas de Pampo e Pargo (Bacia de Campos – RJ).

ESTAÇÃO / PROF (m)		VERÃO			INVERNO		
		0	50	100	0	50	100
Amônia (μM)	Max	0,25	0,93	1,01	0,21	0,96	0,31
	Min	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	<0,03
Silicato (μM)	Max	9,04	8,17	8,14	7,35	9,75	9,82
	Min	2,20	2,65	4,43	2,58	1,88	4,00
Clorofila a ($\mu\text{g/L}$)	Max	0,73	0,49	0,20	0,79	0,89	0,70
	Min	0,02	0,18	0,01	0,14	0,29	0,05
HPA ($\mu\text{g/L}$)	Max	2,20	1,66	1,86	0,86	0,97	1,21
	Min	0,15	0,12	0,15	0,00	0,31	0,07
Bário ($\mu\text{g/L}$)	Max	-	-	-	9,50	8,50	8,80
	Min	-	-	-	6,00	6,00	6,10
Arsênio ($\mu\text{g/L}$)	Max	-	-	-	1,40	1,50	1,50
	Min	-	-	-	1,10	1,30	1,20
Vanádio ($\mu\text{g/L}$)	Max	-	-	-	2,90	4,90	2,90
	Min	-	-	-	1,70	2,20	2,00

Fonte: PETROBRAS/CENPES (2001).

Para uma melhor caracterização da qualidade da água da área de influência do empreendimento foram utilizados cinco estudos realizados em campos e/ou regiões com características similares (profundidade: 700 - 1900 metros) às encontradas no campo de Albacora Leste (profundidade: 1000 - 2000 metros):

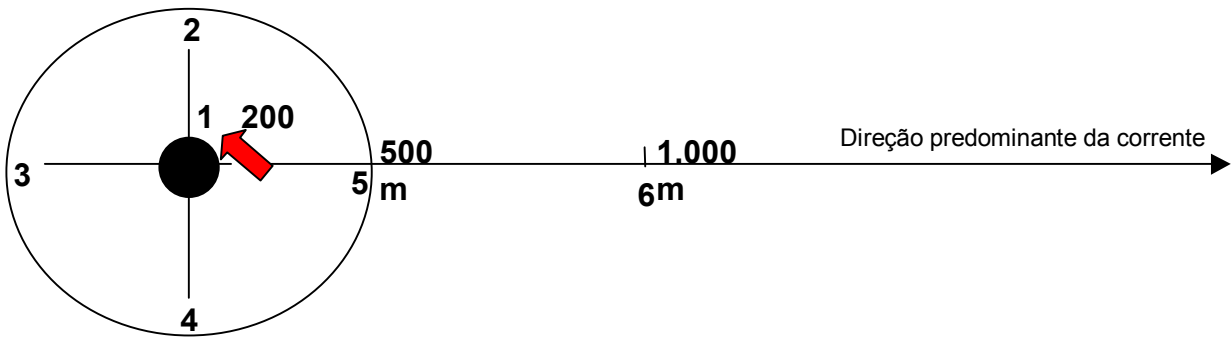
- Programa de Monitoramento Ambiental Oceânico da Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994);
- 1ª Campanha do Monitoramento Ambiental do Campo de Bijupirá – Fase de Perfuração (HABTEC, 2001);

- 1ª Campanha de Inverno para Caracterização Ambiental do Campo de Espadarte (PETROBRAS/CENPES, 2001a);
- Campanha de Caracterização Ambiental do Campo de Roncador (PETROBRAS/CENPES, 2001b);
- Relatório de Caracterização Ambiental dos Campos de Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2002a).

O Quadro 5.1.4-c a seguir relaciona a estratégia amostral (pontos e períodos de coleta) adotada nos quatro estudos.

Quadro 5.1.4-c. Estratégia amostral adotada nos estudos realizados na região oceânica da Bacia Campos (FUNDESPA, 1994) e campos de Bijupirá (HABTEC, 2001), Espadarte (PETROBRAS/CENPES, 2001a), Roncador (PETROBRAS/CENPES, 2001b) e Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2002a).

ESTUDOS	MALHA AMOSTRAL	PERÍODO DE COLETA
Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994)	Baseada em radiais a partir da costa, com amostragens em 83 pontos na região compreendida entre 21°30' e 23°30'S de latitude, 39°30' e 42°00'W de longitude, e 20 e 2000 metros de profundidade.	Três campanhas (inverno/1991, verão/1992 e inverno/1992).
Bijupirá (HABTEC, 2001)	Seis pontos de amostragem no entorno da plataforma de perfuração do campo de Bijupirá. Para definição da malha foi considerada a direção da corrente superficial (SW), conforme estratégia indicada na Figura 5.1.4-b.	Setembro/2001, antes do início do descarte do fluido de perfuração sintético.
Espadarte (PETROBRAS/CENPES, 2001a)	Seis estações de amostragem distribuídas em um raio de 4 km no entorno do FPSO Espadarte (lat. 22°42'30,64"S; long. 40°27'40,48"W), conforme indicado na Figura 5.1.4-c.	Setembro/2000
Roncador (PETROBRAS/CENPES, 2001b)	8 estações distribuídas nas isóbatas de 1200, 1350, 1700 e 1850 metros (estações 1, 3, 5, 7, 9, 10, 12 e 14), conforme indicado na Figura 5.1.4-d.	Primavera/2001
Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2002a)	Quatorze estações ao longo dos campos de Barracuda e Caratinga (lat. 22°30' e 22°45'S; long. 40°10' e 40°20'W), localizadas sobre as isóbatas de 700, 900, 1100 e 1200 metros (Figura 5.1.4-e).	Outono/2002 (14 a 21 de maio)



Fonte: HABTEC, 2001

Figura 5.1.4-b. Malha amostral adotada para coleta de água na 1ª Campanha de Bijupirá, fase de perfuração (Setembro/2001).

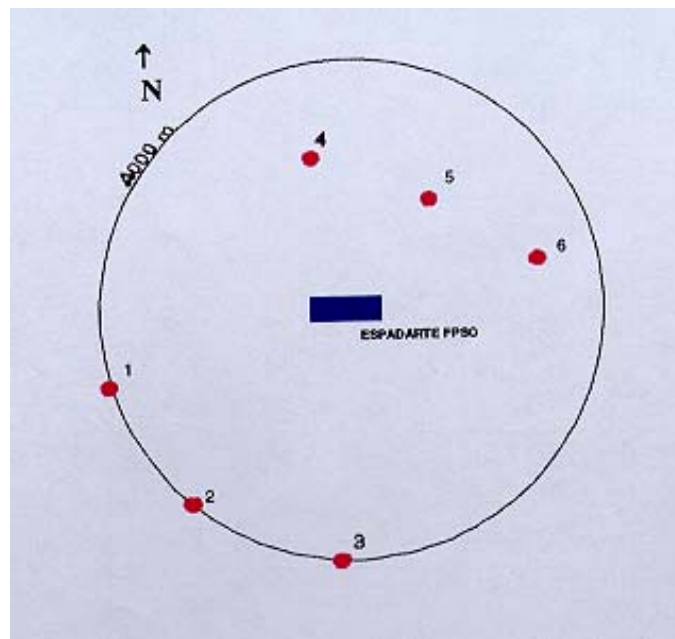


Figura 5.1.4-c. Malha esquemática para as coletas realizadas no campo de Espadarte (Setembro/2000). Fonte: PETROBRAS/CENPES (2001a).

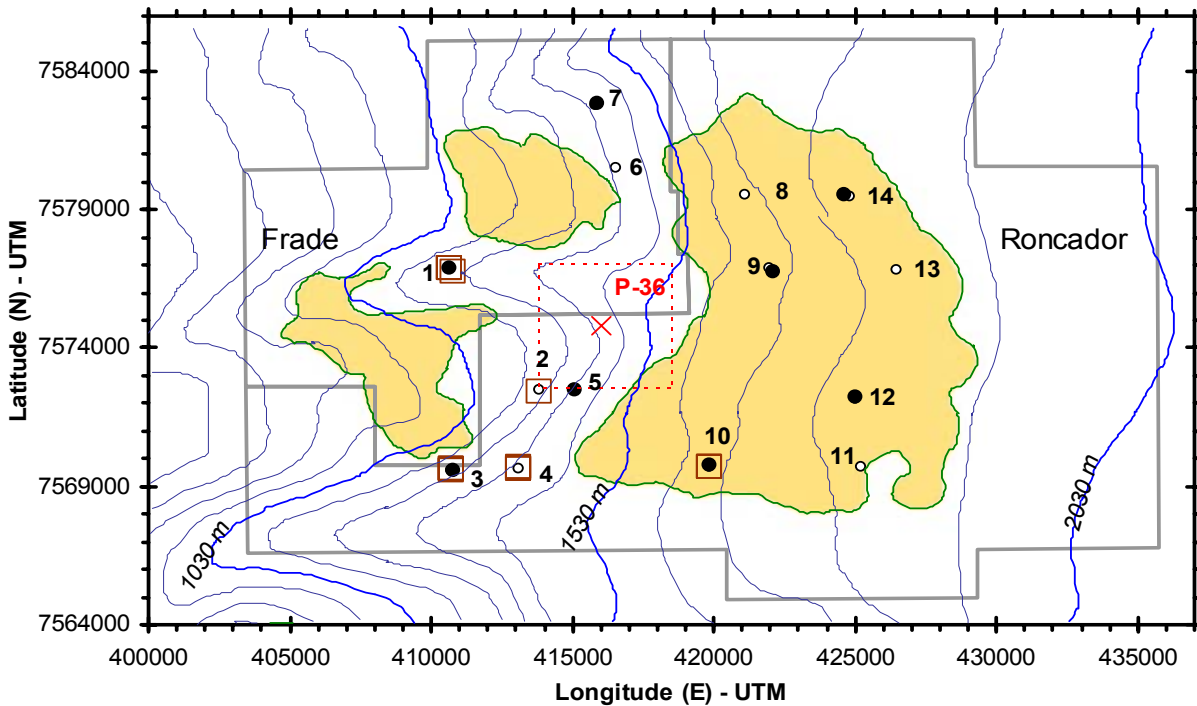


Figura 5.1.4-d. Malha amostral adotada para coleta de água no campo de Roncador (Primavera/2001). Fonte: PETROBRAS/CENPES (2001b).

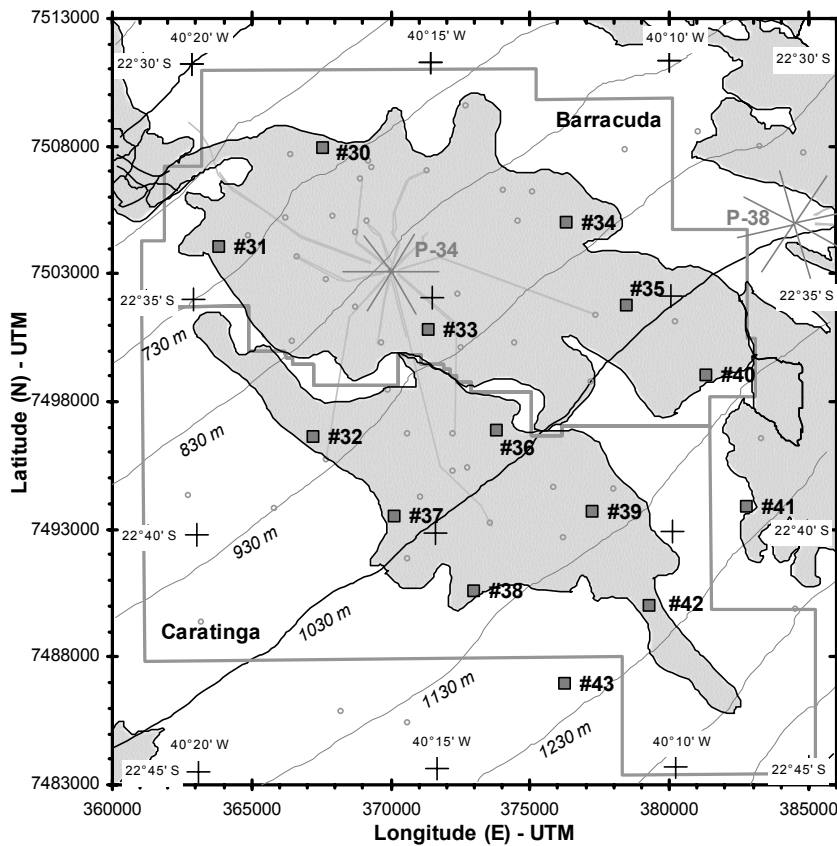


Figura 5.1.4-e. Malha amostral adotada para coleta de água nos campos de Barracuda e Caratinga (Maio/2002). Fonte: PETROBRAS/CENPES (2002a).

Foram utilizados ainda dados primários levantados pelo CENPES (PETROBRAS) para a área do campo de Albacora Leste durante campanha realizada em maio de 2002. A coleta de água foi feita em seis estações de coleta (estações 18, 20, 21, 23, 24 e 26) distribuídas nas isóbatas de 1200, 1350 e 1700 metros (2 estações por isóbata), conforme indicado na Figura 5.1.4-f a seguir. Nas estações onde houve coleta de água, bem como nas demais estações plotadas na Figura 5.1.4-f, foi realizada coleta de sedimento (resultados a serem descritos no item 5.1.5).

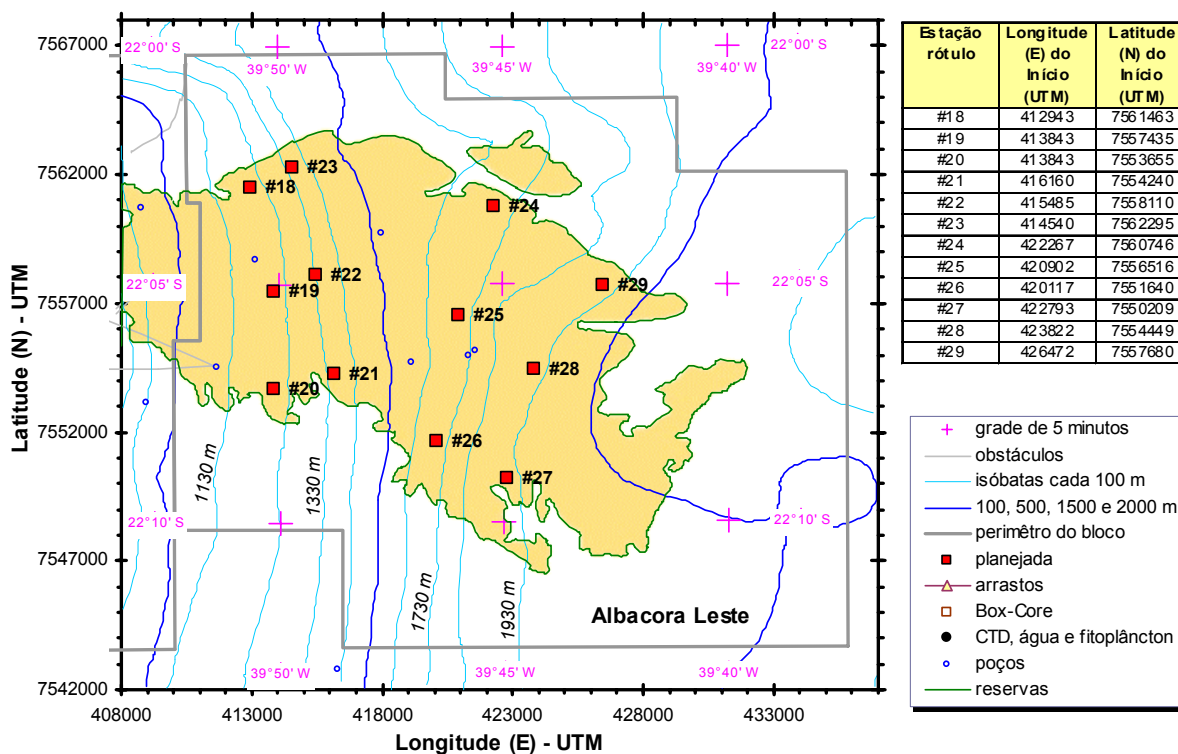


Figura 5.1.4-f. Malha amostral adotada para coleta de água no campo de Albacora Leste (Maio/2002). Fonte: PETROBRAS/CENPES (2002b).

A coleta de água foi realizada em 11 profundidades (superfície, termoclina, 200 metros e acima e abaixo da termoclina, 400, 600, 800, 1200 e 1600 metros) utilizando-se garrafa de Niskin de 10L. Foram analisadas as seguintes variáveis: oxigênio dissolvido (pelo método de Winkler), nutrientes (fósforo, nitrogênio, e silicato), material particulado em suspensão, carbono orgânico dissolvido (COD), carbono orgânico total (COT), clorofila *a*, sulfetos e fenóis, segundo os métodos padronizados em oceanografia química. Sulfetos e fenóis foram coletados apenas em 5 profundidades (superfície, termoclina, 200 metros e acima e abaixo da termoclina).

Foi realizada ainda coleta de hidrocarbonetos nas 11 profundidades estabelecidas, através de garrafa Go-Flo. A cada estação de coleta, foi realizada a descontaminação das garrafas com n-hexano. As extrações de hidrocarbonetos foram realizadas a bordo, com funis de separação de 2L e 3L. Para cada profundidade foram coletados aproximadamente 1700 mL de água, que foram extraídos com 80 mL de diclorometano e

acondicionados na geladeira, em frascos de extrato. A metodologia de análise das variáveis caracterizadas, bem como informações pertinentes encontram-se no Quadro 5.1.4-d, a seguir.

Quadro 5.1.4-d. Metodologia de análise das variáveis medidas no campo de Albacora Leste (Maio/2002).

VARIÁVEIS	MÉTODO DE ANÁLISE	OBSERVAÇÕES
Oxigênio dissolvido	Winkler	Titulação até 10 hs após fixação
pH	Potenciômetro Digital	Calibrado com tampões de pH 7,0 e 10,0
Ortofosfato reativo	Fosfomolibídico	Amostras congeladas a bordo
Fósforo total	Fosfomobidílico	Digestão com persulfato de potássio; amostras congeladas a bordo
Amônia	Azul de indofenol	Amostras congeladas a bordo
Nitrito	Diazotação	Amostras congeladas a bordo
Nitrato	Redução em coluna de Cd-Cu e diazotação	Análise por injeção em fluxo; amostras congeladas a bordo
Silicato	Silicomobidílico	
Clorofila a	Espectrofotometria e fluorimetria	Filtração a bordo (membrana de celulose: 0,45 µm); amostras congeladas; extração em acetona 90% por 18 hs a 4 °C.
Fenóis	Fluxo contínuo e espectrofotometria de absorção molecular (EPA 8270)	Vidros com tampa revestida de teflon; amostras mantidas a 4°C até a extração em laboratório
Sulfetos	Standard Methods	Amostras mantidas a 4°C e preservadas com acetato de Zinco
Material particulado em suspensão	Gravimétrico	Filtros calcinados a 450°C, filtração de 3-4L
Carbono orgânico particulado	Combustão	Filtros mantidos previamente em ambiente ácido (HCl) por 12 hs e oxidados a 925 °C com O ₂ ultrapuro.
Carbono orgânico dissolvido	Oxidação catalítica em alta temperatura	Amostras filtradas a bordo; em laboratório, acidificadas (HCl) e purgadas com ar puro
Hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH)	Cromatografia em fase gasosa com detector de ionização por chama	Extração em funil de separação com 30 mL de diclorometano; adição de sulfato de sódio ao extrato final; concentração relativa ao padrão de mistura de hidrocarbonetos alifáticos.
Hidrocarbonetos aromáticos totais (HPA totais)	Espectrofotometria de fluorescência de ultravioleta (310 nm de excitação e 360 nm de emissão)	Extração em funil de separação com 30 mL de diclorometano; adição de sulfato de sódio ao extrato final; concentração relativa ao padrão de criseno.

Fonte: PETROBRAS/CENPES (2002b)

a. Oxigênio Dissolvido e pH

A região do campo de Albacora Leste apresentou oxigênio dissolvido (OD) entre 4,2 mg/L e 5,0 mg/L. De forma geral, as maiores concentrações foram observadas aos 800 metros de profundidade e as menores na superfície e na profundidade da termoclina (50 metros) (Figura 5.1.4-g). O pH registrado foi básico e decrescente da superfície para o fundo, com valores oscilando de 7,2 a 8,3 (Figura 5.1.4-h). Os dados obtidos para OD e pH estão de acordo com os encontrados em outros locais da Bacia de Campos.

Em Espadarte, os valores de OD e pH apresentaram pequena variabilidade espacial e temporal, estando todos os resultados (superfície, meio e fundo), dentro dos valores relatados para a região (Andrade *et al.*, 1999; Niencheski *et al.*, 1999). O OD apresentou marcada estratificação vertical, sendo os maiores valores encontrados em superfície. Por outro lado, observou-se uma grande homogeneidade na distribuição vertical do pH (valores entre 7,7 e 8,1), com os menores valores a 150m, estrutura típica de ambientes oceânicos (PETROBRAS/CENPES, 2001a).

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) para a plataforma continental brasileira e apresentados por Cupelo (2000), para a região oceânica tropical.

Nos campos de Barracuda e Caratinga, as concentrações de OD foram relativamente homogêneas (4,0 – 4,7 mg/L), sendo o menor valor registrado na profundidade da termoclina e o maior aos 800 metros (PETROBRAS/CENPES, 2002a). O pH apresentou uma certa variabilidade, com máximo registrado acima da termoclina (8,1) e mínimo aos 1000 metros (7,6).

Em Roncador, não foi observada tendência à estratificação, sendo as concentrações de OD homogêneas ao longo da coluna d'água (PETROBRAS/CENPES, 2001b). Somente nas estações mais profundas, foram encontradas maiores concentrações aos 200 metros. Neste campo, foram registradas concentrações de OD entre 3,35 mg/L e 6,07 mg/L (média de 4,63 mg/L). O pH oscila de neutro a básico (7,0 a 8,0), sendo estável até a profundidade da termoclina e decrescendo gradualmente a partir de então.

O OD 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 (Água Intermediária Antártica), os valores também são altos (4,4 mg/L), o que é característica desta massa d'água. Ao norte do paralelo de 21° S, a AIA dá lugar a uma água equatorial com baixas concentrações de OD.

Com o decréscimo das ressurgências no outono, os níveis diminuem, reduzindo também os vórtices. A primavera é marcada pela presença de núcleos com concentrações decrescentes, com um máximo em 4,7 mg/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 5,5 mg/L durante a primavera, tendendo a diminuir após a profundidade de 100m.

Em relação ao pH, a distribuição dos valores 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 dados obtidos de pH e oxigênio dissolvido durante o Programa de Monitoramento Oceânico da Bacia de Campos apresentaram-se mais elevados no inverno do que no verão, apresentando os dois parâmetros comportamento similar nas diferentes condições sazonais (FUNDESPA, 1994).

b. Carbono Orgânico

No campo de Bijupirá, a maioria dos pontos de coleta apresentou concentrações de carbono orgânico total (COT) abaixo do nível de detecção do método (1 ppm), conforme apresentado no Quadro 5.1.4-e. Os pontos 2 e 6, apresentaram, respectivamente, 2,5 ppm e 2,0 ppm nas amostras coletadas na superfície (HABTEC, 2001). No ponto 5 - 70m, foi registrada a maior concentração de COT (3,0 ppm). Estes valores são corroborados pelos dados registrados no Programa REVIZEE – Central III para a região da costa central do Brasil (0,37 mg/L a 2,5 mg/L), apresentados em Cupelo (2000).

Quadro 5.1.4-e. 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. Fonte: HABTEC (2001).

PONTOS DE COLETA	PROFUNDIDADE (m)	COT (ppm)	OD (mg/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

Fonte: HABTEC (2001).

Em Barracuda e Caratinga foram medidos os níveis de carbono orgânico particulado (COP) e dissolvido (COD). Os perfis verticais de distribuição do COP foram similares entre os campos e entre as isóbatas, sendo registrados valores mais elevados nas camadas superficiais acima da termoclina (2-6 μM), e valores menores em profundidades abaixo de 200 metros (2-3 μM) (PETROBRAS/CENPES, 2002a). Quanto ao COD, foi encontrado o mesmo padrão revelado pelo COP, ou seja, maiores concentrações logo acima da termoclina e na superfície (178 μM e 166 μM , respectivamente) e menores abaixo da termoclina (130 μM).

c. Formas Nitrogenadas

Os compostos nitrogenados são elementos importantes para o desenvolvimento fitoplanctônico. Entretanto, sua velocidade de regeneração através de reações bioquímicas é inferior à taxa de utilização por organismos fotossintéticos, o que lhe caracteriza como um fator limitante à atividade fotossintética do fitoplâncton.

O nitrito é um dos nutrientes mais bem representados no universo dos dados da Bacia de Campos. 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 $\mu\text{mol/L}$ (FUNDESPA, 1994).

O nitrato apresenta baixos valores de 0 a 100 metros no verão, nas regiões de domínio da Corrente do Brasil (áreas costeiras e oceânicas). No outono, é encontrado em maiores valores nas profundidades de 200 metros, relacionadas à posição da ACAS na coluna d'água, confirmando a relação direta com o fenômeno da ressurgência. Na primavera, as isolinhas alinham-se em ordem crescente paralelas à costa, com registro de altas concentrações nas proximidades de áreas de água ressurgida (Weber *et al.*, 1994).

Em Albacora Leste, foi observado durante o período de outono deste ano que o nitrato é a forma nitrogenada mais abundante, seguida do nitrito e amônia (Figuras 5.1.4-i e 5.1.4-j). Em todas as estações, altas concentrações de nitrato (> 10 μM) foram registradas a partir dos 600 metros de profundidade. Na superfície as concentrações de nitrato estiveram sempre abaixo de 2,5 μM . Para o nitrito e amônia, foram verificadas maiores concentrações na isóbata de 1200 metros. Na isóbata de 1700 metros, a amônia não foi detectada (< 0,05 mg/L) na maioria das profundidades coletadas.

Concentrações e padrões de distribuição similares das formas nitrogenadas foram encontrados nos campos de Roncador, Barracuda e Caratinga. Em Roncador, as concentrações de nitrato variaram de 0,21 μM a 48,55 μM , sendo as concentrações superiores a 5 μM registradas a partir dos 500 metros de profundidade (PETROBRAS/CENPES, 2001b). O nitrito oscilou do não detectável a 0,30 μM , com maiores concentrações em geral encontradas na profundidade abaixo da termoclina.

Nos campos de Barracuda e Caratinga, os resultados de nitrito tiveram variabilidade razoável (<0,02 μM a 0,21 μM). O nitrato foi o nutriente mais abundante nesta região, oscilando entre 0,27 μM e 37,76 μM (PETROBRAS/CENPES, 2002a). As estações mais profundas apresentaram as maiores médias de nitrato (média máxima: 11,99 μM) enquanto que as menores foram encontradas nas mais rasas (média máxima: 5,56 μM).

Em Espadarte foi observado o mesmo padrão encontrado em Barracuda e Caratinga, porém os valores registrados foram menores, principalmente para o nitrato. A amônia foi detectada apenas em algumas estações, o que reflete a rápida mineralização do nitrogênio na região oceânica, de forma a subsidiar a produção primária local (PETROBRAS/CENPES, 2001a). Os valores observados para o nitrito estiveram entre não detectável (< 0,02 μM) e 0,15 μM , o que está de acordo com a faixa dos valores relatados por Niencheski *et al.* (1999) e Andrade *et al.* (1999) para a região. Os maiores valores de nitrito foram registrados na superfície, representando uma exceção ao padrão típico da distribuição de nutrientes na região oceânica. Já as concentrações de nitrato seguiram um padrão típico de distribuição, com a estratificação definida pela distribuição vertical das massas d' água. Os valores estiveram entre 0,41 μM e 3,61 μM , com média de 1,01 μM na superfície e de 1,84 μM aos 150 metros.

Em todos os pontos de coleta do monitoramento ambiental de Bijupirá (superfície e termoclina) foram analisados os nutrientes nitrato e amônia, e verificadas concentrações menores que as registradas para os demais campos relatados acima. Ambos os parâmetros apresentaram concentrações abaixo do nível de detecção (< 0,01 mg/L) em todas as amostras coletadas (HABTEC, 2001). 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).

d. Formas Fosfatadas

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 (Niencheski *et al.*, 1999).

De uma forma geral, os dados obtidos na Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994; PETROBRAS, 1997), demonstraram que a dinâmica e distribuição dos nutrientes na coluna d' água são fortemente influenciadas pelo regime hidrológico e, em especial, pela presença da ACAS na camada fótica, o que gera um enriquecimento nas condições oligotróficas típicas do oceano aberto.

Em Albacora Leste, as maiores concentrações de fósforo total e ortofosfato ($> 2,0 \mu\text{M}$) foram encontradas a partir da profundidade de 800 metros, caracterizando a distribuição de nutrientes típica de regiões oceânicas (Figura 5.1.4-k). Na superfície foram registrados baixos valores (média de $0,4 \mu\text{M}$ para o fósforo total e $0,1 \mu\text{M}$ para o ortofosfato).

Os dados de fósforo total obtidos em Roncador, Barracuda e Caratinga foram próximos aos encontrados para Albacora Leste e apresentaram o mesmo padrão de variação vertical. Em Roncador, os valores médios superficiais para o fósforo total oscilaram entre $0,34 \mu\text{M}$ e $0,81 \mu\text{M}$, e o maior valor médio ($2,36 \mu\text{M}$) foi registrado aos 1000 metros de profundidade (PETROBRAS/CENPES, 2001b). Em Barracuda e Caratinga, o valor mínimo ($0,18 \mu\text{M}$) foi registrado a 20 m e o máximo ($2,43 \mu\text{M}$) a 1000 m de profundidade. As concentrações de fósforo total entre as profundidades foram significativamente diferentes ($p < 0,00001$); já entre as estações essa diferença não foi significativa (PETROBRAS/CENPES, 2002a).

Para o ortofosfato, as maiores concentrações também foram encontradas no fundo, tanto em Espadarte como em Roncador, Barracuda e Caratinga. No campo de Espadarte, a concentração média de ortofosfato para o fundo foi de $0,36 \mu\text{M}$ e para a superfície de $0,08 \mu\text{M}$ (PETROBRAS/CENPES, 2001a). Em Roncador, variou de $0,04 \mu\text{M}$ a $2,17 \mu\text{M}$, com média de $0,07 \mu\text{M}$ para a superfície e $2,02 \mu\text{M}$ aos 1000 metros (PETROBRAS/CENPES, 2001b). Em Barracuda e Caratinga, o ortofosfato oscilou entre $<0,02 \mu\text{M}$ e $2,14 \mu\text{M}$, com média de $0,67 \mu\text{M}$ (PETROBRAS/CENPES, 2002a). É importante observar que de uma forma geral, os valores de ortofosfato estão diretamente relacionados ao aporte continental, apresentando, portanto, um decréscimo com o afastamento da costa.

e. Silicato

O silicato é um elemento extremamente importante para a formação da parede celular de diatomáceas e silicoflagelados do fitoplâncton, sendo assim um nutriente essencial para o desenvolvimento desses organismos. Os valores de silicato registrados em literatura para regiões oceânicas apresentam grande faixa de variação. Niencheski *et al.* (1999) estabeleceu uma faixa de variação de não detectável a $30 \mu\text{g/L}$ em regiões oceânicas. Na região do Cabo de São Tomé foram observados valores entre não detectável e $20 \mu\text{M}$, que diminuíram de acordo com o aumento da profundidade (Andrade *et al.*, 1999).

Na Bacia de Campos, os valores de silicato registrados para os campos de Roncador, Barracuda e Caratinga encontram-se dentro da faixa de variação observada em literatura. Assim como observado para os demais nutrientes, as maiores concentrações são encontradas nas maiores profundidades (PETROBRAS/CENPES, 2001b, 2002a).

Em Albacora Leste, o padrão encontrado foi similar ao já registrado na Bacia de Campos. Em geral as maiores concentrações ($> 10 \mu\text{M}$) foram observadas a partir dos 800 metros de profundidade (Figura 5.1.4-l), com exceção da estação 21, com valor máximo na profundidade abaixo da termoclina (80 metros). Na superfície, os valores de silicato foram baixos ($< 1,5 \mu\text{M}$), com exceção da estação 21, onde foi registrado $4,1 \mu\text{M}$ de silicato.

f. Clorofila *a*

A região de Albacora Leste apresentou concentrações de clorofila *a* relativamente baixas de forma geral ($< 0,9 \mu\text{g/L}$), sendo os valores maiores (entre $1,3 \mu\text{g/L}$ e $2,4 \mu\text{g/L}$) registrados nas profundidades da termoclina (50 metros) e abaixo da termoclina (80 metros), conforme indica a Figura 5.1.4-m. As concentrações de clorofila *a* registradas nos campos de Bijupirá, Espadarte e Roncador, oscilaram numa faixa ainda menor que a encontrada em Albacora Leste. Em Barracuda e Caratinga, no entanto, foram observadas concentrações de clorofila próximas às encontradas no campo a ser instalada a P-50.

A concentração de clorofila *a* registrada na 1ª Campanha de Bijupirá esteve abaixo do limite de detecção do método de análise ($0,01 \mu\text{g/L}$), nas amostras de superfície em 2 pontos de amostragem (HABTEC, 2001). Nas demais amostras de superfície, as concentrações variaram entre $0,26 \mu\text{g/L}$ e $0,27 \mu\text{g/L}$. Nas amostras coletadas a 70 metros de profundidade (termoclina), os valores oscilaram entre $0,27 \mu\text{g/L}$ e $0,54 \mu\text{g/L}$. As concentrações de clorofila *a* na termoclina foram geralmente maiores que as de superfície (Quadro 5.1.4-f).

Quadro 5.1.4-f. Concentração de clorofila *a* e feofitina *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> ($\mu\text{g/L}$)	FEOFITINA <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)
# 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

Fonte: HABTEC (2001)

Estes valores corroboram com Cupelo (2000), que encontrou na região da costa central, valores entre $0,04 \mu\text{g/L}$ e $1,63 \mu\text{g/L}$, característicos de regiões oligotróficas, sustentadas pela produção primária regenerada. 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).

Os valores de clorofila encontrados no Programa de Monitoramento Ambiental Oceânico da Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994) também refletiram a oligotrofia das condições ambientais do oceano aberto, estando as maiores concentrações restritas às águas rasas (< 20 m), próximas à região costeira.

Em Espadarte (PETROBRAS/CENPES, 2001a), os valores de clorofila obtidos na campanha de inverno corroboraram a oligotrofia da região oceânica da Bacia de Campos. Os valores observados estiveram na faixa entre não detectável (< 0,02 µg/L) até 1,14 µg/L. Os maiores valores foram encontrados na superfície, enquanto na camada de 150 m, onde a pouca ou nenhuma disponibilidade de luz limita o crescimento das populações fitoplanctônicas, os valores foram menores ou não detectáveis.

Em Barracuda e Caratinga, foram encontrados valores de clorofila um pouco maiores que os relatados para os campos de Roncador, Espadarte e Bijupirá, estando mais próximos dos obtidos para Albacora Leste. A clorofila *a* oscilou entre < 0,02 µg/L e 2,29 µg/L e, em todas as estações, esta variável apresentou seu pico a 80 m de profundidade, não sendo mais detectável aos 200 m (PETROBRAS/CENPES, 2002a).

Quanto aos valores de feofitina *a*, foram observados em Bijupirá valores iguais ou abaixo do limite de detecção (0,01 µg/L) na maioria dos pontos amostrados, conforme apresentado no Quadro 5.1.4-e. Os demais pontos registraram valores entre 0,18 µg/L e 0,38 µg/L, sendo as concentrações de superfície menores do que na termoclina, nos pontos 1, 3 e 6 (HABTEC, 2001). Ressalta-se que os valores de feofitina representam a clorofila degradada.

g. Hidrocarbonetos

Na região de Albacora Leste, as maiores concentrações de TPH's foram encontradas nas menores profundidades, especialmente nas estações da isóbata de 1200 metros, onde foram registrados valores entre 0,79 µg/L e 5,12 µg/L de 0 a 80 metros de profundidade (Figura 5.1.4-n). Os valores médios obtidos nas demais profundidades oscilaram entre 1,1 µg/L (600 e 1600 metros) e 1,6 µg/L (400 e 800 metros).

Durante o Programa de Monitoramento Ambiental da Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994), as três campanhas realizadas (inverno-verão-inverno/1991-1992) demonstraram que a região levantada não apresentava características de águas marinhas significativamente impactadas por óleo (Quadro 5.1.4-g).

Quadro 5.1.4-g. Síntese dos resultados de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP's) nas amostras de água das 3 campanhas de monitoramento da Bacia de Campos.

CAMPANHA	Nº DE AMOSTRAS	EVIDÊNCIAS
Inverno 91	33	0,16 – 1,88 µg/L; típicas de águas não contaminadas
Verão 92	265	121 amostras > 2 µg/L; 23 > 10µg/L
Inverno 92	222	193 amostras < 2 µg/L, 26 amostras > 2 µg/L e 3 amostras > 10 µg/L

Fonte: FUNDESPA (1994).

Entretanto, nas águas da região próxima a Macaé, foram encontradas concentrações de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP's), dispersos e/ou dissolvidos, de até 26,3 µg/L na superfície e de 31,2 µg/L no fundo, segundo o Diagnóstico Ambiental Oceânico e Costeiro das Regiões Sul e Sudeste do Brasil (PETROBRAS, 1994). Este fato sugere uma contaminação gerada pelo transporte de águas costeiras contaminadas para a plataforma continental pelas chuvas de verão, já que os resultados de HTP's acima de 10 µg/L são relativos a ambientes efetivamente afetados por introdução antropogênica de hidrocarbonetos de petróleo (áreas costeiras próximas a terminais petrolíferos) (FUNDESPA, 1994).

As concentrações de HPA's em Albacora Leste, ao contrário do encontrado para os TPH's, oscilaram numa faixa mais estreita entre 0,01 µg/L e 0,32 µg/L, com média de 0,1 µg/L a 0,2 µg/L entre as profundidades de coleta (Figura 5.1.4-o). As estações 18, 21 e 24 apresentaram maiores concentrações entre a superfície e na profundidade abaixo da termoclina (80 metros), enquanto que as estações 20, 23 e 26 apresentaram padrão oposto, ou seja, maiores concentrações nas profundidades acima de 600 metros. Concentrações de HPA's menores que 1 µg/L foram encontradas em outros campos da bacia em questão, como Espadarte e Bijupirá.

Para caracterizar os hidrocarbonetos presentes na coluna d'água no campo de Espadarte, foram coletadas amostras de água com garrafas de 1,0 L em superfície e extraídos os valores de HPA's totais (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos) em equivalentes de criseno, de acordo com o método EPA – 3510/3540 através de Espectrofotometria de Fluorescência de Ultra Violeta. Os valores obtidos demonstraram que, com exceção de uma estação, a região apresenta valores inferiores a 1 µg/L (Quadro 5.1.4-h). Desta forma, os resultados de HPA's totais encontrados em Espadarte demonstram que a coluna d'água apresenta níveis típicos de regiões não impactadas por hidrocarbonetos (PETROBRAS/CENPES, 2001a).

Quadro 5.1.4-h. Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's) em amostras de água do campo de Espadarte (em µg/L).

ESTAÇÕES	HPA TOTAL EM EQUIVALENTES DE CRISENO (µg/L)
1	0,90
2	0,40
3	0,13
4	0,34
5	0,07
6	0,12
7	1,56
8	0,13
9	0,08
10	0,76
11	0,12
12	0,49

Fonte: PETROBRAS/CENPES (2001).

Na 1ª Campanha de Bijupirá, foram determinados os 16 HPA's prioritários listados pela agência americana de proteção ambiental (U.S.EPA, protocolo 8270), 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 HPA's individuais de forma inequívoca (HABTEC, 2001).

Segundo os resultados obtidos, apenas o naftaleno apresentou concentrações acima do limite de detecção do método usado, que é de 0,03 µg/L (Quadro 5.1.4-i). As concentrações de naftaleno nas amostras de superfície (10m) foram de 0,05 ± 0,01 µg/L. Nas amostras da termoclina, o naftaleno foi encontrado apenas em duas amostras (# 2 e 3), na concentração de 0,05 µg/L.

Quadro 5.1.4-i. 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.

VARIÁVEIS 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.
 Fonte: HABTEC (2001).

Não existem informações disponíveis sobre a concentração de HPA's individuais para águas brasileiras, medidos por CG/EM, o que dificulta a correta avaliação dos resultados encontrados. Os dados existentes sobre HPA's 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 µg/L e 1,88 µg/L (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 Bijupirá pela técnica de CG/EM.

Para comparação com os dados de Bijupirá, podem ser citados os níveis de HPA's (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 µg/L e 0,030 µg/L) (Laws, 1997 e NRC, 1995), embora possam chegar a 0,045 µg/L (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 e às variáveis ambientais, como o teor de material particulado em suspensão, que podem interferir nos resultados devido à tendência dos HPA's estarem associados à fase sólida.

Nas áreas próximas às plataformas de produção, com o lançamento de água de produção, as concentrações de naftaleno, fenantreno e dibenzotiofeno variam entre 0,3 µg/L e 0,8 µg/L em função da distância do ponto de lançamento (Patin, 1999), sendo muitas vezes utilizados para monitorar o descarte do efluente.

Nas amostras coletadas em Bijupirá, o único HPA detectado foi 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 HPA's para a água é através da combustão e transporte atmosférico. Neste caso, os naftalenos não seriam componentes principais (NRC, 1985), o que elimina a origem pirolítica de hidrocarbonetos 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 seja atividades de perfuração, ressaltando que a plataforma de perfuração Ocean Yorktown ainda não estava lançando cascalho ao mar. Também não é possível correlacionar sua presença com as atividades de produção anteriormente desenvolvidas em Bijupirá 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 HPA's em águas salinas, pode-se considerar a concentração de 1,2 µg/L como a máxima de naftaleno em água (acima das quais efeitos biológicos adversos são observados), conforme citado por Kalf *et al.* (1997). Este valor é duas ordens de grandeza superior aos encontrados em Bijupirá.

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

Como pode ser observado no Quadro 5.1.4-i, não foi constatada a presença de óleos e graxas nas amostras de água na 1ª Campanha de Bijupirá. Esta informação é bastante relevante, uma vez que indica as condições ambientais de *background* para Bijupirá, região onde já foram realizadas atividades de produção.

g. Fenóis

Os fenóis são compostos derivados dos hidrocarbonetos aromáticos, pela substituição de um ou mais átomos de hidrogênio por hidroxilas (OH). Geralmente não ocorrem naturalmente nos corpos de água, podendo ser introduzidos no ambiente marinho de diferentes formas, estando muitas vezes associados a produtos químicos utilizados em atividades de produção, bem como em resíduos oriundos de refinarias.

Na região de Albacora Leste, as concentrações de fenóis foram relativamente baixas, sendo não detectável na maioria das estações (Quadro 5.1.4-j). O máximo valor foi registrado aos 200 metros da estação 18, localizada na isóbata de 1200 metros. Valores intermediários foram encontrados nas profundidades acima, abaixo e na termoclina (entre 0,05 µg/L e 0,13 µg/L).

Azevedo (1993 *apud* CEPEMAR, 2001), levantou a concentração de fenóis presentes em águas rasas superficiais e de fundo na região costeira de Cabiúnas, Bacia de Campos, entre as latitudes 22°00' S e 22°30' S e as longitudes 42°00' W e 41°30' W, tendo identificado uma pequena variação entre os valores obtidos. Os valores registrados na superfície (média dos valores = 0,00304 mg/L) apresentaram maior homogeneidade em relação aos obtidos nas estações de fundo (média dos valores = 0,00297 mg/L). Todos os valores encontrados, com exceção de um ponto amostrado, estavam acima do máximo permitido pela Resolução CONAMA 020/86 (0,001 mg/L), para águas salinas de classe 5, águas costeiras.

Quadro 5.1.4-j. Concentrações de fenóis registradas no campo de Albacora Leste (Maio/2002).

ESTAÇÕES	PROFUNDIDADES	CONCENTRAÇÃO DE FENOL (µg/L)
18	Superfície (1m)	N.D.
	Acima da termoclina (25m)	0,13
	Termoclina (50m)	N.D.
	Abaixo da termoclina (75m)	0,09
	200 metros	0,41
20	Superfície (1m)	N.D.
	Acima da termoclina (20m)	0,10
	Termoclina (50m)	N.D.
	Abaixo da termoclina (80m)	N.D.
	200 metros	N.D.
21	Superfície (1m)	N.D.
	Acima da termoclina (30m)	N.D.
	Termoclina (60m)	0,11
	Abaixo da termoclina (90m)	N.D.
	200 metros	N.D.
23	Superfície (1m)	N.D.
	200 metros	N.D.
24	Superfície (1m)	0,07
	Termoclina (60m)	N.D.
	200 metros	N.D.
26	Superfície (1m)	N.D.
	Termoclina (50m)	0,05
	200 metros	N.D.

Legenda: N.D. = não detectável

Fonte: PETROBRAS/CENPES (2002b)

h. Sulfetos

A região de Albacora Leste foi caracterizada por baixas concentrações de sulfetos, inferiores ao limite de detecção do método (0,2 mg/L) em todas as estações amostradas.

Em regiões costeiras da Bacia de Campos, como a região do emissário da ETE Cabiúnas (PETROBRAS/CENPES, 2002c) e dos campos de Pampo e Pargo (PETROBRAS/CENPES, 2001c), durante o verão e inverno de 1998, também foram registradas baixas concentrações de sulfeto (< 0,002 mg/L), encontrando-se dentro do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 20.

Estudos pré-teritos realizados pelo Projeto Cabiúnas na região costeira de Cabiúnas encontraram concentrações de sulfetos totais variando entre 0,00113 mg/L e 0,00126 mg/L (CEPEMAR, 2001).

5.1.5 Qualidade do sedimento

Para caracterização da qualidade do sedimento da área de influência da atividade de produção de Albacora Leste, serão relatados os dados obtidos a partir dos mesmos estudos utilizados para a caracterização da qualidade da água (item 5.1.4). São eles:

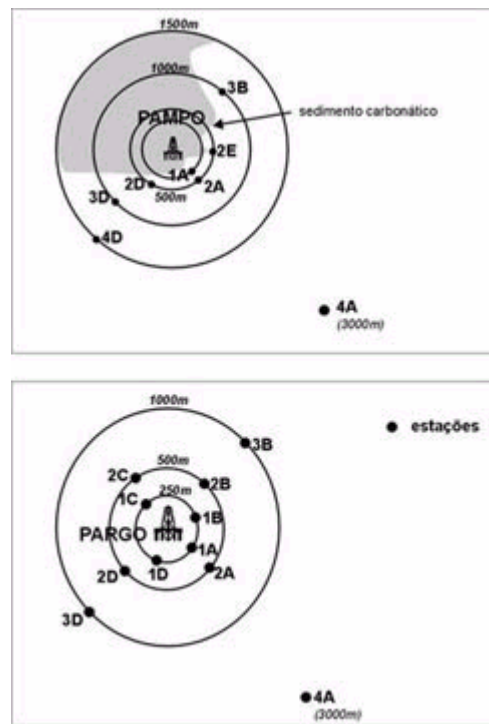
- Programa de Monitoramento Ambiental Oceânico da Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994);
- 1ª Campanha do Monitoramento Ambiental do Campo de Bijupirá – Fase de Perfuração (HABTEC, 2001);
- 1ª Campanha de Inverno para Caracterização Ambiental do Campo de Espadarte (PETROBRAS/CENPES, 2001a);
- Campanha de Caracterização Ambiental do Campo de Roncador (PETROBRAS/CENPES, 2001b);
- Monitoramento da Atividade de Produção de Petróleo da Bacia de Campos (PETROBRAS/CENPES, 2001c);
- Relatório de Caracterização Ambiental dos Campos de Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2002a).

Com exceção do estudo realizado no entorno das plataformas de produção dos campos de Pampo e Pargo (PETROBRAS/CENPES, 2001c), todos os demais são a respeito de regiões com características similares (profundidade: 700 - 1200 metros) às encontradas no campo de Albacora Leste (profundidade: 1000 - 2000 metros). As plataformas de Pampo e Pargo situam-se em lâmina d'água de aproximadamente 100 metros de profundidade.

Destacam-se algumas distinções nas malhas amostrais adotadas nestes estudos para a coleta de sedimento em comparação às coletas de água. Os principais detalhes a respeito das estratégias amostrais encontram-se relacionados no Quadro 5.1.5-a a seguir.

Quadro 5.1.5-a. Estratégia amostral adotada nos estudos realizados na região oceânica da Bacia Campos (FUNDESPA, 1994) e campos de Bijupirá (HABTEC, 2001), Espadarte (PETROBRAS/CENPES, 2001a), Roncador (PETROBRAS/CENPES, 2001b), Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2002a) e Pampo e Pargo (PETROBRAS/CENPES, 2001c).

ESTUDOS	MALHA AMOSTRAL	PERÍODO DE COLETA
Pampo e Pargo (PETROBRAS/CENPES, 2001c)	Estações ao redor das plataformas de Pampo e Pargo distribuídas em círculo concêntricos às plataformas, além de uma estação controle, localizada a 3000m das plataformas (Figura 5.1.5-a).	Verão e Inverno/1998
Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994)	Baseada em radiais a partir da costa, com amostragens em 57 pontos na região compreendida entre 21°30' e 23°30'S de latitude, 39°30' e 42°00'W de longitude, e 20 e 200 metros de profundidade.	Duas campanhas (inverno/1991 e verão/1992).
Bijupirá (HABTEC, 2001)	Oito pontos de amostragem no entorno da plataforma de perfuração do campo de Bijupirá. Para definição da malha foi considerada a direção da corrente superficial (SW), bem como os resultados de modelagem de dispersão de cascalho e as etapas da perfuração (Figura 5.1.5-b).	Setembro/2001, antes do início do descarte do fluido de perfuração sintético.
Espadarte (PETROBRAS/CENPES, 2001a)	Seis estações distribuídas em um raio de 4 km no entorno do FPSO Espadarte, como na campanha de água (Figura 5.1.4-c).	Setembro/2000
Roncador (PETROBRAS/CENPES, 2001b)	14 estações distribuídas nas isóbatas de 1200, 1350, 1700 e 1850 metros, conforme indicado na Figura 5.1.4-d.	Primavera/2001
Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2002a)	Onze estações ao longo dos campos de Barracuda e Caratinga (lat. 22°30' e 22°45'S; long. 40°10' e 40°20'W), localizadas sobre as isóbatas de 900, 1000, 1100 e 1200 metros.	Outono/2002 (14 a 21 de maio)



Fonte: PETROBRAS/CENPES (2001)

Figura 5.1.5-a. Posicionamento das estações de coleta de sedimentos no entorno das Plataformas de Pampo e Pargo.

Para a 1ª Campanha do Monitoramento Ambiental do Campo de Bijupirá – Fase de Perfuração (HABTEC, 2001), durante as coletas foram adotados alguns procedimentos operacionais a fim de evitar o risco de alteração e/ou contaminação das amostras coletadas para os parâmetros físicos e químicos. Foi realizada coleta prioritária das amostras para análises de metais e hidrocarbonetos e durante as coletas foi tomado o cuidado de se amostrar a camada superficial do sedimento, uma vez que as concentrações de possíveis contaminantes geralmente são maiores na superfície do sedimento (0-5 cm) do que nas camadas mais profundas (5-8 cm), conforme sugerido pela EPA (2000) e Neff *et al.* (2000).

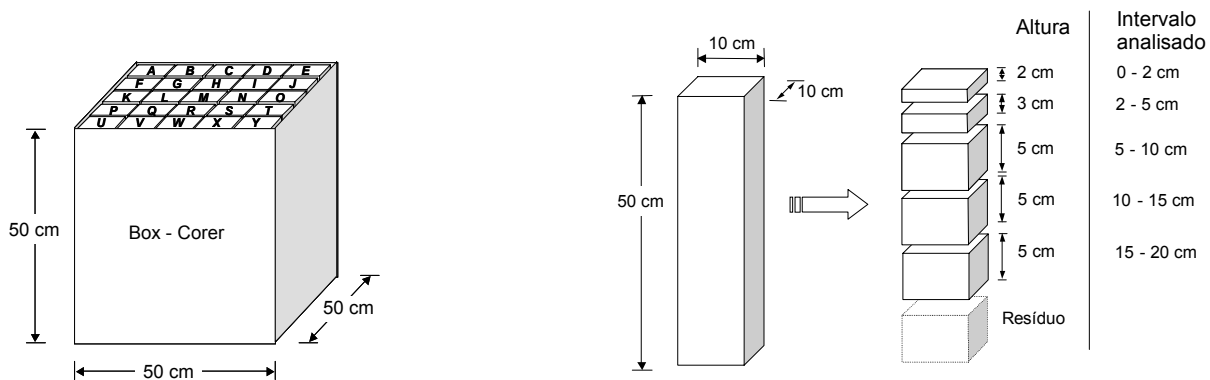
Quadro 5.1.5-b. Estações realizadas para coleta de sedimento na 1ª Campanha de Bijupirá – fase de perfuração. Fonte: HABTEC (2001).

PONTO	LATITUDE (S)	LONGITUDE (W)
1	22°39'43,12"	040°24'38,97"
2	22°39'43,64"	040°24'42,45"
3	22°39'44,72"	040°24'49,36"
4	22°39'46,32"	040°24'59,71"
5	22°39'50,07"	040°25'23,89"
6	22°39'31,37"	040°23'22,97"
7	22°39'50,06"	040°24'41,29"
8	22°39'37,23"	040°24'43,57"

Foram utilizados ainda dados primários levantados pelo CENPES (PETROBRAS) para a área do campo de Albacora Leste durante campanha realizada em maio de 2002. A coleta de água foi feita em doze estações de coleta distribuídas nas isóbatas de 1200, 1350, 1700 e 1900 metros (3 estações por isóbata), conforme indicado na Figura 5.1.4-f (item 5.1.4 – Qualidade da Água).

Amostras de sedimentos foram coletadas com um Box-core da Ocean Instruments, do tipo USNEL SPADE CORER modificada para coleta de 0,25 m² de sedimento subdividida em 25 testemunhos. Essas amostras foram coletadas para a determinação dos seguintes compostos e elementos químicos: carbono, nitrogênio e fósforo; mercúrio; matéria orgânica; carbonatos, metais pesados, HPA's e n-alcanos e granulometria.

As amostras de HPA's foram as primeiras a serem retiradas do Box core. Uma amostragem estratificada (nos mesmos estratos definidos para a fauna bentônica) foi feita em cada Box corer (Figura 5.1.5-c). Para esta coleta, utilizou-se luva cirúrgica para evitar contato da pele com a amostra, sendo que a coleta foi feita com uma colher de metal. O material foi armazenado em vasilha de alumínio. Entre uma amostra e outra, a colher utilizada foi descontaminada com n-hexano.



Fonte: PETROBRAS/CENPES (2002b).

Figura 5.1.5-c. Metodologia de amostragem para cada Box core recolhido com sedimento e estratificação de cada testemunho do sedimento para análise posterior.

As amostras para análise de metais foram retiradas em seguida, também com estratificação, mas com colher de plástico descartável e evitando-se o contato com as margens dos testemunhos. Estas amostras foram armazenadas em plástico.

Foram retiradas, por Box core, amostras estratificadas para granulometria e carbonato (com separação da fração silte-argila), matéria orgânica, carbono, nitrogênio e fósforo total, sendo armazenadas em sacos plásticos e estocadas em freezer. A metodologia de análise das variáveis coletadas, bem como informações pertinentes encontram-se no Quadro 5.1.5-c, a seguir.

Quadro 5.1.5-c. Metodologia de análise das variáveis físicas e químicas medidas no sedimento do campo de Albacora Leste (Maio/2002).

VARIÁVEIS	MÉTODO DE ANÁLISE	OBSERVAÇÕES
Granulometria	Separação das areias, siltes e argilas por peneiras de 0,062 mm e baterias com intervalos sucessivos de 0,5 (phi)	Amostras lavadas para retirada do sal e secas em estufa a 80°C; quarteamento e adição de H ₂ O ₂ e água destilada; repouso por 24hs e lavagem com água destilada.
Carbonato total	Diferença de pesos (inicial e final) em amostra tratada com HCl	Equação: Carbonato total (%) = [(PI/PF)x100]
Matéria orgânica	Diferença de massas (inicial e final) em amostra calcinada a temperatura de 450°C / 24 hs	Equação: Morg (%) = [(PI/PF)x100]
Carbono e nitrogênio total	Combustão / Analisador Elementar	Oxidação da amostra a 925°C; coluna de redução mantida a 640°C; calibração do equipamento com padrões de acetanilida.
Fósforo total	Fosfomolibdílico	0,5g de sedimento incinerado em 1h a 240°C; adição de 5 mL de HCl; agitação, aquecimento e retirada do sobrenadante.
Metais (Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn)	ICP-AES	Sedimento peneirado e homogeneizado; adição de mistura ácida de HF:HNO ₃ a 120°C/12hs; evaporação da solução para retirada dos extratos.
Mercurio (Hg)	Diazotação	Adição de água Milli-Q e água régia (HNO ₃ +HCl); aquecimento a 60°C/5min; resfriamento com Milli-Q e permanganato de potássio; aquecimento a 60°C/15min; resfriamento e titulação com cloridrato de hidroxilamina.

Fonte: PETROBRAS/CENPES (2002b)

a. Granulometria

A região do campo de Albacora Leste apresenta sedimento composto basicamente de silte/argila (68%, estação 19, a 94 %, na estação 24), com diâmetro variando de 5 a 10 Φ, conforme indicado na Figura 5.1.5-d. Nas estações das isóbatas de 1200 e 1350 metros o percentual de areia muito fina, com diâmetro entre 3 e 4 Φ, também foi representativo (média de 23% na isóbata de 1200m e de 12% na de 1350m).

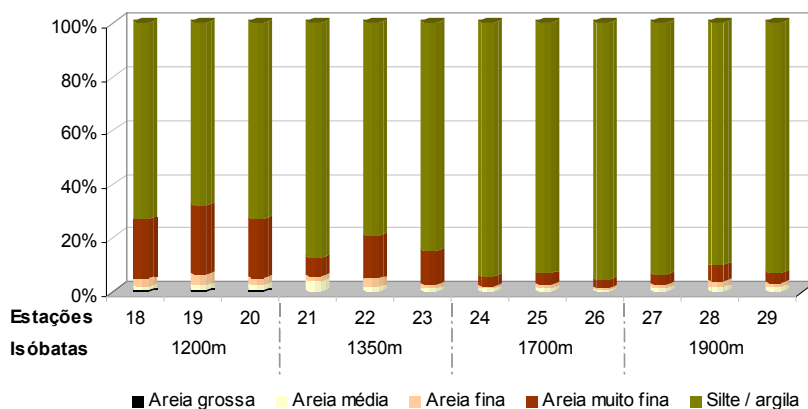


Figura 5.1.5-d. Granulometria, em %, do sedimento de doze estações no campo de Albacora Leste (Maio/2002).

Sedimentos de diâmetro homogêneo, compostos basicamente por silte/argila foram observados em outras regiões da Bacia de Campos, como nos campos de Espadarte, Bijupirá e Barracuda e Caratinga, que localizam-se em lâmina d'água similar a de Albacora Leste.

No campo de Espadarte, não foram observadas diferenças importantes no tipo de composição dos sedimentos (PETROBRAS/CENPES, 2001a). De acordo com a classificação de Shepard (1963), todas as amostras foram compostas por lamas com quantidades de areia variando entre 0,98% na estação 3 e 7,62% na estação 4. As estações 1, 2 e 3, situadas a montante da unidade, apresentaram valores percentuais de areia maiores do que as de jusante. As frações de argila apresentaram resultados entre 49,3% na estação 4 e 58,4% na estação 1. Os sedimentos a montante eram pobremente selecionados, enquanto que a jusante os sedimentos encontrados foram muito pobremente selecionados, sugerindo a existência de um gradiente ambiental que engloba diferenças nas profundidades dos dois conjuntos de estações e podem explicar a presença de maiores porcentagens de areias nas estações mais rasas.

Em Bijupirá, o diâmetro médio do sedimento das estações monitoradas durante a 1ª campanha variou entre 6,7 ϕ (Ponto 8) e 7,1 ϕ (Ponto 6) (HABTEC, 2001). Estes valores correspondem a sedimentos bastante finos compostos por silte e argila (Figura 5.1.5-e). 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.

O campo de Roncador apresenta sedimentos bastante uniformes composto em sua maioria por silte/argila (82% a 91%), seguida pelas frações areia fina (6% a 16%) e areia média (1,5% a 3,0%) (PETROBRAS/CENPES (2001b).

Em Barracuda e Caratinga, a participação da fração silte/argila nos sedimentos de fundo foi a mais abundante com conteúdo acima de 70% (PETROBRAS/CENPES, 2002a). Na isóbata de 1200m, a contribuição das frações arenosas (areia fina e muito fina) aumentou e conseqüentemente houve uma redução na fração de silte/argila.

Sedimentos finos e homogêneos são esperados para regiões de altas profundidades (Summerhayes & Thorpe, 1996). Este tipo de distribuição está geralmente relacionado a esta região ser uma área de deposição preferencial de sedimentos.

O sedimento de Albacora Leste foi caracterizado ainda por altos teores de carbonato (30% a 50%), indicando a presença de depósitos biogênicos provenientes de organismos com carapaças calcárias ou exoesqueletos de carbonato de cálcio (Figura 5.1.5-f). O percentual de matéria orgânica foi menos representativo, oscilando entre 9,6% e 16,5%, mas ainda acima da média encontrada para regiões oceânicas. Gage & Tyler (1996) observaram valores superiores a 0,5% para fundos localizados em regiões produtivas.

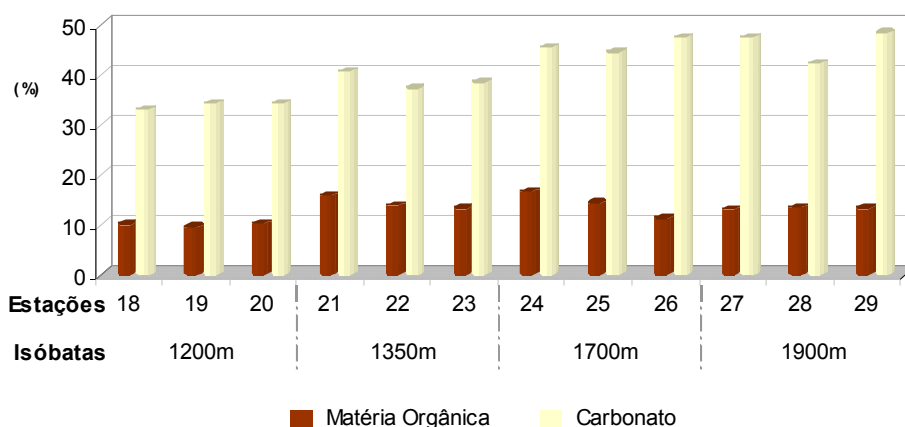


Figura 5.1.5-f. Matéria orgânica e carbonato, em %, do sedimento de doze estações no campo de Albacora Leste (Maio/2002).

No campo de Bijupirá, os teores de carbonato encontrados no sedimento foram levemente menores que os registrados para Albacora Leste, oscilando entre 28% e 32% (HABTEC, 2001). Em Barracuda e Caratinga foram observados níveis de carbonato similares ao registrado para o campo de Albacora Leste, variando de 21% a 55% (PETROBRAS/CENPES, 2002a).

Quanto à matéria orgânica, no campo de Bijupirá também foram encontrados teores menores que os observados em Albacora Leste (2-3%), conforme indicado na Figura 5.1.5-e, enquanto que os de Barracuda e Caratinga corroboram os dados obtidos para Albacora Leste (9-14%) (HABTEC, 2001; PETROBRAS/CENPES, 2002a).

Desta forma, o sedimento coletado para a Bacia de Campos nos campos de Albacora Leste, Bijupirá, Barracuda e Caratinga apresenta uma textura semelhante, caracterizado por grãos muito finos e biogênicos, e é rico em carapaças de foraminíferos, o que corrobora o apresentado pela CEPENAR (2001).

A região mais rasa foi caracterizada pelo estudo realizado nos campos de Pampo e Pargo (PETROBRAS/CENPES, 2001c). Durante este estudo, no entorno da plataforma de Pampo foi levantada uma grande área de sedimento calcário intercalado com áreas lamosas, constituídas por silte/argila. Enquanto que a região do entorno da plataforma de Pargo apresentou sedimento composto de areia muito fina, bem ou muito bem selecionadas (Figura 5.1.5-g). A porcentagem de carbonatos em Pargo foi de 20 a 30%.

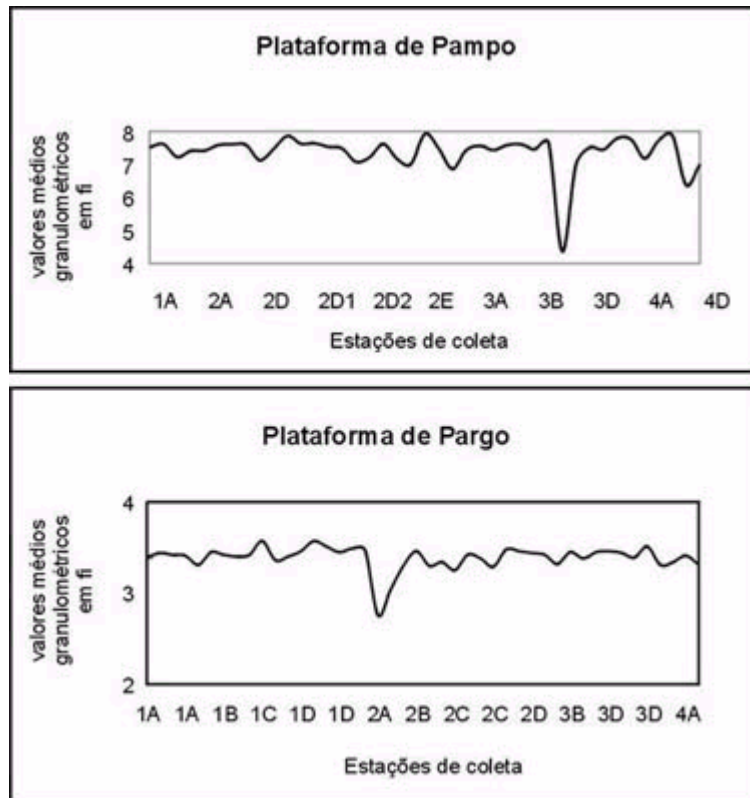


Figura 5.1.5-g. Variação dos valores médios granulométricos para todas as estações de Pampo e Pargo, para a campanha de inverno. Fonte: PETROBRAS/CENPES (2001c).

Na região levantada pelo Programa de Monitoramento Oceânico da Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994), também na plataforma continental, a maior parte das amostras analisadas consistia em areia média ou grossa e até calcários coralinos. Sedimentos com esta granulometria acumulam baixíssimos níveis de hidrocarbonetos, sejam esses biogênicos ou de petróleo.

b. Composição Elementar (carbono, nitrogênio e fósforo totais)

A região do campo de Albacora Leste apresentou altos teores de carbono total, que oscilou numa faixa entre 35,6 mg/g a 52 mg/g (Figura 5.1.5-h). A fração inorgânica foi a mais abundante, representando mais que 70% do total. Ressalta-se que o sedimento das isóbatas de 1700 e 1900 metros apresentou maiores teores tanto de carbono inorgânico como orgânico.

Mesmo padrão foi registrado para o sedimento dos campos de Roncador, Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2001a; 2002a). Os valores registrados são compatíveis com a literatura disponível para regiões tipicamente marinhas (Jennerjahn & Ittekkot, 1997 *apud* PETROBRAS/CENPES, 2001a).

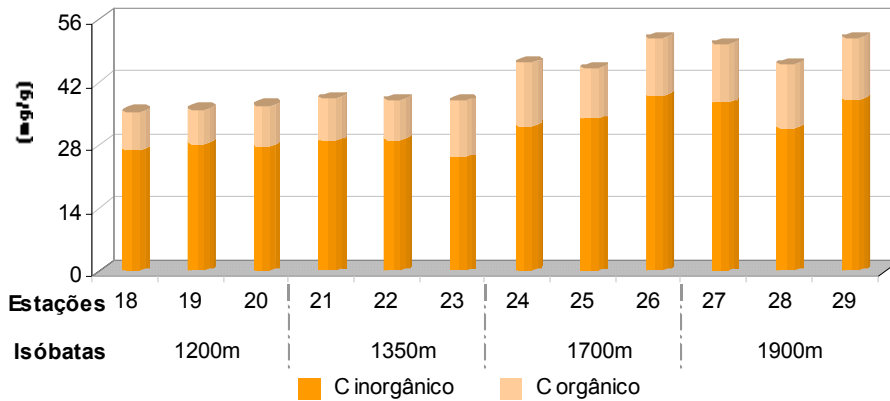


Figura 5.1.5-h. Carbono total, orgânico e inorgânico, em mg/g, do sedimento de doze estações no campo de Albacora Leste (Maio/2002).

Quanto ao nitrogênio total, foram registradas concentrações entre 1,2 mg/g e 2,4 mg/g (Figura 5.1.5-i), sendo compatível com o encontrado para os campos de Barracuda e Caratinga (1,1 mg/g a 2,9 mg/g). Assim como observado para os níveis de carbono, foi verificado um aumento nas concentrações de nitrogênio nas isóbatas mais profundas (1700 e 1900 metros).

O fósforo total foi encontrado em baixos teores no sedimento do campo de Albacora Leste, sendo menor que 0,5 mg/g na maioria das estações (Figura 5.1.5-i). As concentrações foram homogêneas entre as estações das diferentes isóbatas caracterizadas. Concentrações similares foram registradas para os campos de Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2002a).

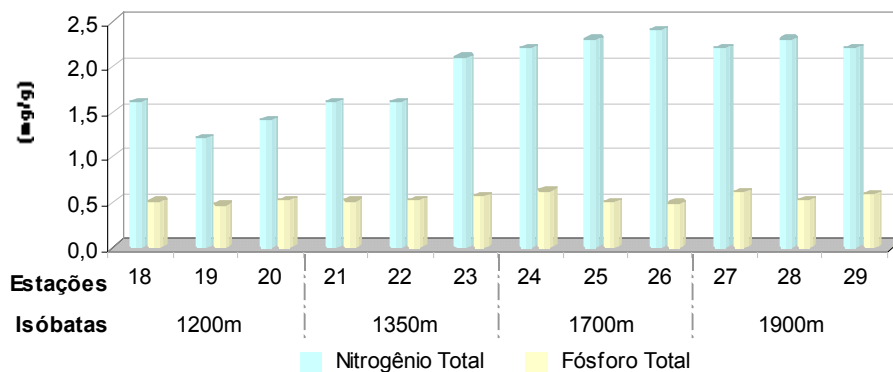


Figura 5.1.5-i. Nitrogênio e fósforo totais, em mg/g, do sedimento de doze estações no campo de Albacora Leste (Maio/2002).

c. Hidrocarbonetos

No caso da exploração de petróleo no mar, as principais fontes de contaminantes de óleo para o meio são os derrames ocasionais de óleo, drenagem de material presente nas

estruturas das plataformas, a água proveniente da atividade de produção, a lama e o cascalho que são lançados no mar durante a atividade de perfuração (PETROBRAS/CENPES, 2001).

Na região do campo de Albacora Leste, foram registrados valores de TPH's heterogêneos entre as estações, oscilando numa faixa de 1,4 µg/g a 35,7 µg/g (Figura 5.1.5-j). Foram registradas ainda concentrações de mistura complexa não resolvida (MCNR) que variaram segundo mesmo padrão encontrado para os TPH's. O máximo valor de MCNR foi registrado na estação 26 (28,2 µg/g) e o mínimo na estação 24 (9,4 µg/g).

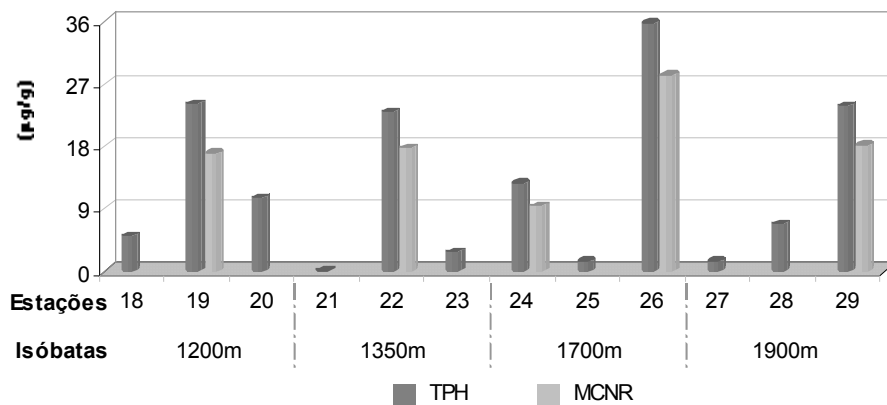


Figura 5.1.5-j. TPH's e MCNR's, em µg/g, do sedimento de doze estações no campo de Albacora Leste (Maio/2002).

As concentrações de HPA's foram relativamente baixas, oscilando de não detectável (estações 20, 21 e 23) a 0,24 µg/g (estação 22). Foram observados maiores níveis de HPA no sedimento das estações mais profundas, conforme indica a Figura 5.1.5-k a seguir.

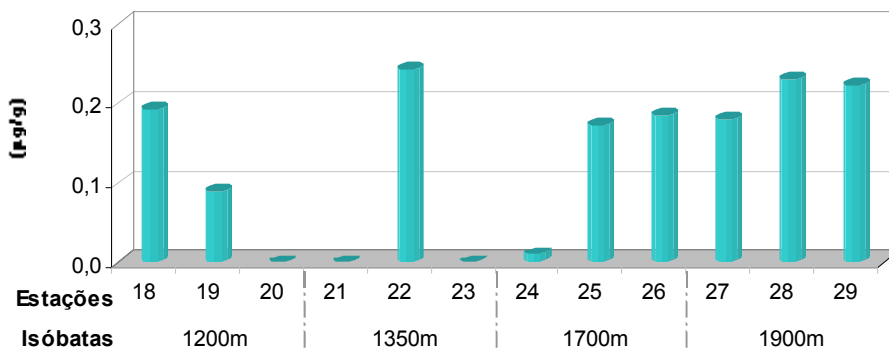
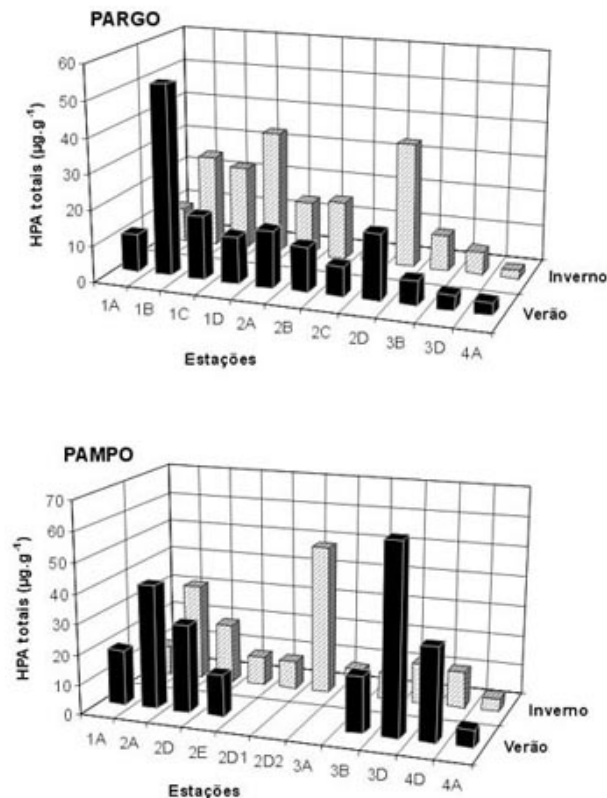


Figura 5.1.5-k. HPA's, em µg/g, do sedimento de doze estações no campo de Albacora Leste (Maio/2002).

Os resultados de HPA's totais, em equivalentes de criseno, para os extratos de sedimentos marinhos coletados no entorno das Plataformas de Pargo e Pampo (região mais rasa da Bacia de Campos, na plataforma continental), foram maiores durante a campanha de verão (3,5-53,4 mg/g e 5,6-62,2 mg/g, respectivamente) que durante o inverno (2,2-34,8 mg/g e 4,3-49,6 mg/g, respectivamente) (Figura 5.1.5-l). Em Pargo, a

máxima concentração de verão ocorreu a 250 metros de distância da plataforma (estação 1B), enquanto que em Pampo o mesmo ocorreu a cerca de 1000 metros da plataforma (estação 3D). Esta deposição em maior distância, verificada na Plataforma de Pampo, provavelmente se deve à característica do sedimento de fundo, que é, em grande parte, carbonático (PETROBRAS/CENPES, 2001c).



Fonte: PETROBRAS/CENPES (2001).

Figura 5.1.5-l. HPA total em equivalente de criseno determinados por fluorescência de UV, em sedimentos marinhos coletados em torno das Plataformas de Pargo e Pampo.

Para a 1ª Campanha de Bijupirá, as análises de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's) foram realizadas de acordo com o protocolo U.S. EPA Method 8270 por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM) em frações de hidrocarbonetos aromáticos, totalizando 16 compostos. O limite de detecção foi de 0,05 mg/kg. Para avaliar o teor de HTP no sedimento, foi utilizada a metodologia ISO CD 16703 através de cromatografia gasosa (CG), como limite de detecção de aproximadamente 1 mg/kg. As frações de hidrocarbonetos foram então divididas em 2 grupos: fração C10 a C24 e fração C25 a C40, de acordo com o número de átomos de carbono de cada hidrocarboneto. As concentrações de alcanos presentes no sedimento, na fração de C5-C12 foram avaliadas através de cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG/EM). Os limites de detecção variaram de 1 a 5 µg/kg, de acordo com o alcano analisado. O Quadro 5.1.5-d apresenta os resultados de HTP's, HPA's e MCNR para as amostras de sedimento coletadas durante a 1ª Campanha do Monitoramento Ambiental de Bijupirá, fase de perfuração.

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

PARÂMETROS ¹	PONTOS DE COLETA DE SEDIMENTO							
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
HTP (C10-C24)	nd	nd	nd	nd	nd	120	44	40
HTP (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.
 Fonte: HABTEC (2001).

De modo semelhante ao observado nas amostras de água de Bijupirá, o sedimento coletado e analisado para avaliar a presença de HPA's, registrou concentrações de naftaleno variando entre 0,05 µg/L e 0,07 µg/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. Nestas 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), 7 (44 mg/kg) e 8 (40 mg/kg) 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 até 5,49 mg/kg). 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 dos efluentes lançados durante a perfuração, portanto, não se esperaria a deposição extensiva deste cascalho no sedimento. Como comparação, foram encontradas concentrações de hidrocarbonetos totais (HTP) da ordem de 50-100 mg/kg em sedimentos de plataformas no Golfo do México (Kennicut, 1995), em águas rasas (<100m) e limitados a distância de 200m da plataforma, condições bastante diferentes de Bijupirá (800m de profundidade).

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. Estes valores estão praticamente no nível de detecção do método (0,05 mg/kg).

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

Em Espadarte, foram coletadas amostras de sedimentos em seis estações posicionadas equidistantes do navio para determinação de n-alcenos, isoprenóides, mistura complexa não resolvida (MCNR), hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA's) individuais, estando as estações 1, 2 e 3 a montante e as estações 4 e 5 a jusante do FPSO (PETROBRAS/CENPES, 2001a)

Os resultados dos hidrocarbonetos alifáticos, n-alcenos e HPA's individuais e totais encontrados em Espadarte são apresentados nos Quadros 5.1.5-e e 5.1.5-f, a seguir:

Quadro 5.1.5-e. Hidrocarbonetos Alifáticos (ng/g) e MCNR* ($\mu\text{g/g}$) nos sedimentos de Espadarte.

COMPOSTO	ESTAÇÕES					
	1	2	3	4	5	6
nC10	nd	nd	nd	nd	19,3	nd
nC11	nd	nd	10,8	nd	nd	nd
nC12	nd	nd	nd	nd	nd	nd
nC13	nd	29,8	12,5	20,9	40,6	nd
nC14	18,8	101,5	425,2	79,5	155,0	227,6
nC15	nd	32,0	171,3	22,2	45,2	91,7
nC16	nd	54,5	91,5	41,5	78,1	69,6
nC17	nd	12,8	19,9	7,8	14,1	13,8
Pristano	nd	nd	24,6	20,8	nd	nd
nC18	nd	28,3	31,8	23,9	nd	28,5
Fitano	nd	9,4	9,3	6,6	nd	11,3
nC19	44,6	32,9	9,9	23,4	35,5	12,1
nC20	nd	20,9	20,9	19,5	29,9	20,8
nC21	60,8	13,1	54,1	30,3	21,9	19,4
nC22	15,6	22,2	15,1	22,1	26,9	18,2
nC23	18,5	21,5	10,7	23,4	51,2	15,8
nC24	14,5	22,0	12,9	24,4	25,1	17,8
nC25	12,6	18,2	11,7	21,8	20,0	15,9
nC26	9,9	15,0	10,1	15,2	16,7	13,4
nC27	19,8	20,4	13,5	14,7	36,3	15,6
nC28	12,4	17,2	14,8	9,8	Nd	12,9
nC29	29,1	30,9	18,5	17,8	Nd	22,1
nC30	9,8	16,3	10,3	nd	21,5	13,7
nC31	nd	20,4	14,8	nd	nd	17,8
nC32	14,5	19,2	13,8	10,4	Nd	15,6
nC33	16,5	22,5	15,2	11,4	33,7	17,7
nC34	nd	14,7	nd	nd	nd	nd
Soma(ng/g)	297,4	595,6	1043,2	467,5	671,0	691,3
MCNR($\mu\text{g/g}$)	nd	nd	nd	nd	nd	nd

* Mistura Complexa não Resolvida
 Fonte: PETROBRAS/CENPES (2001a).

Quadro 5.1.5-f. HPA's* individuais (ng/g) para sedimentos coletados no entorno do Espadarte.

HPAs	ESTAÇÕES					
	1	2	3	4	5	6
Naftaleno	15,0	127,7	98,5	117,0	173,4	73,2
2 Metil naftaleno	nd	12,9	10,2	11,5	15,8	8,8
1 Metil naftaleno	nd	3,4	2,8	3,3	4,8	nd
C2 naftalenos	nd	1,9	nd	2,4	3,0	nd
C3 naftalenos	nd	nd	nd	2,2	2,6	nd
C4 naftalenos	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Acenafteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Acenaftileno	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Fluoreno	nd	nd	nd	nd	nd	nd
C1 fluorenos	nd	nd	nd	nd	nd	nd
C2 fluorenos	nd	1,9	1,8	1,6	1,8	1,8
C3 fluorenos	nd	nd	1,6	nd	2,6	nd
Fenantreno	1,6	3,9	3,1	2,9	3,3	2,9
C1 fenantrenos	3,0	7,9	6,4	6,1	6,8	5,7
C2 fenantrenos	2,4	5,7	4,8	4,7	5,0	4,1
C3 fenantrenos	nd	3,8	2,9	2,7	3,4	2,5
C4 fenantrenos	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Fluoranteno	2,0	4,3	3,4	2,7	2,6	2,5
Pireno	nd	3,7	nd	nd	nd	nd
C1 pirenos	nd	nd	nd	nd	nd	nd
C2 pirenos	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzo(a)antraceno	nd	2,5	nd	nd	nd	nd
Criseno	nd	nd	nd	nd	nd	nd
C1 crisenos	nd	nd	nd	nd	nd	nd
C2 crisenos	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzo(b)fluoranteno	2,6	5,9	3,7	3,0	2,7	2,3
Benzo(k)fluoranteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzo(a)pireno	nd	3,8	2,6	nd	nd	nd
Indeno(1,2,3-cd)pireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Dibenzo(a,h)antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzo(ghi)perileno	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Total 16 HPAs	21,3	151,9	111,4	125,6	182,0	80,9
Total HPAs alquilados	5,4	37,5	30,5	34,5	45,8	22,9
Total HPAs	26,7	189,3	141,9	160,1	227,8	103,9

* Técnica CG-EM
 Fonte: PETROBRAS/CENPES (2001a).

Os resultados de HPA's totais em água do mar indicam que esta região se enquadra nos níveis de regiões não impactadas (PETROBRAS/CENPES, 2001a). A soma dos n-alcenos no sedimento oscilou entre 0,297 $\mu\text{g/g}$ e 1,043 $\mu\text{g/g}$ e os teores de HPA's estiveram entre 0,026 $\mu\text{g/g}$ e 0,228 $\mu\text{g/g}$, sendo que os níveis de concentrações de hidrocarbonetos para áreas não impactadas podem variar entre 5 e 10 $\mu\text{g/g}$ nos sedimentos costeiros sem que este represente contaminação. Isto indica que os resultados obtidos em Espadarte podem ser considerados como típicos de sedimentos não contaminados por hidrocarbonetos.

Durante o Programa de Monitoramento Ambiental da Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994), foram avaliados os valores de hidrocarbonetos da fração saturada obtidos através da cromatografia gasosa de alta resolução. Durante a campanha realizada no inverno de 1991, os sedimentos apresentaram valores na faixa de não detectado ($< 0,02 \mu\text{g/g}$ para parafinas individuais) até o máximo de 2,08 $\mu\text{g/g}$. Com exceção da amostra de sedimento da estação 6, contendo 2,08 $\mu\text{g/g}$, todas as outras 55 amostras apresentaram valores abaixo de 2 $\mu\text{g/g}$ de parafinas totais. Na campanha do verão de 1992, somente 2 amostras apresentaram teores totais acima de 2 $\mu\text{g/g}$. Ressalta-se que estas amostras foram coletadas na Bacia de Campos em uma área limitada pelas latitudes 21°30' S e 23°30' S e longitudes 39°30' W e 42°00' W, que abrange uma grande porção da plataforma continental e marcada pela influência costeira.

O quadro 5.1.5-g sintetiza os dados de hidrocarbonetos alifáticos obtidos nas campanhas de inverno e verão, respectivamente, do Programa de Monitoramento Ambiental da Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994).

Quadro 5.1.5-g. Síntese dos resultados de hidrocarbonetos nas amostras de sedimento das 2 campanhas de monitoramento da Bacia de Campos.

CAMPANHA	Nº DE AMOSTRAS	EVIDÊNCIAS
Inverno 91	56	55 amostras $< 2 \mu\text{g/g}$; 1 com 2,08 $\mu\text{g/g}$
Verão 92	57	2 amostras $> 2 \mu\text{g/g}$

Fonte: FUNDESPA (1994).

d. Metais Pesados

O sedimento região de Albacora Leste apresentou concentrações de metais dentro do encontrado para a literatura da região da Bacia de Campos (Figura 5.1.5-m). O bário apresentou maiores concentrações nas estações menos profundas (isóbatas de 1200 e 1350 metros), oscilando entre 155 $\mu\text{g/g}$ e 286 $\mu\text{g/g}$, enquanto que menores concentrações (100-129 $\mu\text{g/g}$) foram registradas nas estações mais profundas (isóbatas de 1700 e 1900 metros). Padrão inverso foi verificado para o manganês que apresentou valores máximos nas isóbatas de 1700 metros (286 $\mu\text{g/g}$) e 1900 metros (355 $\mu\text{g/g}$).

O cromo e o níquel apresentaram padrão similar, com maiores concentrações registradas na isóbata de 1350 metros. Os níveis de cobre foram relativamente menores na isóbata de 1200 metros, enquanto que a variação espacial de vanádio e zinco não apresentou diferenças claras entre as isóbatas.

As concentrações de chumbo foram relativamente homogêneas, oscilando numa faixa entre 3,9 µg/g e 11,4 µg/g. O mercúrio, por sua vez, apresentou uma ampla faixa de variação espacial (5-60 µg/g). O máximo valor de mercúrio (60 µg/g), bem como de alumínio (19.402 µg/g), foi encontrado na estação 23. As concentrações de ferro oscilaram entre 3.812 µg/g e 13.985 µg/g, sendo sensivelmente maiores na isóbata de 1900 metros.

De forma geral, as concentrações de metais encontradas na região de Albacora Leste estão de acordo com o registrado para os campos de Bijupirá, Pampo e Pargo (Bacia de Campos, RJ) e a Plataforma Rasa (Estado do Rio de Janeiro). Ressalta-se que o chumbo foi encontrado em maiores concentrações em Bijupirá (Quadro 5.1.5-h).

Quadro 5.1.5-h. 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 (µg/g)	PARGO* (µg/g)	PAMPO* (µg/g)	RIO DE JANEIRO* (µg/g)
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

Na área da plataforma continental, verifica-se através do estudo das águas do entorno das plataformas de Pampo e Pargo que alguns metais apresentaram valores maiores que os descritos na literatura (PETROBRAS/CENPES, 2001c). A Plataforma de Pampo apresentou poucos valores acima dos referenciados na literatura internacional para rochas sedimentares (Sn), argilas (Ba) e arenitos (Ni, Zn e Sn), sendo que apenas o Ba foi mais elevado do que os níveis regionais descritos por Rezende *et al.* (1999). Em relação aos carbonatos, no entanto, vários elementos mostraram-se acima dos valores descritos na literatura (ex.: Al, Fe, Ba, Cr, Cu, Zn e Sn). De uma maneira geral, a Plataforma de Pargo mostrou aproximadamente o mesmo padrão descrito para Pampo, com valores acima para argila (Ba, Ag e Sn), arenito (Ni, Zn, Ag e Sn) e carbonato (Al, Fe, Ba, Cr, Zn, Ag e Sn).

Nas plataformas de Pargo e Pampo, Ovalle *et al.* (2000) observaram enriquecimento de Bário 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.

Nos sedimentos do campo de Bijupirá, os parâmetros cádmio, cromo III, cromo VI e mercúrio apresentaram-se em concentrações abaixo dos limites de detecção durante a 1ª Campanha de Monitoramento (Quadro 5.1.5-i).

Quadro 5.1.5-i. Concentração de metais-traço nas amostras de sedimento coletadas durante a 1ª Campanha de Monitoramento de 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

Fonte: HABTEC (2001).

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 mg/g e 0,04 mg/g em todos os pontos de coleta (HABTEC, 2001). O cobre foi encontrado entre as concentrações 0,006 mg/g e 0,010 mg/g, nos pontos amostrados (Quadro 5.1.5-i). 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 (Quadro 5.1.5-h).

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.

Em Espadarte, foram analisados os teores de Vanádio e Bário nos sedimentos de 6 pontos, tendo sido encontrados valores relativamente baixos (PETROBRAS/CENPES, 2001a), conforme apresentado no Quadro 5.1.5-j a seguir. A metodologia de análise baseou-se no protocolo EPA-3051.

Quadro 5.1.5-j. Resultados de Bário e Vanádio nos sedimentos de Espadarte.

PONTO	VANÁDIO (µg/g)	BÁRIO (µg/g)
Espadarte 1A	51	92
Espadarte 1B	53	79
Espadarte 2A	54	123
Espadarte 2B	56	117
Espadarte 3A	58	165
Espadarte 3B	54	155
Espadarte 4A	47	68
Espadarte 4B	50	77
Espadarte 5A	50	151
Espadarte 5B	51	182
Espadarte 6A	50	158
Espadarte 6B	49	138

Fonte: PETROBRAS/CENPES, 2001a

O regime hidrodinâmico local auxilia a rápida diluição de possíveis contaminantes, principalmente se comparado com regiões mais rasas como o Golfo do México, onde o descarte do cascalho de perfuração é uma das principais fontes de metais para o sedimento marinho (Grant & Briggs, 2002).

Em Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2002a), ao considerar os valores de concentração dos metais nos sedimentos superficiais (0 a 2 cm) comparados com a média do perfil, foi observado que nas isóbatas de 900 e 1000 m aproximadamente 40% dos resultados ficaram acima da média; e em 1100 e 1200 m a ocorrência aumentou levemente para 50%, conforme indicado no Quadro 5.1.5-k a seguir.

Quadro 5.1.5-k. Faixa de variação dos valores médios das estações de Barracuda e Caratinga por isóbata.

METAIS ISÓBATAS	Ba (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Mn (µg/g)	Ni (µg/g)	Pb (µg/g)	Sn (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Hg (µg/kg)
900 m	142-179	1,26-1,63	32,6-35,3	17,0-18,8	189-227	<0,10	9,4-10,6	19,2-61,5	39,2-50,4	25,8-32,6	27,3-44,4
1000 m	160-236	0,40-1,96	27,7-42,7	17,7-19,3	242-394	<0,10	9,7-28,6	63,5-81,7	39,3-59,2	28,0-38,4	16,3-32,5
1100 m	143-196	0,84-1,03	15,7-38,5	14,7-17,0	185-326	<0,10	8,7-9,5	54,1-62,6	43,3-45,8	26,9-33,8	38,7-45,5
1200 m	60,7-169	<0,01-1,5	9,55-30,5	13,7-18,3	146-305	<0,10	3,8-12,9	33,2-62,8	34,2-38,4	23,0-36,1	6,0-38,9

Fonte: PETROBRAS/CENPES (2002a).

Comparando os dados obtidos em Barracuda e Caratinga com os de rochas sedimentares apenas Cd e Sn foram mais elevados (Quadro 5.1.5-l). Por outro lado, ao comparar com os de carbonatos, todos elementos foram mais enriquecidos em Barracuda e Caratinga, exceto para Mn, Ni e Hg. O mesmo foi observado para a região de Albacora Leste (Figura 5.1.5-m).

Quadro 5.1.5-I. Concentração de metais pesados em sedimento superficiais (0-2 cm); Hg em $\mu\text{g}/\text{kg}$; outros em $\mu\text{g}/\text{g}$ (¹PETROBRAS, 2001c, ²Forstner & Wittmann, 1981).

Local	Ba	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sn	V	Zn	Hg
Pampo ¹	188	<0,10	14,0	6,30	73,8	7,70	6,70	41,3	17,0	28,9	36
Pargo ¹	165	<0,10	15,0	3,38	88,0	6,19	5,54	8,85	15,7	24,5	39
RS** ²	580	0,30	90,0	45,0	850	68,0	20,0	6,00	130	95,0	40
Carbonatos ²	10	0,04	11,0	4,00	1100	20,0	9,00	0,10	20,0	20,0	40
BC**	196	1,53	31,4	17,9	246	<0,1	13,8	54,6	43,0	39,3	35

*RS= Rocha Sedimentar; ** BC= Barracuda e Caratinga.

O maior enriquecimento de metais nos sedimentos superficiais de Barracuda e Caratinga, poderia estar associado a uma maior dominância da fração silte/argila nos sedimentos. No entanto, esta fração só mostrou correlação significativa com Pb e V. Este padrão de co-variação da concentração dos metais pesados com a participação dos sedimentos finos é comum e já foi reportada para Cabiúnas (PETROBRAS/CENPES, 2002c) e Pampo e Pargo (PETROBRAS/CENPES, 2001c).

Outro importante suporte geoquímico para os metais pesados é a matéria orgânica. Neste caso, vários elementos apresentaram correlações significativas (ex. Cu, Cr e Pb) com o carbono orgânico, e outras associações positivas, porém não significativas (ex. Ba, V e Zn).