

II.5.1.3 - Qualidade da água marinha

Para a caracterização das condições ambientais da área de influência da P-53 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 uma forma geral, a distribuição dos parâmetros que caracterizam a qualidade da água marinha na região de Marlim Leste é fortemente afetada 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 limite de ocorrência de concentrações de alguns nutrientes, bem como de oxigênio dissolvido (OD) e pH, na costa brasileira até 200 metros, região diretamente influenciada pela interação entre AT e ACAS (Quadro II.5.1.3-1).

Quadro II.5.1.3-1 - Valores máximos e mínimos de ocorrências de alguns parâmetros físicos e 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).

Além desses dados, foram utilizados os resultados obtidos no Programa de Monitoramento Ambiental Oceânico da Bacia de Campos, no qual foram realizadas coletas na região compreendida entre 21°30' S e 23°30' S e 39°30' W e 42°00' W (PETROBRAS, 1997; FUNDESPA, 1994). Este programa apresentou três campanhas oceanográficas sazonais, tendo sido iniciado no inverno de 1991. A malha amostral definida para a coleta de água/plâncton baseou-se em radiais a partir da costa, com amostragens entre as isóbatas de 20 e 2.000m, tendo sido avaliados diversos parâmetros físicos, químicos, físico-químicos e biológicos na água.

Ainda foram considerados os dados referentes ao Relatório de Caracterização Ambiental do Oceano Profundo na área de exploração e produção da Bacia de Campos (OCEANPROF), que apresentou os resultados de coletas realizadas nos campos de Marlim Leste e Marlim Sul. Outros dados de campo, tais como os de Monitoramento no entorno do Sistema de Produção de Marlim Sul - Plataformas P-40 e P-38, Barracuda, Caratinga e Espadarte, foram utilizados para consolidar a descrição da área do entorno da locação prevista para a P-53, já que se tratam de campos próximos ao Campo de Marlim Leste. Dados do campo de Pampo e da área de influência dos dutos PDET/AMEG também foram considerados para complementar a caracterização da Área de Influência. A Figura II.5.1.3-1 apresenta o mapa integrado, com indicação das estações de coleta dos estudos mencionados.

A campanha de Caracterização Ambiental do Oceano Profundo (OCEANPROF) foi realizada em novembro de 2002, preferencialmente sobre os campos de Marlim Sul e Marlim Leste (PETROBRAS/CENPES, 2003). Para a caracterização da hidrologia dos campos, foram realizadas 4 estações (estações 88, 89, 91 e 92) nas isóbatas de 1.355, 2.235, 1.350 e 2.435m. Em cada estação foram coletadas amostras em 4 estratos superficiais (superfície, acima da termoclina, termoclina e abaixo da termoclina) e nas profundidades de 20, 500, 900, 1.200, 1.900 e 2.300 m, de acordo com a profundidade das estações (PETROBRAS/CENPES, 2003).

Figura II.5.1.3-1 - Mapa Integrado da água (A3).

Figura II.5.1.3-1 - Mapa Integrado da água (A3).

A primeira campanha de monitoramento da atividade de produção do campo de Marlim Sul, na região da futura locação das unidades P-38 e P-40, foi realizada antes da instalação da P-40, em novembro de 2001. Esta campanha faz parte do “Programa de Monitoramento Ambiental da Área de Exploração e Produção do Campo de Marlim Sul na Bacia de Campos” e foi realizada em parceria entre a PETROBRAS/CENPES e a Fundação BIORIO/UFRJ (PETROBRAS/CENPES, 2002a). Foram realizadas coletas de água e plâncton nas estações a 100 e 500 m a jusante da plataforma e a 3.000 e 3.500 m a montante da mesma. Em cada estação foram realizadas amostragens de água nos níveis à superfície, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 200, 500, e 1.000 m (PETROBRAS/CENPES, 2002a).

A segunda campanha de monitoramento da atividade de produção no campo de Marlim Sul restringiu-se ao entorno da unidade P-40, objetivando a identificação e avaliação dos possíveis efeitos do descarte de água produzida da P-40 a baixas vazões, conforme consta no Programa de Monitoramento apresentado no EIA da atividade (PETROBRAS/HABTEC, 2002a). Vale ressaltar que no período da coleta (agosto de 2002) o descarte de água produzida ainda não havia iniciado (PETROBRAS/HABTEC, 2002a). Em todos os pontos planejados na segunda campanha foram coletados dados físicos e químicos da água e realizadas coletas de fitoplâncton, zooplâncton e ictioplâncton, de acordo com a termoclina e em profundidade até 200 m. Nos pontos P4 e P9 foi feito um maior detalhamento, com coletas extras para acompanhar o futuro deslocamento da pluma de água produzida (PETROBRAS/HABTEC, 2002a).

Durante a etapa de pré-monitoramento do Programa Ambiental da Bacia de Campos, foram feitas coletas (verão – jan/1998 e inverno – jul/1998) ao redor das plataformas de Pampo (7477900N e 319950E) e Pargo (7538400N e 362850E). O campo de Pargo está situado a noroeste do Campo de Marlim Leste (Figura II.5.1.3-1) e Pampo a sudoeste, ambos em região de talude superior (PETROBRAS, 2001).

Na Campanha de Caracterização da Área de Influência dos dutos PDET (Plano Diretor de Escoamento e Tratamento do Óleo na Bacia de Campos) / AMEG (Ampliação da Malha de Escoamento de Gás da Bacia de Campos), para caracterização da qualidade da água e das comunidades planctônicas (fitoplâncton, zooplâncton e ictioplâncton), foram selecionadas as isóbatas de

10m, 70m e 150m, totalizando 9 pontos de coleta (PETROBRAS/HABTEC, 2002b).

Os dados do campo de Espadarte são referentes à 1ª Campanha de Inverno (setembro de 2000), realizada para caracterização ambiental desse campo, que se localiza a sudoeste de Marlim Sul (PETROBRAS/CENPES, 2001), conforme apresentado na Figura II.5.1.3-1. Para caracterização ambiental dos campos de Barracuda e Caratinga foi realizada uma campanha em maio de 2002, onde foram selecionadas, para as análises de água, 2 estações sobre 3 isóbatas na área (700, 900 e 1100m), correspondentes às estações 30, 31, 32, 34, 38 e 40 (PETROBRAS/CENPES, 2002b).

No monitoramento ambiental da área de influência do emissário de Cabiúnas foram realizadas amostragens antes e após sua operação, em um ponto fixo de coleta, estação 8, localizada a cerca de 3 Km de distância do emissário da ETE de Cabiúnas, na isóbata de 14 m, coordenadas 22°19'00"S e 41°35'00"W. As coletas para caracterização química e biológica, pré-operação, foram realizadas em março (verão) e julho (inverno) de 1998. Após a operação foram realizadas três campanhas para monitoramento da água do mar, sendo elas: em agosto de 1998 (com 7 estações de coleta), maio de 2000 (11 estações de coleta) e maio de 2001 (9 estações de coleta) (PETROBRAS, 2002).

No Quadro II.5.1.3-2, encontra-se resumida a metodologia de coleta, preparo e análise dos dados utilizados nas seguintes campanhas: (1) caracterização do oceano profundo (OCEANPROF) nos campos de Marlim Sul e Marlim Leste (PETROBRAS/CENPES, 2003), (2) primeira e segunda Campanhas de Monitoramento de Marlim Sul (PETROBRAS/CENPES, 2002a; PETROBRAS/HABTEC, 2002a), (3) monitoramento de Pampo e Pargo (PETROBRAS, 2001), (4) caracterização da área de influência dos dutos PDET/AMEG (PETROBRAS/HABTEC, 2002b), (5) monitoramento da ETE de Cabiúnas (PETROBRAS, 2002), (6) caracterização do campo de Espadarte (PETROBRAS/CENPES, 2001) e (7) caracterização ambiental dos campos de Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2002b).

Quadro II.5.1.3-2 - Resumo das metodologias de coleta, preparo e análise utilizadas nos estudos realizados em Cabiúnas, Pargo, Pampo, Espadarte, PDET/AMEG, Marlim Sul, Barracuda e Caratinga e Marlim Leste.

	Cabiúnas, Pargo e Pampo ^{a, b}			Espadarte ^c			PDET/AMEG ^d		
	Amostragem	Preparo	Análise	Amostragem	Preparo	Análise	Amostragem	Preparo	Análise
Carbono Orgânico Total	-	-	-	-	-	-	Garrafa Niskin	frasco de vidro refrigerado	Titulometria***
Carbono Orgânico Dissolvido	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbono Orgânico Particulado	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amônio	Garrafa Niskin	frasco polipropileno e imediatamente congeladas	Espectrofotometria**	Garrafa Niskin	frasco polipropileno e imediatamente congeladas	Espectrofotometria**	Garrafa Niskin	frasco de vidro refrigerado	Espectrofotometria***
Nitrito	Garrafa Niskin		Espectrofotometria*	Garrafa Niskin		Espectrofotometria*	Garrafa Niskin	frasco plástico refrigerado	Espectrofotometria***
Nitrato	Garrafa Niskin		Redução c/ Cd - Espectrofotometria*	Garrafa Niskin		Redução c/ Cd - Espectrofotometria*	Garrafa Niskin	frasco de vidro refrigerado	Espectrofotometria***
Ortofosfato	Garrafa Niskin		Espectrofotometria*	Garrafa Niskin		Espectrofotometria*	-	-	-
P total	Garrafa Niskin		Digestão c/ K ₂ S ₂ O ₈ - Espectrofotometria*	Garrafa Niskin		Digestão c/ K ₂ S ₂ O ₈ - Espectrofotometria*	Garrafa Niskin	frasco de vidro refrigerado	Digestão c/ K ₂ S ₂ O ₈ - Espectrofotometria***
silicato	Garrafa Niskin		Espectrofotometria*	Garrafa Niskin		Espectrofotometria*	Garrafa Niskin	frasco de vidro refrigerado	Espectrofotometria***
Fenóis	Garrafa Go-Flo	fixado e refrigerado	CG-ECD	-	-	-	Garrafa Niskin	frasco de vidro refrigerado	Espectrofotometria***
Sulfetos	Garrafa Niskin	fixado e refrigerado	HPLC	-	-	-	Garrafa Niskin	frasco de vidro refrigerado	Espectrofotometria***
OD	Garrafa Niskin	fixação com manganês e iodeto	Winkler*	Garrafa Niskin	fixação com manganês e iodeto	Winkler*	Garrafa Niskin	análise imediata	Winkler***
pH	Garrafa Niskin	análise imediata	Potenciômetro	Garrafa Niskin	análise imediata	Potenciômetro	Garrafa Niskin	análise imediata	Potenciômetro
Clorofila a	Garrafa Niskin	imediatamente filtrada	Fluorescência induzida por laser	Garrafa Niskin	imediatamente filtrada	Extração c/ acetona - Espectrofotometria**	Garrafa Niskin	imediatamente filtrada	FEEMA
MPS	-	-	-	-	-	-	Garrafa Niskin	frasco plástico refrigerado	Gravimetria***

(continua)

Quadro II.5.1.3-2 (conclusão)

	Marlim Sul ^e			Barracuda e Caratinga ^f			Marlim Leste/Marlim Sul ^g		
	Amostragem	Preparo	Análise	Amostragem	Preparo	Análise	Amostragem	Preparo	Análise
Carbono Orgânico Total	Garrafa Niskin	frasco de vidro refrigerado	Titulometria***	-	-	-	-	-	-
Carbono Orgânico Dissolvido	-	-	-	Garrafa Niskin	tubos de PVC estéreis em gelo	CHNS/O	Garrafa Niskin	tubos de PVC estéreis em gelo	CHNS/O
Carbono Orgânico Particulado	-	-	-	Garrafa Niskin		CHNS/O	Garrafa Niskin		CHNS/O
Amônia	Garrafa Niskin	frasco de vidro refrigerado	Espectrofotometria***	Garrafa Niskin	frasco polipropileno e imediatamente congeladas	Espectrofotometria**	Garrafa Niskin	frasco polipropileno e imediatamente congeladas	Espectrofotometria**
Nitrito	Garrafa Niskin	frasco plástico refrigerado	Espectrofotometria***	Garrafa Niskin		Espectrofotometria*	Garrafa Niskin		Espectrofotometria*
Nitrato	Garrafa Niskin	frasco de vidro refrigerado	Espectrofotometria***	Garrafa Niskin		Redução c/ Cd - Espectrofotometria*	Garrafa Niskin		Redução c/ Cd - Espectrofotometria*
Ortofosfato	-	-	-	Garrafa Niskin		Espectrofotometria*	Garrafa Niskin		Espectrofotometria*
P total	Garrafa Niskin	frasco de vidro refrigerado	Digestão c/ K ₂ S ₂ O ₈ - Espectrofotometria***	Garrafa Niskin		Digestão c/ K ₂ S ₂ O ₈ - Espectrofotometria*	Garrafa Niskin		Digestão c/ K ₂ S ₂ O ₈ - Espectrofotometria*
silicato	Garrafa Niskin	frasco de vidro refrigerado	Espectrofotometria***	Garrafa Niskin	Espectrofotometria*	Garrafa Niskin	Espectrofotometria*		
Fenóis	Garrafa Niskin	frasco de vidro refrigerado	Espectrofotometria***	Garrafa Niskin	refrigerado	Espectrofotometria***	Garrafa Niskin	refrigerado	Espectrofotometria***
Sulfetos	Garrafa Niskin	frasco de vidro refrigerado	Espectrofotometria***	Garrafa Niskin	refrigerado	Espectrofotometria**	Garrafa Niskin	refrigerado	Espectrofotometria**
OD	Garrafa Niskin	análise imediata	Winkler***	Garrafa Niskin	fixação com manganês e iodeto	Winkler*	Garrafa Niskin	fixação com manganês e iodeto	Winkler*
pH	Garrafa Niskin	análise imediata	Potenciômetro	Garrafa Niskin	análise imediata	potenciômetro	Garrafa Niskin	análise imediata	potenciômetro
Clorofila a	Garrafa Niskin	imediatamente filtrada	FEEMA	Garrafa Niskin	imediatamente filtrada	Extração c/ acetona - Espectrofotometria**	Garrafa Niskin	imediatamente filtrada	Extração c/ acetona - Espectrofotometria**
MPS	Garrafa Niskin	frasco plástico refrigerado	Gravimetria***	Garrafa Niskin	filtrado e armazenados em geladeira com sílica gel	Gravimetria*	Garrafa Niskin	filtrado e armazenados em geladeira com sílica gel	Gravimetria*

Legenda

* Grashoff *et al*, 1983
 ** Parsons *et al*, 1984
 *** SMWW 20th ed.

a PETROBRAS, 2001
 b PETROBRAS, 2002
 c PETROBRAS/CENPES, 2001

d PETROBRAS/HABTEC, 2002b
 e PETROBRAS/CENPES, 2002a
 f PETROBRAS/CENPES, 2002b

g PETROBRAS/CENPES, 2003

Oxigênio dissolvido e pH

O oxigênio dissolvido tem suas altas concentrações associadas às regiões de ressurgência no verão, representadas por pequenos vórtices de ocorrência do composto (Niencheski *et al.*, 1999). Na coluna d'água, na faixa de profundidade da AIA (Água Intermediária Antártica), os valores também são altos (4,40mL/L), o que é uma característica desta massa d'água (Coutis, 1996). Ao norte do paralelo de 21° S, a AIA dá lugar a uma água equatorial pobre nesta variável, 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 de 4,70 mL/L na costa do Espírito Santo (Niencheski *et al.*, 1999). Alguns estudos (Programa REVIZEE – Central III, apresentado em Cupelo, 2000 e Niencheski *et al.*, 1999) indicam valores máximos de 5,50mL/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 a 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 (Niencheski *et al.*, 1999).

Os dados de pH e oxigênio dissolvido (OD) obtidos durante o Programa de Monitoramento Oceânico da Petrobras apresentaram-se mais elevados no inverno do que no verão, com os dois parâmetros exibindo comportamento similar nas diferentes condições sazonais (FUNDESPA, 1994; PETROBRAS, 1997).

Os dados de oxigênio dissolvido obtidos em Pargo encontraram comportamento sazonal distinto do observado no Programa de Monitoramento Oceânico da Petrobras (FUNDESPA *op. cit.*), com valores no verão relativamente maiores que no inverno (PETROBRAS, 2001). Os maiores valores de OD neste estudo foram encontrados na superfície (em torno de 4,90mL/L) e os menores no fundo (~ 4,70mL/L), tendo sido observada estratificação vertical (PETROBRAS,

op. cit.). Para o pH, não foram encontradas variações sazonais, tendo sido registrada grande variabilidade nos dados da superfície. Nesta profundidade, os dados foram significativamente maiores, com decréscimo do pH no fundo (PETROBRAS, 2001).

Os valores de oxigênio coletados ao redor da plataforma de Pampo variaram entre 3,85 e 5,28mL/L, no verão e entre 4,59 e 4,84mL/L no inverno, não tendo sido observadas diferenças sazonais nem estratificação vertical (PETROBRAS, 2001). O pH, ao contrário do oxigênio, apresentou um padrão de estratificação definido, com valores maiores na superfície, com clara influência da fotossíntese (PETROBRAS, *op cit.*). Os valores de pH variaram entre 7,51 e 8,31, no verão e entre 8,10 e 8,37, no inverno.

Em Espadarte, os valores de oxigênio dissolvido e pH apresentaram pequena variabilidade espacial e temporal, com todos os resultados (superfície, meio e fundo) se apresentando dentro da faixa de variação relatada para a região (PETROBRAS/CENPES, 2001). O oxigênio dissolvido 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 7,70 e 8,10), com os menores valores a 150m, estrutura típica de ambientes oceânicos (PETROBRAS/CENPES, 2001).

Em Barracuda e Caratinga, o oxigênio dissolvido apresentou distribuição homogênea na coluna d'água, com ligeiro aumento nas profundidades de 600 e 800m. Em contraposição, os valores de pH apresentaram estratificação vertical, com os maiores valores na superfície e diminuindo com o aumento da profundidade. Os valores de OD e pH encontrados nestes campos estiveram dentro da faixa prevista na literatura (PETROBRAS/CENPES, 2002b).

Os dados de pH encontrados na Área de Influência de PDET/AMEG estiveram dentro da faixa de variação estipulada pela literatura, com distribuição homogênea, tanto em profundidade quanto entre as estações. Entretanto, os valores de OD encontrados foram superiores aos descritos na literatura, possivelmente devido ao uso do oxímetro (PETROBRAS/HABTEC, 2002b).

Os dados encontrados na Primeira Campanha de Monitoramento de P-40 apresentaram valores de oxigênio dissolvido variando entre 4,90mL/L e 6,10mL/L,

sem sinal de estratificação. Os valores obtidos estiveram de acordo com o esperado na Bacia de Campos (PETROBRAS/CENPES, 2002a).

Os valores de pH encontrados nesta campanha variaram entre 7,31 e 8,24 sendo a média 8,06. A distribuição dos valores foi bem homogênea entre todas as estações. Não foi observado qualquer padrão de estratificação entre as profundidades, e os dados estiveram dentro do limite esperado para área da Bacia de Campos (PETROBRAS/CENPES, 2002a).

Na Segunda Campanha de Monitoramento de P-40, observou-se uma diminuição da concentração de OD próximo ou na profundidade da termoclina. A concentração média encontrada foi de $5,5 \pm 0,05$ mL/L, com mínimo de 5,20 mL/L e máximo de 5,90 mL/L (PETROBRAS/HABTEC, 2002a). O valor médio de pH encontrado nesta campanha foi de $7,4 \pm 0,03$. O mínimo (7,0 – pH neutro) foi registrado na profundidade de superfície. O maior valor de pH (8,4) foi registrado a 60 m. No geral, o pH ficou em torno de 8, o que é esperado para águas marinhas (PETROBRAS/HABTEC, 2002a).

A região de Cabiúnas, próxima a costa, apresentou variação de oxigênio dissolvido de 3,42 a 5,34 mL/L, sempre no fundo, verão e inverno respectivamente (PETROBRAS, 2002). Estes limites podem indicar um aumento da degradação da matéria orgânica no fundo durante o verão (PETROBRAS, 2002). A isóbata de 10 m da área de instalação do Complexo PDET (PETROBRAS/HABTEC, 2002b) não apresentou diferença significativa entre as profundidades (superfície e fundo), mas em média, as concentrações de oxigênio dissolvido foram inferiores a Cabiúnas.

Os valores de pH na região de Cabiúnas variaram entre 7,75 e 8,11, não apresentando diferença significativa entre a superfície e o fundo (PETROBRAS, 2002). Estes valores encontram-se dentro da faixa esperada para ambientes costeiros reportada por Niencheski *et al.* (1999).

Os dados de oxigênio dissolvidos obtidos durante a campanha OCEANPROF demonstraram-se bastante homogêneos, sem um padrão de distribuição em profundidade (PETROBRAS/CENPES, 2003). A concentração máxima foi de 5,58 mL/L, encontrada na profundidade de 2.300m, enquanto a mínima, 4,38 mL/L, foi encontrada a 1.200m (PETROBRAS/CENPES, *op. cit.*). Os resultados de

oxigênio dissolvido encontram-se dentro da faixa de variação encontrada previamente para a região (PETROBRAS/CENPES, 2003).

A análise dos dados indica que o pH e o oxigênio dissolvido da área de Marlim Leste encontram-se em conformidade com o reportado na literatura.

Material Particulado em Suspensão (MPS)

A quantificação do material particulado em suspensão (MPS) presente nos oceanos é de grande importância para a melhor compreensão da dinâmica e funcionamento de tais ambientes. O MPS pode ser composto por matéria orgânica, inorgânica ou um misto das duas, constituindo assim uma superfície de contato importante para as reações físico-químicas, químicas ou biológicas. Elevadas concentrações destas partículas reduzem a transparência da água, afetando, portanto, a produtividade primária da região. Além disso, estas partículas ainda constituem uma fonte nutritiva que não deve ser negligenciada (Libes, 1992; Grasshoff *et al.*, 1983).

Apesar disso, poucos são os trabalhos que enfatizam a caracterização quantitativa de MPS na Bacia de Campos, sendo as áreas mais estudadas situadas na região norte do Estado do Rio de Janeiro e na região de ressurgência de Cabo Frio (Gonzalez-Rodriguez, 1982; e Valentin, 1983).

No trabalho realizado por FUNDESPA (1994) foi verificado que as diferenças existentes entre os dados de MPS obtidos durante o verão e o inverno na Bacia de Campos são decorrentes da influência direta do fenômeno de ressurgência (em Cabo Frio e na quebra da plataforma) e dos aportes continentais nessa região. Segundo esse autor, concentrações maiores do que 5,00mg/L foram encontradas nas áreas sob influência dessas forçantes, com picos de concentração acima de 25,00mg/L. Durante o programa REVIZEE, também foram adquiridos dados de MPS próximo à região acima citada. Andrade *et al.* (1999) observaram valores entre não detectável e 10,00mg/L na área próxima ao Cabo de São Tomé.

A concentração média de MPS na Campanha de Caracterização de Barracuda e Caratinga variou de 5,82mg/L (isóbata mais rasa – 700m) a 7,28mg/L (isóbatas de 900 e 1.100m) entre as isóbatas, com distribuição vertical

heterogênea e grande variação na camada superficial até a termoclina (PETROBRAS/CENPES, 2002b).

Os resultados obtidos durante a Campanha de Caracterização da Área de Influência dos dutos PDET/AMEG indicaram que em todas as amostras as concentrações de material particulado estiveram abaixo do limite de detecção (PETROBRAS/HABTEC, 2002b).

Na 1ª Campanha de Monitoramento de P-40, o total de sólidos em suspensão variou de 5,10mg/L a 8,13mg/L. Os valores desta variável estiveram distribuídos de forma homogênea tanto entre as profundidades quanto entre as estações (PETROBRAS/CENPES, 2002a).

Em Marlim Leste, os resultados de MPS não registraram qualquer padrão de distribuição vertical e evidenciaram uma grande variabilidade dos dados (PETROBRAS/CENPES, 2003). Segundo os autores, os resultados encontrados condizem com o já reportado para outras campanhas realizadas na região (PETROBRAS/CENPES, *op. cit.*).

Carbono Orgânico Total (COT)

Os perfis verticais de distribuição do Carbono Orgânico Particulado (COP) na coluna d'água nos campos de Barracuda e Caratinga apresentaram valores mais elevados nas camadas superficiais, acima da termoclina, e valores menores em profundidades abaixo de 200 metros, em torno de 0,02-0,08mg/L. Por sua vez, a distribuição vertical do Carbono Orgânico Dissolvido (COD) evidencia uma tendência ao incremento nas concentrações na coluna d'água acima da termoclina (50 m), em direção à superfície, atingindo valores de até 0,66mg/L e 2,22mg/L, respectivamente (PETROBRAS/CENPES, 2002b).

Embora na Campanha de Caracterização da Área de Influência dos dutos PDET/AMEG tenha sido utilizada uma metodologia diferente da usada em Barracuda e Caratinga, as concentrações obtidas de Carbono Orgânico Total (COT) foram relativamente médias e homogêneas em superfície (entre 1,20mg/L e 1,70mg/L), com gradiente decrescente em direção ao fundo (PETROBRAS/HABTEC, 2002b). É importante relatar que em alguns pontos, observou-se aumento de concentração junto ao fundo, sugerindo ressuspensão

do sedimento ou decomposição da matéria orgânica (PETROBRAS/HABTEC, 2002b).

Os dados de Carbono Orgânico Particulado (COP) na 1ª Campanha de Monitoramento de P-40 variaram de 0,76mg/L a 0,83mg/L. O perfil geral de distribuição do Carbono Orgânico Particulado (COP) ao longo da coluna d'água mostrou um padrão similar, com variações até 200 m e constante até 1000 m. Em certas estações, observou-se enriquecimento próximo ao fundo (PETROBRAS/CENPES, 2002a). A concentração média de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) ao longo da coluna d'água variou de 2,03 mg/L a 2,68 mg/L nas estações a jusante e montante da plataforma (PETROBRAS/CENPES, 2002a).

Na 2ª Campanha de Monitoramento de P-40 as concentrações de carbono orgânico total variaram de < 0,50 mg/L a 3,30 mg/L, com concentrações médias dentro da faixa estimada para costa brasileira. A distribuição vertical evidenciou picos de concentração nas profundidades acima da termoclina e na termoclina, evidenciando o caráter de barreira físicas e químicas da termoclina (PETROBRAS/HABTEC, 2002a).

A distribuição vertical do Carbono Orgânico Particulado (COP) em Marlim Leste apresentou um padrão vertical bem definido: maiores valores próximos a termoclina (próximo a 0,034 mg/L), com máximo de 0,048 mg/L na superfície; diminuição da concentração até 500 m e homogeneidade a partir desta profundidade, com valores em torno de 0,013 mg/L (PETROBRAS/CENPES, 2003). As concentrações de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) foram mais elevadas na camada acima da termoclina, com média de 1,31 mg/L. A partir de 100 m, os valores tornaram-se mais homogêneos, tornando a se elevar a 1.200 m de profundidade, onde observa-se valores próximos a 1,44 mg/L (PETROBRAS/CENPES, 2003). Esses valores elevados de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) podem estar relacionados à decomposição do material particulado refratário (PETROBRAS/CENPES, *op. cit.*).

Embora as metodologias de análise de Carbono Orgânico difiram entre os estudos, em áreas oceânicas oligotróficas, onde a presença de material particulado em suspensão é pequena, pode-se fazer referência direta entre o Carbono Orgânico Total (COT) e o Carbono Orgânico Dissolvido (COD) (PETROBRAS/HABTEC, 2002a).

As concentrações de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) na região oceânica brasileira, entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Baía de Todos os Santos, variam de 0,37 mg/L a 2,50 mg/L (Programa REVIZEE – Central III, apresentado em Cupelo, 2000). Deste modo, pode-se perceber que as concentrações encontradas em Marlim Leste e Marlim Sul encontram-se próximas à faixa de variação estimada na literatura.

Nutrientes

a) Fosfato, Ortofosfato e Fósforo Total

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

As concentrações de fosfato encontradas no Programa de Monitoramento Oceânico da Petrobras foram bastante semelhantes no verão e no inverno, estando intimamente relacionadas com a ACAS (FUNDESPA, 1994).

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).

Em Pargo, as concentrações de fósforo total não apresentaram sazonalidade, apresentando concentrações crescentes com a profundidade (PETROBRAS, 2001), o que corrobora com o encontrado na costa brasileira (Niencheski *et al.*, 1999). Os valores de fósforo total em Pampo variaram entre 0,15 e 0,73 μ M, na coleta de verão e entre 0,50 e 0,89 μ M, na de inverno, com estratificação típica de oceano profundo (PETROBRAS, *op. cit.*).

Em Cabiúnas, junto à costa, as concentrações de fósforo total apresentaram uma variação muito maior do que nas demais regiões analisadas. O fósforo total variou de ~0,25 μ M em Cabiúnas verão (superfície e fundo) a 20,22 μ M em Cabiúnas inverno (superfície) (PETROBRAS, 2002).

O mesmo padrão foi encontrado em Espadarte, com concentrações de fósforo total aumentando da superfície, com média de $0,32\mu\text{M}$, para o fundo, com média $0,71\mu\text{M}$ (PETROBRAS/CENPES, 2001).

Em Barracuda e Caratinga, o menor valor de fósforo total foi de $0,18\mu\text{M}$, registrado a 20m e o maior, $2,43\mu\text{M}$, a 1000 m de profundidade. A distribuição de fósforo total encontrada nestes campos é típica de áreas oceânicas, com maiores valores nas maiores profundidades (PETROBRAS/CENPES, 2002b).

A metodologia adotada nas análises realizadas na Caracterização da Área de Influência dos dutos PDET/AMEG difere da adotada nos trabalhos feitos em águas costeiras e oceânicas, apresentando limite de detecção acima das concentrações normalmente encontradas nessas águas (PETROBRAS/HABTEC, 2002b). No entanto, foi encontrado o mesmo padrão de aumento de concentrações de fósforo total com o aumento da profundidade, conforme o esperado para áreas oceânicas (PETROBRAS/HABTEC, 2002b).

Na 1ª Campanha de Monitoramento de P-40, valores inferiores de fósforo total foram encontrados em superfície, enquanto que nas camadas mais profundas, especialmente 500 e 1000m (médias $1,38$ e $1,97\mu\text{M}$, respectivamente), foram encontradas as maiores concentrações, apresentando um padrão estratificado típico dos nutrientes nos oceanos (PETROBRAS/CENPES, 2002a). Durante a 2ª Campanha de Monitoramento, o conteúdo de fósforo total na coluna d' água da região amostrada variou de $< 0,97\mu\text{M}$ (limite de detecção do método) a $2,26\mu\text{M}$ (PETROBRAS/HABTEC, 2002a).

Em Marlim Leste, os valores de fósforo total oscilaram entre $0,15$ e $2,14\mu\text{M}$, apresentando valores condizentes com os encontrados para a região em outros trabalhos (PETROBRAS, 2003). A distribuição vertical das concentrações de fósforo total evidenciou uma tendência de aumento até 1.000m, com leve diminuição das concentrações nas camadas mais profundas (PETROBRAS, *op. cit.*).

Os valores de fosfato encontrados em águas oligotróficas próximas ao Campo de Marlim Leste variaram entre $0,10\mu\text{M}$ e $2,05\mu\text{M}$ (Programa REVIZEE – Central III, apresentado em Cupelo, 2000). Assim, percebe-se que os valores de fósforo total reportados, tanto em Marlim Leste quanto nas áreas próximas ao campo, encontram-se dentro da faixa encontrada na literatura.

O ortofosfato encontrado em Pargo oscilou entre $< 0,02\mu\text{M}$ e $0,68\mu\text{M}$, com média de $0,27\mu\text{M}$. A distribuição vertical evidenciou um padrão de aumento das concentrações com a profundidade. Não foram encontradas variações sazonais (PETROBRAS, 2001). Em Pargo, os valores de ortofosfato variaram entre $<0,02$ e $0,58\mu\text{M}$, com padrão vertical inverso ao de fósforo total, possivelmente indicando remineralização da matéria orgânica (PETROBRAS, *op. cit.*). O ortofosfato em Cabiúnas variou de abaixo do limite de detecção ($<0,02\mu\text{M}$) em Cabiúnas verão (superfície e fundo) a $3,97\mu\text{M}$ em Cabiúnas inverno (superfície) (PETROBRAS, 2002)

Em Espadarte (PETROBRAS/CENPES, 2001), as maiores concentrações de ortofosfato foram encontradas no fundo (média de $0,36\mu\text{M}$), contrastando com as concentrações em superfície (média de $0,08\mu\text{M}$).

Em Barracuda e Caratinga não foram observadas variações espaciais significativas entre os pontos, entretanto a distribuição vertical apontou para maiores concentrações nas maiores profundidades, sendo significativa a diferença entre os estratos. As concentrações de ortofosfato variaram de $< 0,02\mu\text{M}$ a $2,14\mu\text{M}$ (PETROBRAS/CENPES, 2002b).

Em Marlim Sul, as concentrações de ortofosfato foram muito baixas nas camadas superiores da coluna d'água e aumentaram em direção às camadas mais profundas. Os valores observados para este parâmetro variaram entre $0,04\mu\text{M}$ e $2,18\mu\text{M}$ (PETROBRAS/CENPES, 2003).

Os valores de ortofosfato em Marlim Leste variaram de $<0,02\mu\text{M}$, na superfície a $2,11\mu\text{M}$, a 1.200m. O padrão vertical evidencia um aumento gradativo das concentrações, seguido de uma pequena diminuição dos valores nas camadas mais profundas (PETROBRAS, 2003).

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 (PETROBRAS/HABTEC, 2002a). Ainda, o padrão de distribuição vertical do ortofosfato em todos os trabalhos analisados apresenta um forte padrão, com menores concentrações em superfície e aumento ao longo da coluna d'água.

b) Nitrito, Nitrato e Amônia.

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 à taxa de utilização por organismos fotossintéticos, constituindo-se um fator limitante da atividade fotossintética do fitoplâncton.

O nitrito é um dos nutrientes mais bem representados no universo dos dados. No verão, nos 100 primeiros metros de profundidade, podem ser distinguidos 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 $0,30\mu\text{M}$. 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 $0,90\mu\text{M}$ (Weber *et al.*, 1994).

Durante o fenômeno de ressurgência em Cabo Frio, as concentrações de nitrito atingiram $1,50\mu\text{M}$ (Valentin, 1983), enquanto que em Arraial do Cabo, em um evento de ressurgência mais suave, a concentração de nitrito atingiu $0,56\mu\text{M}$ (Cupelo, 1997).

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.

Os valores observados em Espadarte para o nitrito estiveram entre não detectável ($< 0,02\mu\text{M}$) e $0,15\mu\text{M}$, estando na mesma faixa dos valores relatados por Niencheski *et al.* (1999) e Andrade *et al.* (1999) para a região. O nitrito pode ser uma exceção ao padrão típico da distribuição oceânica dos nutrientes, sendo os maiores valores registrados em superfície (PETROBRAS/CENPES, 2001).

Em Pargo, os menores valores de nitrito foram identificados nas camadas superficiais, ocorrendo um grande aumento nas camadas intermediárias, chegando ao triplo do valor encontrado nas demais profundidades (PETROBRAS,

2001). As concentrações de nitrito em Pampo variaram entre $<0,02$ e $0,21\mu\text{M}$, com padrão possivelmente influenciado pelo descarte de efluentes da plataforma (PETROBRAS, *op. cit.*).

Assim como o relatado em outras regiões do país, os valores de nitrito encontrados em Barracuda e Caratinga apresentaram picos de concentração na profundidade abaixo da termoclina seguido de uma brusca diminuição em direção a 200 m (PETROBRAS/CENPES, 2002b).

De um modo geral, as concentrações dos compostos nitrogenados na Área de Influência dos dutos PDET/AMEG foram muito baixas, contrariamente ao esperado para uma área próxima à costa e sob influência de aportes continentais (PETROBRAS/HABTEC, 2002b).

Em Marlim Sul, os dados da 1ª Campanha de Monitoramento indicaram que o padrão de distribuição vertical do nitrito segue o já relatado para a Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994; PETROBRAS, 1997; PETROBRAS/CENPES, 2002a; PETROBRAS/CENPES, 2003): valores bastante altos em profundidades intermediárias, sem, entretanto, apresentar sinais de estratificação (PETROBRAS/CENPES, 2002a).

Em Marlim Leste, o nitrito apresentou valores mínimo e máximo de $<0,02\mu\text{M}$ e $0,09\mu\text{M}$, respectivamente. Assim como o registrado em outros locais, as concentrações de nitrito apresentaram maiores valores em superfície, com diminuição em direção ao fundo (PETROBRAS, 2003).

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 o nitrato 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 (Weber *et al.*, 1994).

Na região de Cabo Frio e Arraial do Cabo, a ressurgência da ACAS pode ser comprovada pelo aumento das concentrações de nitrato, podendo atingir até $15,00\mu\text{M}$ em Cabo Frio (Valentin, 1983) e $4,70\mu\text{M}$ em Arraial do Cabo (Cupelo, 1997).

As concentrações de nitrato em Espadarte seguiram um padrão típico de distribuição, com a estratificação definida pela distribuição vertical das massas d'água. Os valores estiveram entre $0,41\mu\text{M}$ e $3,61\mu\text{M}$, e a média observada na superfície foi de $1,01\mu\text{M}$ enquanto a média registrada para 150 m (fundo) foi de $1,84\mu\text{M}$ (PETROBRAS/CENPES, 2001).

Os valores de nitrato em Pargo variaram de $2,18\mu\text{M}$ a $9,43\mu\text{M}$, com um padrão de estratificação vertical bem definido onde os menores valores se encontraram na superfície, crescendo com a profundidade. Não foram observadas grandes diferenças sazonais, apesar de a média dos valores no inverno ter sido menor que a média do verão (PETROBRAS, 2001). As concentrações de nitrato em Pampo oscilaram entre $1,28$ e $6,34\mu\text{M}$, com distribuição muito similar à de Pargo (PETROBRAS, *op. cit.*).

Em Barracuda e Caratinga, o nitrato foi o nutriente mais abundante, oscilando entre $0,27\mu\text{M}$ e $37,76\mu\text{M}$. Os menores valores foram detectados na camada mais superficial (entre a superfície e 90 m de profundidade) e foram aumentando progressivamente em direção ao fundo, definindo um padrão de estratificação bem marcado (PETROBRAS/CENPES, 2002b).

Na 1ª Campanha de Monitoramento de P-40 os valores de nitrato variaram entre $0,07\mu\text{M}$ e $25,3\mu\text{M}$. O padrão de distribuição do nitrato encontrado corrobora com as observações já obtidas em outros estudos na Bacia de Campos (PETROBRAS/CENPES, 2002a).

Os dados de nitrato em Marlim Leste oscilaram entre $0,40$ e $24,4\mu\text{M}$. O padrão vertical foi bastante similar ao encontrado para o ortofosfato: concentrações aumentando gradativamente até 1.000m, onde sofrem uma ligeira diminuição em camadas mais profundas (PETROBRAS, 2003).

A amônia é normalmente encontrada em baixas quantidades na região da Bacia de Campos, principalmente devido a sua rápida mineralização e consumo pelos produtores primários (FUNDESPA, 1994). A presença de amônia e nitrito em águas oceânicas pode indicar ressurgências e alta produtividade primária (Grashoff *et al.*, 1983).

De fato, Cupelo (1997) reportou concentrações de amônia entre $0,34$ e $2,76\mu\text{M}$ durante um fenômeno de ressurgência em Arraial do Cabo. Valentin

(1983) também registrou altos valores de amônia (até $1,50\mu\text{M}$) na ressurgência de Cabo Frio.

Em Espadarte, os valores de amônia foram encontrados em apenas algumas estações ($<0,06\mu\text{M}$), refletindo a rápida mineralização do nitrogênio na região oceânica, de forma a subsidiar a produção primária local (PETROBRAS/CENPES, 2001).

As concentrações de amônia encontradas em Pargo e Pampo não apresentaram padrão de distribuição vertical nem horizontal. Os valores de amônia encontrados variaram de $< 0,03\mu\text{M}$ a $1,01\mu\text{M}$ em Pargo e de $<0,03\mu\text{M}$ a $0,20\mu\text{M}$ em Pampo. Embora não tenha sido encontrada diferença significativa entre as estações, a distribuição espacial sugeriu uma influência da plataforma nas concentrações de amônia (PETROBRAS, 2001).

A região de Cabiúnas apresentou maiores concentrações de amônia ($10,16\mu\text{M}$) e nitrito ($0,96\mu\text{M}$) em Cabiúnas no inverno na superfície, o que sugere aporte continental, seja por lixiviação ou por dejetos domésticos (PETROBRAS, 2002). As maiores concentrações de nitrato foram observadas no fundo durante a campanha de verão ($10,35\mu\text{M}$), possivelmente por penetração de águas mais profundas e ricas em nitrato, enquanto durante o inverno não foram observadas diferenças significativas entre superfície e fundo (PETROBRAS, 2002).

Os valores de amônia encontrados em Barracuda e Caratinga foram, na maioria das estações, iguais ao limite de detecção ($0,03\mu\text{M}$), conforme o já observado em outros campos da Bacia de Campos (PETROBRAS/CENPES, 2002b).

Os dados obtidos para o campo de Marlim Sul, tanto na 1ª Campanha de Monitoramento quanto na 2ª, indicam o mesmo padrão encontrado na literatura para a amônia nesta região: valores baixos e bem próximos ao limite de detecção dos métodos utilizados. Em Marlim Leste, também observa-se este padrão: muitas estações com concentrações não detectáveis e valores muito próximos ao limite de detecção (PETROBRAS, 2003).

c) *Silicato*

Embora o silicato não seja considerado como nutriente limitante na fotossíntese fitoplanctônica, baixas concentrações ou a ausência de silicato podem comprometer a presença de microalgas como as diatomáceas, que têm esqueleto composto por sílica (Laws, 1997). As altas concentrações de silicato (sílica) são associadas ao aporte de águas continentais e a ressurgências (FUNDESPA, 1994).

Em Espadarte, os valores de silicato superficiais foram muito baixos, principalmente devido ao consumo pelo fitoplâncton, aumentando com a profundidade. Em superfície a concentração de silicato variou de 1,18 μ M a 6,20 μ M, enquanto no fundo os valores estiveram entre 3,02 μ M e 9,87 μ M (PETROBRAS/CENPES, 2001).

As concentrações de silicato em Pargo variaram de 2,20 a 9,82 μ M e em Pampo, de 1,88 a 9,04 μ M, com padrão de estratificação bem definido e típico de nutrientes na costa brasileira (PETROBRAS, 2001). Em Barracuda e Caratinga, a estratificação vertical das concentrações de silicato também foi evidente, com valores entre 0,38 μ M e 33,87 μ M (PETROBRAS/CENPES, 2002b).

Para a região costeira Interna, na região de Cabiúnas, os teores de silicato variaram de não detectável em Cabiúnas no verão na superfície a 16,50 μ M em Cabiúnas no inverno nas amostras de fundo, com grande variabilidade entre as estações de mesma profundidade (PETROBRAS, 2002)

Durante a Campanha de Caracterização da Área de Influência dos dutos PDET/AMEG, os valores de silicatos apresentaram distribuição bastante homogênea, com valores próximos ao limite de detecção do método utilizado (PETROBRAS/HABTEC, 2002b).

O padrão de distribuição vertical encontrado nas concentrações de silicato da 1ª e 2ª campanhas de monitoramento da P-40 aponta para uma estratificação típica dos nutrientes, com menores valores na superfície, aumentando com a profundidade (PETROBRAS/CENPES, 2002a; PETROBRAS/HABTEC, 2002a).

As concentrações de silicato encontradas em Marlim Leste variaram entre 0,11 e 34,3 μ M, com distribuição vertical muito similar aos demais nutrientes. As

concentrações aumentaram gradativamente até a profundidade de 1.000m, com leve diminuição até camadas mais profundas (PETROBRAS, 2003).

Clorofila a

A análise do teor de clorofila na água é um importante indicativo da biomassa fitoplanctônica. Sua maior concentração na profundidade relativa a 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).

Dados do Programa REVIZEE – Central III (apresentado em Cupelo, 2000) apontaram valores entre 0,04µg/L e 1,63µg/L para a região da costa central, característicos de regiões oligotróficas, sustentadas pela produção primária regenerada.

Os valores de clorofila encontrados no Programa de Monitoramento Ambiental Oceânico (FUNDESPA, 1994; PETROBRAS, 1997) também refletiram a oligotrofia das condições ambientais do oceano aberto, estando as maiores concentrações restritas a águas rasas (< 20 m), próximas à região costeira.

Em Espadarte (PETROBRAS/CENPES, 2001), os valores de clorofila obtidos na campanha de inverno corroboraram a oligotrofia da região oceânica da Bacia de Campos, onde os valores observados estiveram na faixa entre não detectável (< 0,02µg/L) e 1,14µg/L. Os maiores valores foram encontrados na superfície, enquanto na profundidade de 150 m, os valores foram menores ou não detectáveis, pois a pouca ou nenhuma disponibilidade de luz limita o crescimento das populações fitoplanctônicas (Boney, 1976).

Os valores de clorofila *a* encontrados em Pargo variaram de < 0,01µg/L a 0,79µg/L, sendo os valores de inverno maiores que os de verão. A distribuição vertical evidenciou um padrão significativo ($p < 0,0003$), com os maiores valores sendo registrados na superfície (PETROBRAS, 2001). Em Pampo, os valores de clorofila apresentaram variação sazonal, com valores entre 0 e 0,43µg/L, no verão, e entre 0,07 e 0,61µg/L, no inverno (PETROBRAS, *op. cit.*).

A região de Cabiúnas apresentou uma variação de clorofila *a* de 0,10µg/L a 3,13µg/L, com as maiores médias observadas no fundo (PETROBRAS, 2002). A faixa de concentração encontrada está de acordo com o limite observado pela FUNDESPA (1994) para esta região, de não detectável a 3,40µg/L.

Em Barracuda e Caratinga, a distribuição vertical da clorofila *a* apresentou um máximo na profundidade de 80 m, com diminuição até 200 m, onde não era mais detectável. Os valores, no geral, oscilaram entre < 0,02µg/L e 2,29µg/L (PETROBRAS/CENPES, 2002b).

Na 1ª Campanha de Monitoramento da P-40 os valores de clorofila *a* estiveram entre <0,02µg/L e 0,27µg/L, com máximo na profundidade da termoclina (PETROBRAS/CENPES, 2002a). As concentrações de clorofila *a* na 2ª Campanha de monitoramento na região foram relativamente maiores, variando de < 0,01µg/L a 2,17µg/L. Nesta campanha não foi observado padrão de estratificação da clorofila (PETROBRAS/HABTEC, 2002a).

Em Marlim Leste, a concentração de clorofila *a* oscilou entre 0,04 e 0,28µg/L. Apesar da distribuição vertical não ter evidenciado um padrão de estratificação, observaram-se concentrações mais elevadas na profundidade de termoclina (PETROBRAS, 2003).

Hidrocarbonetos

a) Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (THP)

Durante o Programa de Monitoramento Ambiental da Bacia de Campos (PETROBRAS, 1997; FUNDESPA, 1994), o total de hidrocarbonetos foi identificado usando o método de fluorescência descrito em UNESCO (1984). O óleo de Enchova intemperizado e previamente destilado foi utilizado como padrão (FUNDESPA, 1994).

As três campanhas realizadas (inverno-verão-inverno) demonstraram que a região levantada não apresentava características de águas marinhas significativamente impactadas por óleo.

Entretanto, foram encontradas concentrações de até 26,30µg/L (superfície) e 31,20µg/L (fundo) de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTPs dispersos e/ou

dissolvidos), na região próxima a Macaé durante a campanha de verão (PETROBRAS, 1994), o que sugere uma contaminação gerada pelo transporte de águas costeiras contaminadas para a plataforma continental pelas chuvas de verão. O quadro a seguir sintetiza as informações obtidas nas três campanhas:

Quadro II.5.1.3-3 - Síntese dos resultados de hidrocarbonetos nas amostras de água das 3 campanhas de monitoramento da Bacia de Campos.

CAMPANHA	Nº DE AMOSTRAS	EVIDÊNCIAS
Inverno 91	33 de água	0,16 – 1,88µg/L típicas de águas não contaminadas
Verão 92	265 de água	121 amostras > 2,00µg/L; 23 amostras > 10,00µg/L
Inverno 92	222 de água	193 amostras < 2µg/L 26 amostras > 2,00µg/L e 3 amostras > 10µg/L

Fonte: FUNDESPA, 1994.

Desta forma, os resultados de HTPs acima de 10µg/L são relativos a ambientes efetivamente afetados por introdução antropogênica de hidrocarbonetos de petróleo, tendo sido encontrados em áreas costeiras próximas a terminais petrolíferos (FUNDESPA, 1994).

Em Barracuda e Caratinga, a avaliação dos hidrocarbonetos totais de petróleo foi feita por cromatografia gasosa com detector de ionização por chama, com quantificação baseada em uma mistura de padrões autênticos de hidrocarbonetos alifáticos (PETROBRAS/CENPES, 2002b). A concentração HTP média encontrada em Barracuda e Caratinga foi de $3,32 \pm 0,71 \mu\text{g/L}$.

Os métodos analíticos utilizados para quantificar a concentração de HTP, tanto na água quanto no sedimento não permitem a distinção entre a fração resolvida e a não resolvida, o que impossibilita a identificação da mistura complexa não resolvida (MCRN). A MCNR é apontada como boa indicadora tanto da contribuição petrogênica de hidrocarbonetos em processo de degradação ou devido à degradação microbiana da matéria orgânica, especialmente quando presente em baixas concentrações (PETROBRAS/CENPES, 2002b).

Ainda, Irwin *et al.* (1998) apontam que alguns métodos de HTP utilizados são bem genéricos, podendo ser facilmente influenciados por lipídeos biológicos. Além disso, alguns dos métodos da USEPA, incluindo o de HTP, são deficientes em seletividade e sensibilidade (limite de detecção), o que dificulta a interpretação ambiental do dado.

Na 1ª Campanha de Monitoramento da P-40, foram analisados os n-alcenos na água, e os resultados obtidos mostram teores de n-alcenos bem próximos ao limite de detecção do método (50 ppb). Estes níveis de n-alcenos caracterizam a área como livre de influência da atividade petrolífera (PETROBRAS/CENPES, 2002a). Na 2ª Campanha de Monitoramento não foram detectadas concentrações de HTP na água (PETROBRAS/HABTEC, 2002a).

b) Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA)

Para caracterizar os hidrocarbonetos presentes na coluna d'água no campo de Espadarte, foram coletadas amostras de água com garrafas de 1,0L em superfície e extraídos os valores de HPAs totais (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos) em equivalentes de criseno, de acordo com o método EPA – 3510/3540 através de Espectrofotometria de Fluorescência de Ultra Violeta, conforme apresentado no quadro a seguir:

Quadro II.5.1.3-4 - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) em amostras de água do campo de Espadarte ($\mu\text{g/L}$).

ESTAÇÕES	HPAS TOTAIS EM EQUIVALENTES DE CRISENO ($\mu\text{g/L}$)
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

Fonte: PETROBRAS/CENPES, 2001.

Os valores obtidos demonstram que, com exceção da estação 7, a região apresenta valores inferiores a $1\mu\text{g/L}$. Desta forma, os resultados de HPAs totais

encontrados em Espadarte demonstram que a coluna d'água apresenta níveis típicos de regiões não impactadas por hidrocarbonetos (PETROBRAS/CENPES, 2001).

Em Pampo e Pargo, os HPAs totais foram analisados pelo método de fluorescência ultravioleta descrito em UNESCO (1984) e UNESCO (1992). A quantificação dos HPAs totais foi feita com base em um padrão de criseno (PETROBRAS, 2001).

As concentrações de HPA totais em equivalentes de criseno, obtidos por fluorescência de ultravioleta, em amostras de água do mar coletadas durante as campanhas de verão e inverno de 1998, nas proximidades do ETE de Cabiúnas (PETROBRAS, 2002), apresentaram-se abaixo de $2,00\mu\text{g/L}$ (apenas um resultado em $2,24\mu\text{g/L}$).

Foram verificados resultados de HPA totais em equivalentes de criseno na faixa de $<0,12\mu\text{g/L}$ a $2,20\mu\text{g/L}$, caracterizando os valores encontrados como de níveis de base, ou seja, inferiores a $2,00\mu\text{g/L}$ (PETROBRAS, 2002a). Neste estudo os valores foram considerados inferiores aos reportados por FUNDESPA (1994), apesar do diferente padrão de quantificação utilizado.

Em Barracuda e Caratinga, os HPAs totais foram analisados seguindo a metodologia previamente citada para Pargo. Os valores de HPAs totais variaram de $0,02\mu\text{g/L}$ a $0,92\mu\text{g/L}$. A distribuição do total de HPA na coluna d'água evidenciou relativa variabilidade nas camadas superficiais, principalmente próximo à termoclina, e concentrações elevadas em maiores profundidades (PETROBRAS/CENPES, 2002b).

O método usado na determinação de HPAs totais nesse trabalho (UV-fluorescência) é reconhecidamente não-específico e pode sofrer influência de outras substâncias orgânicas além dos hidrocarbonetos aromáticos, tais como os pigmentos fotossintetizantes, o que poderia explicar os picos obtidos em profundidades intermediárias (PETROBRAS/CENPES, 2002b).

Na 1ª Campanha de Monitoramento da P-40, os HPAs totais foram analisados por fluorescência UV, não tendo sido detectado HPA total em nenhuma amostra desta campanha (PETROBRAS/CENPES, 2002a).

É importante ressaltar que a análise de hidrocarbonetos por fluorescência UV não corresponde somente a HPAs, podendo apresentar vestígios de outros

compostos, além de ser uma técnica meramente qualitativa. A análise utilizando a cromatografia gasosa de alta resolução (HPLC) juntamente com a identificação em espectrofotômetro de massa é a ferramenta analítica mais recomendada para hidrocarbonetos aromáticos, uma vez que permite a quantificação e a caracterização dos hidrocarbonetos existentes na água (GESAMP, 1993).

Na 2ª Campanha, a metodologia adotada seguiu o determinado em USEPA 8270. Os hidrocarbonetos poliaromáticos detectados neste trabalho resumem-se em dois compostos, naftaleno e fenantreno, cujas concentrações variaram $< 0,03\mu\text{g/L}$ a $0,20\mu\text{g/L}$ e $< 0,03\mu\text{g/L}$ a $0,05\mu\text{g/L}$, respectivamente. Como esses hidrocarbonetos apresentam baixo peso molecular e as concentrações encontradas são bem próximas ao limite de detecção, há suspeita de contaminação ou no processo de coleta ou no processo analítico (PETROBRAS/HABTEC, 2002a).

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 $0,01\mu\text{g/L}$ e $0,03\mu\text{g/L}$) (Laws, 1997; NRC, 1995), embora possam chegar a $0,045\mu\text{g/L}$ (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 usados e a variáveis ambientais, como o teor de material particulado em suspensão, que podem interferir nos resultados devido à tendência dos HPAs estarem associados à fase sólida.

A literatura cita que concentrações de HPA de até $2,00\mu\text{g/L}$ são típicas de ambientes não contaminados por hidrocarbonetos de petróleo (Law, 1981; Weber e Bícigo, 1991; FUNDESPA, 1994). Outros autores são mais restritivos e citam como limite para a indicação de contaminação por HPA em água os níveis superiores a $1,00\mu\text{g/L}$ (Knap *et al.*, 1986). Resultados de HPA totais acima de $10\mu\text{g/L}$ são relativos a ambientes efetivamente afetados por introdução antrópica de hidrocarbonetos de petróleo (FUNDESPA, 1994) sendo que níveis de 10 a $30\mu\text{g/L}$ foram encontrados próximos às plataformas de produção (UNEP, 1991).

Considerando o que se conhece sobre a distribuição de HPAs em águas oceânicas e em águas próximas a campos de produção de petróleo, são poucos

os dados disponibilizados sobre a distribuição de HPAs individuais para águas brasileiras, e o único HPA amplamente identificado foi naftaleno. Concluí-se, portanto, que as águas da Bacia de Campos, tanto costeiras quanto oceânicas, não caracterizaram uma área de contaminação por hidrocarbonetos de petróleo.

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.

A análise de fenóis nos Campos de Pampo e Pargo seguiu o método da USEPA 604, com identificação de fenol e alquifenóis, apresentando nível inferior a 0,01mg/L. Esta concentração, segundo o reportado por PETROBRAS (2001), é considerada tolerável em águas marinhas, de acordo com o índice estabelecido pelo Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, que é de < 0,03mg/L.

Na região costeira de Cabiúnas (PETROBRAS, 2002) foram identificadas concentrações de fenóis distintas entre superfície e fundo. Os valores registrados em superfície (média dos valores = 0,00304mg/L) apresentaram maior homogeneidade em relação aos obtidos nas estações de fundo (média 0,00297mg/L).

A maioria das amostras analisadas para quantificação de fenóis em Barracuda e Caratinga apresentou valores abaixo do limite de detecção do método, que foi de 0,05µg/L (PETROBRAS/CENPES, 2002b).

Na Campanha de Caracterização da Área de Influência dos dutos PDET/AMEG, tal qual o registrado na maioria dos trabalhos na Bacia de Campos, as concentrações de fenóis estiveram abaixo do limite de detecção do método, que é de 0,01mg/L (PETROBRAS/HABTEC, 2002b).

Não foi constatada a presença de fenóis na água durante a 1ª Campanha de Monitoramento da P-40 (PETROBRAS/CENPES, 2002a). Durante a 2ª Campanha de Monitoramento da P-40, as concentrações de fenóis foram iguais ou muito

próximas ao limite de detecção de 0,02mg/L (PETROBRAS/HABTEC, 2002a). Na Campanha OCEANPROF em Marlim Leste (PETROBRAS, 2003) todos os valores de fenóis estiveram abaixo do limite de detecção do método (< 0,010mg/L).

Sulfetos

A presença de sulfetos em águas marinhas está correlacionada a condições anóxicas, ao aporte de matéria orgânica e/ou renovação ineficaz de água. Nestas condições, o sulfato dissolvido, naturalmente disponível em águas marinhas, é utilizado como fonte de oxigênio pelas bactérias sulfato-redutoras na oxidação da matéria orgânica (Grasshoff *et al.*, 1983).

As concentrações de sulfetos nas amostras coletadas em Pampo e Pargo na campanha de inverno encontram-se em concentrações inferiores a 0,002mg/L, enquanto as de verão foram inferiores a 0,5mg/L (PETROBRAS, 2001). Em Barracuda e Caratinga, todas as amostras apresentaram valores de sulfetos inferiores a 0,2mg/L (PETROBRAS/CENPES, 2002b). Na Área de Influência dos dutos PDET/AMEG, as concentrações nas isóbatas mais profundas foram muito baixas, com alguma concentração (em torno de 0,004mg/L) nas camadas superficiais (PETROBRAS/HABTEC, 2002b).

Quanto aos valores de sulfetos em Cabiúnas (PETROBRAS, 2002), foi verificado que todas as amostras coletadas em todas as campanhas, anteriores e posteriores ao funcionamento do ETE, encontraram-se em concentrações inferiores a 0,002mg/L.

Os teores de sulfetos observados nas amostras de água variaram de valores inferiores ao limite de detecção (< 0,2mg/L) até 1,60mg/L (ppm), no entorno da Unidade de P-40 durante a 1ª Campanha de Monitoramento (PETROBRAS/CENPES, 2002a). Na 2ª Campanha de Monitoramento da P-40, as concentrações de sulfeto foram encontradas em quase todas as profundidades e pontos amostrados, variando de < 0,002mg/L a 0,028mg/L (PETROBRAS/HABTEC, 2002a). Durante a Campanha OCEANPROF em Marlim Leste (PETROBRAS, 2003), todos os valores de sulfeto estiveram abaixo do limite de detecção do método (0,020mg/L).