

II.5.1 – MEIO FÍSICO

II.5.1.1 - Meteorologia

A descrição da meteorologia da área de influência da atividade foi dividida em 2 (duas) partes: a primeira (Dinâmica do Clima Regional) faz uma descrição em macro escala das condições meteorológicas que afetam direta ou indiretamente a região da Bacia de Santos, e a segunda (Climatologia da região do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás na Área de Tupi) que apresenta uma análise em meso e micro escala dos processos que afetam a região da atividade.

A) Dinâmica do Clima Regional

A América do Sul está localizada entre dois grandes oceanos, o Oceano Atlântico e os Oceanos Pacíficos, que exercem grande influência sobre o clima desse continente. Por causa destes oceanos existem dois centros subtropicais de alta pressão, um centro está localizado sobre o Oceano Pacífico e o outro está localizado sobre o Oceano Atlântico (**Figura II.5.1.1.A-1**).

No continente, pressões relativamente baixas são predominantes ao longo do ano. No interior do continente, a pressão reduzida ao nível do mar é mínima no verão, e máxima no inverno. A alta do Oceano Pacífico é mais intensa no verão, e a alta do Oceano Atlântico, no inverno. Esses dois centros de alta se afastam do continente no verão, quando ocorre a estação das chuvas na maior parte da América do Sul tropical e subtropical. O anticiclone (centro de alta pressão) do Atlântico Sul migra durante o ano, passando da posição 15° W e 27° S, em agosto, para a posição 5° W e 33° S, em fevereiro (HASTENRATH, 1991).

A circulação atmosférica sobre a América do Sul exibe diversas características especiais, como a Alta da Bolívia, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (*South Atlantic Convergence Zone*, SACZ), a área de Baixa Pressão do Chaco no verão, e o fenômeno da Friagem na região equatorial durante o inverno do Hemisfério Sul (**Figura II.5.1.1.A-1** e **Figura II.5.1.1.A-2**).

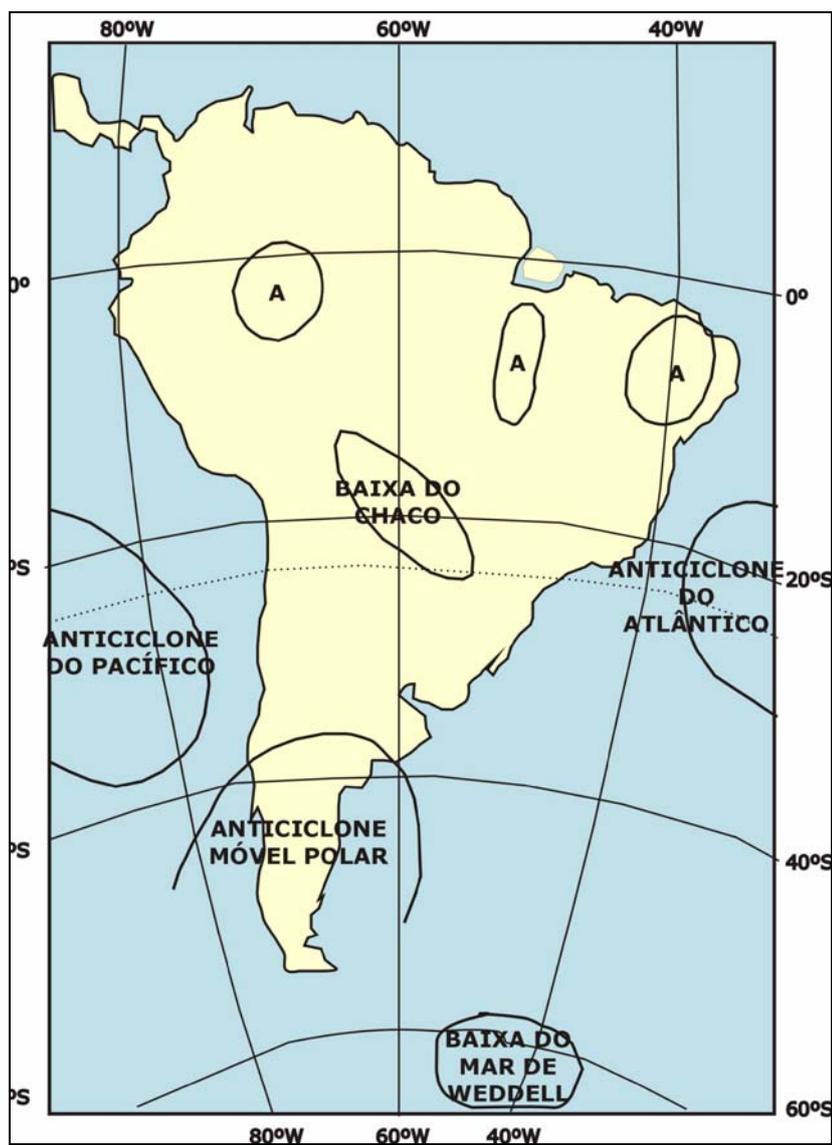


Figura II.5.1.1.A-1 - Principais centros de ação das latitudes baixas e altas que influenciam a região sudeste do Brasil.

Fonte: Nimer (1989).

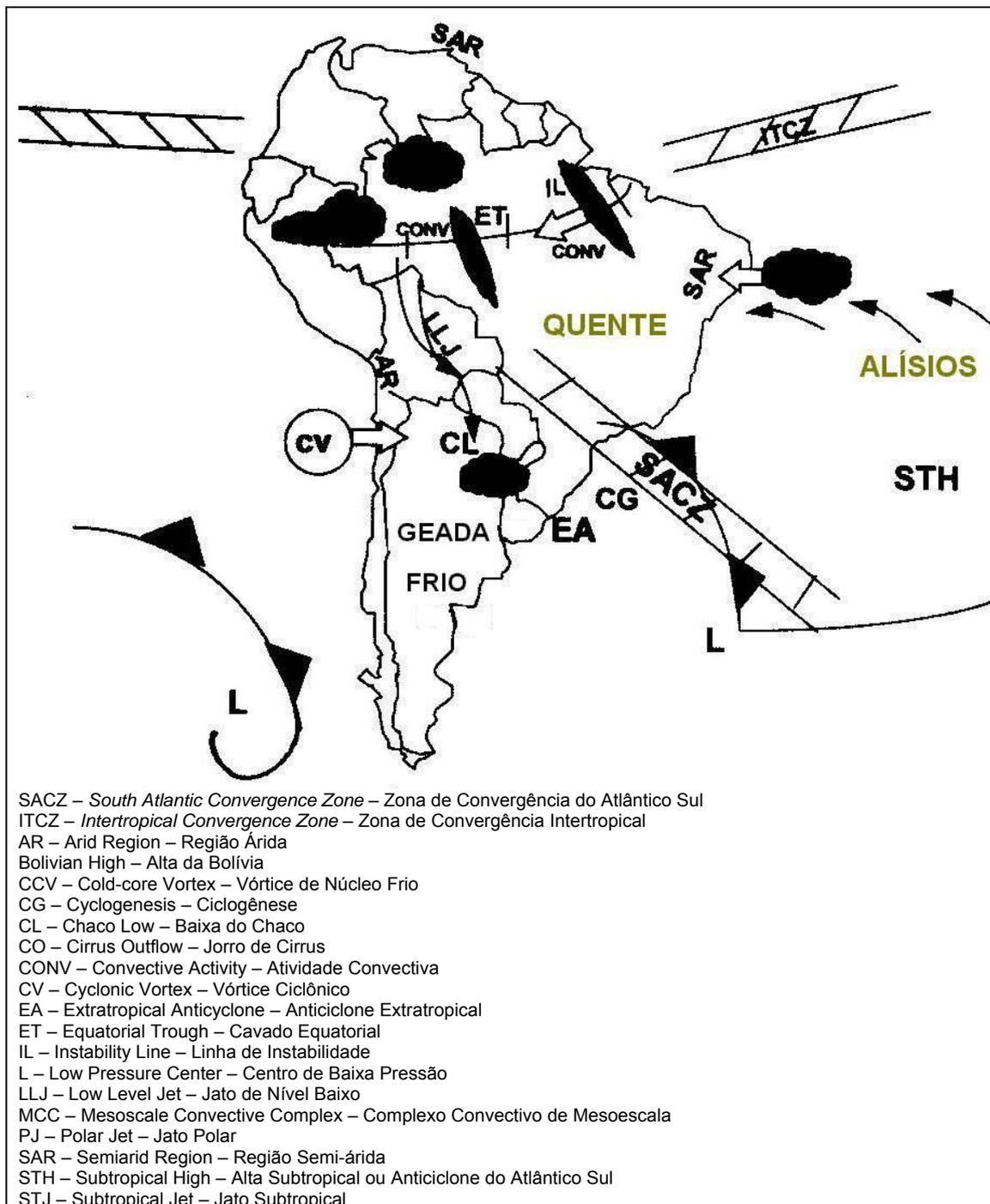


Figura II. 5.1.1.A-2 - Esboço esquemático dos mais importantes aspectos da circulação atmosférica inferior da América do Sul.

Fonte: Modificado de Nimer (1989).

A **Figura II. 5.1.1.A-3** evidencia como as variações sazonais de temperatura forçam os centros para que oscilem em latitude e pressão ao longo do ano. O Anticiclone Semifixo do Atlântico é mais fraco no verão, com pressão no núcleo ao nível do mar de cerca de 1018 mb em média. Este anticiclone é mais forte no

inverno, com núcleo em torno de 1024 mb. Quanto à posição média, em julho (inverno no Hemisfério Sul), encontra-se mais próximo ao litoral sudeste brasileiro.

Os dois sistemas de alta pressão semifixos são fontes de massas de ar tropicais marítimas para o continente sul americano. O Anticiclone do Pacífico é geralmente impedido de avançar sobre o interior do continente e alcançar o Brasil devido à presença da Cordilheira dos Andes, contudo o Anticiclone do Atlântico Sul penetra freqüentemente pelo interior do Brasil.

Segundo Nimer (1989), durante todo ano predominam as influências do Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul, que gera ventos de Leste (E) a Nordeste (NE) na área de estudo (**Figura II.5.1.1.A-4**). Este anticiclone constitui a massa de ar tropical marítima, que possui temperaturas elevadas ou amenas, e forte umidade específica. Devido a constante subsidência superior e constante inversão de temperatura, sua umidade é limitada à camada superficial, o que lhe dá um caráter de homogeneidade e estabilidade. Com isso, o domínio deste anticiclone indica tempo ensolarado.

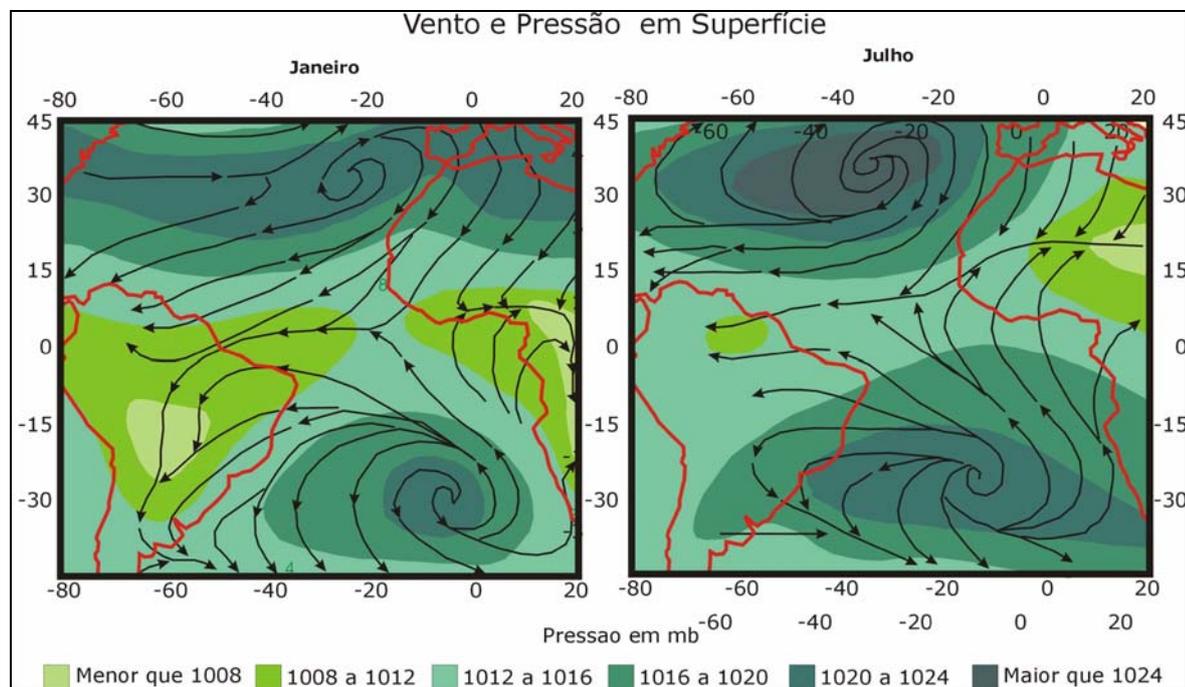


Figura II.5.1.1.A-3 - Vento e pressão em superfície no Atlântico Sul para janeiro (verão) e julho (inverno)

Fonte: Modificado de Riehl (1979).

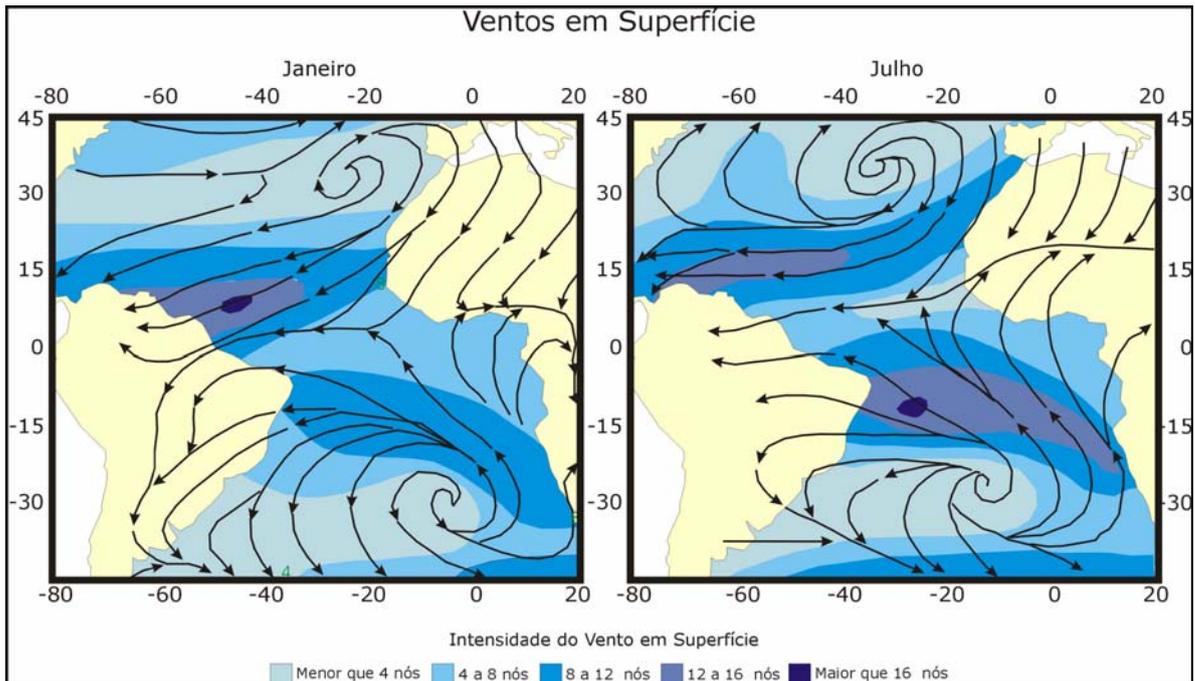


Figura II.5.1.1.A-4 - Vento e pressão em superfície no Atlântico Sul para janeiro (verão) e julho (inverno).

Fonte: Modificado de Riehl (1979).

Além dos sistemas estáveis mencionados, a Baixa do Chaco é outro sistema que tem influência na área de interesse (**Figura II.5.1.1.A-1**). Esta baixa é mais forte no verão devido ao aquecimento do interior do continente, e é encontrada sobre a região do Chaco Argentino. A estabilidade associada a esta baixa é devido a sua origem continental (indicando baixa umidade específica) e à presença de uma célula anticiclônica acima desta baixa, que impede a ascendência de suas correntes convectivas nos níveis superiores. Esta estabilidade promovida pelos sistemas apresentados é interrompida à medida que se aproximam os sistemas de circulação instáveis.

Na região de interesse deste estudo prevalecem três tipos de Sistemas de Circulação Instáveis ou Perturbadas: Frentes Polares (FP), as Instabilidades Tropicais (IT) e as ondas de Leste (EW) (**Figura II.5.1.1.A-5**).

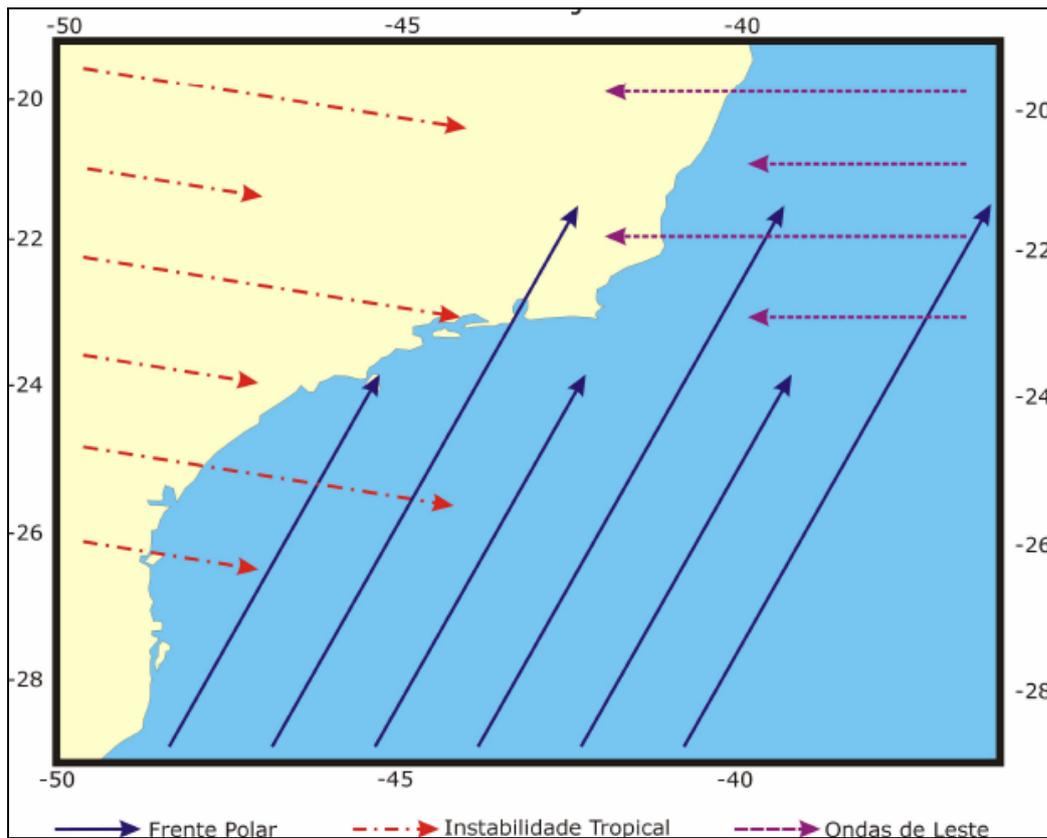


Figura II.5.1.1.A-5 - Sistemas de Circulação Instáveis na área de interesse.

Fonte: Nimer (1989).

As frentes frias (frentes polares), associadas a ventos predominantemente de S e SE na área de interesse, são oriundas do Anticiclone Polar Marítimo da América do Sul. Estes sistemas apresentam grande mobilidade e são de extrema importância. Ao longo do ano, em média, tem-se de 4,5 a 6 passagens por mês deste fenômeno sobre o continente, atingindo a América do Sul entre 35° e 25°S (CLIMANALISE, 1996). Com relação à duração dos eventos, Nimer (1989) afirma que as entradas de frentes frias têm períodos variando entre 4 e 10 dias, aproximadamente.

Outro sistema instável que tem influência sobre a região estudada são as Instabilidades Tropicais (IT), estas se originam entre meados da primavera e do outono, principalmente no verão, quando grande parte do Brasil é invadida por ventos de W a NW. As ITs são formadas a partir dos avanços das frentes polares, para as quais convergem ventos do quadrante N, que

em contato com ar frio polar dão origem a ciclones dos quais surgem as ITs, praticamente normais às frentes polares (**Figura II.5.1.1.A-5**) (NIMER, *op cit*).

As ITs causam, freqüentemente, chuvas e trovoadas, por vezes granizos e ventos moderados a fortes com rajadas que atingem de 60 a 90 km/h. Ao contrário das chuvas frontais, ocasionadas pelas frentes frias, que na maioria das vezes duram dois ou mais dias, a IT gera chuvas de verão, que duram poucos minutos (NIMER, *op cit*).

Em adição as frentes frias e ITs, estão as ondas de leste (EW) que não são tão comuns na área de interesse, porém podem ocorrer especialmente no inverno. Esta instabilidade está associada aos anticiclones tropicais e sopram de E para W, como uma espécie de pseudofrente e formam chuvas mais ou menos abundantes durante a sua passagem.

Outro fenômeno que tem influência sobre a área de interesse é o ENOS (*El Niño-Oscilação Sul*), caracterizado por um aquecimento fora do normal das águas superficiais do Pacífico Equatorial Ocidental. Nas regiões sul-sudeste brasileiras (área do estudo), durante a ocorrência de ENOS, há um aumento moderado das temperaturas médias, além de precipitações acima da média, muitas vezes acarretando inundações.

A **Figura II.5.1.1.A-6** representa um desenho esquemático da circulação no Oceano Pacífico Equatorial em condições normais. Nestas condições, estão presentes movimentos ascendentes no Pacífico Central/Ocidental e movimentos descendentes no oeste da América do Sul, com ventos de leste para oeste, próximos à superfície do oceano Pacífico (ventos alísios, setas brancas) e de oeste para leste em altos níveis da troposfera, caracterizando a chamada célula de Walker. No Oceano Pacífico, pode-se ver a região com águas mais quentes representadas pelas cores avermelhadas e mais frias pelas cores azuladas. Pode-se ver também a inclinação da termoclina, mais rasa junto à costa oeste da América do Sul e mais profunda no Pacífico Ocidental.

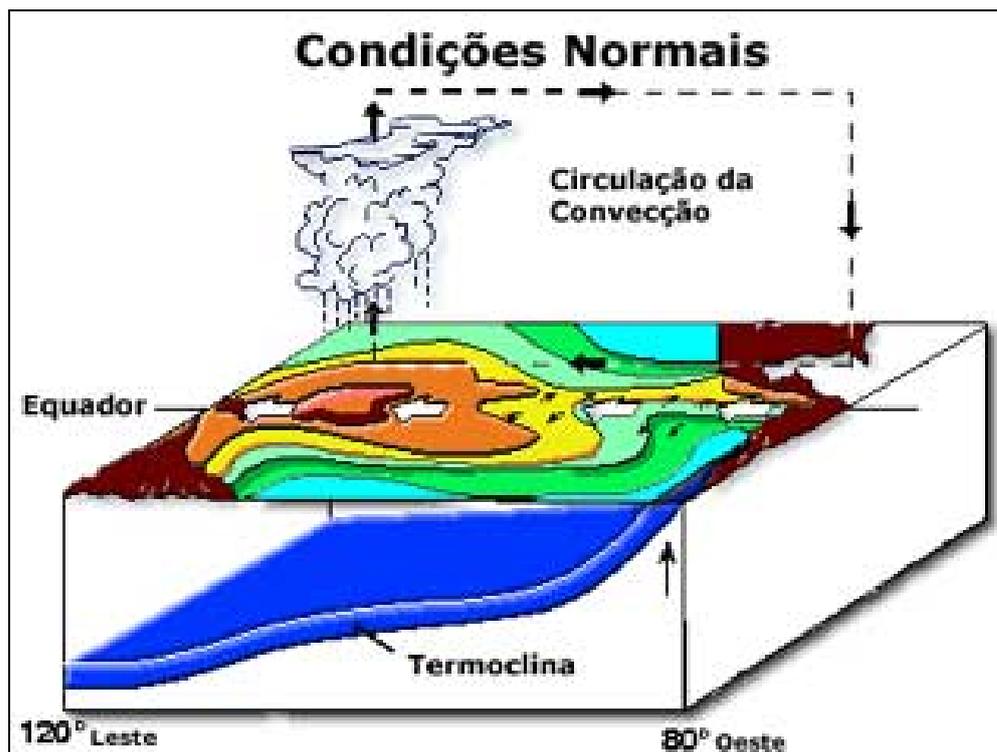


Figura II.5.1.1.A-6- Condições normais de circulação atmosférica no Pacífico Central/Ocidental.

Fonte: Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL)/NOAA, Seattle, Washington, EUA. (modificado pelo INPE).

Um enfraquecimento dos ventos alísios em superfície na região equatorial do Oceano Pacífico, que em alguns casos, chegam até a mudar de sentido, soprando de oeste para leste, gera o fenômeno chamado de ENOS. Há um deslocamento da região com maior formação de nuvens e a célula de Walker fica bipartida. No Oceano Pacífico Equatorial podem ser observadas águas quentes em praticamente toda a sua extensão. A termoclina fica mais aprofundada que o normal junto à costa oeste da América do Sul principalmente devido ao enfraquecimento dos ventos alísios (**Figura II.5.1.1.A-7**).

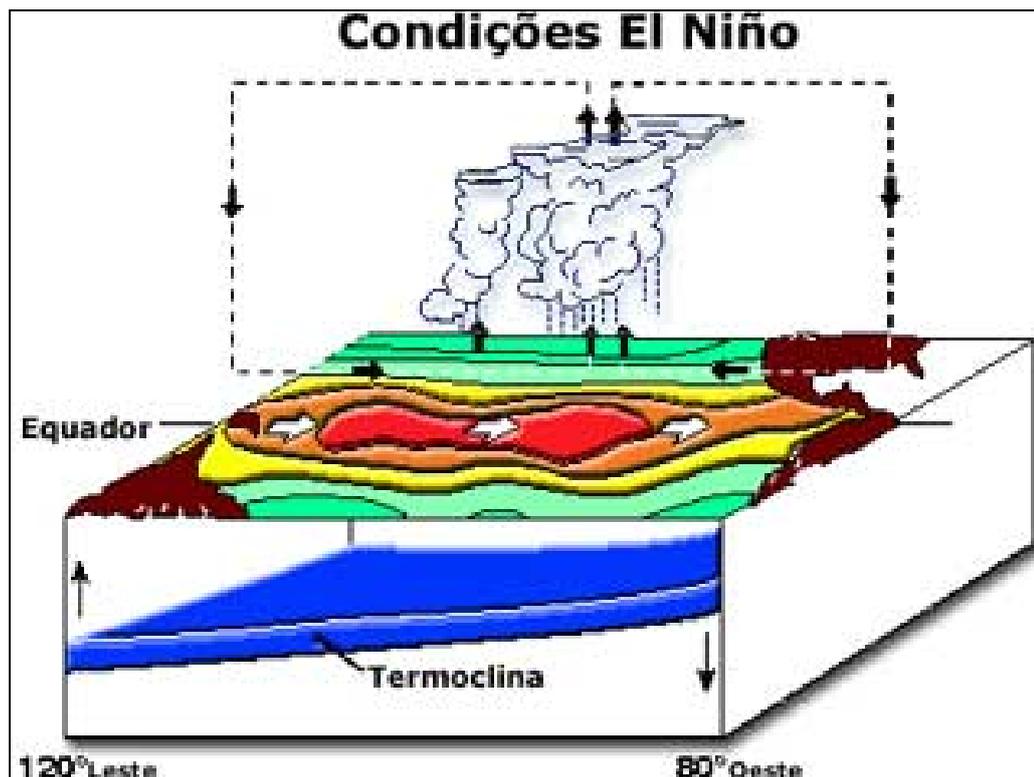


Figura II.5.1.1.A-7 - Condições de circulação atmosférica no Pacífico Central/Ocidental durante o fenômeno El Niño.

Fonte: Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL)/NOAA, Seattle, Washington, EUA. (modificado pelo INPE).

Durante a década 1930, Sir Gilbert Walker descobriu que havia uma correlação forte entre a OS (Oscilação Sul) e as chuvas do Ceará. A partir dessa descoberta, foram realizadas várias pesquisas para avaliar os efeitos das anomalias da circulação global nos trópicos sobre a variabilidade climática em muitas partes do mundo. Nas últimas duas décadas, houve grande avanço nas pesquisas do clima do planeta. As monções anormais da Índia, as enchentes no Sul do Brasil e as secas do Sudeste ao Nordeste do Brasil são fenômenos correlatos. Todas essas características da circulação regional da América do Sul fazem parte do sistema atmosférico global. A observação do comportamento desses fenômenos permite prever as alterações climáticas sobre uma região ou área.

As grandes tempestades que podem ocorrer na região de estudo são causadas por ciclones extra tropicais (ao sul de 30°S), normalmente associados a frentes frias, gerando ventos superiores a 20 m.s⁻¹ sobre pistas de até 5000 km de extensão. Ao soprar por um período de um a dois dias, estes ventos podem gerar

ondas superiores a 5 metros no litoral sul e sudeste brasileiro, principalmente entre os meses de abril a outubro. Ventos dessa magnitude, no entanto, são pouco freqüentes e as ressacas mais severas, como as de maio de 1999, são raras e geralmente estão associadas a uma situação sinótica particular, na qual o ciclone vinculado ao sistema frontal se desloca do sul para o norte, muito próximo ao litoral brasileiro, numa situação atípica, pois normalmente este ciclone passa bastante afastado do litoral (cerca de 200 km de distância), minimizando sua repercussão (MARQUES & PINHEIRO, 1999).

B) Climatologia da Região do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento na Área de Tupi

A classificação climática da área

A região sudeste é uma região de transição entre os climas quentes das latitudes baixas e os mesotérmicos das latitudes médias. Nas latitudes tropicais a climatologia é marcada principalmente pelo regime de chuva ao longo do ano, já que a temperatura é geralmente elevada e nas temperadas ocorre o oposto. Sendo assim, na região desse estudo, ocorrem importantes diferenças na temperatura e precipitação entre o verão e o inverno.

Para uma avaliação temporal dos dados climatológicos de temperatura, precipitação e evaporação foram analisados dados do INMET (2004) entre 1960 e 1991 nas seguintes localidades da área de estudo: Santos (SP) e Ubatuba (SP).

Temperatura

A primeira característica importante do clima dos oceanos tropicais é sua homogeneidade espacial e temporal. Enquanto sobre o continente há uma forte variação diária de temperatura, no oceano essa variação é de 1 °C a 2 °C. A amplitude térmica anual na plataforma continental é de aproximadamente 8 °C. Na região continental, à medida que se afasta da influência do oceano, as amplitudes térmicas ficam maiores (<http://www.cdc.noaa.gov>).

A temperatura do ar sobre o mar é medida a uma altura de aproximadamente 10 m. Sobre o oceano, a temperatura do ar ajusta-se rapidamente à temperatura das águas. Através da troca de calor entre a atmosfera e o oceano, uma variação de 10° C na temperatura do ar afeta a temperatura da superfície do mar em somente 0,0010° C. Toda a costa litorânea do Brasil é influenciada pela presença da corrente do Brasil, sendo que o litoral sul-sudeste apresenta em geral o mês de fevereiro com a temperatura do ar mais elevada, cerca de 20 dias antes de se atingir o máximo de temperatura da superfície do mar, no mês de março.

A Quadro II.5.1.1.B-1., obtida da DHN (1974), apresenta de maneira simplificada médias mensais de temperatura do ar sobre a região oceânica do Sudeste.

Quadro II.5.1.1.B-1. - Médias mensais de temperatura do ar sobre a região oceânica do Sudeste.

Período	Temperatura Média (°C)												Ano
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
	25	25	25	23	22	20	20	20	20	21	22	23	

Fonte: DHN (1974)

O **Quadro II.5.1.1.B-2** apresenta temperaturas médias normais de estações localizadas em Santos e Ubatuba. Em Santos, a temperatura média do mês mais frio foi de 16,9 ° C (julho) e, em Ubatuba, 17,6 ° C (julho). O mês mais quente em Santos foi março com 25,1 °C, enquanto que em Ubatuba foi fevereiro com 25,0° C . Entre as duas cidades há uma diferença insignificante da média anual da temperatura de apenas 0,06 °C.

Quadro II.5.1.1.B-2 – Temperaturas (°C) normais em Santos e Ubatuba no período 1961/1990.

Mês	Temperaturas °C médias normais		Médias das Temperaturas (°C) máximas		Médias das Temperaturas (°C) mínimas	
	Santos	Ubatuba	Santos	Ubatuba	Santos	Ubatuba
Jan	23,8	24,6	26,9	29,7	21,4	20,5
Fev	24,1	25,0	27,1	30,3	21,6	20,8
Mar	25,1	24,3	28,4	29,4	21,8	20,3
Abr	22,5	22,4	26,5	27,5	19,3	18,3
Mai	19,8	20,0	24,2	25,7	16,6	15,4
Jun	18,2	18,2	23,2	24,9	14,9	13,5
Jul	16,9	17,6	21,6	24,1	13,6	12,8
Ago	18,2	18,7	22,8	24,7	15,6	14,3

Mês	Temperaturas °C médias normais		Médias das Temperaturas (°C) máximas		Médias das Temperaturas (°C) mínimas	
	Santos	Ubatuba	Santos	Ubatuba	Santos	Ubatuba
Set	19,3	19,6	22,4	24,5	17,2	15,5
Out	21,3	21,0	24,2	25,4	18,4	17,3

Continua-

continuação do Quadro II.5.1.1.B-2

Nov	23,0	21,7	25,8	26,1	19,9	18,0
Dez	23,6	23,5	26,5	28,4	20,4	19,6
Ano	21,3	21,4	25,0	26,7	18,4	17,2

Fonte: INMET (1992)

Em Santos, o mês da maior média das temperaturas máximas foi março com o valor de 28,4 °C e em Ubatuba foi fevereiro com 30,3 °C. As médias das temperaturas máximas apresentaram a diferença de 1,9 °C, entre Santos e Ubatuba. Tanto em Santos como em Ubatuba, o mês com as médias das mínimas mais baixas foi julho, sendo respectivamente seus valores 13,6 °C e 12,8 °C. A média anual das temperaturas mínimas de Ubatuba foi de 17,2 °C, mais baixa do que em Santos onde ficou em 18,4 °C (**Figura II.5.1.1.B-1**).

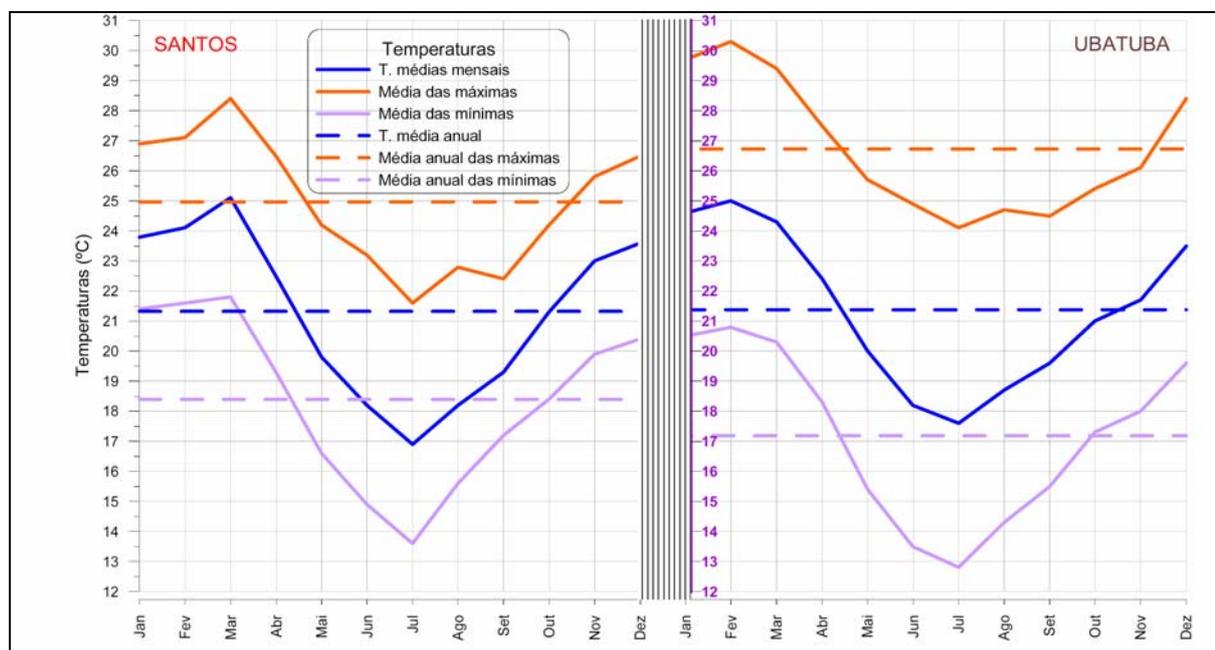


Figura II.5.1.1.B-1 – Temperaturas normais médias Estações meteorológicas de Santos e Ubatuba, período de 1961/1990.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2006

As temperaturas máximas absolutas observadas em Santos e Ubatuba foram respectivamente de 39,0 °C e de 39,7 °C. As temperaturas mínimas absolutas foram respectivamente de 6,4 °C e de 1,1 °C (**Quadro II.5.1.1.B-3**).

Quadro II.5.1.1.B-3 – Temperaturas extremas (°C) em Santos e Ubatuba no período 1961/1990 e nebulosidade média.

Mês	Temperaturas (°C) máximas absolutas		Temperaturas (°C) mínimas absolutas		Nebulosidade (%)	
	Santos	Ubatuba	Santos	Ubatuba	Santos	Ubatuba
Jan	37,7	38,8	14,6	12,7	68,0	73,0
Fev	39,0	38,8	15,2	14,3	66,0	69,0
Mar	38,3	39,7	15,9	13,1	63,0	68,0
Abr	36,8	36,6	13,4	8,0	60,0	63,0
Mai	34,8	36,0	9,2	5,3	57,0	53,0
Jun	34,2	34,6	6,4	1,1	52,0	49,0
Jul	35,8	35,2	7,0	5,1	62,0	51,0
Ago	37,5	37,0	8,7	5,6	53,0	58,0
Set	37,8	36,2	8,8	6,9	68,0	70,0
Out	37,4	38,0	12,3	7,3	71,0	80,0
Nov	37,6	39,1	15,8	12,6	67,0	75,0
Dez	37,9	38,6	15,7	12,7	68,0	79,0
Valores extremos	39,0	39,7	6,4	1,1	Média: 63	Média: 66

Fonte: INMET (1992)

A **Figura II.5.1.1.B-2** apresenta as médias mensais das temperaturas normais das estações de Santos e Ubatuba comparadas com, temperaturas do ar e da superfície do mar. Os dados da superfície do mar foram coletados por navios a partir de 1960 a 1997 (BNDO, 2006). Nota-se que a temperatura média é maior sobre o mar que no litoral. As temperaturas máximas sobre o mar ocorrem nos meses de fevereiro e março como no litoral. Por outro lado, o mês de julho é o mais frio no continente. A variação sazonal da altura do sol influencia alterações nas temperaturas do ar e da superfície do mar. Essa alteração é mais lenta na superfície do mar devido a reserva de energia em função do maior calor específico da água. Assim, nos meses de abril a julho, a temperatura do ar oceânico é menor do que da superfície do mar.

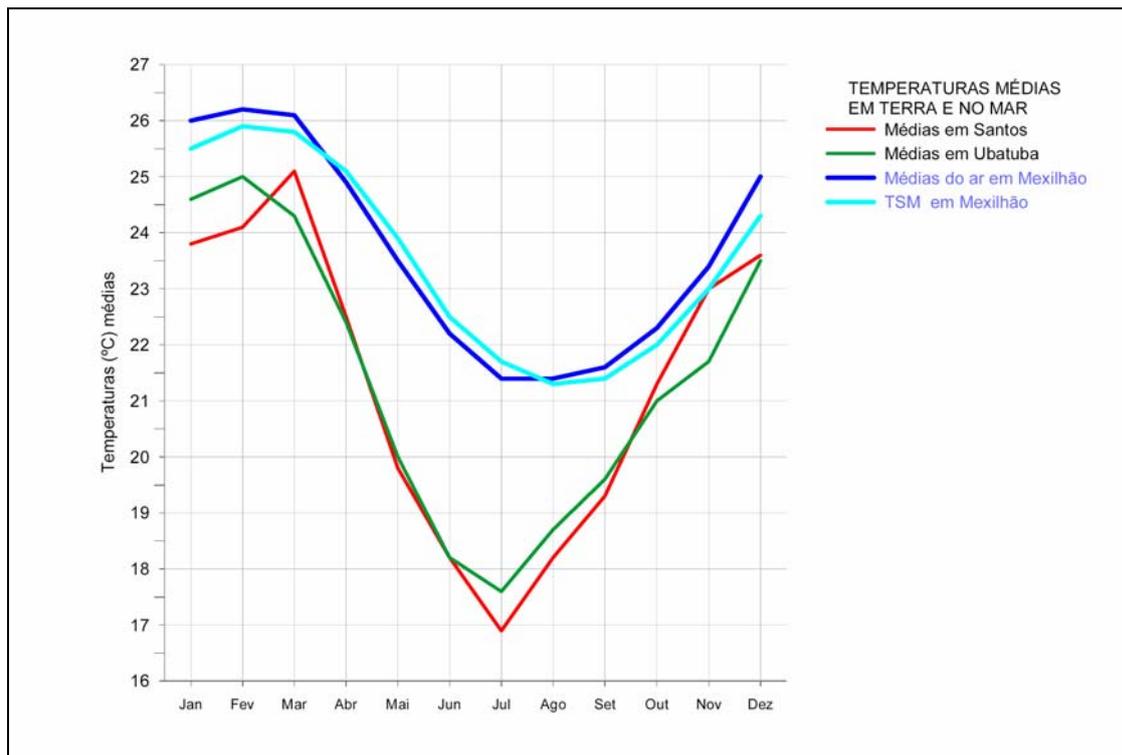


Figura II.5.1.1.B-2 - Temperaturas médias das estações localizadas em Santos e Ubatuba comparadas com a temperatura da superfície do mar (dados do campo de Mexilhão).

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2006

Os quadros II.5.1.1.B-4, I.4.2.1.B-5 e I.4.2.1.B-6 apresentam as temperaturas mínimas, médias e máximas nas estações meteorológicas costeiras da Bacia de Santos.

Quadro II.5.1.1.B-4 – Temperaturas (°C) Mínimas Absolutas Mensais nas Estações Meteorológicas Costeiras da Bacia de Santos.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Cananéia	21,8	22,2	21,4	19,5	17,3	15,2	14,8	15,2	16,4	18,2	19,4	20,9
Ubatuba	17,0	18,2	15,3	13,0	10,0	9,4	9,2	7,9	8,1	13,0	15,3	15,6
Rio de Janeiro	18,0	19,2	18,0	17,1	11,2	11,5	13,5	14,8	14,0	15,2	16,0	18,1

Fonte: INMET (1979, 1992)

Quadro II.5.1.1.B-5 – Temperatura (°C) Média Mensal nas Estações Meteorológicas Costeiras da Bacia de Santos.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Cananéia	24,9	25,2	24,5	22,4	20,2	18,3	17,7	18,2	18,8	20,7	22,3	23,9
Ubatuba	25,5	25,9	25,2	23,4	21,6	20,2	19,5	19,9	20,3	21,5	22,9	24,3
Rio de Janeiro	26,5	27,0	26,0	24,5	23,5	22,0	21,6	22,1	22,1	22,9	24,1	25,0

Fonte: INMET (1979, 1992)

Quadro II.5.1.1.B-6 – Temperaturas (°C) Máximas Absolutas Mensais nas Estações Meteorológicas Costeiras da Bacia de Santos.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Cananéia	28,7	29,2	28,2	26,3	24,3	22,5	21,9	22,1	22,4	24,0	25,9	27,5
Ubatuba	38,3	39,9	36,8	36,0	33,9	32,7	34,2	34,1	33,8	36,0	34,9	37,9
Rio de Janeiro	38,0	37,5	37,9	37,4	36,0	33,0	34,0	36,0	36,5	37,0	38,0	37,1

Fonte: INMET (1979, 1992)

Precipitação e Evaporação

O **Quadro II.5.1.1.B-7** apresenta dados da caracterização da precipitação/evaporação das estações de Santos e Ubatuba. Pode ser observada uma distribuição anual bastante regular. A área de influência possui um regime de chuvas de verão muito acentuado e um período menos chuvoso de inverno.

Quadro II.5.1.1.B-7 – Precipitações normais (mm), precipitação (mm) máxima de 24 horas, e evaporações (mm) médias normais em Santos e Ubatuba no período 1961/1990.

Mês	Precipitações (mm) médias normais		Precipitações (mm) máxima de 24 horas		Evaporações (mm) médias normais	
	Santos	Ubatuba	Santos	Ubatuba	Santos	Ubatuba
Jan	278,7	365,8	206,7	343,1	93,4	41,1
Fev	220,1	301,5	149,2	260,0	84,5	37,3
Mar	242,8	314,5	172,4	262,0	87,3	38,4
Abr	195,4	244,4	148,2	259,4	104,3	32,2
Mai	171,3	125,1	130,4	106,0	74,7	31,4
Jun	99,9	84,4	97,9	135,2	71,0	29,8
Jul	112,4	106,1	170,2	162,8	70,4	33,0
Ago	70,7	91,0	63,3	59,2	72,8	51,1
Set	128,7	170,4	98,8	139,4	72,1	29,8
Out	162,9	222,2	126,4	186,0	77,2	32,0
Nov	162,6	258,6	140,4	380,0	83,1	36,1
Dez	235,3	360,5	191,5	374,0	92,1	38,8
Média	2080,8 (b)	2644,5 (b)	206,7 (c)	380,00 (c)	982,8 (b)	431,1 (b)

(b) Valores médios acumulados por ano. (c) Valor máximo de um dia, uma única vez no período.

Fonte: INMET (1979, 1992).

Em Ubatuba, as precipitações médias acumuladas de 2.644,5 mm são bem mais intensas que em Santos, onde a média anual foi de 2.080,8 mm. Praticamente, não há mês com déficit de umidade nessa área. O mês mais seco em Santos foi agosto com 70,7 mm e taxa de evaporação de 72,8 mm. Em Ubatuba, as taxas de evaporação são menores que em Santos e as precipitações

mais elevadas, ver a **Figura II.5.1.1.B-3**. Nos meses de dezembro e janeiro, as precipitações médias mensais de Ubatuba superam os 360 mm, e nos meses de fevereiro e março, ficam entre 300 mm e 360 mm. Em Santos, o mês mais chuvoso foi janeiro com 278,7 mm.

Conforme os dados arquivados no NCDC (*Nationa Climatic Data Center – EUA*), Ubatuba teve em média 164,5 dias chuvosos por ano, no período de agosto de 1945 a dezembro de 1997. Caraguatatuba teve em média 166,7 dias, no período de março de 1943 a dezembro de 1997.

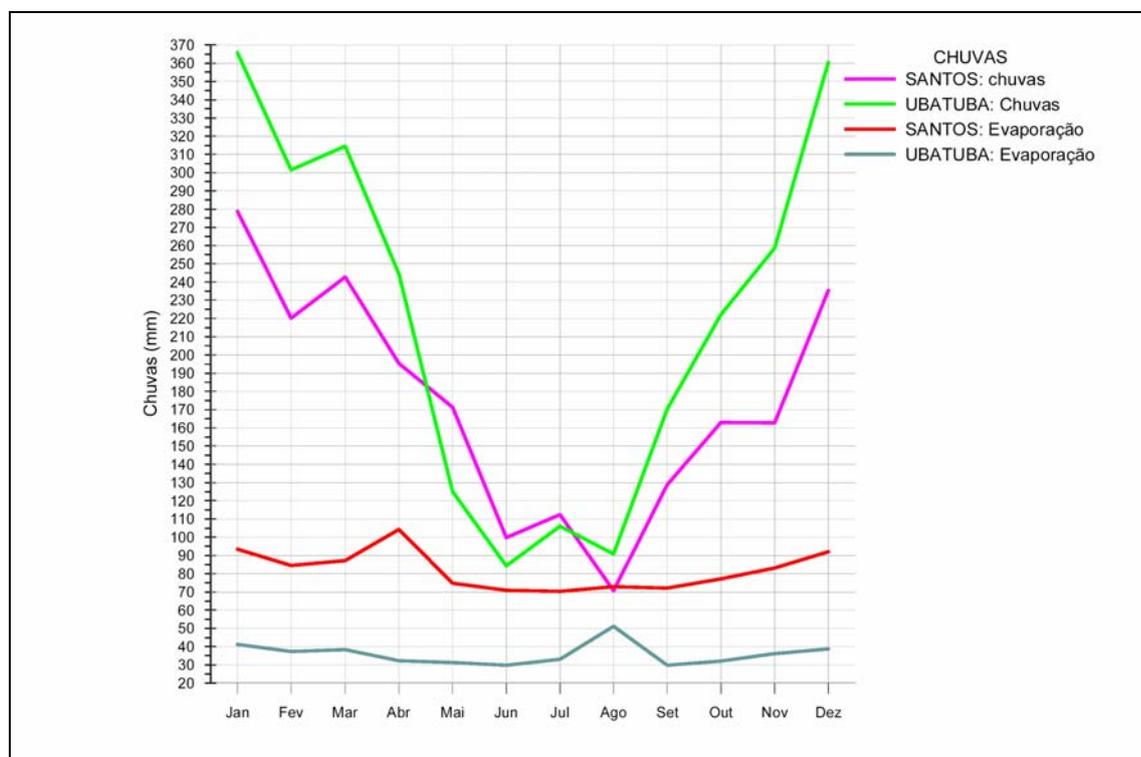


Figura II.5.1.1.B-3 – Precipitações normais e taxas de evaporação nas Estações meteorológicas de Santos e Ubatuba, período de 1961/1990.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2006

Em Santos, a primeira precipitação máxima de 24 horas foi de 206,7 mm, no mês de janeiro, a segunda máxima de 235,3 foi em dezembro. Em Ubatuba, a primeira precipitação máxima de 24 horas foi de 380,0 mm no mês de novembro, a segunda máxima de 24 horas foi de 374,0 mm, no mês de dezembro, e a terceira de 343,1 mm em janeiro (**Figura II.5.1.1.B-4**).

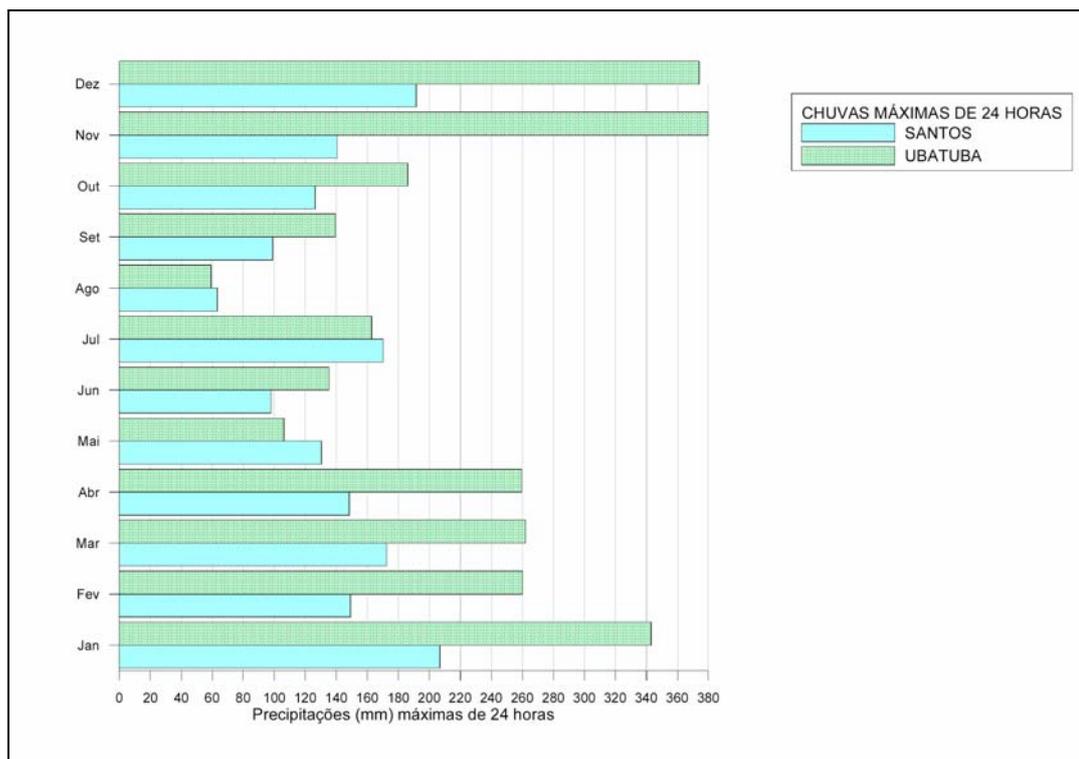


Figura II.5.1.1.B-4 – Chuvas máximas no período de 24 horas nas Estações meteorológicas de Santos e Ubatuba, período de 1961/1990.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2006

A taxa mensal de evaporação em Santos variou de um máximo de 104,3 mm em abril ao mínimo de 70,4 mm em julho. Em Ubatuba, a taxa mensal de evaporação é quase constante todo o ano, oscila entre 30 mm/mês a 40 mm/mês. No ano, a taxa total de evaporação de Santos foi de 982,8 mm e em Ubatuba de somente 431,1 mm.

A **Tabela II.5.1.1.B-8** apresenta os valores de evaporação e precipitação nas estações meteorológicas costeiras de Cananéia, Ubatuba e Rio de Janeiro. De uma maneira geral, nos meses de verão, tanto a evaporação quanto a precipitação aumentam embora haja um predomínio da última. A precipitação média mínima ocorreu em agosto (50 mm) no Rio de Janeiro e a máxima (335 mm) em março em Cananéia. Estas estações caracterizam de forma consistente a região da Bacia de Santos.

Tabela II.5.1.1.B-8 - Evaporação em Cima e Precipitação em Baixo nas Estações Costeiras da Bacia de Santos.

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Cananéia	Ev.	162	141	145	128	111	100	103	114	119	143	164	165
	Pr.	300	310	335	225	160	125	95	70	140	160	155	215
Ubatuba	Ev.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Pr.	239	237	243	179	120	90	100	81	151	170	190	238
Rio de Janeiro	Ev.	110	104	105	92	88	170	105	105	97	98	107	108
	Pr.	111	105	104	138	75	80	55	50	74	85	94	170

Fonte: INMET (1979, 1992).

Vento

A circulação atmosférica de baixos níveis na região sudeste do Brasil é dominada pela ação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), pela passagem de sistemas frontais sobre a região e por circulações locais. A variabilidade sazonal do padrão de ventos na região sudeste devido ao deslocamento da ASAS é caracterizado pelo predomínio de ventos de nordeste no verão e ventos de leste no inverno. Este padrão é ilustrado na fig **Figura II.5.1.1.B-5** e na **Figura II.5.1.1.B-6**, que apresentam o comportamento sazonal da circulação atmosférica obtida através da média de 11 anos (1990 – 2001) das re-análises do modelo de circulação geral do NCEP (referência). Nessa análise foram utilizados dados de vento na altura de 10 m. Observa-se a mudança do posicionamento sazonal da ASAS e o padrão de ventos gerados por esse sistema. Os sistemas frontais atuam durante o ano todo sobre o Brasil com frequências maiores nas latitudes mais altas e menores nas latitudes mais baixas, como se pode notar no estudo de Oliveira (1986).

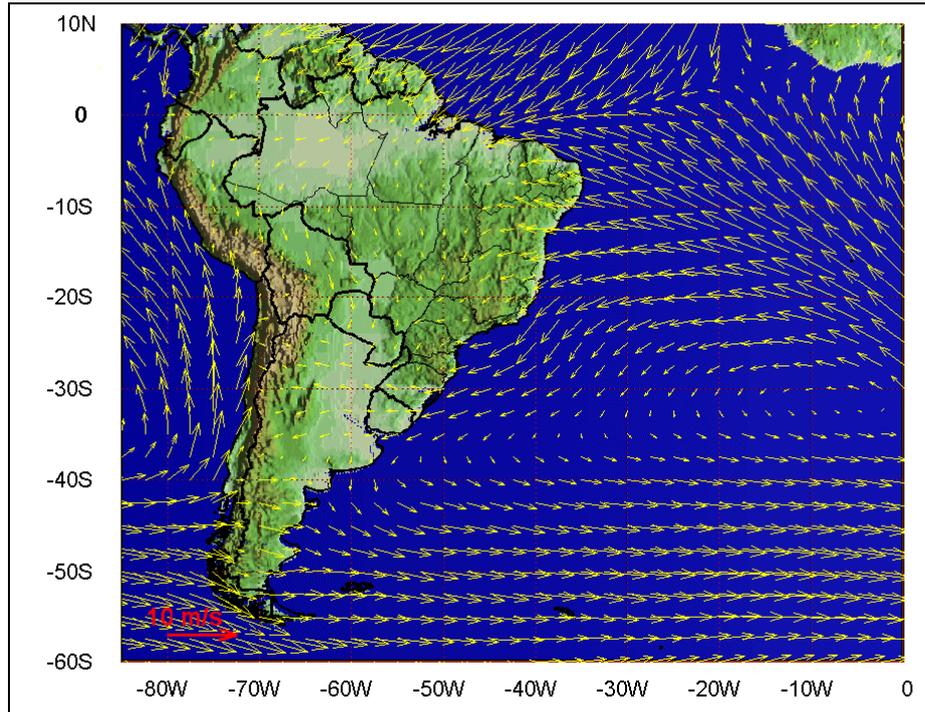


Figura II.5.1.1.B-5 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento a 10 m no período de verão.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2006.

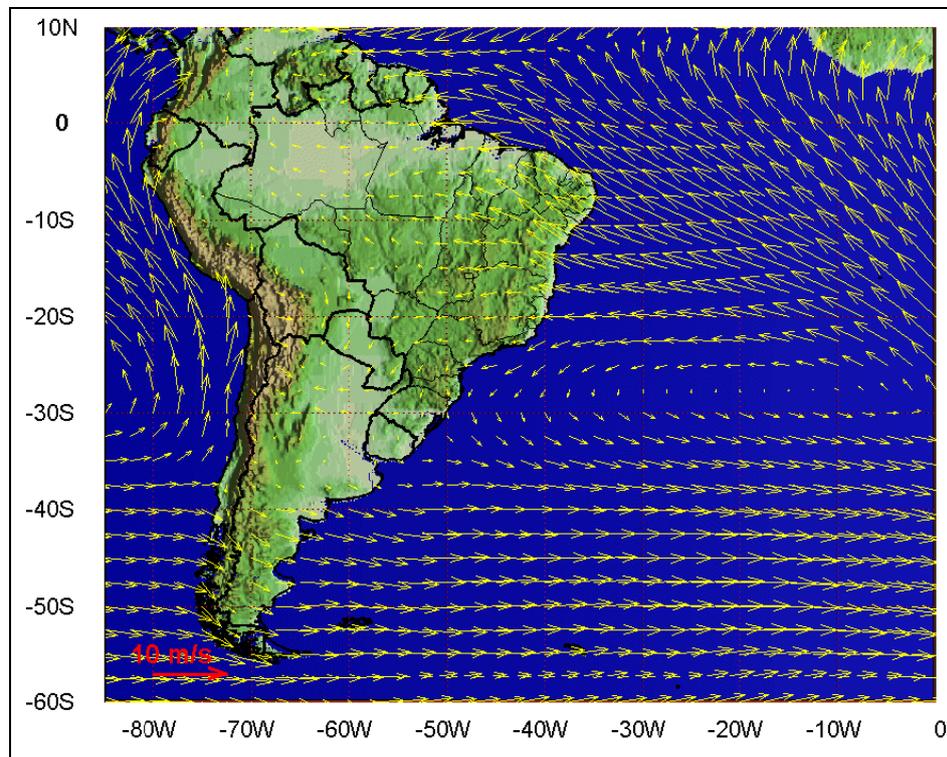


Figura II.5.1.1.B-6 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento a 10 m no período de inverno.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2006.

De acordo com o Boletim de Monitoramento e Análise Climática (CLIMANÁLISE, 1996), que apresentou uma estatística de sistemas frontais que atuaram no litoral do Brasil entre os anos de 1987 a 1995, a média ficou entre 4,5 e 6 sistemas mensais atuando sobre a costa do sudeste brasileiro, com valores máximos nos meses de inverno e valores mínimos nos meses de verão.

O deslocamento desses sistemas está associado ao escoamento ondulatório de grande escala. A intensificação ou dissipação dos mesmos está relacionada com as características atmosféricas sobre o continente. Algumas regiões do Brasil, tais como as Regiões Sul e Sudeste, são regiões frontogenéticas, ou seja, são regiões onde as frentes podem se intensificar ou se formar (SATYAMURTY & MATTOS, 1989).

Em meso e micro escalas, o escoamento de baixos níveis sobre a plataforma continental média e interna está fortemente influenciado pelo efeito de circulações termicamente induzidas (brisas marinha e terrestre).

Para caracterização dos ventos na região estudada é apresentado um conjunto de dados de vento proveniente de re-análises dos modelos meteorológicos NCEP e NCAR (PETROBRAS/HABTEC, 2006). Estes dados possuem, originalmente, uma resolução espacial de 2,5° (que corresponde a aproximadamente 277,8 km).

A **Figura II.5.1.1.B-7** apresenta o *stick plot* dos valores médios diários dos dados referentes à posição de latitude 25,0° S e longitude 42,9° W.

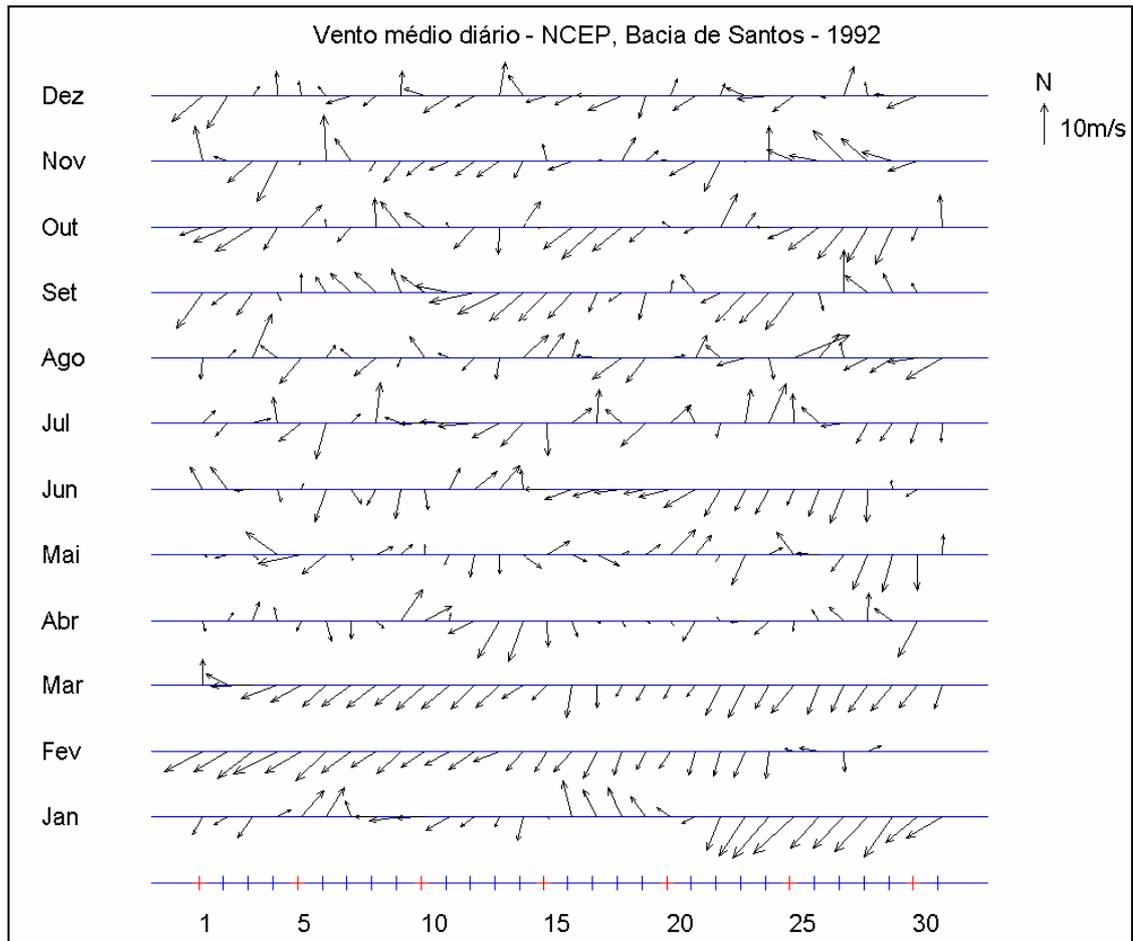


Figura II.5.1.1.B-7 - Diagrama stick plot dos valores médios diários de dados de vento NCEP durante o período de janeiro a dezembro de 1992.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2006

As **Figuras II.5.1.1.B-8** e **II.5.1.1.B-9** apresentam os histogramas direcionais dos dados de vento (NCEP) para a posição de latitude 25,0°S e longitude 42,9°W para os períodos de verão e inverno. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. A intensidade é apresentada em (m.s^{-1}) e a escala de cores representa o número de observações (N.Obs.).

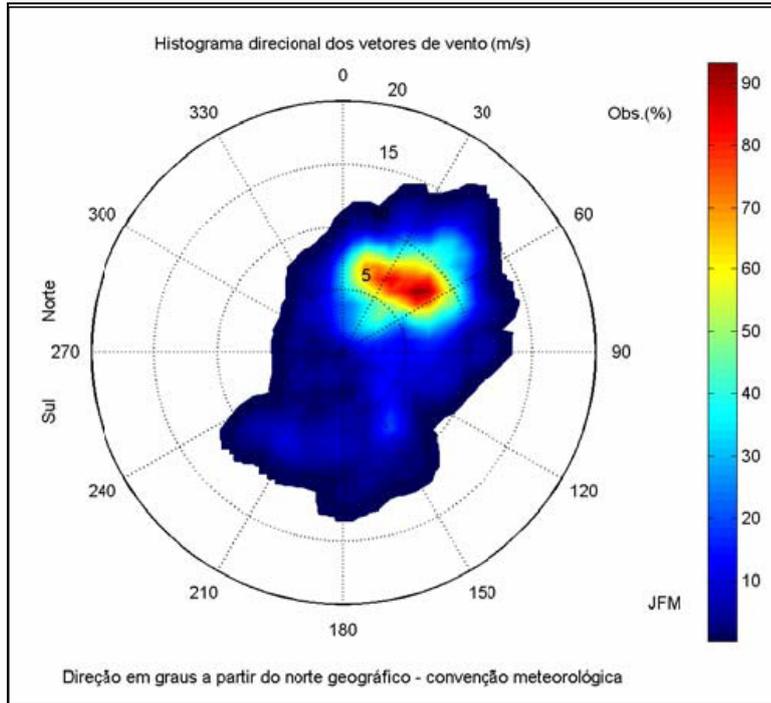


Figura II.5.1.1.B-8 - Histograma direcional dos vetores de vento para verão (janeiro a março), Bacia de Santos.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2006

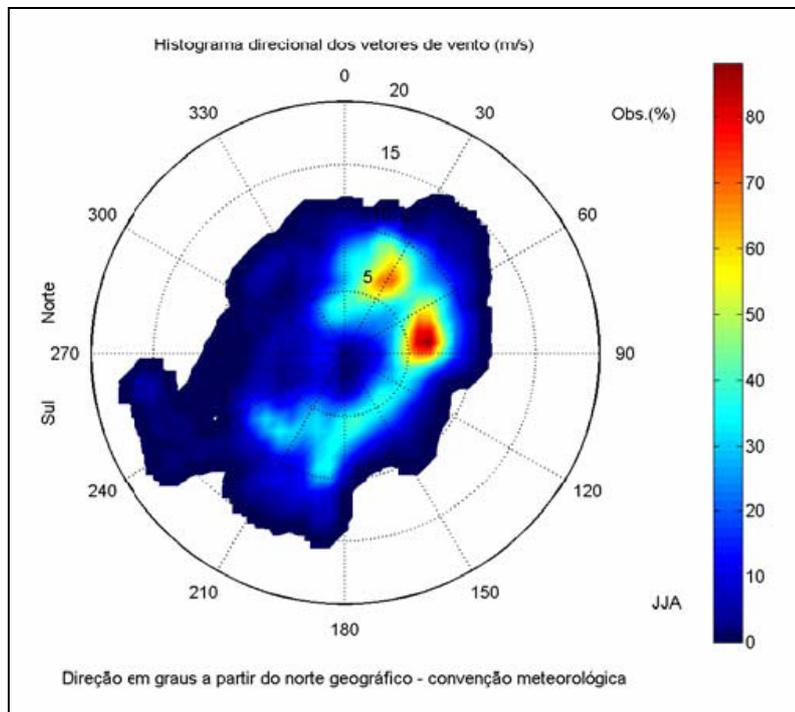


Figura II.5.1.1.B-9 - Histograma direcional dos vetores de vento para inverno (junho a agosto), Bacia de Santos.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2006

A **Tabela II.5.1.1.B-9** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento NCEP para o período de verão. Observa-se que os ventos mais freqüentes são provenientes das direções NE (34,4%) e NNE (19,4%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de NE (8,3 m.s⁻¹) e ENE (8,1 m.s⁻¹); e os ventos mais fortes registrados também foram provenientes de NE (15,1 m.s⁻¹) e ENE (12,5 m.s⁻¹). Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 12,0 m.s⁻¹, como indicam os percentis apresentados na tabela.

Tabela II.5.1.1.B-9 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de verão.

Ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do Vento.

Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção meteorológica.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Porc.	Dir.méd.
0,0- 1,0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	3	6	1	0	3	2	2	22	1	277
1,0- 2,0	4	7	13	4	5	2	1	0	0	1	0	0	0	3	1	5	46	2	38
2,0- 3,0	10	12	9	8	6	2	3	0	0	5	5	0	0	1	6	67	3	38	
3,0- 4,0	12	21	31	8	6	8	12	1	0	1	0	1	4	2	2	5	114	5	45
4,0- 5,0	16	22	29	9	8	7	16	0	4	3	3	3	0	2	7	6	135	6	47
5,0- 6,0	42	54	50	14	8	8	8	4	6	0	4	0	0	0	0	6	204	9	36
6,0- 7,0	27	99	94	58	24	7	25	5	7	1	3	0	0	0	0	4	354	16	50
7,0- 8,0	27	88	120	48	15	5	6	21	8	9	5	0	0	0	0	0	352	16	49
8,0- 9,0	18	58	123	63	12	3	4	9	18	12	0	0	0	0	0	0	332	15	54
9,0-10,0	7	27	91	69	8	0	3	5	4	1	10	0	0	0	0	0	225	10	54
10,0-11,0	3	17	52	47	6	0	1	8	2	3	3	0	0	0	0	0	142	7	57
11,0-12,0	0	9	50	19	8	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	90	4	54
12,0-13,0	0	10	59	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76	4	47
13,0-14,0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	1	43
14,0-15,0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	1	43
15,0-16,0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	40
Total	167	425	755	355	107	51	78	48	44	45	51	5	4	10	13	34	2192		
Porc.	8	19	34	16	5	2	4	2	2	2	2	0	0	1	1	2			
Vel.méd.	6	7	8	8	7	6	6	8	8	7	6	4	4	2	3	4			
Vel.máx.	10	12	15	13	11	9	10	11	12	10	10	5	4	4	5	7			
Percts.(0,9)	8	9	12	10	10	8	7	10	10	8	9	4	3	4	4	6			

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2006

A **tabela II.5.1.1.B-10** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento NCEP para o período de inverno. Observa-se que os ventos mais freqüentes são provenientes das direções NNE (14,5%) e ENE (12,1%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de WSW (8,7 m.s⁻¹) e SSW (7,9 m.s⁻¹); e os ventos mais fortes registrados foram provenientes de WSW (16,6 m.s⁻¹) e W (15,7 m.s⁻¹). Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 15,0 m.s⁻¹, como indicam os percentis apresentados na tabela.

Tabela II.5.1.1.B-10 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de inverno.

Ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do Vento.

Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção meteorológica.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Porc.	Dir.méd.
0,0- 1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0,1	313
1,0- 2,0	1	3	0	1	2	0	0	0	1	0	3	5	4	4	2	3	29	1,3	289
2,0- 3,0	11	12	4	7	2	5	2	0	1	2	7	0	4	3	6	6	72	3,3	5
3,0- 4,0	15	16	7	15	7	8	14	7	1	3	0	3	2	3	12	17	130	5,9	34
4,0- 5,0	29	16	13	13	26	21	20	24	16	16	9	2	2	3	3	14	227	10,3	97
5,0- 6,0	19	48	20	44	48	24	29	26	34	21	14	1	5	5	1	2	341	15,4	96
6,0- 7,0	23	58	38	58	79	19	8	12	27	30	5	6	3	1	1	6	374	16,9	75
7,0- 8,0	36	50	55	56	55	2	6	11	30	28	30	9	1	3	2	6	380	17,2	64
8,0- 9,0	15	51	26	38	18	0	5	0	22	17	46	9	0	1	8	2	258	11,7	52
9,0-10,0	17	57	39	26	12	0	0	0	30	14	16	4	1	1	4	4	225	10,2	45
10,0-11,0	4	7	20	9	0	0	0	0	8	17	5	0	1	0	0	3	74	3,4	64
11,0-12,0	0	1	5	0	0	0	0	0	4	18	4	2	0	0	0	0	34	1,5	201
12,0-13,0	0	2	9	0	0	0	0	0	7	7	2	0	0	0	0	0	27	1,2	163
13,0-14,0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	4	2	0	0	0	0	16	0,7	209
14,0-15,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4	0,2	247
15,0-16,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8	0	0	0	0	12	0,5	257
16,0-17,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0,1	237
Total	170	321	236	267	249	79	84	80	185	180	145	54	31	24	39	64	2208		
Porc.	7,7	14,5	11	12,1	11	3,6	3,8	3,6	8,4	8,2	6,6	2,4	1	1,1	1,8	2,9			
Vel.méd.	6,2	7	7,8	6,8	6,4	5,1	5,2	5,5	7,6	7,9	7,6	8,7	8	4,6	5,4	5			
Vel.máx.	10	12,8	13	10,8	9,8	7,7	8,8	7,9	13	13,4	13	16,6	16	9,2	9,2	10,3			
Percts.(0,9)	9	9	10	9	8	6	7	7	10	11	10	15	15	7,1	8,6	9			

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2006

II.5.1.2 – Oceanografia

Este item apresenta uma caracterização dos parâmetros oceanográficos da região do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás na Área de Tupi, localizado na Bacia de Santos, levando-se em conta variações sazonais e condições críticas, considerando os seguintes parâmetros: temperatura, salinidade e densidade da água do mar (diagrama TS); distribuição vertical das massas d'água; regime de correntes (direção e intensidade). Estas caracterizações são baseadas em dados oceanográficos provenientes diagnósticos ambientais, programas de monitoramento, programas de caracterização ambiental e pesquisas científicas realizadas na Bacia de Santos.

O **Quadro II.5.1.2-1** apresenta os trabalhos que serviram como balizadores para os levantamentos de dados secundários, especificando os parâmetros oceanográficos analisados, e o método de amostragem utilizado em cada estudo. A única exceção é o estudo de Levitus (1994), que trabalhou com a média de

inúmeras estações e diferentes equipamentos de coleta dentro de um quadrado de Mardsen (QMD376/SQMD54).

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

Referencia Bibliográfica	Parâmetro	Amostragem
Levitus,1994	Temperatura e Salinidade	CTD, XBT e DBT
Petrobras/HabTec,2003	Temperatura e Salinidade	CTD
Projeto COROAS,1999	Correntes	Derivadores
Moreira, 1997	Correntes	Correntômetro
BNDO-DHN	Ondas	Diversos
Salles, 2000	Maré	Marégrafo

A) Massas d'água

A caracterização mais correta das massas d'água, precisa considerar, não apenas as informações marinhas, mas também as influências diretas dos aportes continentais. Uma das principais características da Plataforma Continental do Sudeste (PCSE) é a pequena influência direta do aporte continental, uma vez que os grandes rios da Região Sul do Brasil afluem para a Bacia do Prata. O maior rio que desemboca na PCSE, a Itajaí em Santa Catarina, possui vazão média de 247 m³/s (SCHETTINI *et al*, 1996). Apenas em épocas de grande pluviosidade os picos de descarga podem aumentar significativamente (5.180 m³.s⁻¹ em 1957 e 4.900 m³.s⁻¹ em 1984) (INPH, 1985).

No processo de formação das massas d'água o Atlântico Sul recebe águas provenientes do Atlântico Norte, do Pacífico, do Mar de Weddell e, em menor volume, águas do Oceano Índico. Cada massa d'água apresenta padrões próprios de temperatura e salinidade e níveis de circulação, contribuindo, distintamente, na formação da circulação termohalina do Atlântico Sul.

São identificadas diversas massas de água na região sul-sudeste brasileira. Para esta área convergem águas de origens contrastantes. Do sul, chegam águas de origem subantárticas, através de um ramo costeiro da Corrente das Malvinas, e do norte chegam águas de origem tropical, através da Corrente do Brasil.

Os vários trabalhos referentes às águas da região costeira sudeste-sul brasileira e da região oceânica do Atlântico Sul, indicam, de forma genérica, a presença das seguintes massas d'água: Água Costeira - AC; Água Tropical - AT;

Água Central do Atlântico Sul - ACAS; Água Intermediária Antártica - AIA; Água Profunda do Atlântico Norte - APAN; Água Subantártica - ASA; Água Antártica de Fundo – AAF.

O primeiro estudo sobre a estrutura oceanográfica da PCSE foi realizado por Edmilson (1961). Que classificou as massas d'água que ocorrem na região como Água Tropical (AT) ($T > 20.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $S > 36.40$) que é transportada para o sul pela Corrente do Brasil (CB); Água Costeira (AC), muito influenciada pelo aporte continental de água doce; Água Subtropical ($T < 20.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $S < 36.40$), posteriormente redefinida como ACAS, originada na convergência subtropical; e Água Costeira (AC), resultante da mistura da ACAS com a AT e AC sobre a PCSE.

A Plataforma Continental foi dividida em três regiões em função de características oceanográficas (MOREIRA, 1997, CASTRO FILHO, 1996). A Plataforma Continental Interna (PCI) varia sazonalmente sua extensão, e possui grande homogeneidade de suas propriedades físicas. Seu limite externo é função do contato da região da termoclina sazonal com o fundo, porção denominada de Frente Térmica Sub-superficial (FTS).

A Plataforma Continental Média (PCM) aparece de forma nítida durante o verão, se estendendo a partir da Frente Térmica Sub-superficial (FTS), denominada Frente Halina Superficial (FHS), a PCM é caracterizada por uma não homogeneidade de salinidade entre a Corrente do Brasil e as águas da plataforma, sendo identificada pela presença da termoclina sazonal.

A Plataforma Continental Externa (PCE) apresenta uma estratificação vertical pouco intensa, com pequena variação sazonal. Estende-se desde as isóbatas de 70m a 90m, até a quebra da plataforma, com registros de intrusões subsuperficiais da Corrente do Brasil.

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

- Água Costeira (AC) – Água de mistura localizada sobre a plataforma continental e caracterizada por baixa salinidade quando comparada

com a Água Tropical (AT), devido a contribuições fluviais. A Água Costeira (AC) ocupa as camadas mais superficiais ao longo da plataforma continental, com a sua espessura chegando até 50 m e com características termohalinas bastante variáveis em função da variabilidade sazonal de fatores como aportes fluviais e condições climáticas. Seus limites termohalinos e seu posicionamento na coluna d'água são definidos como:

- ✓ Posicionamento: Superfície chegando até a 50 m de profundidade
 - ✓ Salinidade: < 36,0
 - ✓ Temperatura: ≥ 20 °C
- Água Tropical (AT) – Massa d'água formada em baixas latitudes, onde a taxa de evaporação é maior que a taxa de precipitação. Caracterizada, principalmente, pelos seus altos valores de salinidade e temperatura, a Água Tropical (AT) é transportada para sul pela corrente do Brasil, onde penetra na plataforma continental externa, formando uma frente na superfície com a Água Costeira. A AT situa-se acima da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e por ter a superfície do oceano como limite superior, é influenciada pelas condições climáticas da região onde se encontra. A AT pode ser caracterizada pelos seguintes valores:
 - ✓ Posicionamento (média): 0 a 170 m de profundidade
 - ✓ Salinidade: > 36,0
 - ✓ Temperatura: >20° C
 - Água Central do Atlântico Sul (ACAS) – Esta massa se forma por afundamento das águas na região de Convergência Subtropical e, normalmente, ocupa a termoclina principal da região oceânica adjacente à plataforma continental brasileira, sendo caracterizada por uma reta no diagrama TS. Embora seu fluxo principal seja na direção Norte, a ACAS circula com as correntes do Atlântico Sul e Benguela, transportada pela corrente Sul Equatorial, ela atinge a costa da América

do Sul, onde se bifurca, parte fluindo rumo ao Equador e outra, rumo ao Sul. Este padrão de circulação é confirmado por autores como Tsuchya (1986), Reid (1989) e Stramma & England (1999), que mostram o movimento da ACAS na direção Sul, ao largo da costa do sudeste brasileiro, em latitudes abaixo de 20° S (SILVEIRA *et al.*, 2000). Suas características são:

- ✓ Limite Superior: Posicionamento (média): 170 m de profundidade;
 - ✓ Salinidade: 36,0;
 - ✓ Temperatura: 18°C;
 - ✓ Limite Inferior: Posicionamento (média): 590 m de profundidade;
 - ✓ Salinidade: 34,6;
 - ✓ Temperatura: 8 °C;
- Água Intermediária Antártica (AIA) – Formada por misturas subsuperficiais na região da Convergência Antártica, a AIA flui em direção ao norte (MULLER *et al.*, 1998), entre a ACAS e a APAN (Água Profunda do Atlântico Norte, descrita logo adiante). É caracterizada por apresentar um núcleo de mínima salinidade no diagrama TS, embora estes valores sejam maiores no seu limite superior (com a ACAS) e inferior (com a APAN), conforme ilustrado abaixo.
 - ✓ Salinidade Máxima (média): 34,6
 - ✓ Salinidade Mínima (média): 34,35
 - ✓ Limite Superior: Posicionamento (média): 590 m
 - ✓ Temperatura: 8 °C
 - ✓ Limite Inferior: Posicionamento (média): 1100 m
 - ✓ Temperatura: 3,5 °C
 - Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) – Massa d'água hipersalina e rica em oxigênio, embora pobre em nutrientes. Origina-se na região entre o Mar de Labrador, na Noruega e o Mar da Groenlândia, sendo este último considerado como sua principal fonte e responsável por

mais de 80% do seu volume total. Esta massa d'água é formada a partir do resfriamento das águas de superfície, fato este que, acoplado ao alto teor salino da água torna-a ainda mais densa, causando o seu afundamento. A APAN flui em direção ao sul através do Equador (REID, 1989), sendo identificada por apresentar as seguintes características:

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

Uma importante feição oceanográfica presente na região da Bacia de Santos é a ressurgência costeira. Ela ocorre principalmente na primavera e verão, quando ventos constantes de nordeste empurram as águas superficiais na direção oceânica, provocando a subida de águas frias de fundo (ACAS).

Dentre os levantamentos de dados oceanográficos realizados na região da Bacia de Santos, destaca-se o projeto denominado COROAS (Circulação Oceânica na Região Oeste do Atlântico Sul), que foi uma contribuição da comunidade científica brasileira ao programa internacional WOCE (*World Ocean Circulation Experiment*). Este projeto levantou e analisou dados de massa de água obtidos em três cruzeiros, um no verão de 1993 (HM1), outro no inverno de 1993 (HM2) e outro no verão de 1994 (SILVA, 1995) (**Tabela II.5.1.2.A- 1**).

Tabela II.5.1.2.A-1: Informações sobre os Cruzeiros Oceanográficos Utilizados na Descrição da Circulação da Camada Superficial em Meso-Escala.

Cruzeiro	Período	Nº de Estações Oceanográficas	Profundidade da Área (m)
Victor Hensen Vhs	15 a 22/01/91	58	100 a <2400
COROAS HM1	25/01 a 08/02/93	107	40 a <2000
COROAS HM2	17 a 29/07/93	97	40 a <2000
COROAS HM3	20 a 29/01/1994	~100	40 a <2000

Fonte: Silva (2005)

A área do Projeto COROAS estendeu-se da isóbata de 50 m até aproximadamente a isóbata de 2500 m. Para efeito do estudo da região do Piloto de Tupi, a região do estudo foi dividida em duas partes: Plataforma Continental

(PC) e Região Oceânica (RO), tendo como referência região próxima a isóbata de 200 m como limite entre elas.

A análise dos diagramas TS evidenciou a existência das seguintes massas de água:

Na Plataforma Continental (PC):

- Água Tropical (AT);
- Água Costeira (AC) e
- Água Central do Atlântico Sul (ACAS).

Na Região Oceânica (RO):

- Água Tropical (AT);
- Água Central do Atlântico Sul (ACAS);
- Água Intermediária Antártica (AIA) e
- Água Profunda do Atlântico Norte (APAN).

A partir desses diagramas TS espalhados obtiveram-se os índices termohalinos apresentados na **Tabela II.5.1.2.A- 2**.

Tabela II.5.1.2.A-2 - Índices Termohalinos das Massas de Água Encontradas na Análise dos Diagramas TS dos Cruzeiros do Projeto Coroa.

Massa D'água	PC		RO	
	T (°C)	S	T (°C)	S
AC (Verão)	27,25	34,88	-	-
AC (Inv.)	17,25	32,27	-	-
AT	23,88	37,17	20,50	36,42
ACAS	13,13	35,27	20,00	36,41
AIA	-	-	2,50	33,57
APAN	-	-	4,00	35,00

Fonte: Silva (1995).

A distribuição das águas na região sul do Brasil segue a um padrão sazonal e sua dinâmica influencia, diretamente, no balanço de nutrientes dissolvidos para a região (FILMANN,1990), pois cada massa de água possui uma composição química característica, resultado de sua origem e de processos biogeoquímicos que sofre ao longo de seu deslocamento.

A Corrente do Brasil (CB) é caracterizada por Água Tropical (AT) oligotrófica que alcança a costa sul brasileira a maior parte do ano. O fato desta apresentar uma baixa concentração média de nutrientes dissolvidos além de uma baixa concentração média de matéria em suspensão, indicam a falta de enriquecimento proveniente de drenagem continental. Em contraste, a Água Subantártica (ASA) (Transportada pela Corrente das Malvinas), representa uma importante fonte de nutrientes para as águas da plataforma, especialmente durante o inverno. Esta promove a adição de altas concentrações de nitrato dissolvido, amônio, fosfato e silicato permitindo uma maior produção primária sobre a plataforma (FILMANN,1990; CIOTTI, 1990; SALES DIAS,1994).

A combinação destes fatores físicos e químicos promove condições favoráveis à produção primária (HUBOLD,1980a,b: CIOTTI, 1990), fato este que se reflete, em última análise, na alta produtividade pesqueira, tanto de peixes demersais (HAIMOVICI *et al*, 1989), quanto pelágicos (CASTELLO *et al*, 1990) na região sul do país, aonde ocorre a confluência das correntes do Brasil com a das Malvinas.

Pode-se resumir o padrão de massas d'água na plataforma interna da Bacia de Santos em:

Situação de primavera-verão:

- Coluna d'água em duas camadas com a presença de uma termoclina bastante acentuada. Os ventos vindos do quadrante norte provocam a ressurgência costeira da ACAS Principalmente na região de Arraial do Cabo. Já os ventos de sul provocam a subsidência de águas junto à costa com afundamento da termoclina.

Situação de outono-inverno:

- Coluna d'água homogênea causada tanto pela subsidência costeira devido ao aumento da magnitude e persistência dos ventos de sul, como pela advecção de águas de origem sub antárticas.

B) Temperatura e Salinidade da Água do Mar

Os campos de temperatura e salinidade da água do mar na região de quebra da plataforma continental na Bacia de Santos apresentam perfis característicos da mistura de águas de plataforma continental (homogeneizadas por ação de ventos e de marés) e de águas oceânicas.

Temperatura

A partir das informações dos estudos citados na seqüência, o padrão de flutuação da temperatura comprovou a disposição apresentada anteriormente das massas d'água na área.

Levitus (1994) apresenta perfis de dados até 1000 metros de profundidade não contemplando, então, a profundidade limite entre a AIA e a APAN. Os valores médios de temperatura encontrados por Levitus (1994) podem ser observados na **Tabela II.5.1.2.B-1** indicando uma variação anual de 22,72 °C a 24,49 °C, na superfície; de 7,95 °C a 7,96 °C, a 600 metros; e de 3,73 °C a 3,74 °C, a 1000 m.

Tabela II.5.1.2.B-1 - Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão de temperatura para o QMD 376/SQMD 54.

Prof	Anual				Verão (Out a Mar)				Inverno (Abri a set)			
	Máx.	Mín.	Méd.	DP	Máx.	Mín.	Méd.	DP	Máx.	Mín.	Méd.	DP
0	26,50	21,29	23,61	1,95	26,50	21,73	24,49	1,88	26,05	21,29	22,72	1,72
10	25,66	21,07	23,26	1,75	25,66	21,50	23,95	1,70	25,58	21,07	22,57	1,65
20	24,73	20,92	22,71	1,41	24,73	21,15	23,09	1,36	24,73	20,92	22,33	1,48
30	23,80	20,82	22,12	1,05	23,80	20,82	22,29	1,06	23,80	20,88	21,95	1,10
50	22,69	20,55	21,50	0,71	22,69	20,55	21,48	0,72	22,69	20,80	21,51	0,76
75	21,33	19,80	20,38	0,47	20,93	19,82	20,35	0,39	21,33	19,80	20,42	0,57
100	20,14	18,94	19,53	0,38	20,06	19,35	19,66	0,27	20,14	18,94	19,41	0,46
125	19,37	17,95	18,78	0,40	19,37	18,62	19,00	0,24	19,12	17,95	18,56	0,43
150	18,79	17,24	18,24	0,44	18,79	18,00	18,43	0,28	18,62	17,24	18,04	0,51
200	16,73	15,92	16,41	0,22	16,73	16,17	16,47	0,21	16,61	15,92	16,36	0,24
250	15,36	14,78	15,06	0,14	15,36	14,78	15,07	0,19	15,21	14,95	15,06	0,10
300	14,42	13,81	14,05	0,17	14,42	13,81	14,03	0,22	14,25	13,84	14,07	0,13
400	12,81	11,95	12,34	0,23	12,81	12,16	12,34	0,24	12,58	11,95	12,33	0,23
500	10,88	9,38	9,99	0,40	10,30	9,38	9,84	0,38	10,21	9,81	10,13	0,40
600	8,67	7,29	7,95	0,42	8,59	7,29	7,95	0,43	8,19	7,52	7,96	0,44
700	6,62	6,03	6,30	0,21	6,45	6,04	6,28	0,16	6,62	6,03	6,31	0,26
800	5,40	4,67	5,07	0,21	5,35	4,67	5,01	0,22	5,40	4,88	5,13	0,20

Continua

Continuação do Quadro II.5.1.2.B-1

Prof	Anual				Verão (Out a Mar)				Inverno (Abri a set)			
	Máx.	Mín.	Méd.	DP	Máx.	Mín.	Méd.	DP	Máx.	Mín.	Méd.	DP
900	4,59	4,12	4,34	0,15	4,49	4,12	4,32	0,14	4,59	4,15	4,36	0,17
1000	3,89	3,55	3,73	0,10	3,87	3,55	3,73	0,12	3,89	3,61	3,74	0,10

Fonte: Levitus (1994)

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

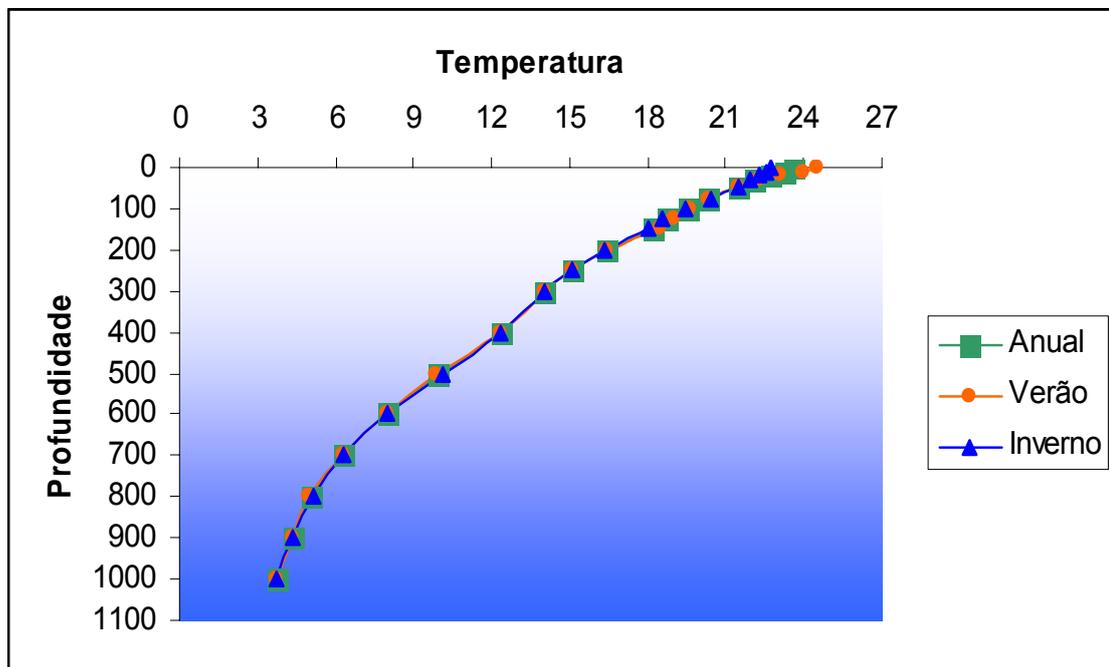


Figura II.5.1.2.B-1 - Temperaturas médias anuais, de inverno e de verão.

Fonte: Levitus (1994)

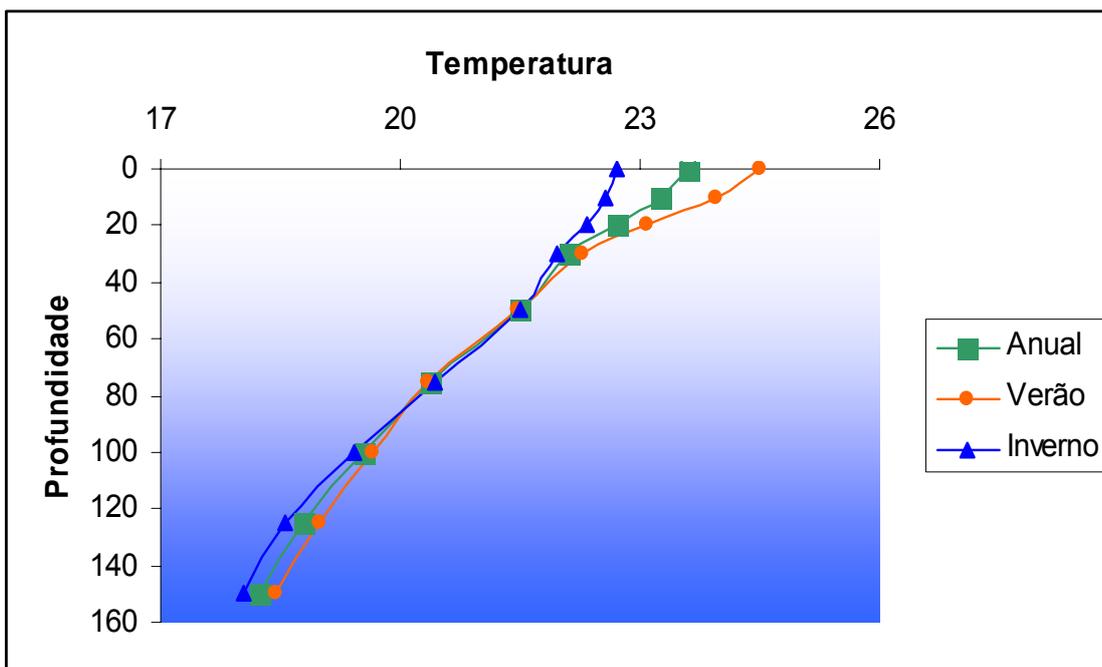


Figura II.5.1.2.B-2 - Detalhe de 0 a 150 m.

Fonte: Levitus (1994)

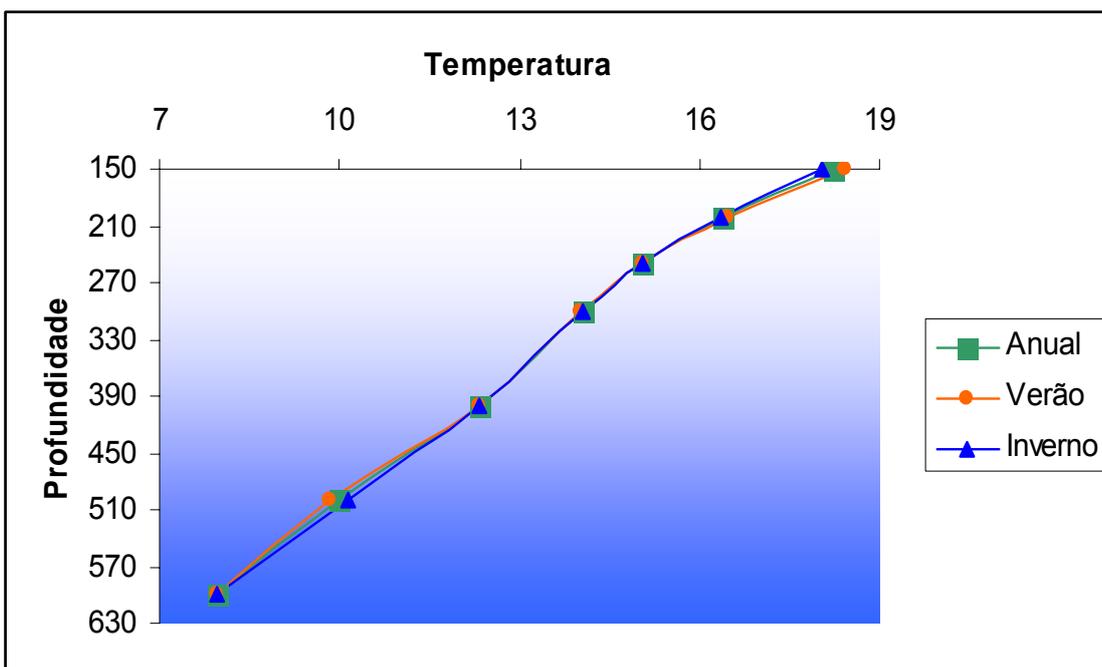


Figura II.5.1.2.B-3 - Detalhe de 150 a 600 m.

Fonte: Levitus (1994)

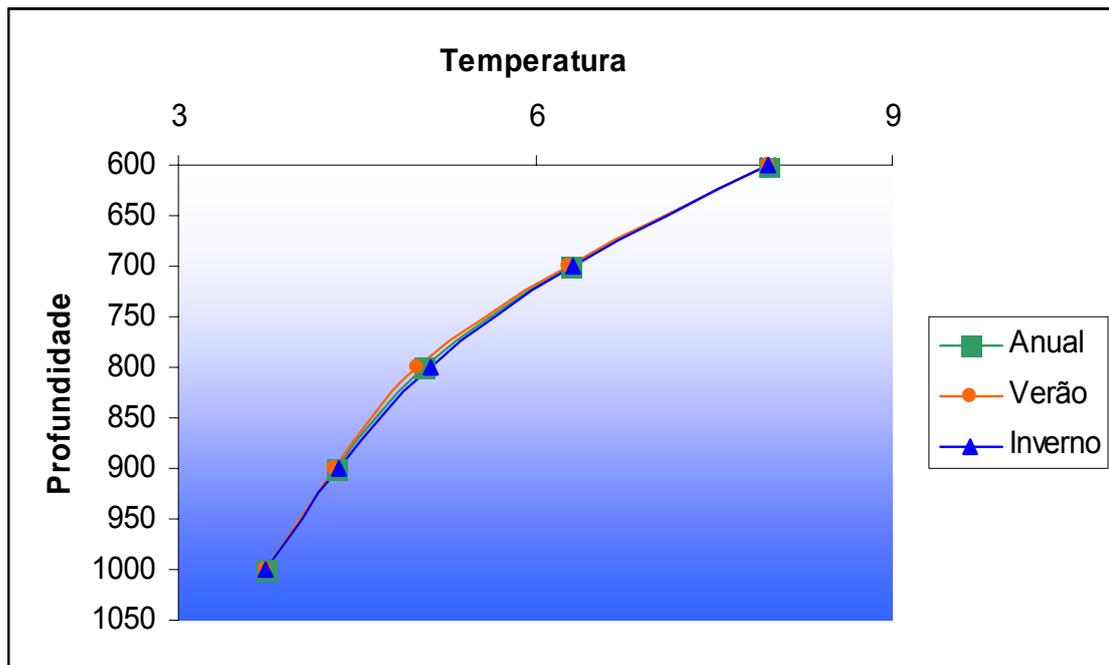


Figura II.5.1.2.B-4 - Detalhe de 600 a 1000 m.

Fonte: Levitus (1994)

No inverno, observa-se um comportamento da temperatura semelhante com o verão, entretanto com uma variação menor dos valores superficiais, com a termoclina sazonal na faixa dos 50 metros, sendo no mês de Agosto observadas as menores temperaturas superficiais durante o ano. As maiores amplitudes de temperatura durante o ano, estão na faixa da superfície até 150 metros, visto que esta sofre influência da insolação.

Entre 150 e 600 metros, o perfil de temperatura mostra-se menos variável, evidenciando as duas profundidades que definem os pontos de interação entre três das massas d'água (AT, ACAS e AIA) existentes na região (LEVITUS, 1994). A camada intermediária de 150 a 600 metros apresenta-se bem homogênea, sendo um registro da posição e da largura da ACAS, com a interface entre a AT e a ACAS ocorrendo de 150 a 200 metros e o limite superior da AIA na coluna d'água podendo ser localizado na faixa de profundidade entre 600 e 610 metros. Na faixa de profundidade entre 600 e 1000 metros observam-se pequenas diferenças entre os valores de verão para os de inverno.

Em um levantamento realizado em outubro de 2002, na parte leste da Bacia de Santos foram obtidos 20 perfis de temperatura no período de um dia, os quais indicaram valores de temperatura próximos dos limites térmicos descritos por

Levitus (1994), com a temperatura variando de 23,38 a 24,26 °C, na superfície; de 8,12 a 9,44 °C a 600 metros e de 3,69 a 4,06 °C, na profundidade de 1000 metros (PETROBRAS / HABTEC, 2003).

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

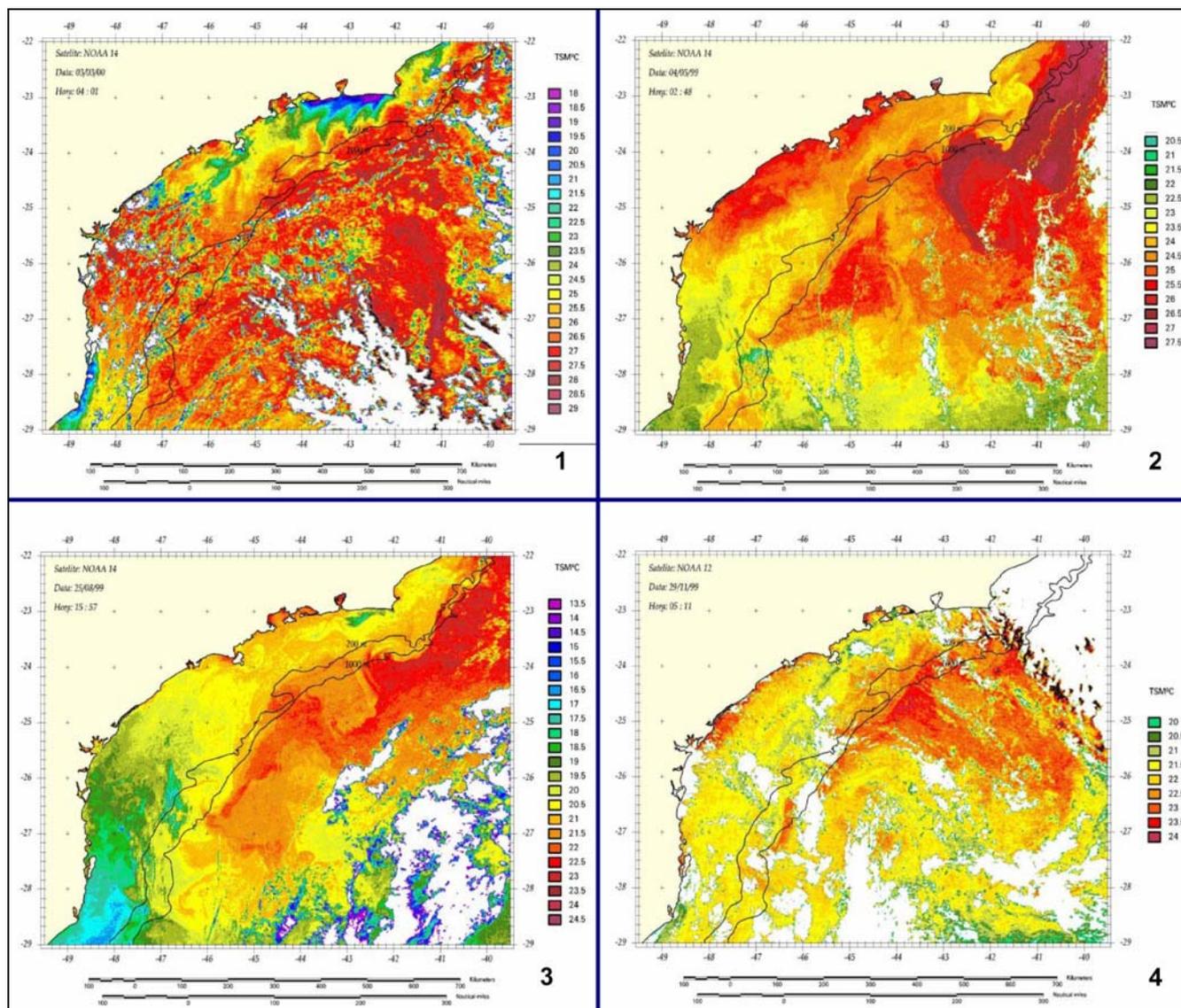


Figura II.5.1.2.B-5 - Mapas de Temperatura Superficial do Mar (TSM) gerados a partir de imagens de satélites na Bacia de Santos, mostrando a TSM para as quatro estações do ano: Verão (1), Outono (2), Inverno (3) e Primavera (4).
Fonte: Habtec (2000).

Salinidade

Os dados fornecidos Levitus (1994) apresenta perfis até 1000 metros de profundidade, portanto este não abrange as profundidades de concorrências da AIA e da APAN. Os valores médios de salinidade encontrados por Levitus (*op. cit.*) na região podem ser observados no **Tabela II.5.1.2.B-2**. Estes dados podem ser observados valores superficiais superiores a 36 característicos da AT, encontrados na Corrente do Brasil.

As Figuras **II.5.1.2.B-6** a **II.5.1.2.B-9**, apresentam o comportamento da salinidade, enfocando a sua pequena variação anual. O registro da ACAS estende-se até cerca de 600 metros. Abaixo desta profundidade e se estendendo até 1000 m, fica sob o domínio da AIA que apresentou seu núcleo, que é caracterizado pela salinidade mínima no diagrama TS, localizado na profundidade aproximada de 900 metros.

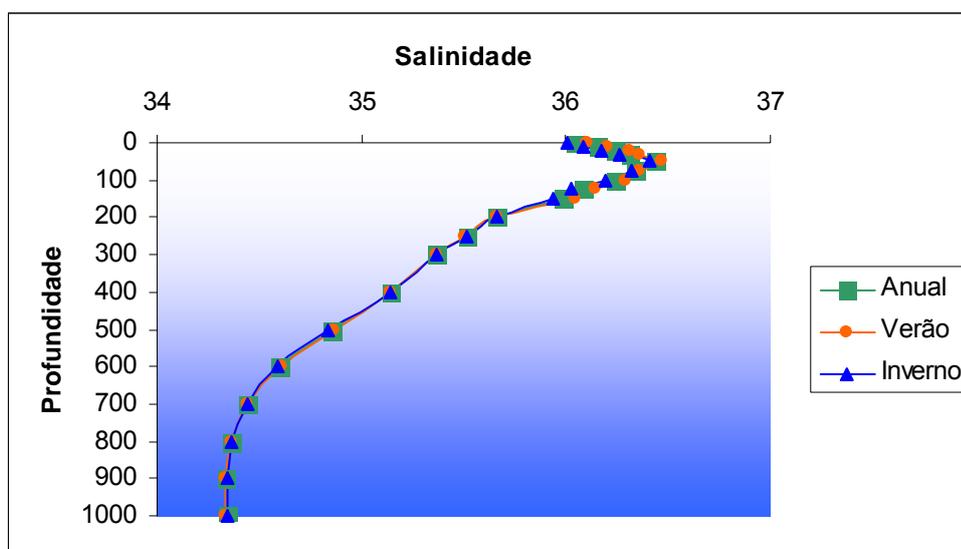


Figura II.5.1.2.B-6 - Salinidades médias anuais, de inverno e de verão.

Fonte: Levitus (1994).

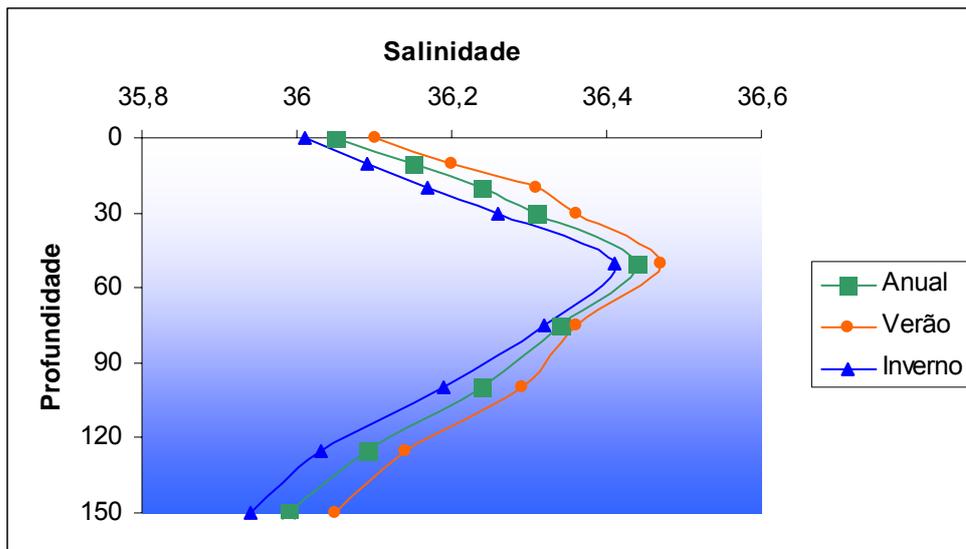


Figura II.5.1.2.B-7 - Detalhe de 0 a 150 m.
Fonte: Levitus (1994).

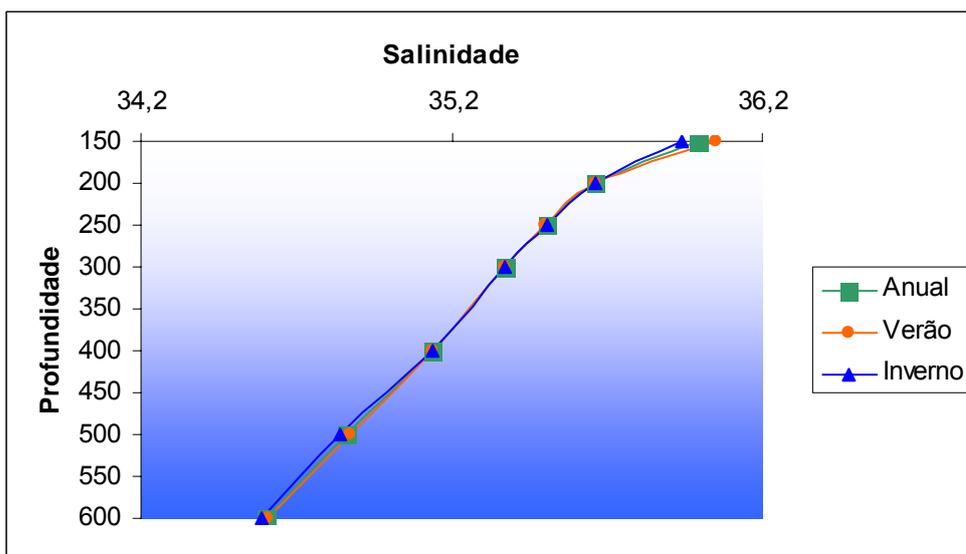


Figura II.5.1.2.B-8 - Detalhe de 150 a 600 m.
Fonte: Levitus (1994).

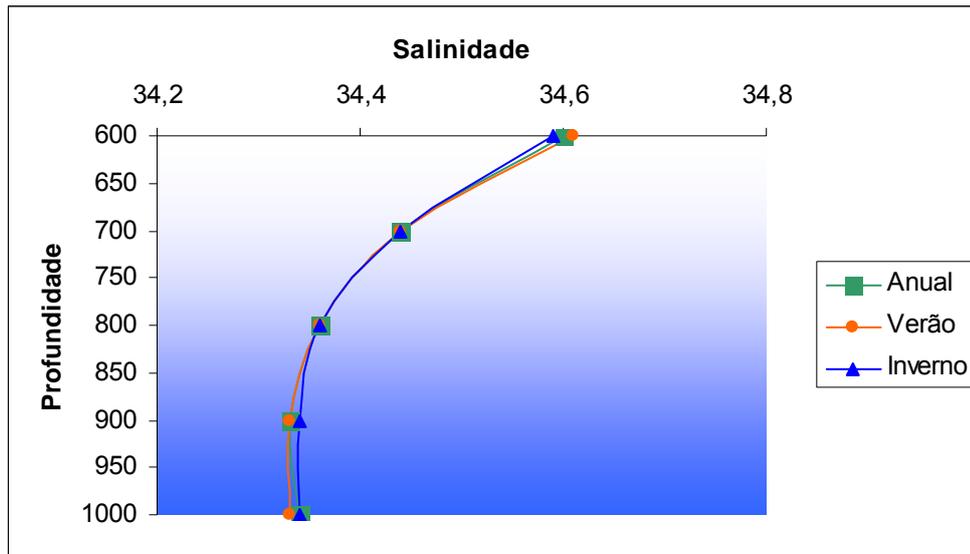


Figura II.5.1.2.B-9 - Detalhe de 600 a 1000 m.

Fonte: Levitus (1994).

Tabela II.5.1.2.B-2 - Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão de salinidade para o QMD 376/SQMD 54.

Prof	Anual				Verão (Out a Mar)				Inverno (Abri a set)			
	Máx.	Mín.	Méd.	DP	Máx.	Mín.	Méd.	DP	Máx.	Mín.	Méd.	DP
0	36,27	35,58	36,05	0,19	36,27	35,79	36,1	0,16	36,27	35,58	36,01	0,22
10	36,32	35,66	36,15	0,17	36,32	36,04	36,2	0,09	36,32	35,66	36,09	0,22
20	36,4	35,78	36,24	0,16	36,4	36,26	36,31	0,05	36,4	35,78	36,17	0,21
30	36,45	35,98	36,31	0,13	36,43	36,31	36,36	0,04	36,45	35,98	36,26	0,16
50	36,56	36,28	36,44	0,08	36,52	36,43	36,47	0,03	36,56	36,28	36,41	0,1
75	36,45	36,13	36,34	0,09	36,4	36,29	36,36	0,04	36,45	36,13	36,32	0,11
100	36,33	36,04	36,24	0,09	36,31	36,27	36,29	0,02	36,33	36,04	36,19	0,11
125	36,2	35,92	36,09	0,08	36,2	36,07	36,14	0,04	36,16	35,92	36,03	0,08
150	36,11	35,77	35,99	0,12	36,11	35,95	36,05	0,06	36,07	35,77	35,94	0,14
200	35,79	35,52	35,66	0,08	35,72	35,52	35,66	0,07	35,79	35,58	35,66	0,09
250	35,6	35,42	35,51	0,06	35,58	35,43	35,5	0,05	35,54	35,42	35,51	0,06
300	35,46	35,27	35,37	0,05	35,42	35,32	35,37	0,04	35,43	35,27	35,37	0,07
400	35,23	35,02	35,14	0,06	35,18	35,07	35,14	0,04	35,21	35,02	35,14	0,08
500	34,96	34,75	34,86	0,06	34,93	34,79	34,87	0,06	34,89	34,75	34,84	0,07
600	34,7	34,48	34,60	0,07	34,7	34,53	34,61	0,06	34,64	34,48	34,59	0,08
700	34,49	34,38	34,44	0,04	34,49	34,38	34,44	0,04	34,48	34,39	34,44	0,04
800	34,4	34,32	34,36	0,03	34,4	34,33	34,36	0,02	34,4	34,32	34,36	0,03
900	34,39	34,28	34,33	0,03	34,34	34,3	34,33	0,02	34,39	34,28	34,34	0,03
1000	34,38	34,27	34,34	0,03	34,35	34,31	34,33	0,01	34,38	34,27	34,34	0,04

Fonte: Levitus (1994)

Diagrama T-S

O diagrama TS demonstra em conjunto as temperaturas e salinidades ao longo de um perfil, possibilitando analisar as diferentes massas de água presentes no local, assim como os processos de formação e mistura.

Para caracterizar o diagrama T-S na Bacia de Santos foram utilizados dados obtidos pelo Projeto Diagnóstico Ambiental das Áreas de Exploração e Produção nas Bacias de Santos, realizado por MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002), realizado no período de fevereiro a maio de 2002, com um afastamento de 40 milhas náuticas entre cada estação de amostragem. As perfilagens com CTD foram realizadas até a profundidade máxima de 1000 m.

A partir dos dados de perfilagem com CTD, foram produzidos perfis verticais de temperatura, salinidade e densidade, além de diagramas T-S, para cada uma das estações incluídas no projeto. Os dados de temperatura e salinidade foram interpolados pelo interpolador kriging que leva em consideração as diversas tendências observadas na distribuição. Para as profundidades de superfície, 50 m, 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m, 600 m, 700 m, 800 m, 900 m e 1000 m foram confeccionados mapas de distribuição espacial para os dados de temperatura e salinidade. Os dados de temperatura e salinidade estão apresentados em °C e ups, respectivamente, enquanto os dados de densidade estão apresentados em sigma-teta.

Utilizando esses dados pôde-se observar a presença de quatro massas d'água distintas na área estudada da Bacia de Santos (dentro da faixa de profundidade estudada): (1) a AM; (2) a AT; (3) a ACAS e (4) a AIA.

Nas estações mais rasas e mais próximas à costa observou-se a presença de uma Água de Mistura entre a Água Tropical e a Água Costeira. Essa água tem sua origem na mistura da água oceânica adjacente com águas dos rios e estuários. Possui baixos valores de salinidade (< 33 ups) e sua temperatura pode variar bastante (Thomsen, 1962; Miranda, 1985 e Castro Filho 1987). Como exemplo é apresentada a Figura II.5.1.2-10, da estação BS-R-01 (do referido projeto).

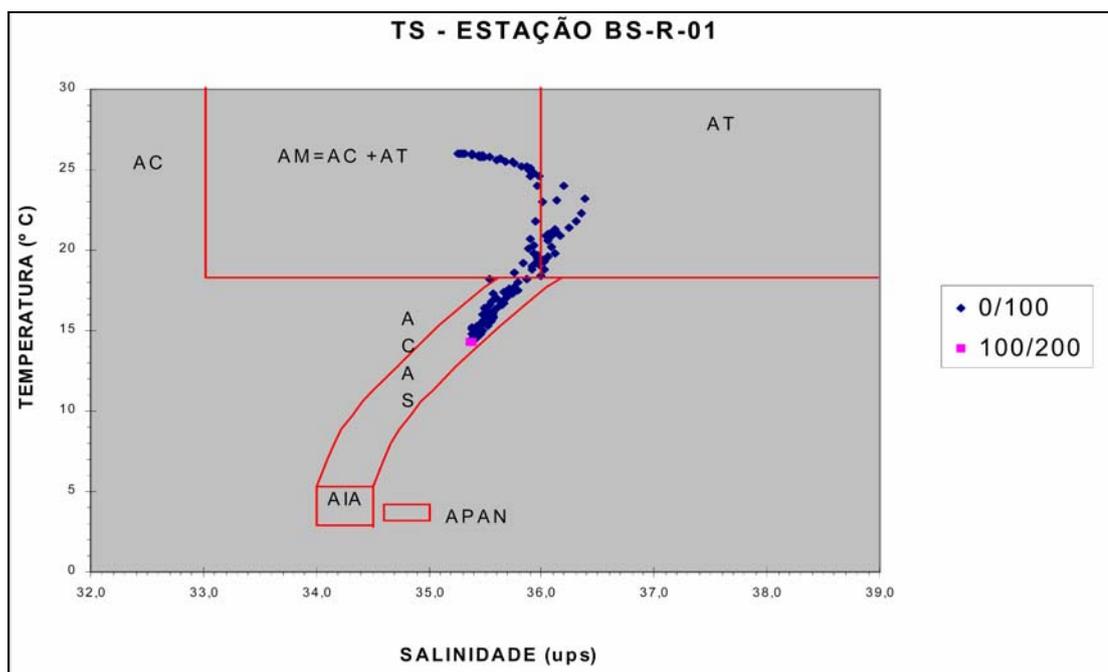


Figura II.5.1.2.B-10 - Diagrama T-S para a estação rasa BS-R-01, situada em águas rasas, na porção mais a sul da Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

A temperatura máxima para a Água de Mistura, encontrada foi de aproximadamente 27 °C. A presença da Água Tropical (AT) pode ser observada nos diagramas de todas as estações, caracterizando um padrão geral para a Bacia de Santos. Essa massa d'água, segundo Sverdrup *et al.* (1942), Emilsson (1961), Thomsen (1962), está situada na camada mais superficial do oceano estando sempre em contato com a atmosfera, sofrendo influência das variações climáticas das regiões por onde passa. Sua origem ocorre na Zona Tropical, e suas características são definidas pela intensa radiação e excesso de evaporação em relação à precipitação, características do Atlântico Tropical. Fluindo para o sul, é transportada pela Corrente do Brasil, com águas quentes e salinas.

Também presente na grande maioria da Bacia de Santos esteve a Água Central do Atlântico SUL (ACAS) (**Figura II.5.1.2.B-11**). Com denominação dada por Sverdrup *et al.* (1942), a ACAS é formada na Convergência Subtropical como resultado da mistura entre a Água Tropical e a Água Subantártica. Está situada entre as massas de Água Tropical e a Intermediária Antártica. Essa massa d'água (ACAS), que é rica em nutrientes, quando penetra a plataforma continental é responsável pela ressurgência de plataforma, fenômeno este que promove um

aumento da produção primária nessa região. Esse fenômeno se dá pelo bombeamento desta água desde a região do talude, abaixo de 200 metros de profundidade, para a plataforma, e está intimamente relacionado a processos de interação ar-mar, a circulação tridimensional e as características geomorfológicas da linha de costa e do fundo submarino (COOLING, 1989).

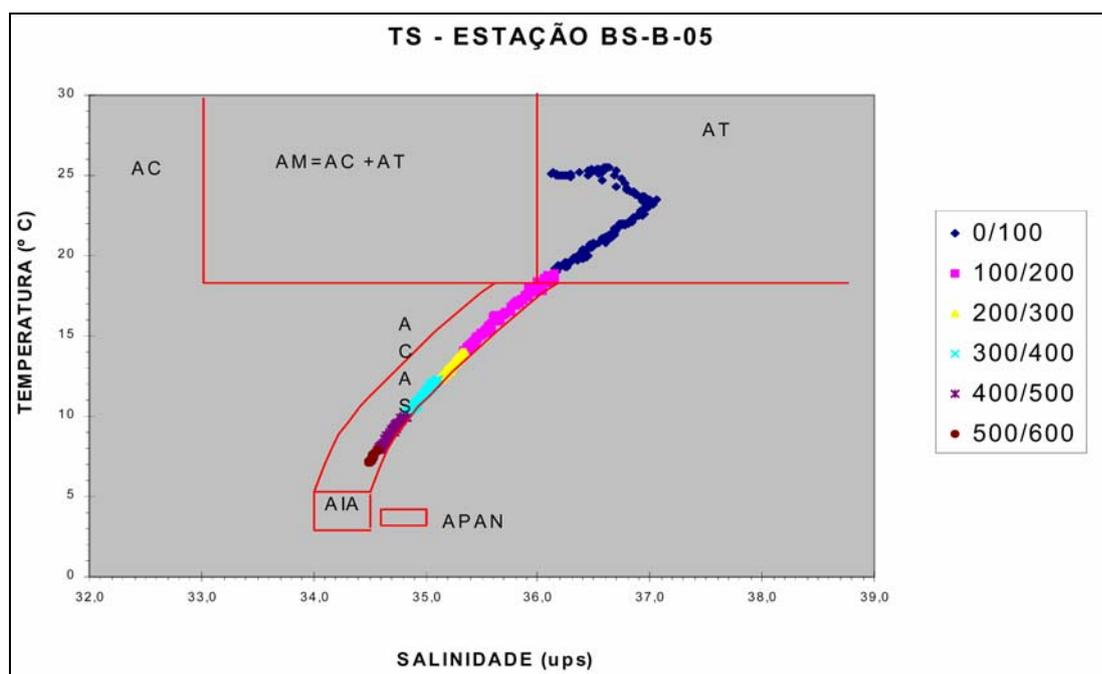


Figura II.5.1.2.B-11 - Diagrama T-S para a estação BS-B-05, situada em águas de aproximadamente 1500 metros de profundidade, na porção norte da Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

Nas estações mais profundas, em lâminas d'água superiores a 700 metros, é verificada a presença da Água Intermediária Antártica (AIA). Essa massa d'água é formada durante o inverno Austral na Convergência Antártica onde afunda e segue para norte entre a ACAS e a Água Profunda do Atlântico Norte (COOLING, *op. cit.*) (**Figura II.5.1.2.B-12**).

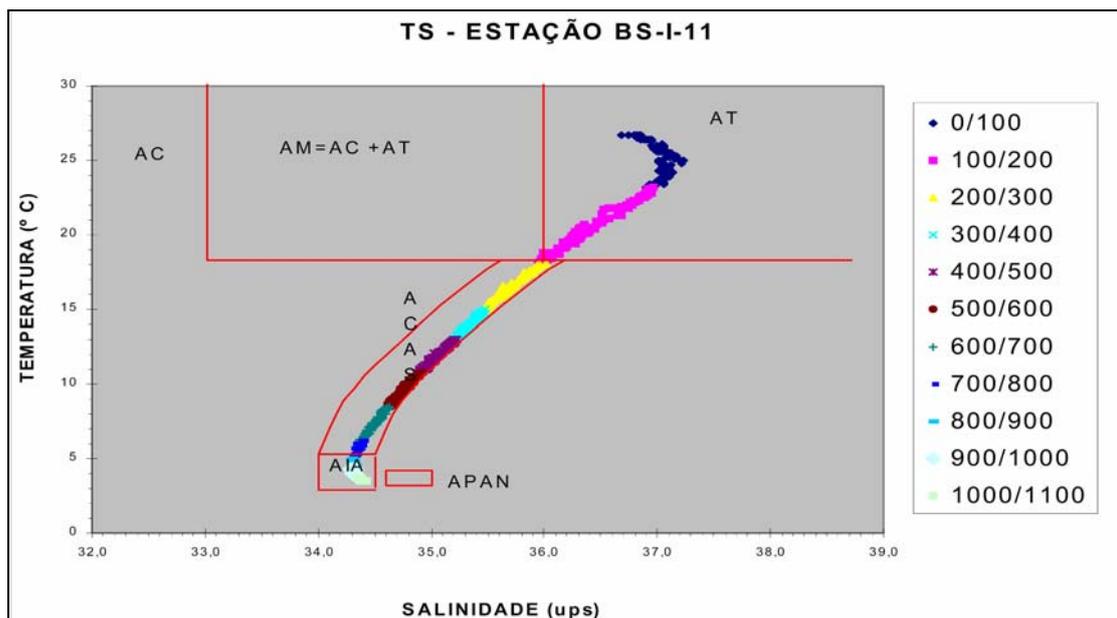


Figura II.5.1.2.B-12 - Diagrama T-S para a estação BS-I-11, localizada na porção central da Bacia de Santos, em profundidade de lâmina d'água superior a 2.500 metros.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

Abaixo da AIA, para a região do talude, é encontrada a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). Essa massa d'água é formada no Hemisfério Norte, no Giro Ciclônico Polar, na junção das Correntes da Groelândia e do Labrador (SILVA *et al.*, 1984; COOLING, 1989). Sofrendo influência da Água do Mediterrâneo, essa massa d'água flui para sul na porção oeste da Cadeia Meso-Oceânica. Essa massa d'água não foi detectada nos dados obtidos neste estudo, já que o mesmo foi realizado até a profundidade de 1000 metros, e segundo a literatura citada acima, entre outros, a presença dessa massa d'água se dá a partir da profundidade de 1500 metros.

Analisando-se as curvas dos diagramas T-S verifica-se que os máximos e mínimos de salinidade associados à AT, ACAS e a AIA estão dentro dos limites, sugeridos para a região pelos autores anteriormente citados.

Uma caracterização com diagrama TS para a Bacia de Santos foi realizada pela PETROBRAS/HABTEC, 2003. A **Figura II.5.1.2.B-13** apresenta o diagrama T-S obtido através de perfilagens de CTD realizadas na Bacia de Santos (região dos blocos BM-S-8, BM-S-9, BMS-10, BM-S-11 e BM-S-21) no ano de 2002, tendo sido identificadas as seguintes massas d'água: Água Tropical (AT), Água

Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN).

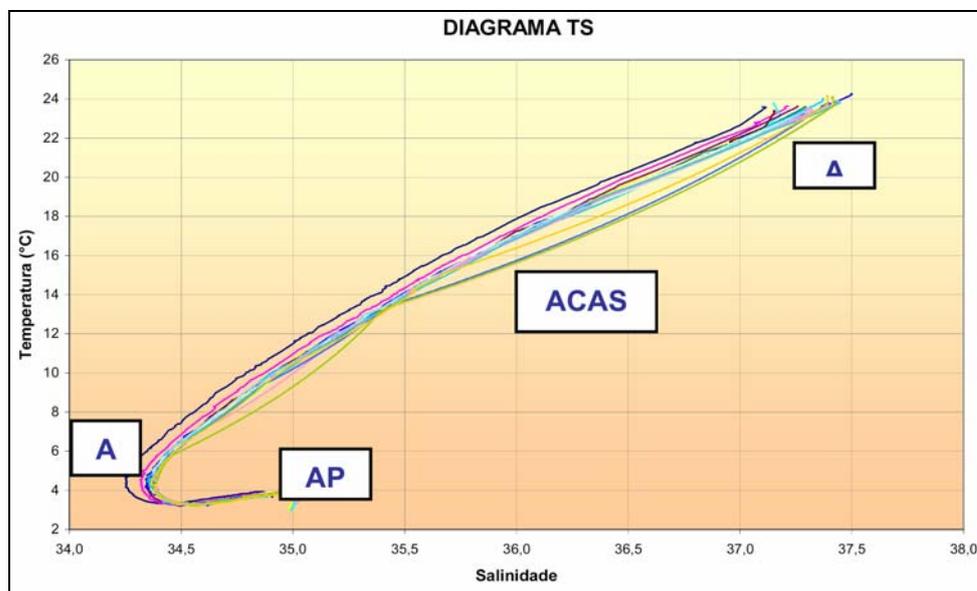


Figura II.5.1.2.B-13 - Diagrama TS espalhado para a Bacia de Santos.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Pode ser observado na região uma marcante termoclina, provocando um alto gradiente de variação da temperatura. Essa termoclina também foi encontrada por Ikeda *et al.* (1999) que associa a termoclina bem marcada no período de verão. Possivelmente, esse gradiente possa estar associado à penetração da ACAS (águas mais frias e menos salinas) sobre a plataforma. O mesmo gradiente de temperatura é, muitas vezes, observado também para a salinidade. Essa observação reforça a proposição anterior. Contudo, muitas vezes é observado um máximo de salinidade nas proximidades do topo da termoclina. Isso se deve à perda de calor da AT para a atmosfera, aumentando sua densidade e promovendo o afundamento da porção superior dessa camada (Pickard & Emery, 1990). Esse máximo de salinidade também pode ser responsável pelo alto gradiente da haloclina.

O mapa de temperatura em superfície e a 50 metros (**Figura II.5.1.2.B-14 e 16**, respectivamente) mostram uma distribuição bastante homogênea com temperaturas variando de 22,89 a 28,15 °C, para superfície e entre 14,00 a 28,00 °C, para 50 metros (MMA/PETROBRAS/PEG/AS, 2002). A distribuição da salinidade para a superfície e para 50 metros (**Figura II.5.1.2.B-15 e 17**,

respectivamente) revela a presença de uma região de baixa salinidade entre 25° e 26° S e 46° e 47° W, com valores aproximados de 34,2 ups, para superfície e valores entre 35 e 37,5 ups. Essa água quente e pouco salina é a Água de Mistura (AM), e sua presença está associada à influência da drenagem continental. A 10 metros de profundidade ainda é observada a homogeneidade da distribuição da temperatura, porém uma ampla região de salinidade mais baixa está presente junto à costa, principalmente na porção NW da área. Esta baixa salinidade ainda está associada a AM. A partir de 50 metros de profundidade até 200 metros, na plataforma continental, é possível identificar a presença de águas mais frias com temperaturas de aproximadamente 12° a 14 °C, em contraste com águas mais quentes ao largo dessa região (aproximadamente 25 °C).

Nessas profundidades também são observadas salinidades mais baixas, sobre a plataforma continental, com salinidade aproximada de 35 ups. A identificação dessa água com temperaturas e salinidades inferiores a 18 °C e 36 ups, respectivamente mostra a presença da ACAS sobre a plataforma continental, promovida pelo fenômeno da ressurgência.

Para melhor visualização da distribuição espacial da temperatura e salinidade em diferentes profundidades são apresentadas as **Figuras II.5.1.2.B-16 e II.5.1.2.B-17** obtidas pelo Projeto Diagnóstico Ambiental das Áreas de Exploração e Produção nas Bacias de Santos, realizado por MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002). Nessas figuras foram selecionadas as profundidades de superfície, 100, 200, 500 e 1000 para a representação da distribuição espacial de temperatura e da salinidade. A 200 metros de profundidade, aproximadamente, na região de quebra da plataforma, os dados de temperatura e salinidade revelam que a ACAS está presente de forma generalizada na Bacia de Santos. Na faixa da quebra da plataforma são verificados os menores valores de temperatura e salinidade, confirmando a subida da ACAS sobre a plataforma.

Os mapas de temperatura e salinidade a partir da profundidade de 200 metros, até aproximadamente 700 metros, já na região do talude, mostram que a ACAS está presente em toda a região. Segundo os mapas de salinidade e temperatura para as profundidades de 800 metros a 1000 metros, a AIA ocupa

toda essa faixa de profundidade, com os menores valores ocorrendo junto ao talude, aumentando para as regiões ao largo.

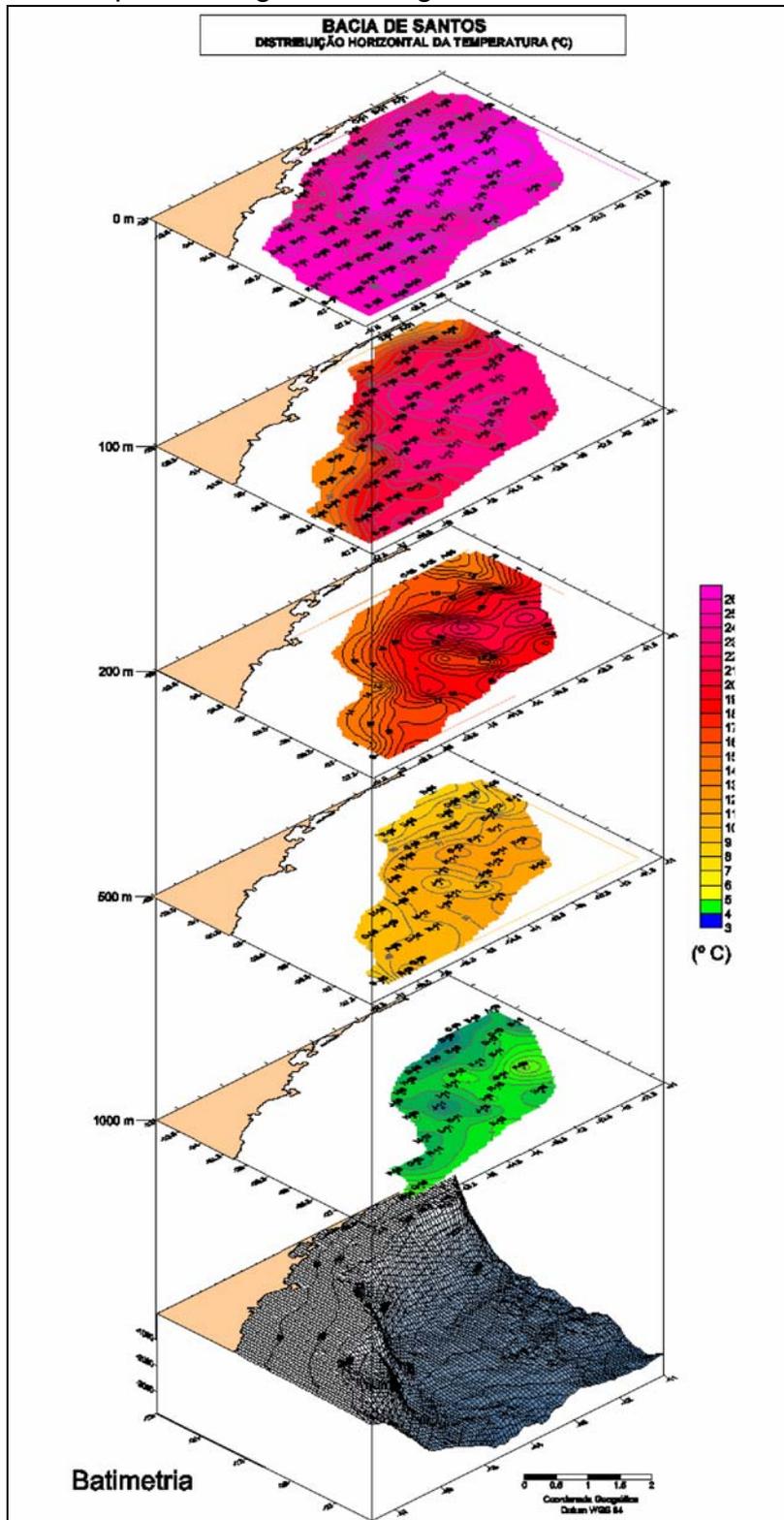


Figura II.5.1.2.B-14 - Distribuição espacial da temperatura ao longo da coluna d'água.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

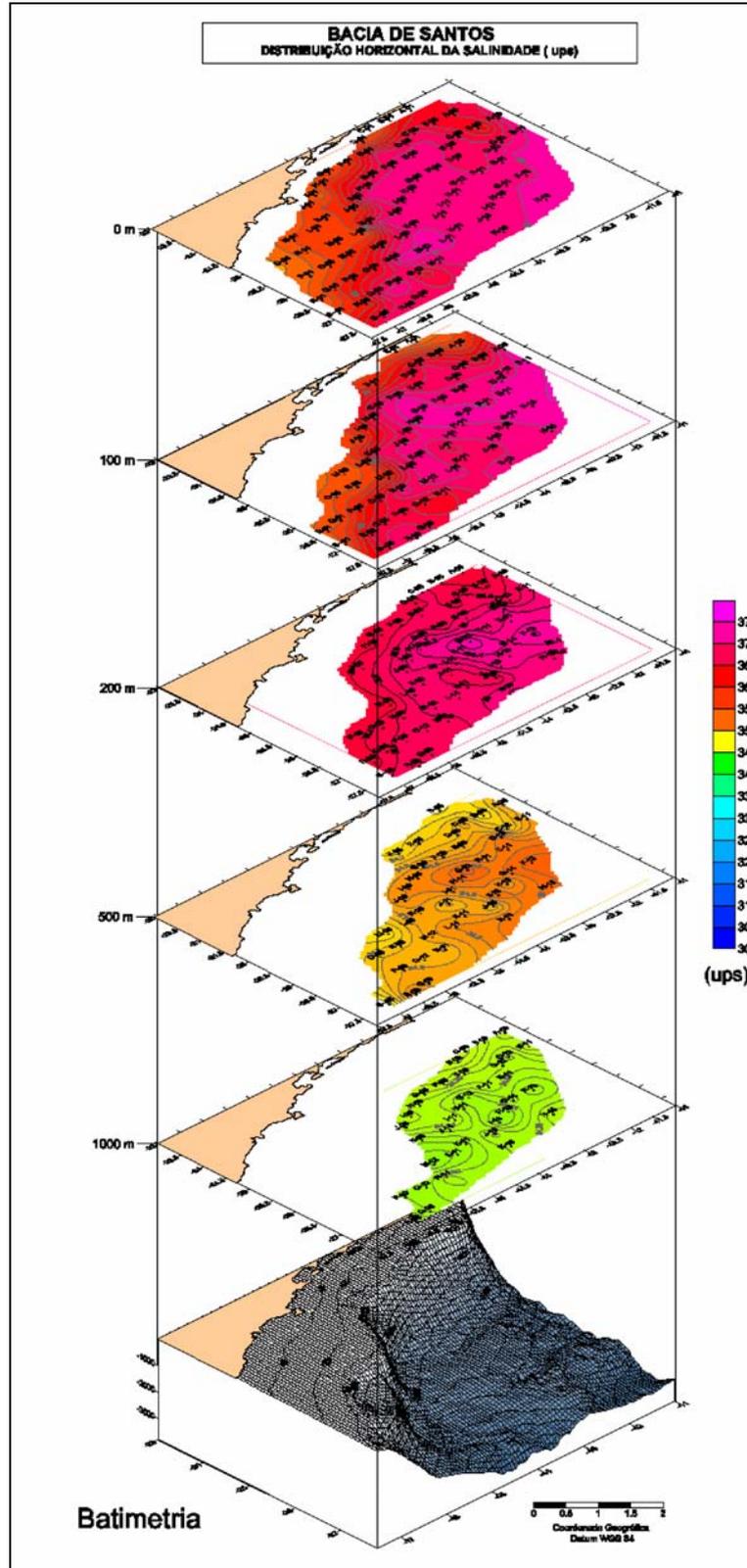


Figura II.5.1.2.B-15 - Distribuição espacial da salinidade ao longo da coluna d'água.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

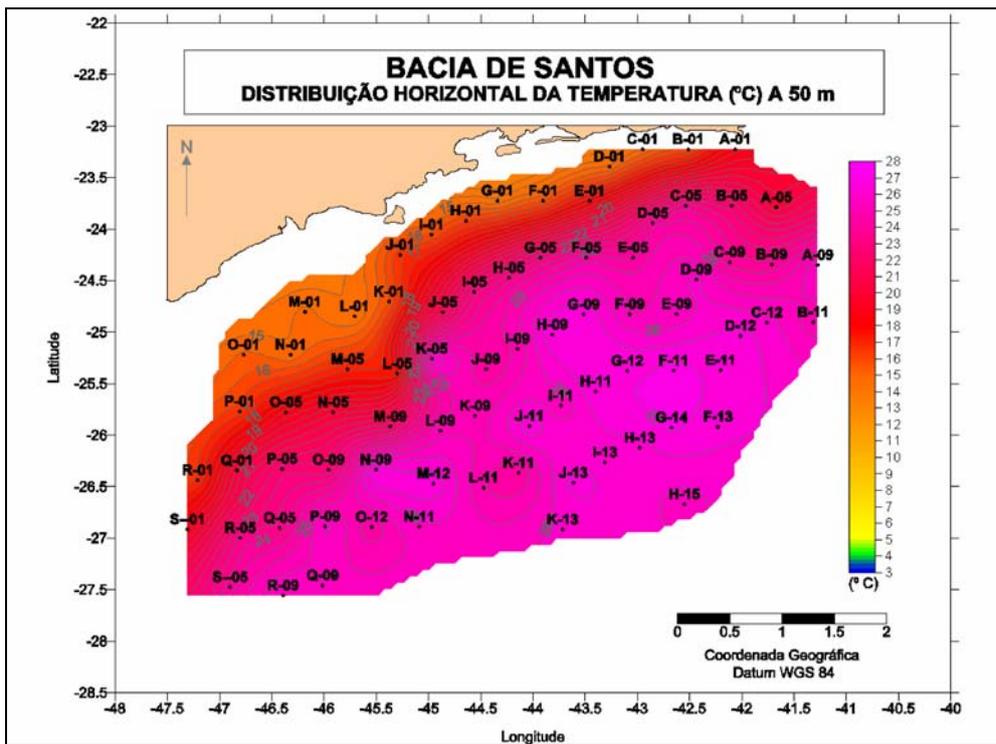


Figura II.5.1.2.B-16 - Distribuição espacial da temperatura a 50 metros de profundidade.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

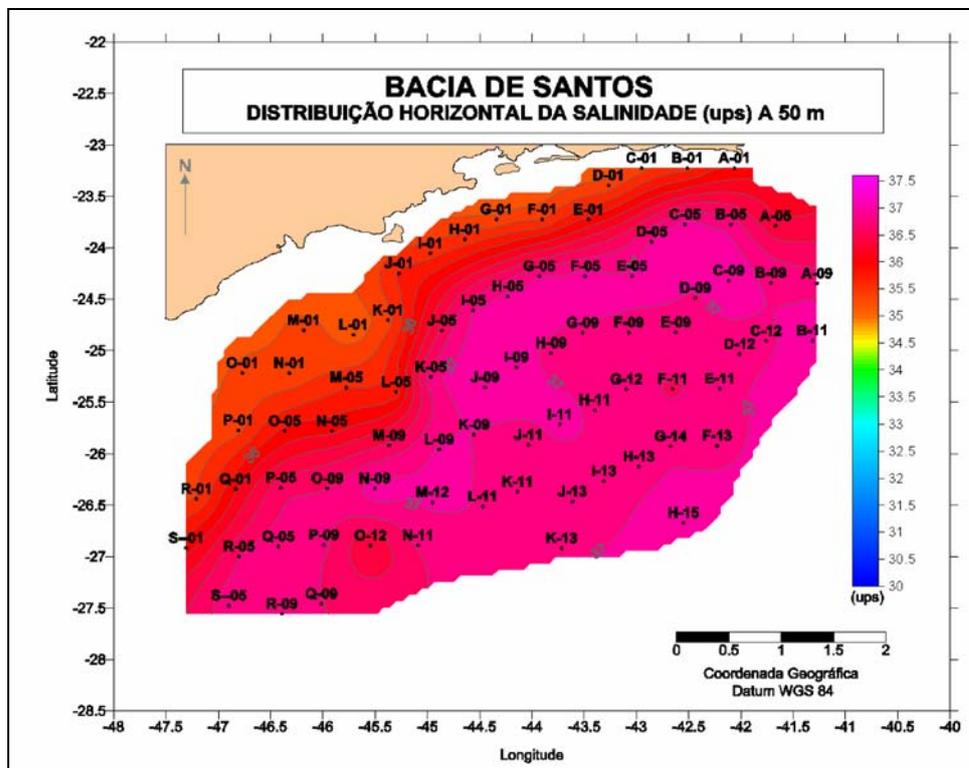


Figura II.5.1.2.B-17 - Distribuição espacial da salinidade a 50 metros de profundidade.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

C) Correntes

A Bacia de Santos apresenta uma intensa dinâmica quanto às condições oceanográficas e meteorológicas, estando principalmente sob os efeitos da Corrente do Brasil.

Os ventos locais influenciam principalmente a circulação na plataforma interna. Ventos do quadrante sul forçam correntes para nordeste, enquanto ventos do quadrante norte forçam correntes para sudoeste, sendo estes predominantes na região (FUNDESPA, 1994a). Isto pode ser comprovado pelos picos dos espectros das correntes de superfície, que se localizam nos períodos de 9,5 e 5,7 dias, evidenciando a influência das variações do campo de vento, que apresentam períodos dessa ordem, como a principal determinante da circulação superficial costeira (FUNDESPA, 1994b).

A dinâmica da circulação ao largo da costa SE brasileira é determinada pelo fluxo das massas d'água encontradas na região (AT, ACAS, AIA e APAN) e, também, influenciada pelas feições batimétricas locais. A Corrente do Brasil (CB) é a principal corrente que caracteriza a circulação superficial da costa SE brasileira e o seu comportamento tem grande influência na dinâmica da região. Antes de chegar à Bacia de Santos, parte significativa do fluxo da Corrente do Brasil (CB) passa através dos canais dos bancos de Abrolhos, dividindo-se em dois ramos: um deles fluindo afastado da costa, além da isóbata de 3000 m (STRAMMA *et al.*, 1990 *apud* LIMA, 1997), e o outro seguindo a linha de quebra da plataforma, se estendendo até o fundo e apresentando um estreitamento no seu lado oriental (devido a um cisalhamento ciclônico) durante a maioria dos meses (SIGNORINI, 1976). Significativa parte deste último flui sobre a plataforma externa a qual, algumas vezes localiza-se além da isóbata 100 m (SIGNORINI, 1978).

Embora acompanhe o formato da costa durante praticamente o ano todo (LIMA, *op. cit.*), o núcleo da Corrente do Brasil possui grande variabilidade sazonal, afastando-se para o largo durante o inverno (PAVIGLIONE & MIRANDA, 1985) e se aproximando da costa durante o verão (MOREIRA, 1997). A CB possui espessura de 400 -700 m ao largo do Sudeste-Sul brasileiro (CALADO, 2001) e sua largura média é de aproximadamente 90 km (MOREIRA, *op. cit.*). Em larga

escala a direção e a intensidade das correntes na Bacia de Santos são explicadas pelo padrão de circulação no oceano Atlântico Sudoeste em diferentes profundidades na coluna d'água.

Portanto, as principais forçantes da circulação na Bacia de Santos são: vento, maré e variações termohalinas.

Dados do Projeto Diagnóstico Ambiental das Áreas de Exploração e Produção nas Bacias de Santos, Campos e Espírito Santo realizado por MMA/PETROBRAS/PEG/AS (2002) foram utilizados para caracterização em macro-escala, no período de fevereiro a maio de 2002, com um afastamento de 40 milhas náuticas entre cada estação de amostragem. Essa vasta região abrange, basicamente, a plataforma continental e o talude. As perfilagens com CTD e a correntometria foram realizadas em 77 estações até a profundidade máxima de 1000 m.

Os dados de correntes em superfície adquiridos nesse projeto mostram que a direção dessas na Bacia de Santos é preferencialmente SW, no sentido do fluxo da Corrente do Brasil para a região. Devido à presença dos vórtices e meandramentos da Corrente do Brasil e de correntes de refluxo, esse padrão de circulação não é homogêneo em toda a bacia. (**Figura II.5.1.2.C-1**).

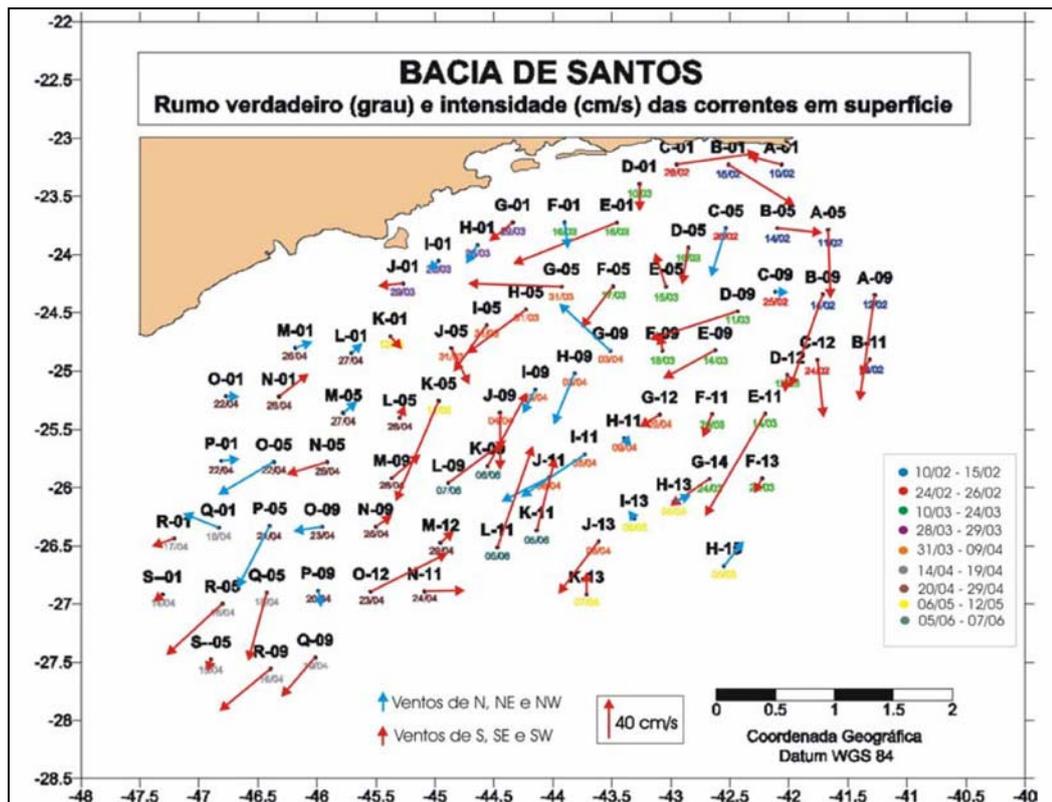


Figura II.5.1.2.C-1 - Direção (grau verdadeiro) e intensidade (cm.s^{-1}) das correntes em superfície das estações que foram parte dos levantamentos. Os períodos do levantamento de cada grupo de estações estão indicados através de cores.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

Os dados das medições de correntes realizadas entre 10 a 15 de fevereiro de 2002, período inicial do levantamento, revelaram que a corrente predominante nas estações mais profundas é para S e SW, no mesmo sentido da corrente do Brasil. Nas estações mais próximas à costa, o padrão de circulação parece estar associado ao meandramento da recirculação da Corrente do Brasil.

Próximo à costa, foi possível observar uma corrente de 81 cm.s^{-1} fluindo para E. Esta corrente pode estar associada ao campo de anomalia de altura dinâmica localizado em frente à região da Baía de Ilha Grande.

As estações realizadas entre 10 e 24 de março mostram um padrão de circulação, nas estações mais profundas, com rumo predominante S e SW, no sentido do fluxo da Corrente do Brasil. Alguns sentidos diferentes podem estar associados à presença do vórtice ciclônico ao sul de Cabo Frio e a um campo de anomalia de altura dinâmica positiva localizada próximo à costa. Nos dias 28 e 29 de março foram realizadas medições de correntes em estações próximas à costa.

O padrão de circulação que se apresenta nessas estações, para este período, é para SW com correntes que variam de 14 a 30 cm.s^{-1} .

Nas estações cujas medições de corrente foram realizadas de 31 de março a 9 de abril, as correntes são preferencialmente para S e SW, com intensidades de 23 a 76 cm.s^{-1} .

Os dados de 16 a 19 de abril indicam um giro da corrente com rumo variando de W para SW. Os dados de correntometria para o período de 22 a 27 de abril mostram que as correntes parecem ser conseqüências da presença do vórtice ciclônico presente na região. Os demais dados de corrente mostram um rumo NE, que devem estar associados à circulação costeira que se dá para este quadrante.

As estações do período de 5 a 12 de maio apresentam correntes de intensidade de e 108 cm.s^{-1} , com rumo SE e E, NE, NW e N, dependendo da localização espacial. Essas correntes estão associadas ao meandramento da corrente do Brasil.

As estações realizadas entre 5 e 7 de junho apresentam correntes de alta intensidade (de 71 a 107 cm.s^{-1}) com rumo NE. Apesar de não se ter dados de satélite para este período, é possível acreditar que esses dados reflitam a presença de uma forte corrente de recirculação da Corrente do Brasil.

Na Bacia de Santos a Água Tropical é transportada em superfície para SW, pela CB. Abaixo da AT, preferencialmente na região do talude, encontra-se a ACAS, massa d'água que ao penetrar pela plataforma continental nas regiões de Cabo Frio, Cabo de São Tomé e de Santa Marta é a responsável pela ressurgência nessas regiões. A fim de ilustrar o sentido do fluxo dessa massa d'água, a partir dos dados de corrente medidos nas profundidades onde é encontrada (de 21 m, sobre a plataforma continental em forma de ressurgência, a aproximadamente 700 m, na região do talude), foi elaborado um mapa de correntes entre as profundidades de 400 a 500 m (**Figura II.5.1.2.C-2**).

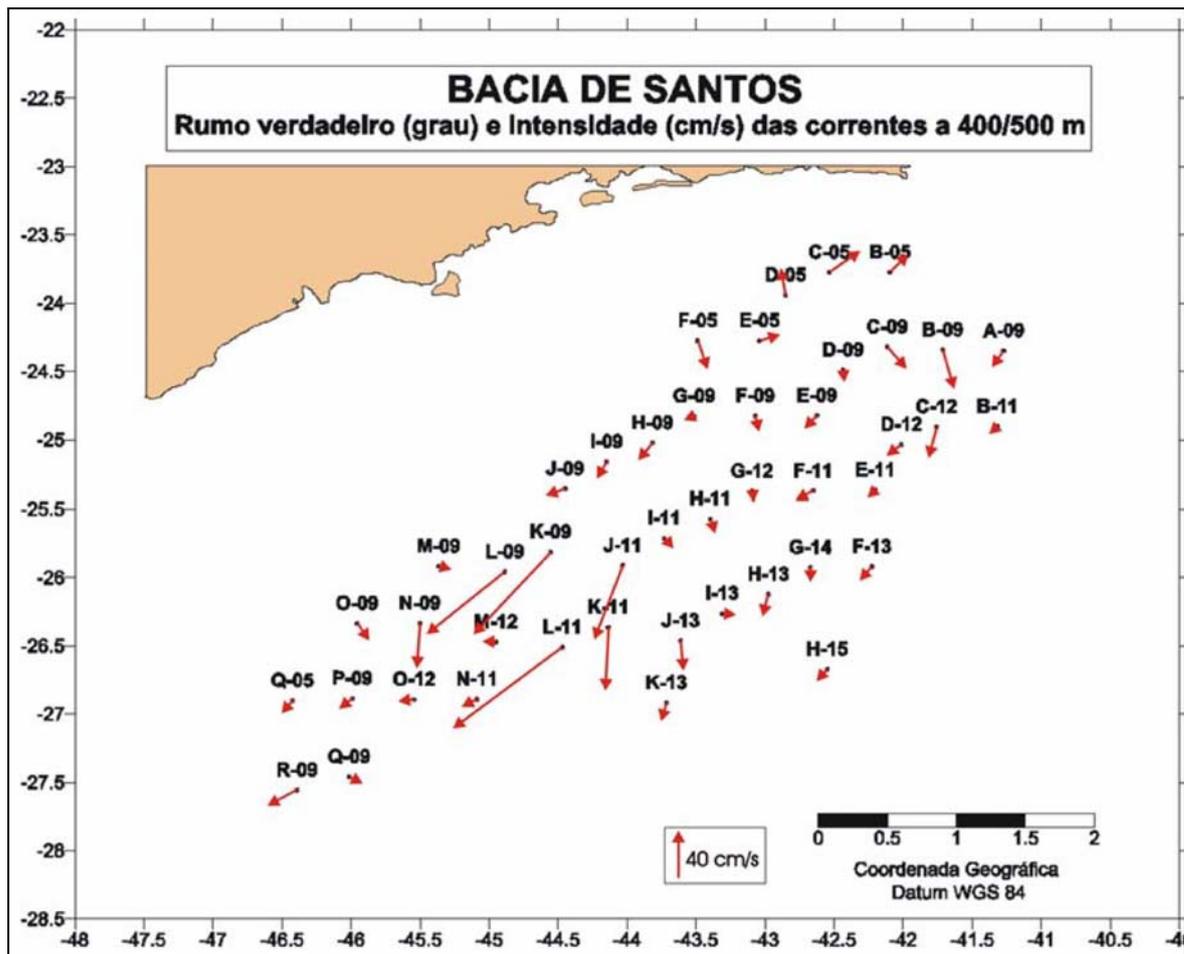


Figura II.5.1.2.C-2 - Direção (grau verdadeiro) e intensidade (cm/s) das correntes de 400 a 500 m.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

Segundo o mapa acima, o rumo da corrente associada ao fluxo da ACAS, é SW, variando de 11 a 115 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$. Esse é o mesmo rumo da água tropical, transportada pela Corrente do Brasil. Alguns autores como Sverdrup *et al.* (1942) sugerem que a direção de transporte da ACAS é para Norte, em nível picnoclínico na bacia do Atlântico Sul. Trabalhos mais recentes de Tsuchya (1996), Reid (1989) e Stramma & England (1999) constataram que o movimento da ACAS se dá para o sul em latitudes abaixo de 20 °S, ao largo da costa sudeste brasileira.

Os dados do projeto MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) indicam que a ACAS, na região da Bacia de Santos, está orientado para SW, seguindo aproximadamente a orientação do talude, o que vai de encontro aos dados observados pelos autores mais recentes. Alguns dados de estações próximas à costa sugerem uma penetração da ACAS para as regiões mais rasas. Em baixas profundidades ocorre a presença da ACAS, com rumo W e NW indicando a penetração dessa massa d'água nas regiões próximas à costa (fenômeno da ressurgência).

Segundo Reid *et al.* (1977) e Gordon & Greengrove (1986), a AIA é formada na Convergência Subantártica, fluindo para o norte. Na região da confluência entre a Corrente do Brasil e a Corrente das Malvinas ($\pm 38^\circ\text{S}$), a maior parte da AIA flui para leste como parte da recirculação profunda do Giro Subtropical. Suga & Talley (1995) e Boebel *et al.* (1999) mostraram que, no limite sul da Bacia de Santos (30°S), a AIA flui para o sul ao largo da costa brasileira. Castro Filho & Moreira (1997) indicaram que o fluxo na profundidade de 700 metros (zona de ocorrência da AIA), a 23°S , se dá para o norte. Muller *et al.* (1998) através de linhas de fundeio do projeto WOCE concluiu que a AIA move-se para o norte (mais precisamente nordeste, devido à orientação da linha de costa) ao norte de 25°S . Segundo o mesmo autor, em 28°S a AIA flui para o sul. Desta forma ocorre uma zona de bifurcação da AIA entre os paralelos de 25° e 28°S .

A zona de bifurcação da AIA descrita por Muller *et al.* (*op. cit.*) não foi identificada a partir dos dados de correntes levantados pelos dados do MMA/PETROBRAS/PEG/AS (2002). Esses dados indicaram que o fluxo da AIA é para o norte, e seus valores de intensidade são geralmente baixos a médios variando de 8 a $70\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ (**Figura II.5.1.2.C-3**).

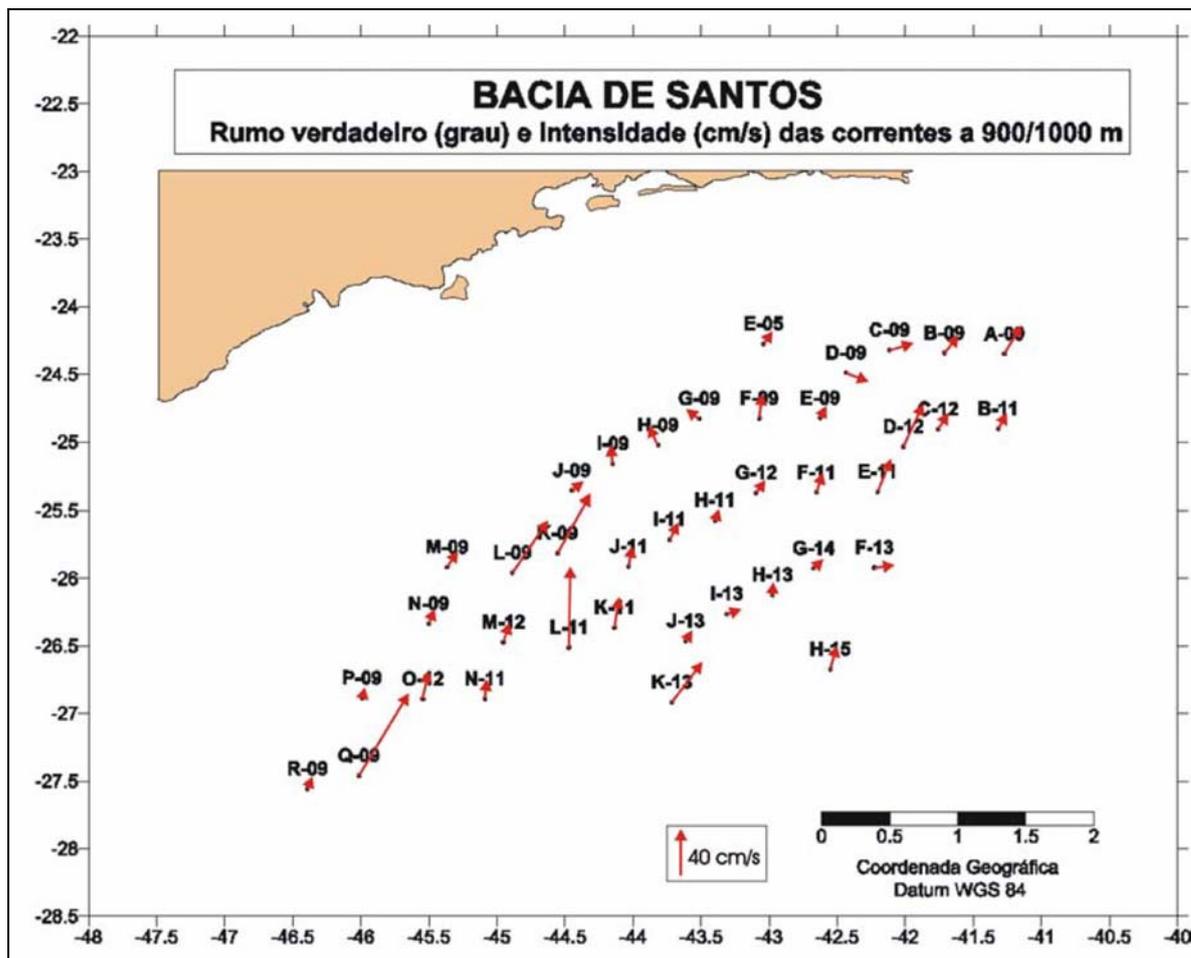


Figura II.5.1.2.C-3 - Direção verdadeira (grau) e intensidade (cm/s) das correntes a 900/1000 m.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

De uma forma geral, a caracterização apresentada está de acordo com os dados publicados pelos autores citados, apresentando as correntes superficiais orientadas preferencialmente para sudoeste e sudeste, com intensidades variando de 110 a 35 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$. Até a profundidade de ocorrência da ACAS a intensidade das correntes normalmente diminui gradativamente e sua orientação é preferencialmente para sudoeste e sudeste. Já na região de ocorrência da AIA as correntes se orientam para nordeste e noroeste.

No **Mapa II.5.1.2-1** e **Mapa II.5.1.2-2** apresentados ao final desta seção, mostram que os padrões na circulação na Bacia de Santos, no verão e no inverno, respectivamente; e os comportamentos tanto das correntes costeiras quanto oceânicas.

D) Condições Extremas do Regime Hidrodinâmico

Ondas

A discussão deste tópico está baseada nos dados obtidos pela *Oceanweather* (LIMA, 2001), que objetivou estimar as condições extremas do clima de ondas na região da Bacia de Campos e Santos. O modelo fazia uma reconstituição ('*hindcast*') das condições de agitação causadas por situações atmosféricas tempestivas.

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

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

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

HSL (altura significativa limite): 9,5 m

PP (período de pico): 12,5 s

DM (direção média de propagação): SSW

O segundo trabalho na região (Melo Filho, 1991 apud Melo Filho, 1994) apresenta uma análise do clima de ondas na costa da cidade do Rio de Janeiro baseada no regime de ventos do Atlântico Sul e em observações visuais do mar. Este trabalho serve de referencial para a Bacia de Santos, visto que foi realizado dentro do trecho de costa orientado na direção este-oeste (EW), a mesma que

predomina na área. Além disso, as dimensões dos sistemas atmosféricos que atuam na geração de ondas, indicam que o Clima de ondas em Santos deve ser similar ao do Rio de Janeiro (Melo Filho, 1994).

Foram analisadas diversas condições meteorológicas, com obtenção dos respectivos resultados: altura significativa (HS), período de pico (PP) e direção média de propagação (DM), identificadas a seguir:

a) Anti-ciclone do Atlântico Sul (com centro à nordeste da área): mar calmo, com possível presença de ondulações de sul.

b) Passagem de frente fria:

HS (altura significativa): 1,0m a 2,5m

PP (período de pico): 9,0 a 12,0 s

DM (direção média de propagação): SW a SE

c) Passagem de frente com formação de depressão no oceano. De acordo com a situação da depressão, foram identificadas as seguintes circunstâncias:

- Tempestade Local:

HS (altura significativa): 1,0m a 2,5m

PP (período de pico): 9,0 a 12,0 s

DM (direção média de propagação): SW rondando a SE

- Depressão ao sul:

HS (altura significativa): 3,0m a 4,0m

PP (período de pico): 12,0 a 15,0 s

DM (direção média de propagação): SSW a S

- Depressão a SE:

HS (altura significativa): 2,0m a 3,5m

PP (período de pico): 10,0 a 14,0 s

DM (direção média de propagação): SSE a S

d) Ciclone de grandes dimensões semi-estacionário ou movendo-se lentamente em direção à costa:

HS (altura significativa): 5,0m a 7,0m

PP (período de pico): 12,0 a 16,0 s

DM (direção média de propagação): SW a SE.

e) Anti-ciclone a S-SE (mar de leste):

- Anti-ciclone fraco (bom tempo):

HS (altura significativa): 0,5m a 1,5m

PP (período de pico) : 6,0 a 8,0 s

DM (direção média de propagação): E

- Anti-ciclone intensificado (tempestade de leste):

HS (altura significativa): 1,5m a 3,0m

PP (período de pico): 8,0 a 10,0 s

DM (direção média de propagação): E a SE

f) Tempestades Longínquas:

HS (altura significativa): 0,5m a 2,5m

PP (período de pico): 15,0 a 20,0 s

DM (direção média de propagação): S

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

apud Melo Filho, 1994). A direção de propagação foi comum a todos, onde prevaleceu o quadrante sul. As respectivas alturas, variando de 3 a 9,5 metros, são coerentes com as freqüências das observações, com uma maior incidência da direção SW. Já os respectivos períodos (7,0 a 14,0 s) são os mais comumente observados. As situações climáticas mais freqüentes mostraram-se bem coerentes nos dois tipos de abordagem.

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

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

A **Tabela II.5.1.2.D-1** apresenta as condições extremas dos parâmetros ondas, correntes, ventos e marés para a região da Bacia de Santos, visando resumir as condições extremas do regime hidrodinâmico local.

Tabela II.5.1.2.D-1 - Resumo das condições extremas dos parâmetros ondas, correntes e evento para a área de estudo.

Parâmetro	Condição Extrema
Ondas	Altura Significativa (Hs) = 9,5 m (Direção Norte / Nordeste)
Correntes	Corrente do Brasil superficial = 100 cm/s (Direção Sul)
Ventos	5,6 m/s (Direção Sul/Sudoeste) *
Marés	Maré astronômica máxima + maré meteorológica máxima: 1.96 m

* Os dados de vento foram adquiridos em relação as suas médias, portanto não foi possível a determinação de valores extremos para a região. PETROBRAS/HABTEC, 2006

Na região oceânica, a circulação é controlada pela CB, cuja intensidade pode chegar próxima a 100 cm.s^{-1} para SW, sua direção predominante.

Correntes

Os ventos locais irão influenciar principalmente nas correntes costeiras, que podem atingir até 100 cm/s, para E-NE, em situações de ventos fortes de SW (em

eventos de frente fria), e $0,80 \text{ m.s}^{-1}$ para W-SW, nos casos de vento no sentido oposto.

Ventos

Os ventos mais intensos, com intensidade superior a 20 m.s^{-1} , são provenientes de ciclones extra-tropicais e geram ondas de até 7 m de altura e 18 s de período.

Marés

As condições extremas de maré na região da Bacia de Santos apresentam os seguintes valores:

- Maré Astronômica Mínima $-0,01 \text{ m}$
- Maré Astronômica Máxima $1,56 \text{ m}$
- Maré (Astronômica + Meteorológica) Mínima $-0,41 \text{ m}$
- Maré (Astronômica + Meteorológica) Máxima $1,96 \text{ m}$
- Variação Máxima $1,51 \text{ m}$

II.5.1.3 Qualidade da Água e Sedimento

Qualidade da Água

A caracterização da qualidade da água da região do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás na Área de Tupi, localizado na Bacia de Santos foi realizada utilizando compilações de dados adquiridos do Relatório de Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) e o Relatório de Monitoramento Ambiental de Merluza (PETROBRAS/SAMPLING CIENTÍFICA, 2002).

Também foram utilizados outros estudos realizados na região, tais como a Campanha de Caracterização Ambiental dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 (PETROBRAS/HABTEC, 2003) em outubro de 2002, realizada na região do talude da Bacia de Santos, em local com profundidade aproximada de 2100 m. Nesta campanha, a coluna d'água foi amostrada em 20

pontos, com garrafas de *Niskin* e *GoFlo*, dependendo do tipo de análise que foi realizada. Foram coletadas amostras em 7 profundidades, em cada um dos pontos de amostragem: superfície, acima da termoclina, termoclina, abaixo da termoclina, 200 m, núcleo da Água Intermediária Antártica (AIA) e fundo. Para determinação dos parâmetros físico-químicos e dos nutrientes foram utilizadas metodologias segundo Grasshoff *et al.* (1983) e Clesceri *et al.* (1998).

Os métodos de amostragem utilizados por algumas referências usadas como fonte de dados para este diagnóstico são apresentados na **Tabela II.5.1.3-1**. A **Tabela II.5.1.3-2** apresenta os métodos analíticos utilizados por algumas referências utilizadas como fonte de dados para este diagnóstico.

As estações oceanográficas para coleta de sedimento utilizadas no Relatório de Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002), o Relatório de Monitoramento Ambiental de Merluza (PETROBRAS/SAMPLING CIENTÍFICA, 2002) e a Caracterização Ambiental dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 (PETROBRAS/HABTEC, 2003). São apresentadas na **Figura II.5.1.3-1**.

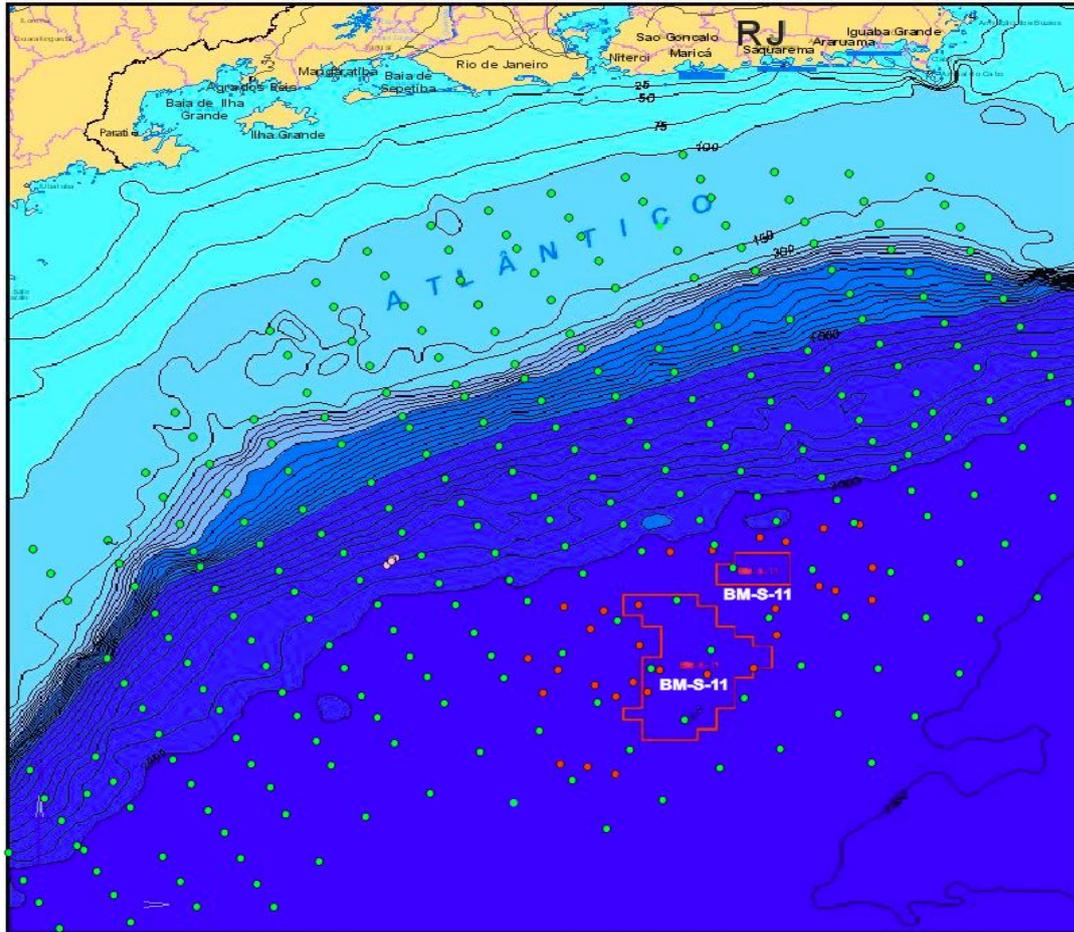


Figura II.5.1.3-1 Estações de coleta de sedimento na Bacia de Santos.

- - MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002);
- - PETROBRAS/SAMPLING CIENTIFICA (2002);
- - PETROBRAS/HABTEC (2002).

Tabela II.5.1.3-1 – Métodos de amostragem de projetos utilizados como fonte de dados.

Referência	Tipo de Amostra	Método de Amostragem
AS/PEG	Água	NISKIN (10L)
Sampling Científica		GO-FLO (10L)
HABTEC		

Tabela II.5.1.3-2 – Método analítico dos diversos parâmetros de projetos utilizados como fonte de dados.

Parâmetro	Relatório	Método Analítico	Observações
Oxigênio Dissolvido	AS/PEG	Oxímetro	-
	Sampling Científica	Titulação por Winkler	Titulação a bordo
	HABTEC	Titulação por Winkler	Titulação a bordo
pH	AS/PEG	PH-metro digital modelo HI9622	Tampões 7.42 e 9.00 (Grasshoff et al, 1983)
	Sampling Científica	pH-metro digital Hanna 810 equipado com um eletrodo de vidro e de referência combinados	-
	HABTEC	Potenciometro	-
Carbono Orgânico Total (COT.)	AS/PEG	Combustão catalítica à alta temperatura seguida de quantificação do CO2 em um detector de infravermelho não disperso	Aparelho da marca LÉCO
	Sampling Científica	-	-
	HABTEC	Titulometria	-
HIDROCARBONETOS TOTAIS (HTP)	AS/PEG	Cromatografia gasosa com detector de chama CG-FID (HP modelo 6890) (EPA 8015C)	Extração com diclorometano (EPA 3510c)
	Sampling Científica	-	-
	HABTEC	Cromatografia gasosa	-
HIDROCARBONETOS POLIAROMÁTICOS (HPA)	AS/PEG	EPA 8270C	Extração com diclorometano (EPA 3510c)
	Sampling Científica	-	-
	HABTEC	EPA 8270C	-
FENÓIS	AS/PEG	EPA 8270C	Extração com diclorometano (EPA 3510c)
	Sampling Científica	-	-
	HABTEC	Colorimetria	-
AMÔNIA	AS/PEG	Derivado do Método Koroleff, 1969	Substituição de hipoclorito por TRIONE (Grasshoff & Johannsen, 1972) Limite de detecção 0,005mg.l ⁻¹ (cubeta de 5cm)
	Sampling Científica	Azul de indofenol, conforme a descrição de Parsons et al. (1984)	-
	HABTEC	Colorimetria	-
NITRITO	AS/PEG	Baseado na reação de Griess e aplicado em águas salgadas por Bendschneider e Robinson, 1952	Seguiu-se o protocolo recomendado por Aminot e Chaussepied, 1983 Limite de detecção = 0,0005mg.l ⁻¹ (cubeta de 10cm)
	Sampling Científica	Diazotação	-
	HABTEC	Colorimetria	-
NITRATO	AS/PEG	Método de redução com coluna de Cd e Cu segundo Aminot e Chaussepied, 1983	Limite de detecção= 0,0026mg.l ⁻¹ bem cubetas de 10 cm
	Sampling Científica	Redução em coluna de Cd-Cu, seguido de diazotação	-

Continua

Continuação da tabela II.5.1.3-2

Parâmetro	Relatório	Método Analítico	Observações
FOSFATO	AS/PEG	Aminot e Chaussepied, 1983	Limite de detecção= 0,0019mg.l ⁻¹ em cubetas de 10 cm
	Sampling Científica	Método do molibdênio azul, após a digestão, Grasshoff et al. (1983)	-
	HABTEC	Colorimetria	-
CLOROFILA-A	AS/PEG	-	- continua
	Sampling Científica	Método tricromático (Aminot e Chaussepied, 1983).	-
	HABTEC	Método tricromático	-
SULFETOS	HABTEC	Colorimetria	-

Oxigênio Dissolvido (OD)

Vários fatores de caráter físico e biológico devem ser considerados ao se analisar o conteúdo de Oxigênio Dissolvido nas massas d'água já que, por si só, as concentrações de Oxigênio Dissolvido são insuficientes para a caracterização de um ambiente (NIENCHESKI *et al.*, 1999). Nas camadas de água mais próximas da superfície, o contato com o oxigênio da atmosfera é um importante fator para dissolução deste na água (REDFIELD, 1963).

Desvios encontrados nos valores de concentração deste parâmetro na água podem ser atribuídos à variação da pressão atmosférica, aquecimento ou resfriamento na água (HAYWARD & MANTYLA, 1990). Um balanço dos processos biológicos de produção de oxigênio (fotossíntese) e de consumo por organismos pelágicos pode determinar a concentração de Oxigênio Dissolvido em determinadas lâminas d'águas (AIDAR, *et al.*, 1993). Outras características físicas também devem ser levadas em consideração, tais como, velocidade do vento, movimentando e formando ondas, mistura de camadas de água, intempéries e precipitação pluviométrica.

De acordo com os valores das concentrações de Oxigênio Dissolvido na Bacia de Santos obtidos no relatório produzido por MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002, não foi possível notar nenhuma tendência horizontal bem definida, em nenhuma das três lâminas d'águas registradas em profundidades distintas (superfície; 10 m; meia água, termoclina e fundo ou 200 m). No entanto, de um modo geral, os valores mais elevados, nos 3 estratos amostrados, foram encontrados na Plataforma Continental, em frente ao estado do Rio de Janeiro.

Os perfis apresentaram elevação dos valores na termoclina, e um perfil clássico de diminuição com a profundidade.

Os teores de oxigênio dissolvido apresentados no relatório produzido por MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002 (**Figura II.5.1.3-2**), variaram entre 5,8 e 8,4 mg.l⁻¹. Esses em geral, foram mais elevados do que os encontrados em outros estudos realizados na costa brasileira (ANDRADE, *et al.*, 1999; NIECHENSKI *et al.*, 1999). As variações encontradas, por sua vez, não demonstraram padrões latitudinais expressivos e também não indicaram potenciais alterações ambientais. Os resultados obtidos na região da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, *op.cit.*) mostraram maiores valores de concentração de Oxigênio Dissolvido na profundidade da termoclina, e menores valores relativos na camada superficial e de fundo.

Outro estudo que caracteriza a variável Oxigênio Dissolvido na região sul da Bacia de Santos foi realizado por Niencheski (*op cit*), e pode ser considerado como referência para a região sul-sudeste brasileira, apresentando as distribuições espaço-temporal de Oxigênio Dissolvido nas águas adjacentes à costa, numa faixa de até 300 milhas náuticas. As amostras de água foram coletadas sazonalmente nas profundidades de 0 m, 50 m, 100 m e 200 m dentro do escopo do Programa REVIZEE (Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Economicamente Exclusiva).

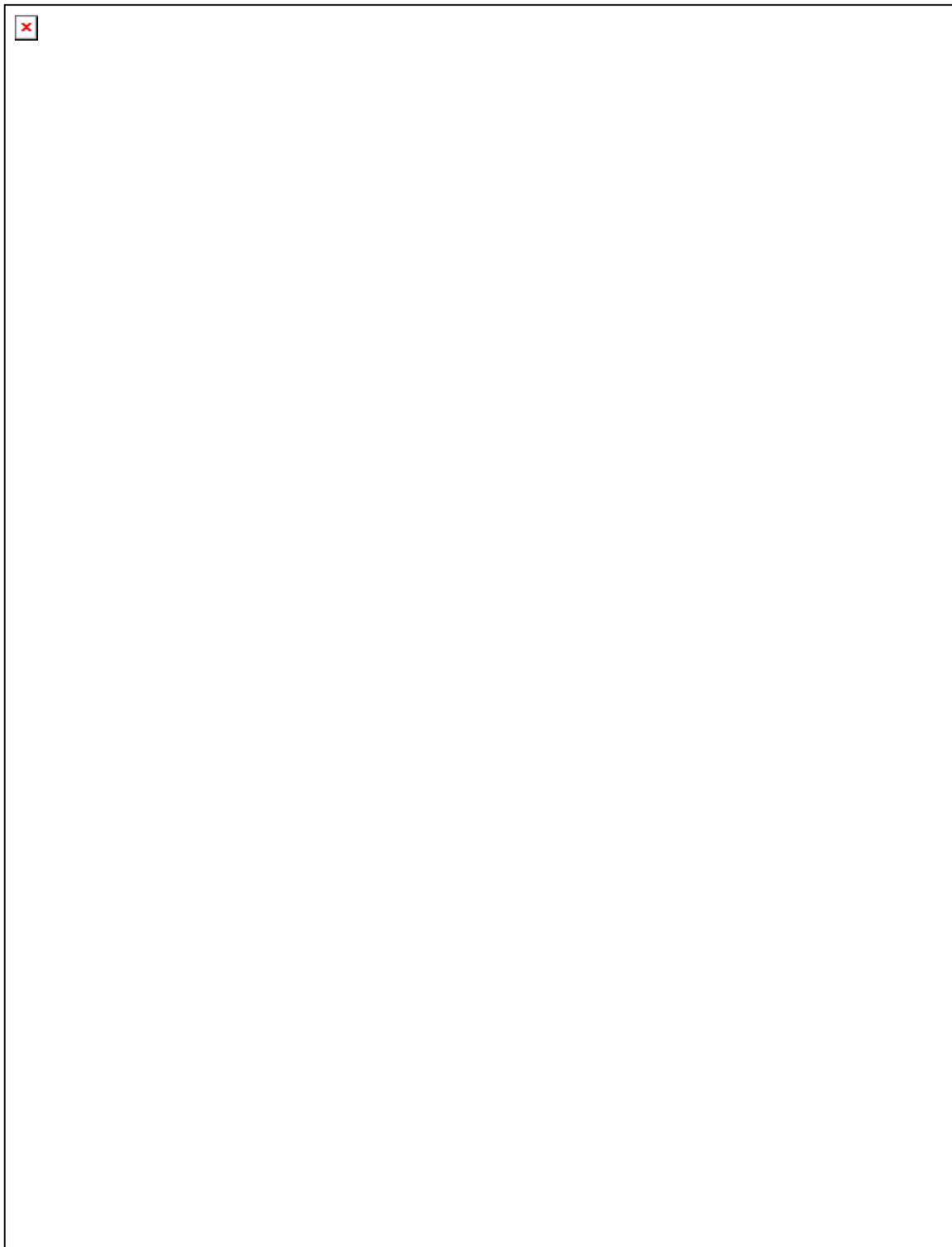


Figura II.5.1.3-2 - Variação espacial do teor de Oxigênio Dissolvido (mg.l^{-1}) na Bacia de Santos. A. superfície (10m); B. meia água (termoclina); C. fundo ou 200 m de profundidade.
Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

A **Tabela II.5.1.3-3** a seguir, apresenta os valores de Oxigênio Dissolvido compilados por Niencheski (*op cit*). O trabalho indica valores máximos de Oxigênio Dissolvido de 6,40 mg l⁻¹ durante o verão, e 5,50 mg l⁻¹ durante a primavera, sendo típico o decréscimo ao longo do perfil após a profundidade de 100 m.

Tabela II.5.1.3-3 – Valores máximos e mínimos de OD na costa brasileira.

Estação do Ano	Profundidade (m)	Verão				Outono				Primavera				Inverno			
		0	50	100	200	0	50	100	200	0	50	100	200	0	50	100	200
OD (mg.l ⁻¹)	Max	6,0	6,2	6,4	6,0	5,6	5,4	5,2	5,0	5,5	5,5	5,3	4,7	5,8	5,5	5,4	5,2
	Min	4,4	3,8	3,6	3,0	4,0	3,9	3,6	3,0	-	-	-	-	3,8	4,3	4,2	2,8

Fonte: Projeto REVIZEE - Oceanografia química (Niencheski et al, 1999)

Embora os resultados obtidos na campanha de caracterização ambiental da região ultraprofunda da Bacia de Santos (PETROBRAS/HABTEC, 2003), realizada em outubro 2002, (**Figura II.5.1.3-3**) não tenham permitido avaliar os valores de Oxigênio Dissolvido em termos de sazonalidade, percebe-se que eles encontram-se dentro da faixa de variação encontrada por Niencheski *et al* (1999).

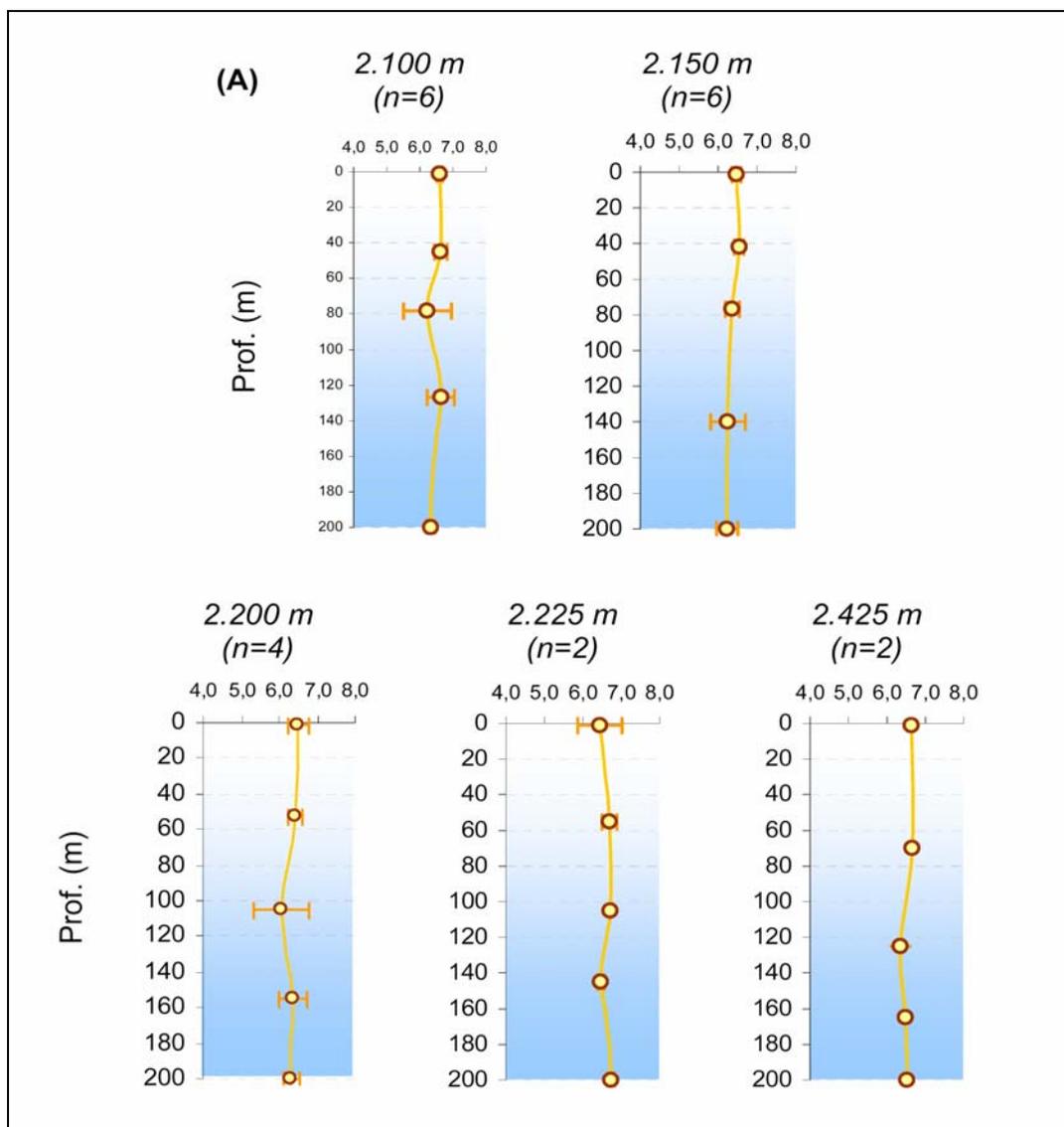


Figura II.5.1.3-3 - Valores médios de Oxigênio Dissolvido em $m. l^{-1}$ na região ultraprofunda da Bacia de Santos (primeiros 200 m da coluna d'água). n – número de perfis na isóbata apresentada.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Segundo PETROBRAS/HABTEC (2003) os valores de Oxigênio Dissolvido apresentaram-se homogeneamente distribuídos entre as estações ($CV = 7\%$). Na superfície as concentrações de Oxigênio Dissolvido variaram entre 6,05 e 6,86 $mg l^{-1}$, mantendo a baixa variabilidade ao longo da coluna d'água. Os valores mínimos e máximos de Oxigênio Dissolvido encontrados na região ultraprofunda da Bacia de Santos estão listados na **Tabela II.5.1.3-4**.

Tabela II.5.1.3-4 - Resumo dos dados de Oxigênio Dissolvido encontrados na região ultraprofunda Bacia de Santos.

Amostra	OD (mL.L ⁻¹)		
	Min	Max	MD ± DP
Superfície	6,05	6,86	6,54 ± 0,20
Acima Termoclina	6,29	6,86	6,57 ± 0,17
Termoclina	4,76	6,74	6,30 ± 0,51
Abaixo da Termoclina	5,75	7,43	6,44 ± 0,38
200 m	5,81	6,8	6,36 ± 0,24
Núcleo da AIA	5,06	7,13	6,50 ± 0,52
Fundo	6,56	7,97	7,31 ± 0,36

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Potencial Hidrognônico (pH)

O pH da água do mar varia em torno de 8,2. Este valor se dá devido a presença dos íons HCO_3^- e CO_3^{2-} , e também a existência de CO_2 na água. Modificações nas concentrações de CO_2 , devido às atividades de respiração, fotossíntese e trocas entre a atmosfera e o oceano, ou em CO_3^{2-} , devidas às precipitações, podem modificar os valores de pH (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983).

Poucas variações significativas foram observadas no relatório produzido pela MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) nos valores de pH na Bacia de Santos, que variaram de 7,43 a 8,61 (**Figura II.5.1.3-4**). Esses valores variaram dentro da faixa considerada aceitável para as águas salinas da classe 1 (destinadas a recreação de contato primário, à proteção de comunidades aquáticas e à aquicultura e à atividade de pesca. entre 6,5 e 8,6) (CONAMA, 2005).

Dados semelhantes foram registrados em volta da Plataforma de Merluza, onde os valores de pH variaram de 7,78 a 8,35 (**Tabela II.5.1.3-5**).

Tabela II.5.1.3-5 - Dados de pH, obtidas durante a campanha de MERLUZA.

Estação	Prof. da Coleta	PH
2	superfície	8,35
	termoclina	8,32
	abaixo	7,86
3	superfície	8,81
	termoclina	8,28
	abaixo	7,86
4	superfície	8,35
	termoclina	8,31
	abaixo	8,17
Controle	superfície	7,83
	acima	7,79
	abaixo	7,78

Fonte: PETROBRAS/SAMPLING CIENTÍFICA (2002)

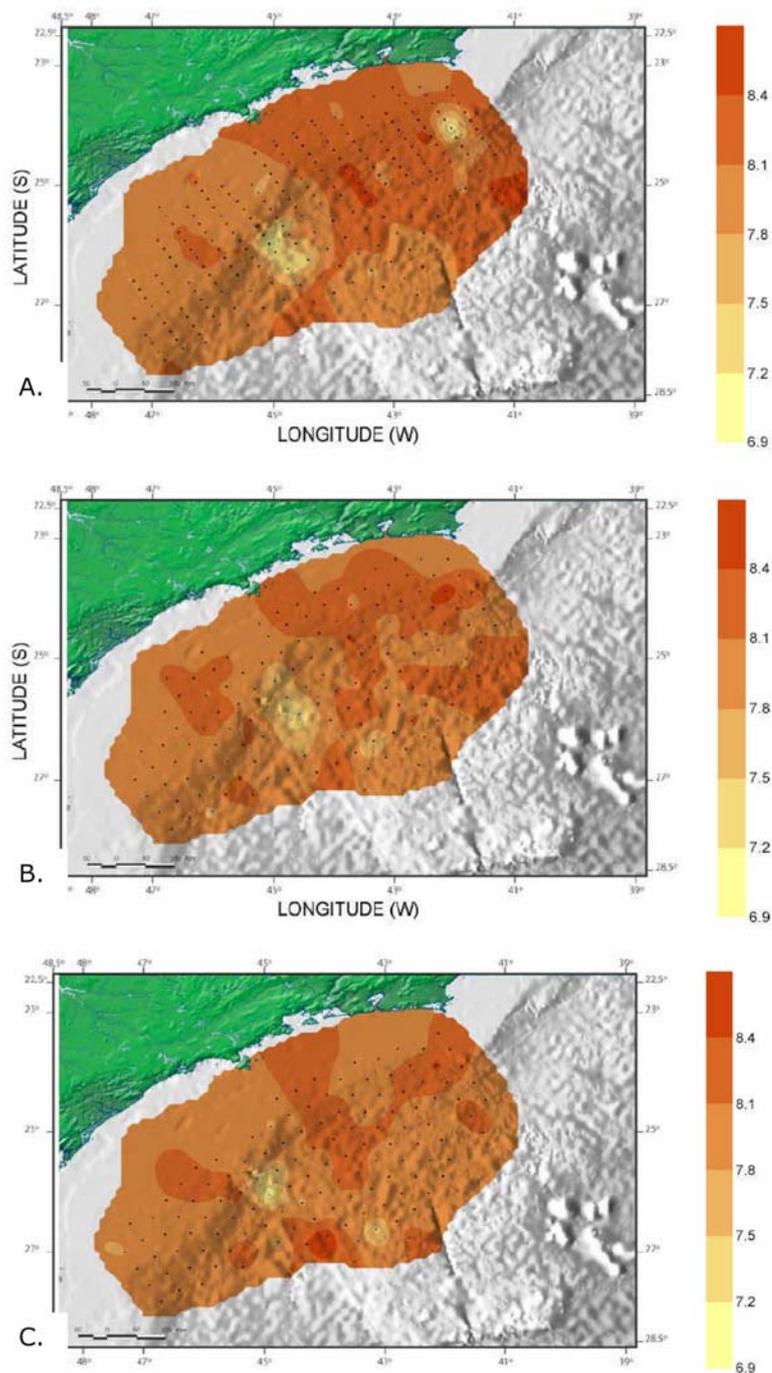


Figura II.5.1.3-4 - Variação Espacial do pH na Bacia de Santos A)Superfície B)Termoclina e C)Fundo.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

A pequena variação de pH, entre as estações, está de acordo com estudos prévios realizados ao longo do litoral brasileiro (ANDRADE et al., 1999;

NIENCHESKI *et al.*, 1999). A maioria das amostragens na Bacia de Santos foi realizada no final do verão e durante o outono. A sazonalidade influencia o pH da água do mar ao alterar as trocas entre o oceano e a atmosfera, a taxa de fotossíntese e respiração e a pluviosidade. No outono, os valores de pH na região sul-sudeste apresentam valores elevados e menores variações no fundo, como descritas em Niencheski *op cit.*

A **Tabela II.5.1.3-6**, a seguir, apresenta os valores de pH compilados para a costa brasileira por Niencheski *op cit.* Observa-se uma homogeneidade da distribuição dos valores de pH, tanto em termos de profundidade (variação vertical) quanto em termos sazonais.

Tabela II.5.1.3-6 – Valores máximos e mínimos de pH na costa brasileira.

Estação do Ano	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

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

Embora os resultados obtidos na campanha de caracterização ambiental da região ultraprofunda da Bacia de Santos (PETROBRAS/HABTEC, 2003), realizada em outubro 2002, (**Figura II.5.1.3-5**) não tenham permitido avaliar os valores de pH em termos de sazonalidade, percebe-se que eles encontram-se dentro da faixa de variação encontrada por Niencheski *op cit.* Como observado também para Oxigênio Dissolvido.

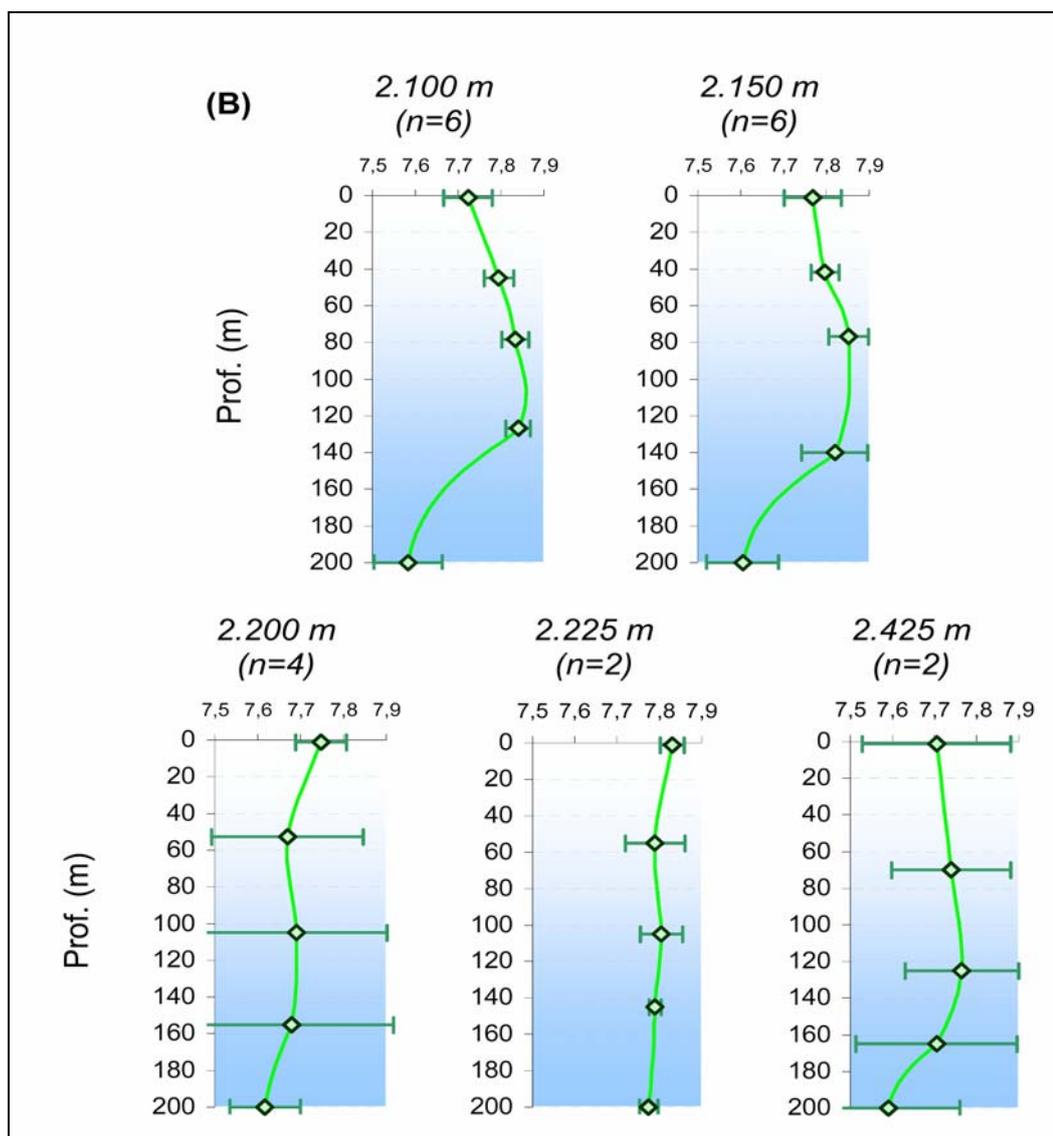


Figura II.5.1.3-5 - Valores médios de pH encontrados na região ultraprofunda da Bacia de Santos (primeiros 200 m da coluna d'água).n – número de perfis na isóbata apresentada.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Segundo PETROBRAS/HABTEC (2003) os valores de pH foram bastante homogêneos entre as estações (CV=3%), como já esperado. Em superfície, esses valores oscilaram em superfície entre 7,58 e 7,85 (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Os valores mínimos e máximos de pH encontrados na região ultraprofunda da Bacia de Santos estão listados na **Tabela II.5.1.3-7**.

Tabela II.5.1.3-7 – Resumo dos dados de pH encontrados na região ultraprofunda Bacia de Santos.

Amostra	pH		
	Min	Max	MD ± DP
Superfície	7,58	7,85	7,75 ± 0,07
Acima Termoclina	7,42	7,84	7,76 ± 0,10
Termoclina	7,39	7,93	7,80 ± 0,11
Abaixo da Termoclina	7,33	7,93	7,78 ± 0,13
200 m	7,47	7,79	7,62 ± 0,10
Núcleo da AIA	6,98	7,63	7,26 ± 0,17
Fundo	7,21	7,69	7,38 ± 0,12

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003)

Sulfeto

Em estudo realizado em águas ultraprofundas da Bacia de Santos, por PETROBRAS/HABTEC (2003), as concentrações mais altas de Sulfeto foram encontradas nas camadas mais profundas, com o pico de concentração a cerca de 900 m de profundidade, no núcleo da AIA. Nas amostras coletadas as concentrações de sulfetos variaram entre $<0,01$ e $0,93 \mu\text{mol.l}^{-1}$. As concentrações mais altas são características de massa d'águas profundas e ricas em nutrientes.

Clorofila - a

A Clorofila *a* é um pigmento presente em todos os organismos fotoautotróficos, constituindo-se em um parâmetro bioquímico mais freqüentemente utilizado em oceanografia devido à sua função fotossintética, tornando-a um indicador da biomassa fitoplanctônica (JEFFREY & MANTOURA, 1997).

Em estudo da MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) as concentrações de Clorofila *a* na Bacia de Santos variaram de $0,0403$ a $6,308 \mu\text{g.l}^{-1}$ a 10 m de profundidade, de $0,0157$ a $4,1543 \mu\text{g.l}^{-1}$ junto à termoclina e de $0,0026$ a $6,0472 \mu\text{g.l}^{-1}$ próximo ao fundo, ou à profundidade de 200 m nas estações profundas (**Figura II.5.1.3-6**). A Baía de Guanabara (RJ) foi a região onde houve maior concentração de clorofila *a* em todos os estratos avaliados. Uma outra área de maiores concentrações de Clorofila *a* foi observada junto à costa do estado de São Paulo, apenas próximo ao fundo. O restante da bacia

mostrou-se bastante homogêneo, raramente atingindo concentrações superiores a $0,5 \text{ mg. l}^{-1}$.

As concentrações de Clorofila *a* por volume de água do mar medidas na Bacia de Santos indicaram águas oligotróficas, isto é, pobres em biomassa fitoplanctônica, como já havia sido assinalado por MACHADO *et al.*, (1998). Os meios oligotróficos são geralmente caracterizados por uma fraca produção fitoplanctônica em ambiente estratificado e pobre em sais minerais.

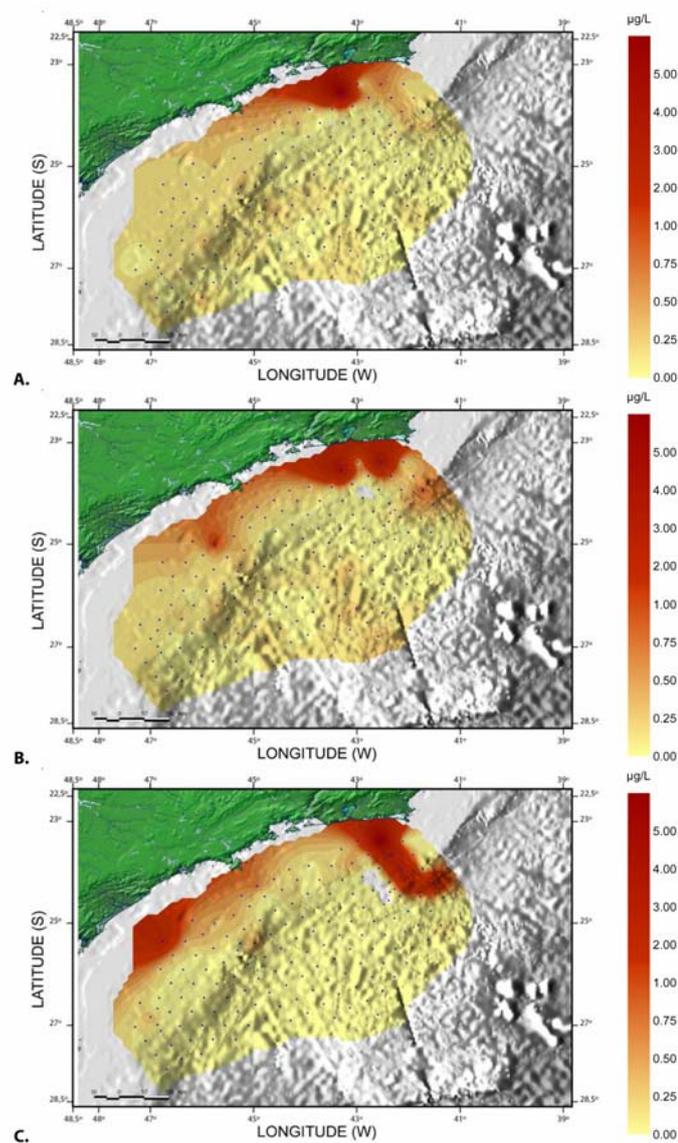


Figura II.5.1.3-6 *Variação espacial da concentração de Clorofila a ($\mu\text{g.l}^{-1}$) na Bacia de Santos. A. superfície (10 m); B. meia água (termoclina); C. fundo ou 200 m de profundidade.*

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

No estudo produzido por PETROBRAS/HABTEC, 2003, para águas ultraprofundas da Bacia de Santos, as concentrações de Clorofila *a* variaram de <0,01 a 3,13 mg.m⁻³.

De modo geral, as concentrações de Clorofila *a* para a Bacia de Santos indicam águas muito pobres em biomassa fitoplanctônica. São consideradas águas oligotróficas, isto é, com baixa produtividade orgânica.

Carbono Orgânico Total

A maior parte do Carbono Orgânico Dissolvido (COD) em suspensão nos oceanos consiste de picoplâncton que subsiste metabolizando os menores fragmentos de detritos orgânicos e, principalmente, os compostos orgânicos dissolvidos. Estes compostos são originados pelo processo fotossintético realizado pelo fitoplâncton nos oceanos e sua composição é de ácidos orgânicos, vitaminas e açúcares. A concentração média de COD nos oceanos é de 0,5 mg.l⁻¹ e nem todo o COD encontrado nos oceanos é produzido nos mesmos. Os aportes continentais originados pelas atividades naturais, exportação de matéria orgânica realizada pelos rios e ventos e exportação de matéria orgânica realizada pelos mangues, além de fontes antrópicas como esgotos e produtos industriais jogados nos rios promovem alterações no teor de COD, principalmente nas regiões mais costeiras (BROWN *et al.*, 1989).

Os valores de Carbono Orgânico Total Dissolvido encontrados nas águas da Bacia de Santos no relatório produzido por MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002), variaram de valores inferiores a 1 % (limite de detecção do método) até 33,5 % de Carbono Orgânico na amostra de água analisada (**Figura II.5.1.3-7**). Os maiores valores registrados, foram encontrados ao sul do Campo de Merluza (MMA/PETROBRAS/AS/PEG 2002).

No levantamento feito ao redor da Plataforma de Merluza (PETROBRAS/SAMPLING CIENTÍFICA, 2002), os valores registrados variaram entre 1,04 e 2,96 mg.l⁻¹, sem apresentar qualquer variação significativa nas concentrações (**Tabela II.5.1.3-8**).

A rápida assimilação destes produtos pelas bactérias, nas águas oceânicas, pode ser evidenciada pelas baixas concentrações encontradas nestas regiões,

sem variações expressivas entre estações de coleta. No trabalho citado acima, não foi possível observar nenhum gradiente latitudinal ou batimétrico. Metzler *et al.* (1997) demonstraram que em alguns casos as bactérias podem competir diretamente com fitoplâncton por certos compostos, no caso do estudo, os nitrogenados.

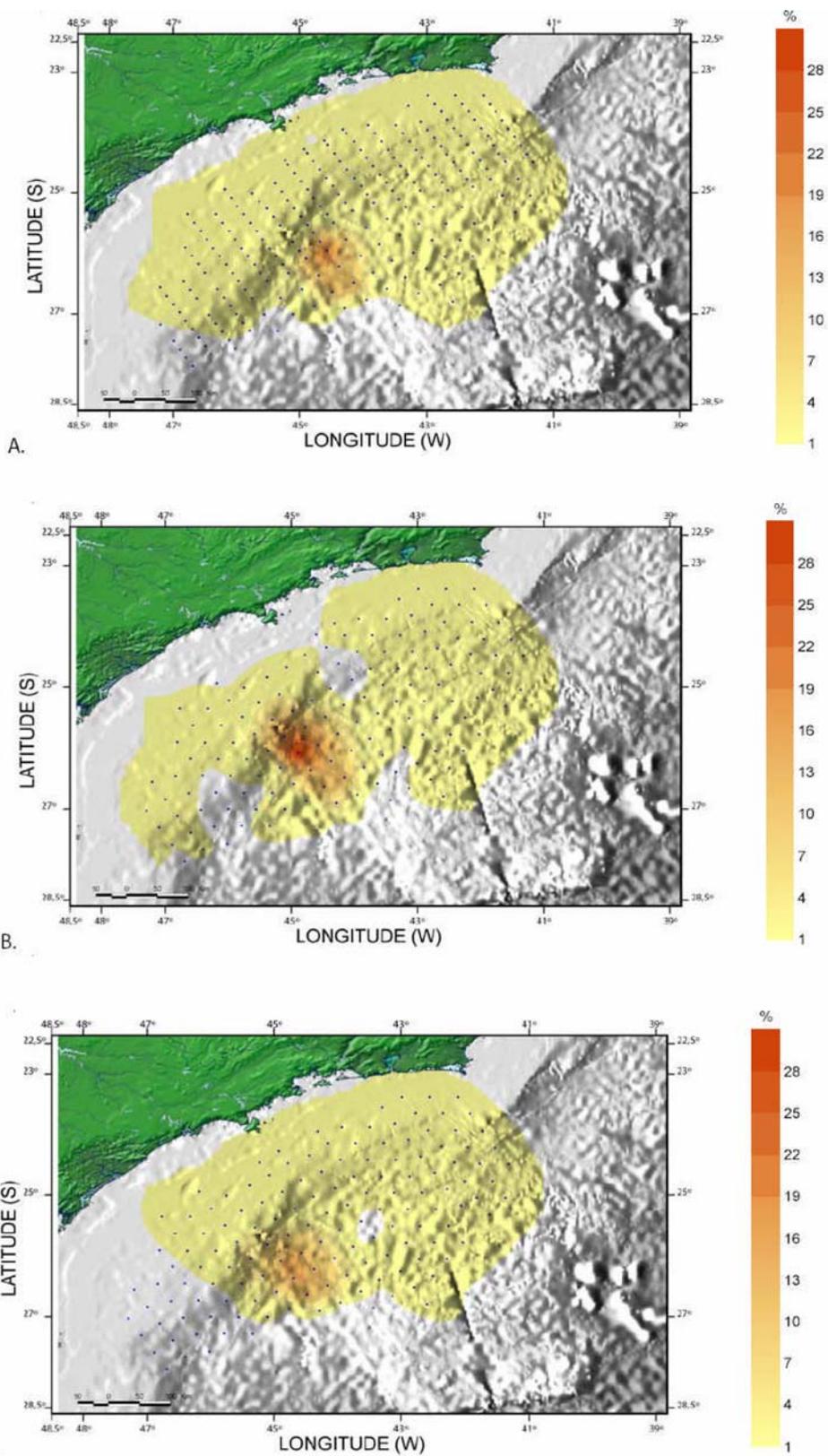


Figura II.5.1.3-7 - Variação Espacial das Concentrações de Carbono Orgânico Total na Bacia de Santos A) Superfície B) Termoclina e C) Fundo.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

Tabela II.5.1.3-8 - Teor de Carbono Orgânico Total, encontrado nas amostras do Campo de MERLUZA.

Estação	Prof. da Coleta	COT mg.l ⁻¹
2	superfície	1,16
	termoclina	2,39
	abaixo	1,19
3	superfície	1,23
	termoclina	2,96
	abaixo	1,28
4	superfície	1,32
	termoclina	2,01
	abaixo	1,41
Controle	superfície	1,23
	termoclina	1,04
	abaixo	1,34

Fonte: PETROBRAS/SAMPLING CIENTÍFICA (2002)

Em outro levantamento de dados primários na região ultraprofunda da Bacia de Santos o Carbono Orgânico Total (COT) apresentou-se abaixo do limite de detecção (<0,5 mg.l⁻¹) em grande parte dos pontos e profundidades amostradas (PETROBRAS/HABTEC, 2003). As maiores variações dos valores de COT foram observadas nas seguintes profundidades: acima da termoclina, na termoclina e abaixo da termoclina. A termoclina se comporta como uma barreira física para a sedimentação de partículas, gerando a retenção de matéria orgânica. Neste ponto encontra-se, normalmente, um ponto de inflexão no perfil de oxigênio ao longo da profundidade, justamente por ser este o oxidante preferencial na remineralização da matéria orgânica (MANN & LAZIER, 1991). Em algumas das estações amostradas as concentrações detectáveis de COT no fundo poderiam refletir uma ressuspensão do sedimento. Na **Figura II.5.1.3-8** observa-se a distribuição vertical do COT nas isóbatas amostradas.

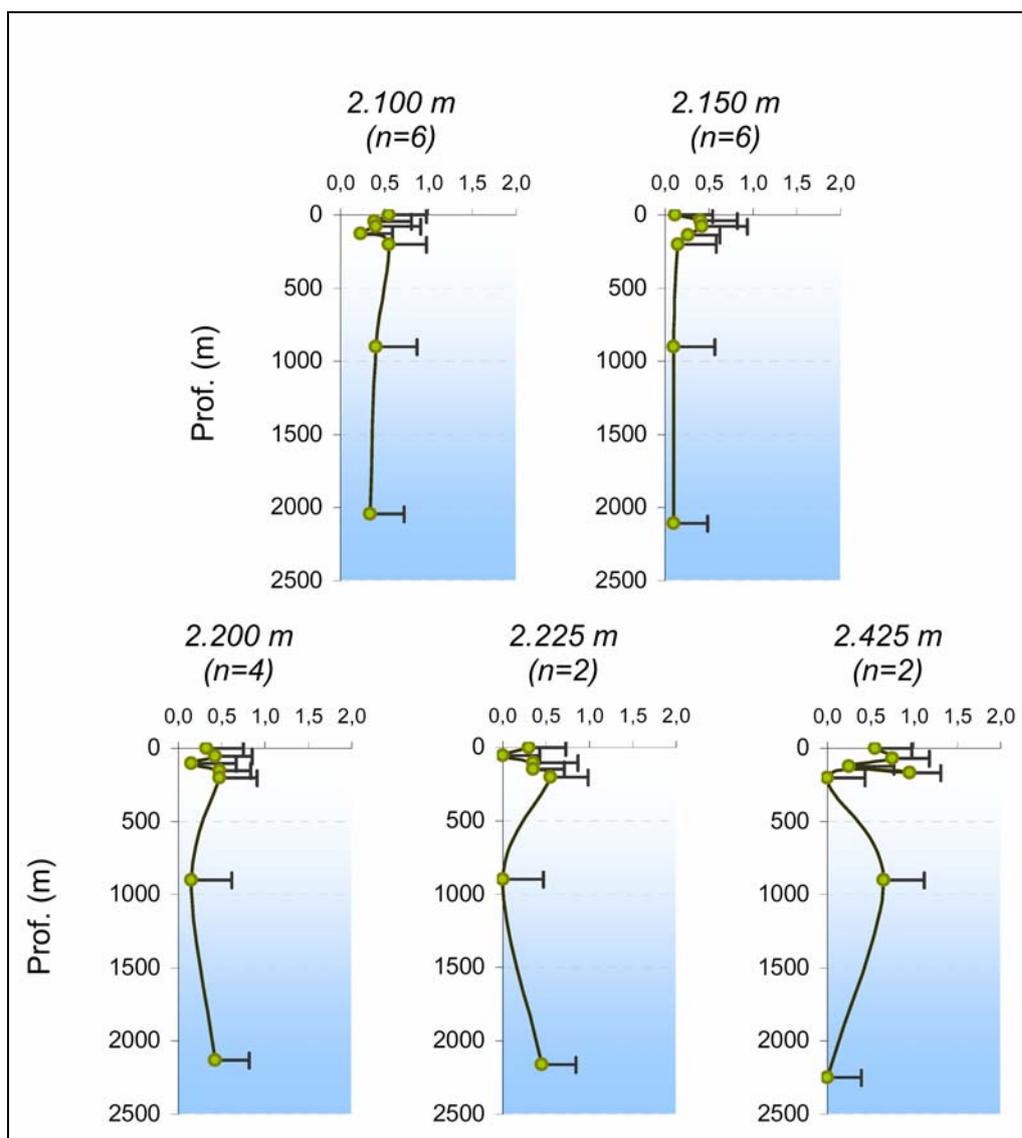


Figura II.5.1.3-8 - Valores médios de COT (mg.l^{-1}) encontrados na região ultraprofunda da Bacia de Santos. n – número de perfis na isóbata apresentada

Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003)

Considerando que o teor de Carbono Orgânico Total (COT) é a soma do Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e do Carbono Orgânico Particulado (COP), que águas oceânicas apresentam baixas concentrações de material particulado, e que são escassos os dados disponíveis na literatura de COT (principalmente em águas oceânicas), é aceitável comparar-se dados de COT e COD. As concentrações de COD na costa central brasileira, entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Baía de Todos os Santos (BA) variam de 0,37 a 2,50 mg.l^{-1} (CUPELO,

2000). As concentrações encontradas por PETROBRAS/HABTEC (2003) (média de $0,75 \pm 0,22 \text{ mg.l}^{-1}$) apresentam-se abaixo do máximo estimado para a plataforma continental central brasileira, o que era esperado, considerando-se que a principal fonte de material particulado para os oceanos são os aportes terrestres (principalmente pela via fluvial), que aproximadamente 80% deste material fica retido na zona costeira (HEDGES, 1992) e que a região monitorada situa-se além da plataforma continental (profundidades superiores a 2.000 m).

Fenóis

Fenóis são definidos como derivados hidroxílicos de benzeno e podem ser encontrados em efluentes domésticos e industriais. Entretanto, para o ambiente oceânico, a água produzida nos processos de produção de petróleo e outras atividades relacionadas ao transporte e/ou consumo de petróleo são as principais fontes de fenóis, bem como de outros poluentes como hidrocarbonetos (alifáticos e aromáticos), ácidos orgânicos e metais pesados, como vanádio, níquel e chumbo (LAWS, 1981; UTVIK, 1999).

Os Fenóis são compostos químicos tóxicos aos organismos aquáticos, mesmo quando presentes em níveis bastante baixos. Os compostos naturais estão relacionados à lignina dos vegetais. Sua presença em corpos d'água se deve principalmente aos despejos de origem industrial. Esses compostos são polares e muito solúveis na água.

As análises realizadas por MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002 apresentaram teores de Fenóis nas amostras de água de superfície, termoclina e fundo, bastante semelhantes e com tendências similares. Em geral, as maiores concentrações foram observadas ao norte da Bacia de Santos (**Figura II.5.1.3-9**), em águas que recebem influência da Bacia de Campos. A distribuição espacial dos teores de Fenóis mostra uma homogeneidade nas águas de superfície para toda bacia com uma leve tendência de maiores concentrações ao norte da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG 2002).

A concentração de Fenóis na água de superfície foi $0,47 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$ com uma média de $0,03 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$ e desvio padrão de $0,07 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$ (**Figura II.5.1.3-9**). Na termoclina foram observados teores de Fenóis de até $0,63 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$ com uma média

de $0,04 \mu\text{g.l}^{-1}$ e desvio padrão de $0,11 \mu\text{g.l}^{-1}$ (Figura II.5.1.3-10). Os maiores teores foram detectados nas amostras de fundo, onde as concentrações de Fenóis variaram até $0,97 \mu\text{g.l}^{-1}$ com média de $0,03 \mu\text{g.l}^{-1}$ e desvio padrão de $0,11 \mu\text{g.l}^{-1}$ (Figura II.5.1.3-11).

A distribuição espacial total de fenol na superfície da água se mostrou bastante homogênea sem anomalias significativas. No entanto, a distribuição espacial das amostras de meia água, termoclina e de fundo mostrou uma tendência de valores mais elevados ao norte da bacia em água sob influência da Bacia de Campos.

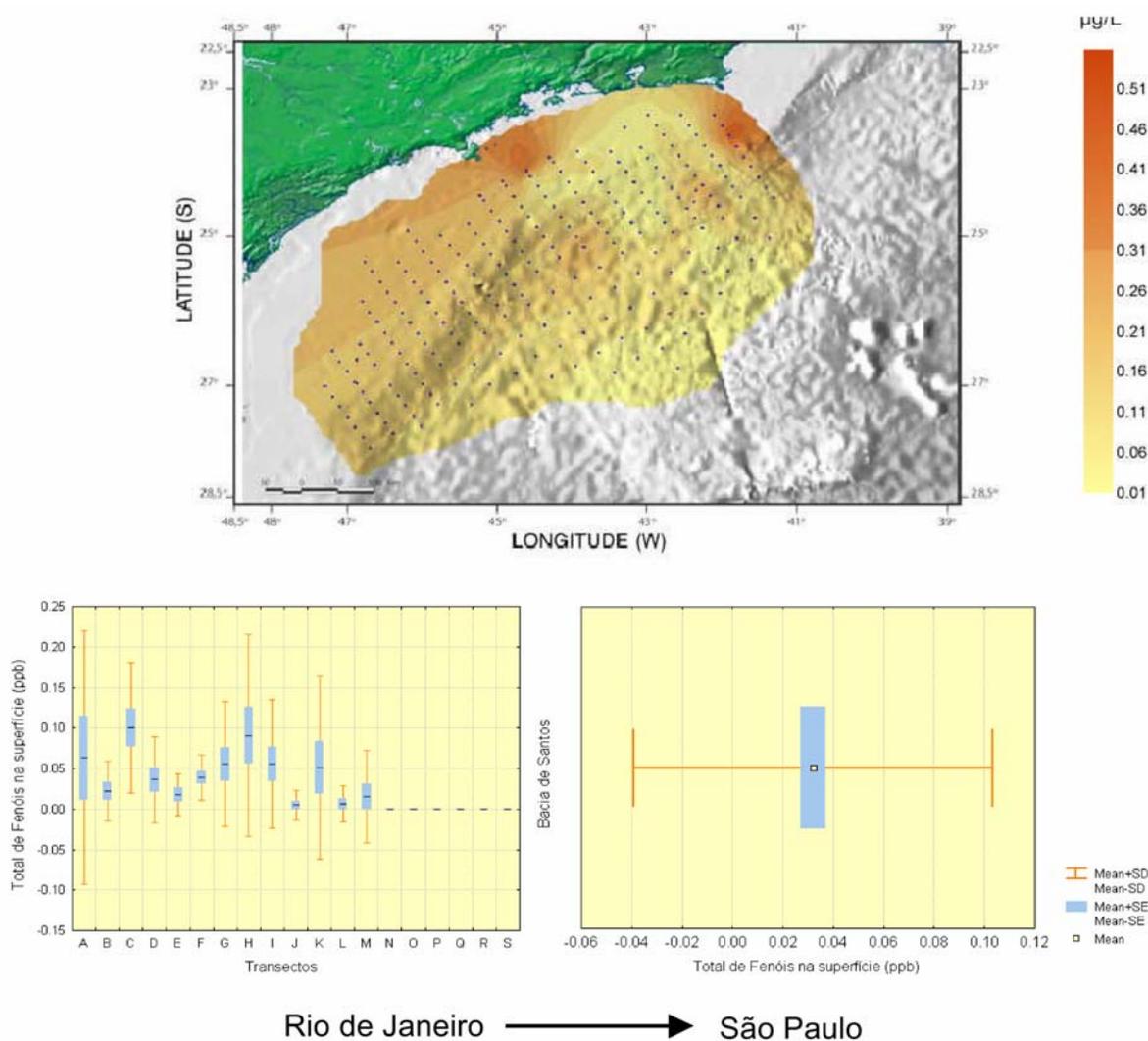


Figura II.5.1.3-9 - Variação Espacial dos Fenóis na Bacia de Santos (Superfície).
Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

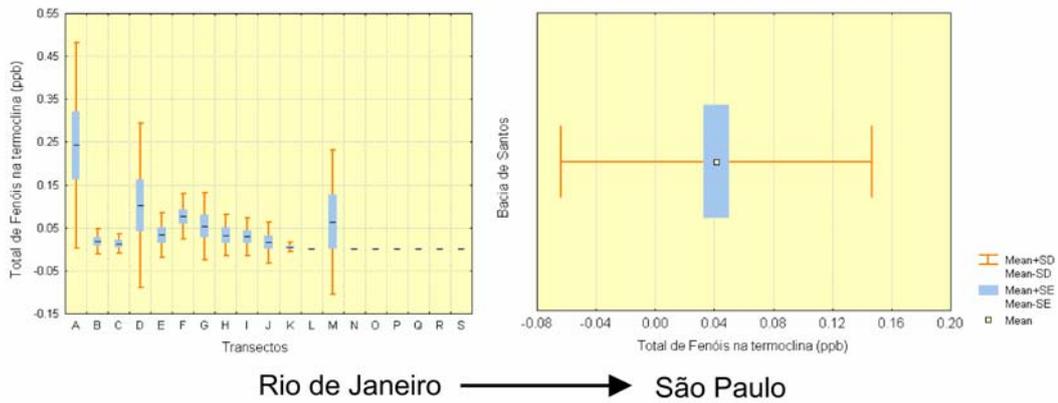
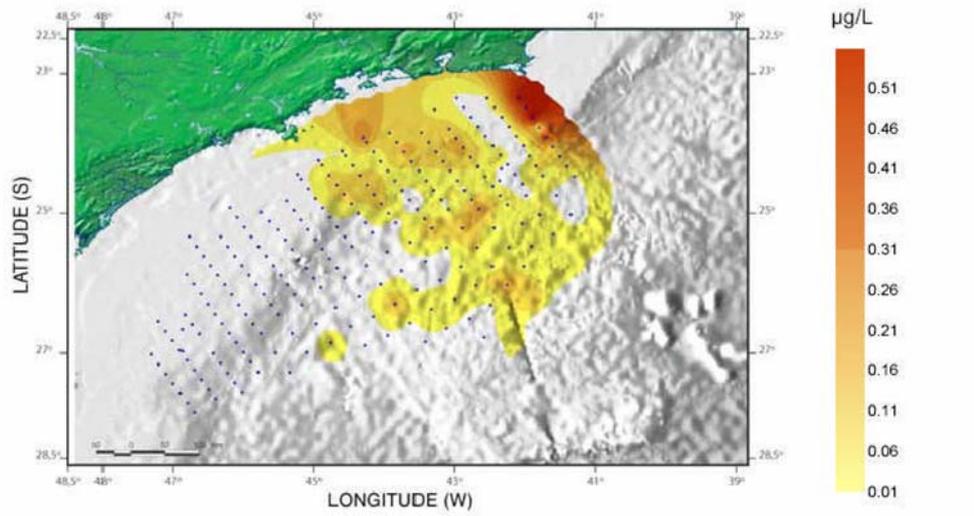


Figura II.5.1.3-10 - Variação Espacial dos Fenóis na Bacia de Santos (Termoclina).
 Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

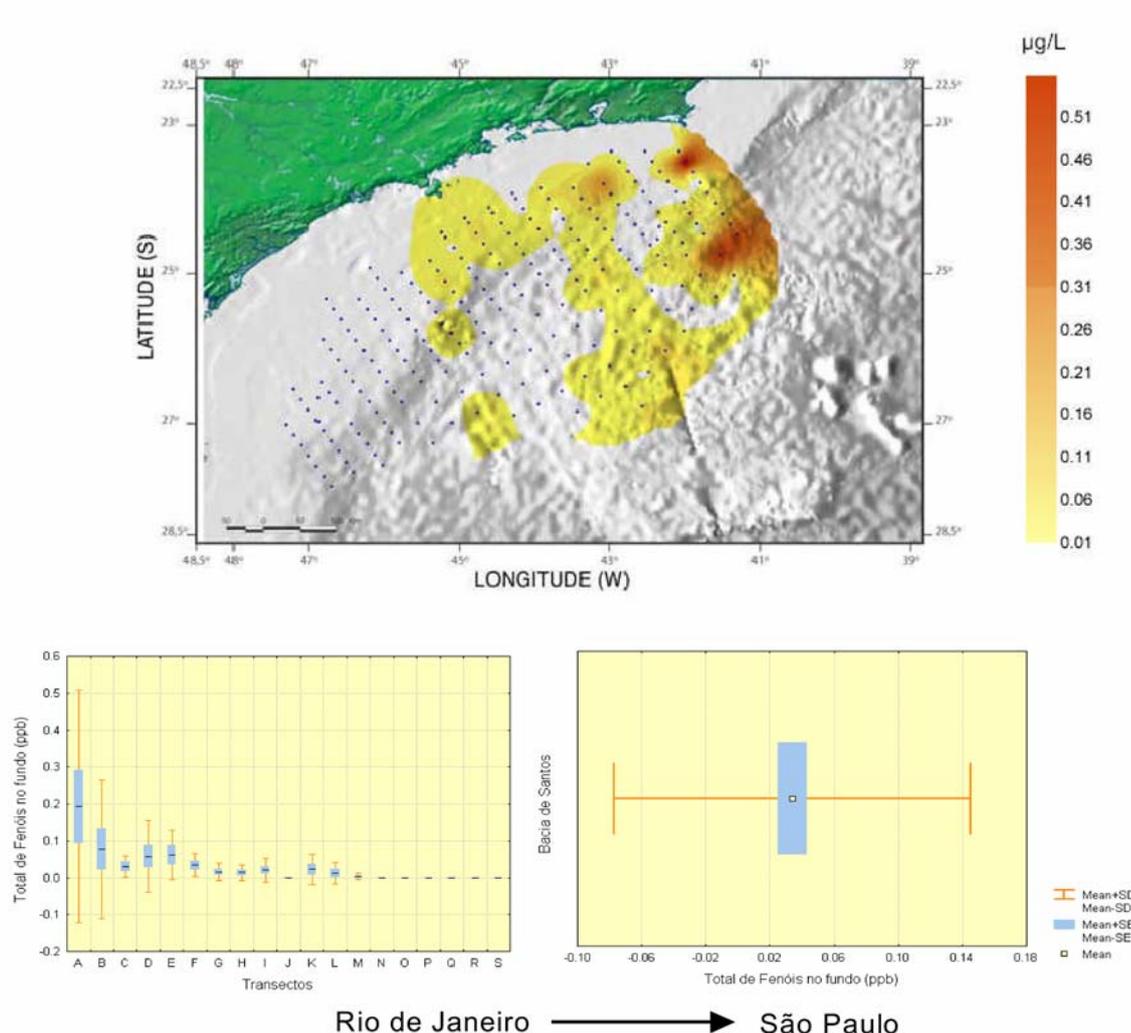


Figura II.5.1.3-11 - Variação Espacial dos Fenóis na Bacia de Santos (Fundo).
Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

Hidrocarbonetos Totais - HTP

No levantamento apresentado no relatório produzido por MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002 foram observadas, em geral concentrações muito baixas de Hidrocarbonetos Totais (HTP) na Bacia de Santos. A concentração máxima de HTP registrada foi de 2706 $\mu\text{g.l}^{-1}$, com média de 64 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (desvio padrão de 284 $\mu\text{g.l}^{-1}$). As amostras de termoclina apresentaram valor máximo de 2959 $\mu\text{g.l}^{-1}$ com média de 52 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (desvio padrão de 285 $\mu\text{g.l}^{-1}$).

Já as amostras de fundo apresentaram valor máximo de 2836 $\mu\text{g.l}^{-1}$ com média de 91 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (desvio padrão de 410 $\mu\text{g.l}^{-1}$). As **Figuras II.5.1.3-12, II.5.1.3-13 e II.5.1.3-14** apresentam as distribuições espaciais dos teores de HTP nas amostras de superfície, termoclina e fundo, das águas da Bacia de Santos. As figuras a seguir mostram que a região do Campo de Merluza possui as menores concentrações registradas na Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG 2002).

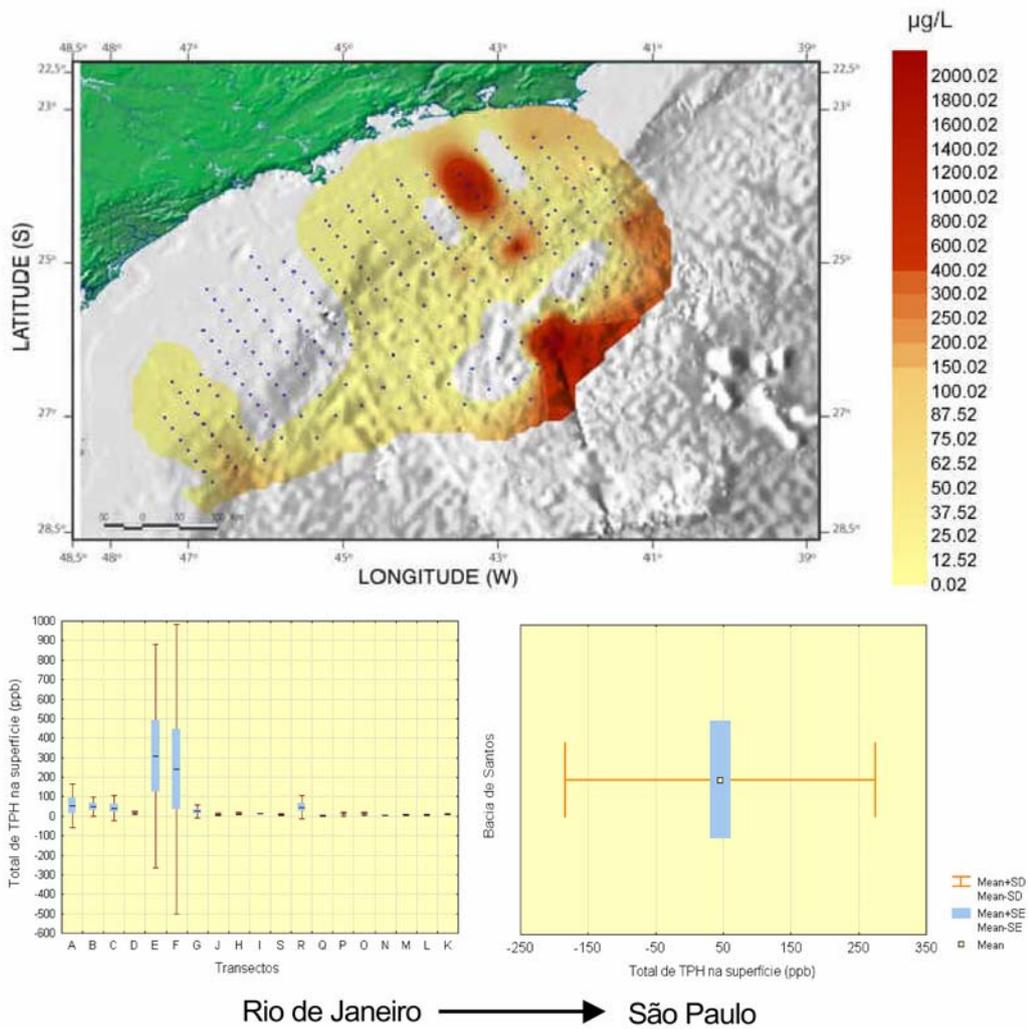


Figura II.5.1.3-12 - Variação Espacial do HTP na Bacia de Santos (Superfície).
 Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

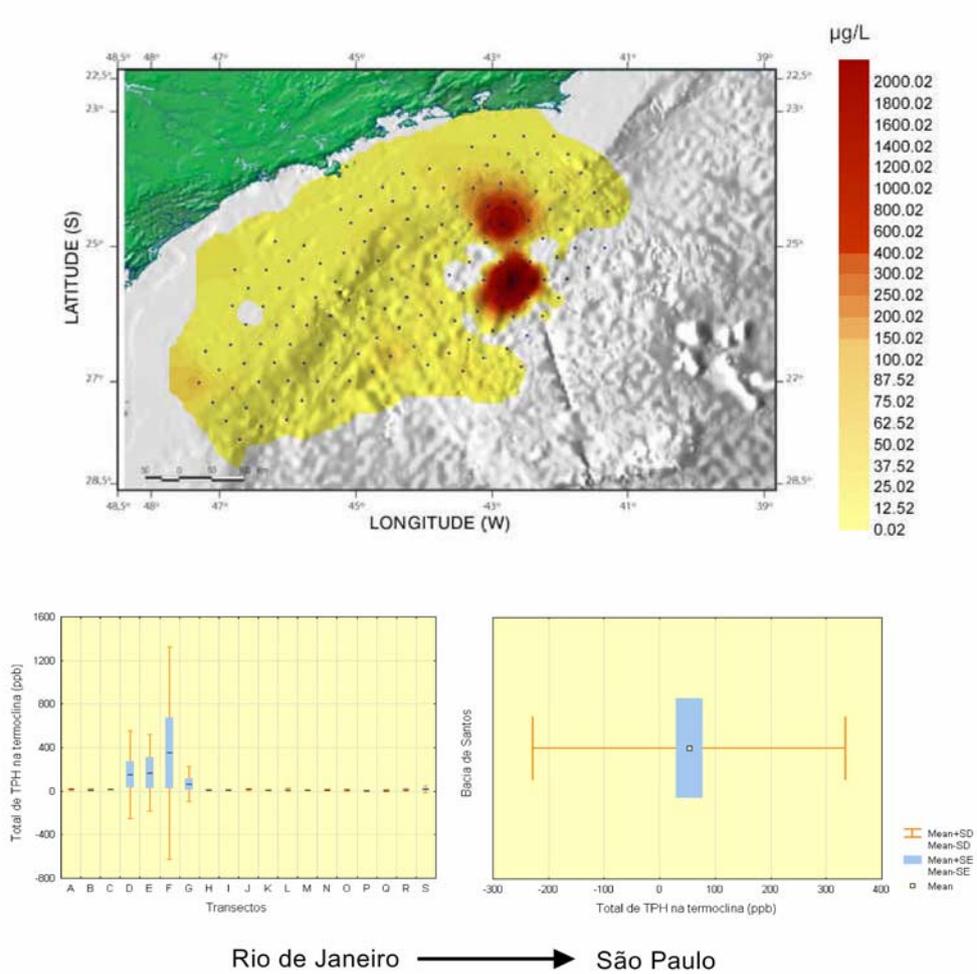


Figura II.5.1.3-13 - Variação Espacial do HTP na Bacia de Santos (Termoclina).

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

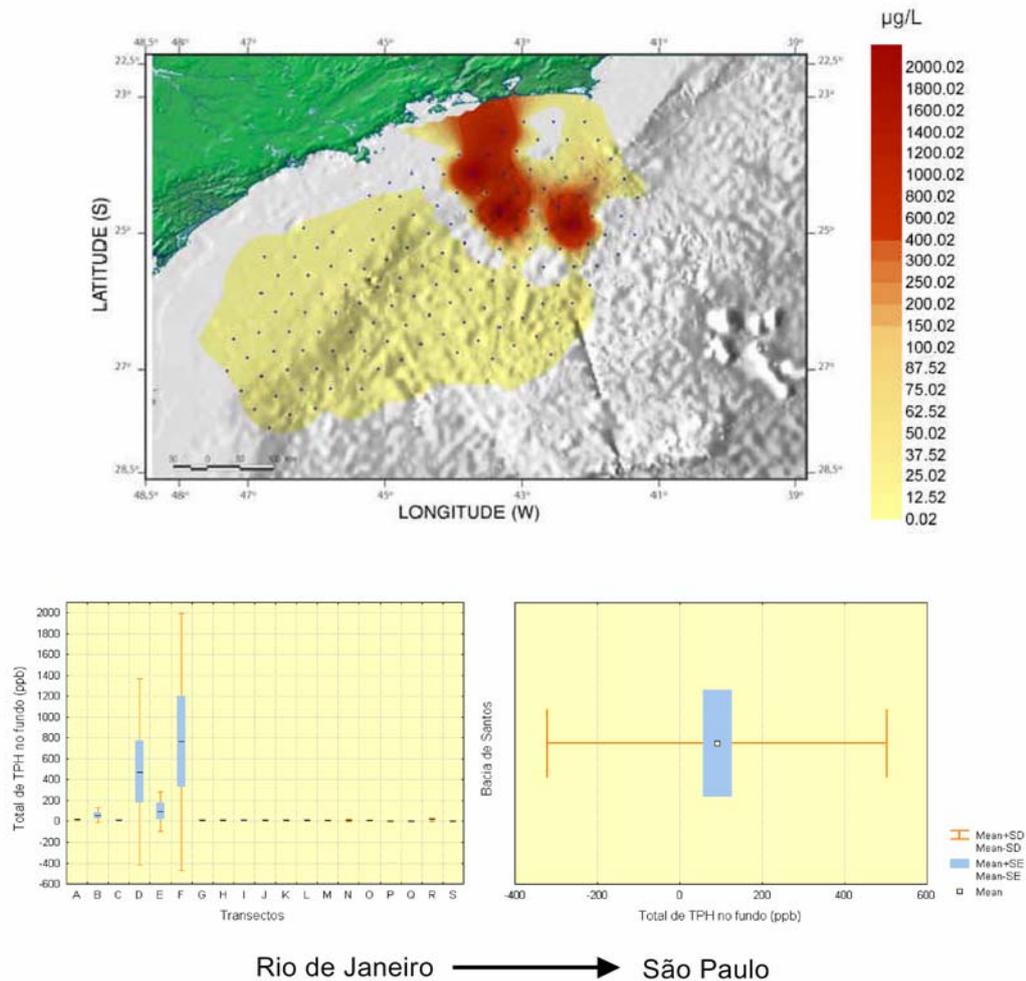


Figura II.5.1.3-14 - Variação Espacial do HTP na Bacia de Santos (Fundo).

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

Hidrocarboneto Policíclico Aromático - HPA

Em geral, foram observadas concentrações relativamente baixas de HPA, na caracterização da Bacia de Santos feita pela MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002. A concentração máxima do total de HPA foi de $21,30 \mu\text{g.l}^{-1}$, com média de $0,41 \mu\text{g.l}^{-1}$ (desvio padrão = 2,22) (Figura II.5.1.3-15, Figura II.5.1.3-16 e Figura II.5.1.3-17).

A variação dos teores de HPA na água do mar de áreas remotas, consideradas como não impactadas, pode ser usada como estimativa do nível de background que se pode esperar de outras regiões, com grau semelhante de

preservação ambiental. Nesse sentido, os estudos do total de HPA em águas da Antártica e Mar do Norte são particularmente importantes, uma vez que servem de parâmetros para a comparação.

Os valores encontrados na Bacia de Santos apresentam dados semelhantes e condizentes com valores que se espera encontrar em águas de oceanos abertos não impactados. Esse fato é perfeitamente compreensível se considerarmos que a Bacia de Santos é uma área ainda preservada com relação à produção petrolífera. Cabe ressaltar que valores maiores foram encontrados nas proximidades do continente, onde uma parte significativa da malha amostral está localizada na região da Plataforma Continental (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002).

Apesar da escassez de trabalhos científicos sobre HPA na área do mar aberto da Bacia de Santos, é interessante notar que valores observados no relatório da MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) estão próximos aos valores reportados em trabalhos científicos de estudos de áreas costeiras da Bacia de Santos. Por exemplo, Bicego (1988) encontrou HPAs na Plataforma Continental de São Paulo variando de 0,46 até 14,34 $\mu\text{g.l}^{-1}$ na área do Canal de São Sebastião na faixa de 0,18 a 8,52 $\mu\text{g.l}^{-1}$ e no estuário de Santos de <0,18 a 52,43 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Nesse sentido, os valores de 0,01 até 21,3 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (média=0,41 $\mu\text{g.l}^{-1}$) de HPA observados no relatório da MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) são coerentes com os estudos pretéritos.

A região do Campo de Merluza aparece como uma das regiões menos impactadas da Bacia de Santos, com valores mínimos registrados. No entanto é importante salientar que valores ligeiramente superiores nos estudos anteriores podem ser explicados pela diferença técnica e analítica empregada. Quando comparados aos valores de HPAs observados em estudos costeiros realizados no litoral brasileiro e outras áreas do globo, os valores observados na Bacia de Santos estão dentro da faixa de concentração observada (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002).

Nenhuma concentração de hidrocarbonetos totais de petróleo (THP) ou de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) foi detectada na região ultraprofunda Bacia de Santos (PETROBRAS/HABTEC, 2003).

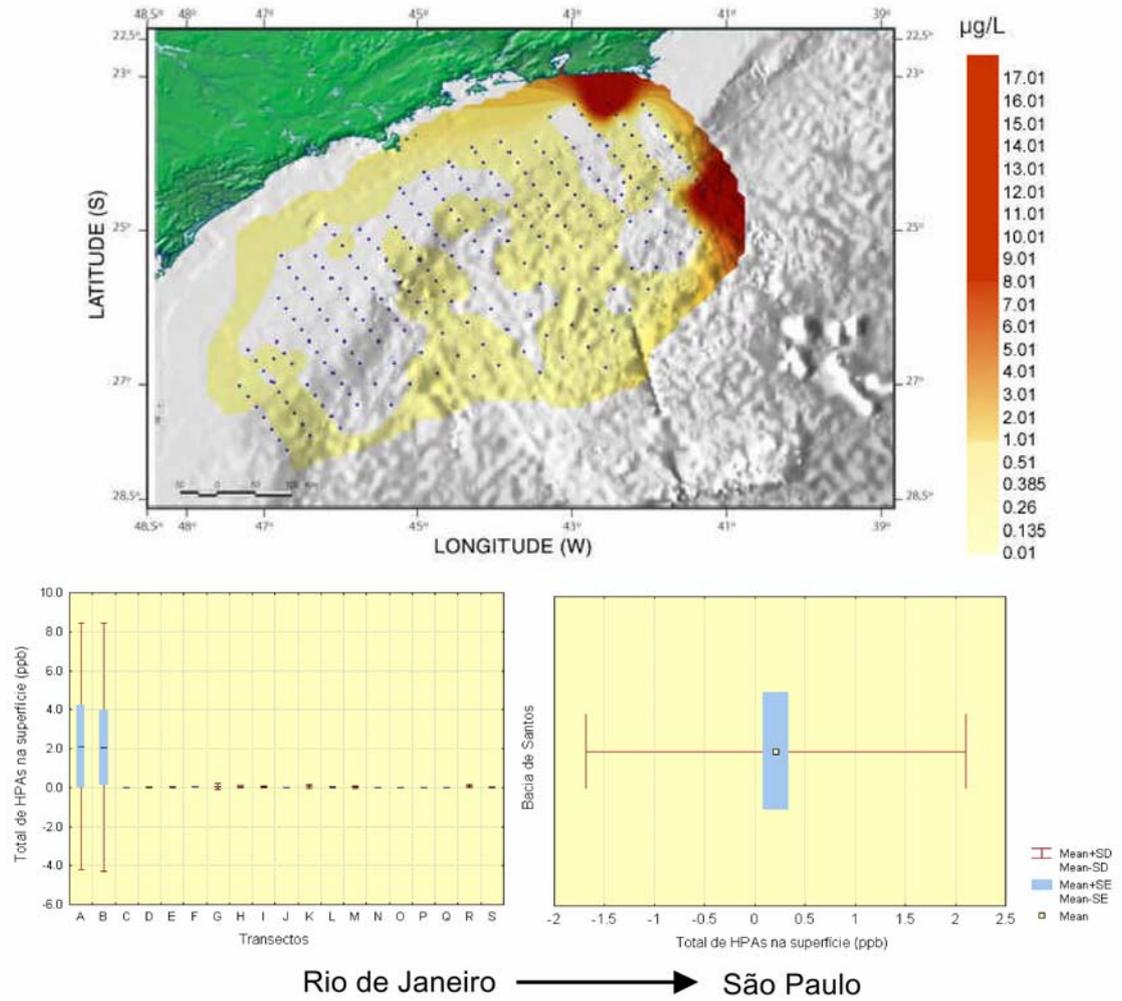


Figura II.5.1.3-15 - Variação Espacial do HPA na Bacia de Santos (superfície).
 Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

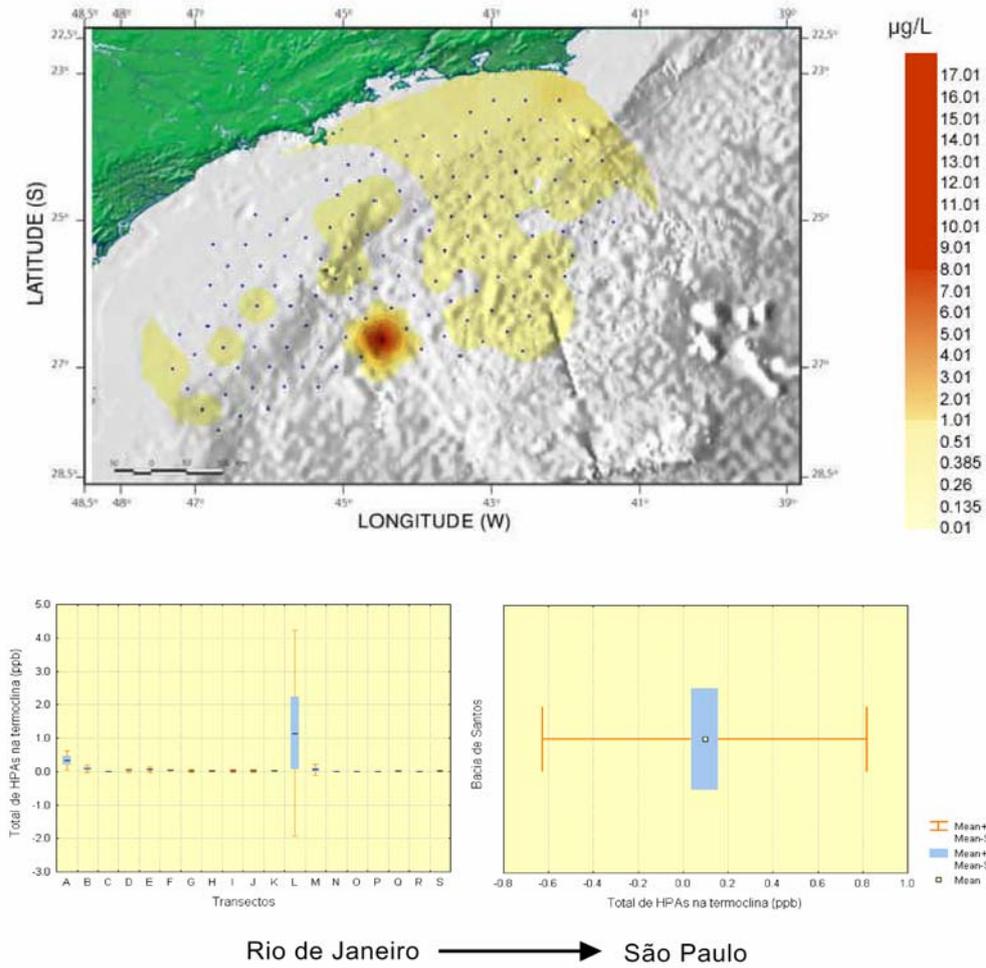
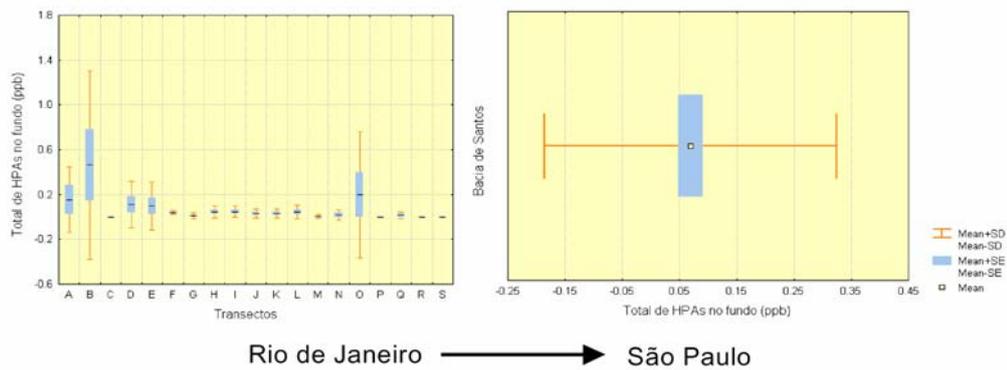
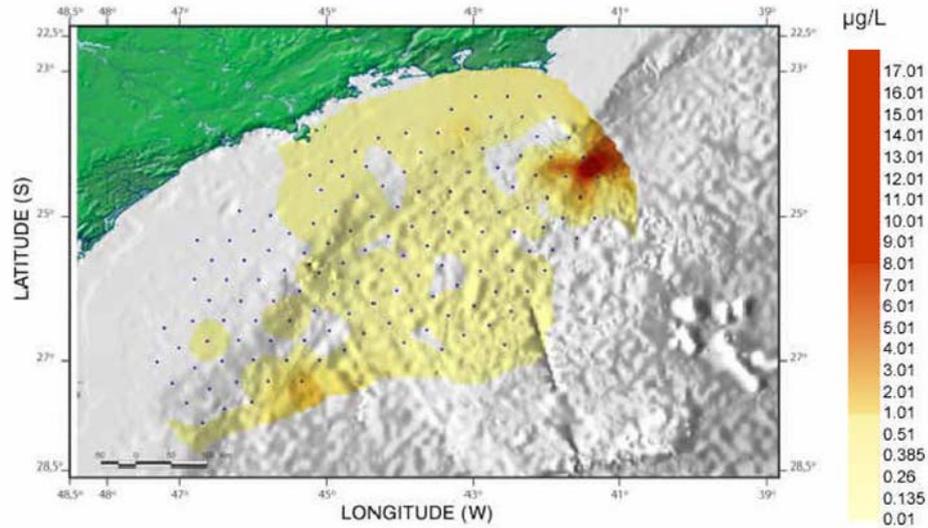


Figura II.5.1.3-16 - Variação Espacial do HPA na Bacia de Santos (Termoclina).
Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)



Rio de Janeiro → São Paulo

Figura II.5.1.3-17 - Variação Espacial do HPA na Bacia de Santos (Fundo).
 Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

Nutrientes

A água do mar tem composição química quase constante. Há um pouco mais de 70 elementos dissolvidos na água do mar, mas apenas 6 desses constituem mais de 90% dos sais dissolvidos; todos ocorrem como íons.

Os principais macronutrientes presentes na água do mar (Nitrogênio, Fósforo e Enxofre), são também os mais importantes para a vida marinha, principalmente para as plantas, que são a base da produção primária. Apesar destes nutrientes serem extremamente importantes, são apenas constituintes menores da água do mar. Os nitratos, por exemplo, têm média de concentração de 0,5 ppm e os

fosfatos uma ordem de grandeza a menos. Portanto, estes podem alcançar concentrações potencialmente limitantes na superfície marinha.

Amônia

As concentrações de Amônia, relatadas na caracterização feita pela MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002 (**Figura II.5.1.3-18**), foram relativamente baixas na maior parte das estações analisadas, variando de 0,003 mg.l⁻¹ a 0,060 mg.l⁻¹. Este resultado é esperado, pois nitrogênio amoniacal é uma forma reduzida, e em sistemas aeróbicos tende a se oxidar em nitrito e em seguida em nitrato, através do ciclo do Nitrogênio, principalmente nas camadas superiores. Concentrações mais elevadas podem ser observadas na camada mais profunda, em pontos mais próximos do continente, porém de uma forma geral, não parece haver uma tendência de aumento ou diminuição das concentrações espacialmente.

Nos resultados obtidos no relatório produzido pela Sampling Científica (2002) ao redor da Plataforma de Merluza, o quadro não foi diferente, variando entre os limites de 0,010 e 0,027 mg.l⁻¹ (**Tabela II.5.1.3-9**).

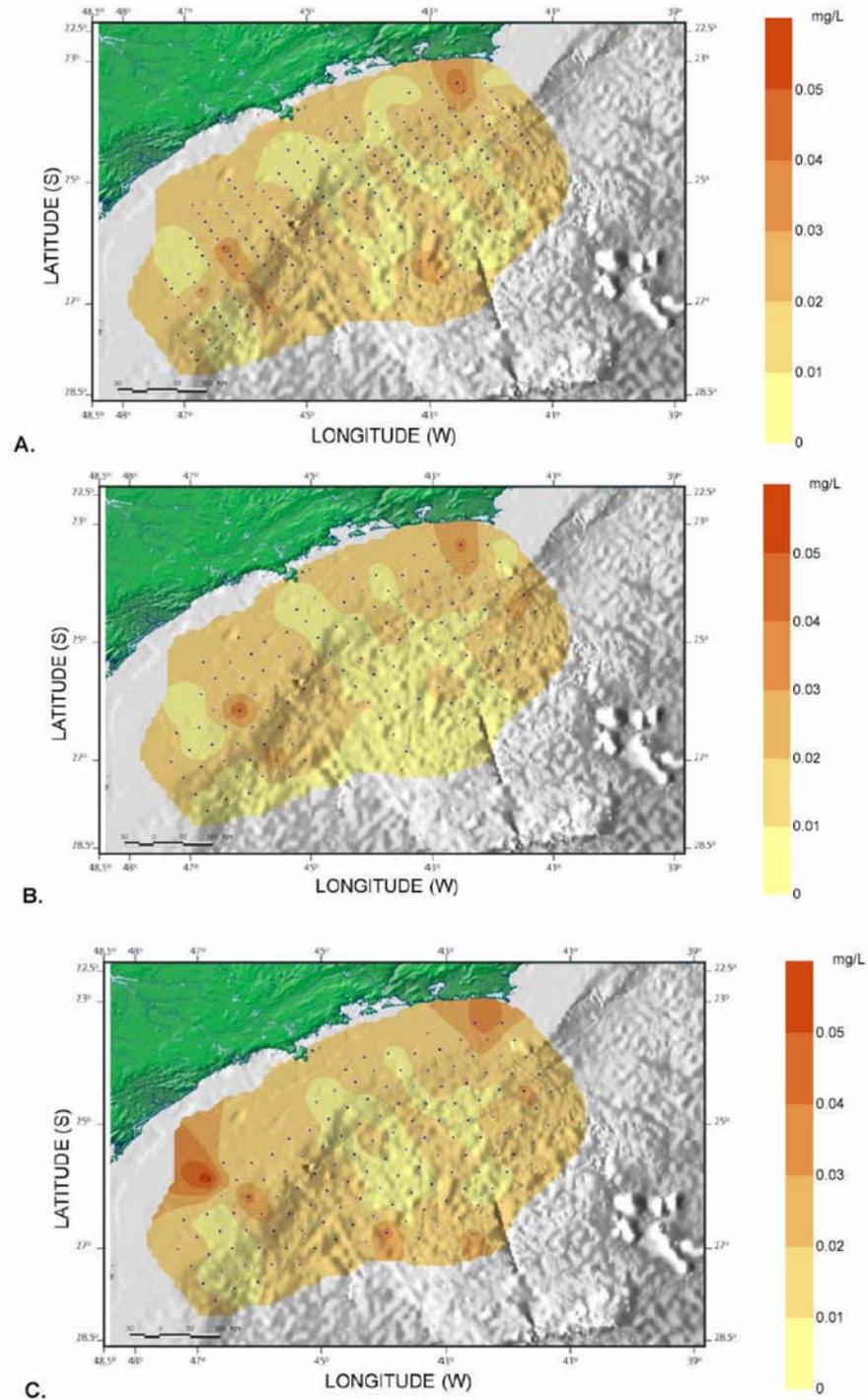


Figura II.5.1.3-18 - Variação Espacial de Amônia na Bacia de Santos A) Superfície B) Termoclina e C) Fundo.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

Nitrito

O Nitrito foi encontrado em baixas concentrações, variando de $0,002 \text{ mg.l}^{-1}$ a $0,07 \text{ mg.l}^{-1}$ como pode ser observado na **Figura II.5.1.3-19**. O Nitrito é uma forma intermediária entre a amônia e o nitrato no ciclo do Nitrogênio, e em ambientes aeróbicos, tende a se oxidar como nitrato. Desta forma, podemos observar uma tendência na variação de nitrito semelhante ao nitrato. Valores baixos também foram registrados ao redor da Plataforma de Merluza (MMA/PETROBRAS/AS/PEG 2002), onde variaram desde abaixo do limite de detecção que é $0,0005 \text{ mg.l}^{-1}$ até $0,009 \text{ mg.l}^{-1}$ (**Tabela II.5.1.3-9**)

No oceano aberto, as concentrações de Nitrito geralmente são muito baixas, havendo um pequeno aumento nas águas mais próximas da costa (AMINOT e CHAUSSEPIED, 1983).

Os valores encontrados para a região estão de acordo com os encontrados por outros autores para a região sul-sudeste do Brasil (BRANDINI, 1990; AIDAR et al., 1993, Metzler et al., 1997, MOSER, 1997). Estes autores também encontraram valores baixos de Nitrito (**Tabela II.5.1.3-9**).

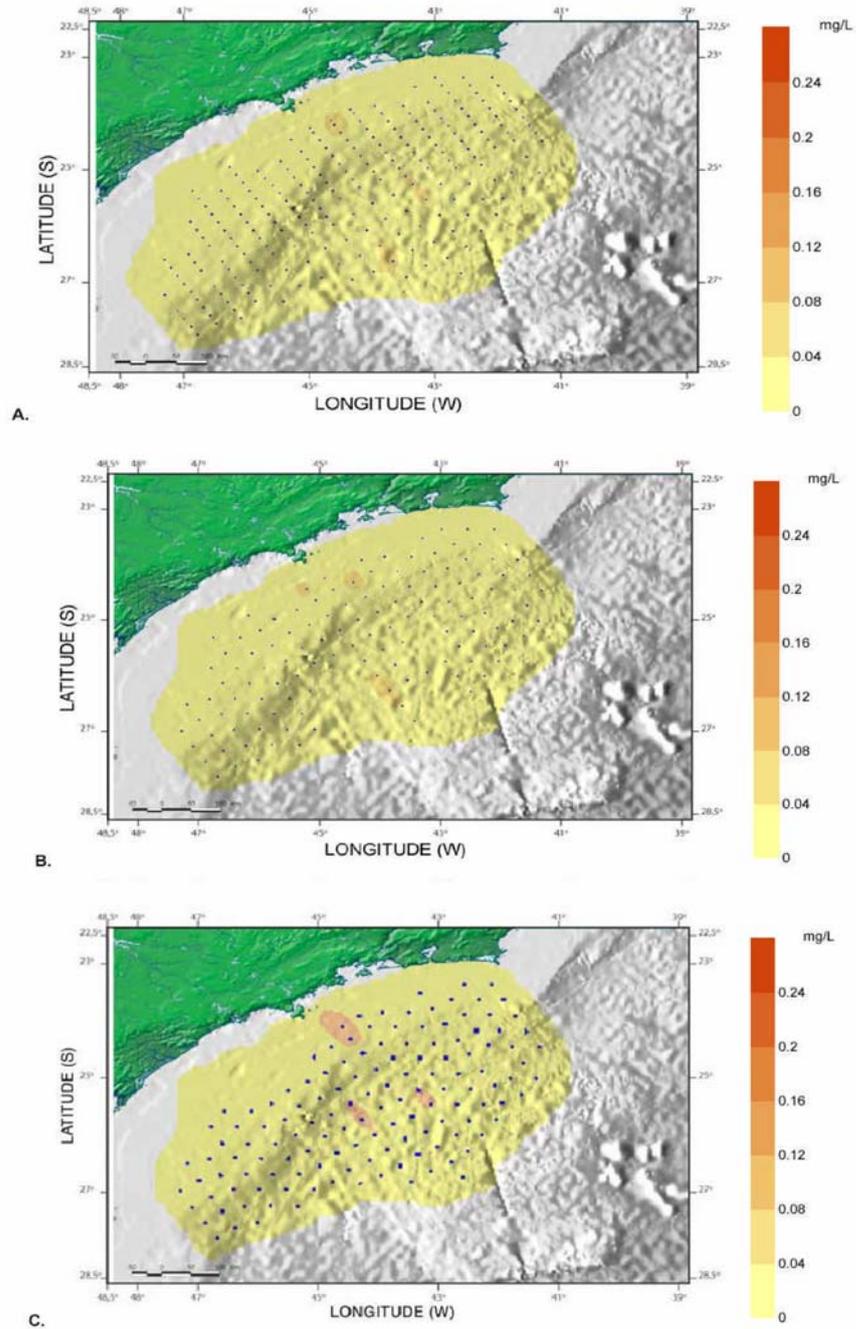


Figura II.5.1.3-19 - Variação Espacial do Nitrito na Bacia de Santos A) Superfície B) Termoclina e C) Fundo.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

Nitrato

Comumente aos valores de Amônia e Nitrito são somados os valores de Nitrato, dando origem ao Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID). Como as concentrações de Amônia e Nitrito são relativamente baixas em regiões oceânicas, os valores de NID são relacionados diretamente ao nitrato dissolvido.

Foram encontrados pela MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002 valores de Nitrato variando de 0,066 mg.l⁻¹ a 0,835 mg.l⁻¹ (**Figura II.5.1.3-20**). Verificou-se que as concentrações de Nitrato na superfície e na termoclina tendem a ser semelhantes, o que deve estar relacionado a uma termoclina bem definida. As concentrações mais elevadas encontram-se em regiões mais próximas da costa, principalmente na região de São Paulo. Aidar *et al.*, (1993) encontraram valores de NID tanto próximos de zero quanto acima de 0,7 mg.l⁻¹ na região de Ubatuba e em região equivalente no estudo do MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002 encontrou-se valores de 0,01 mg.l⁻¹ a 0,8 mg.l⁻¹.

Ao redor da Plataforma de Merluza os valores variaram entre 0,007 e 0,029 mg.l⁻¹ (**Tabela II.5.1.3-9**).

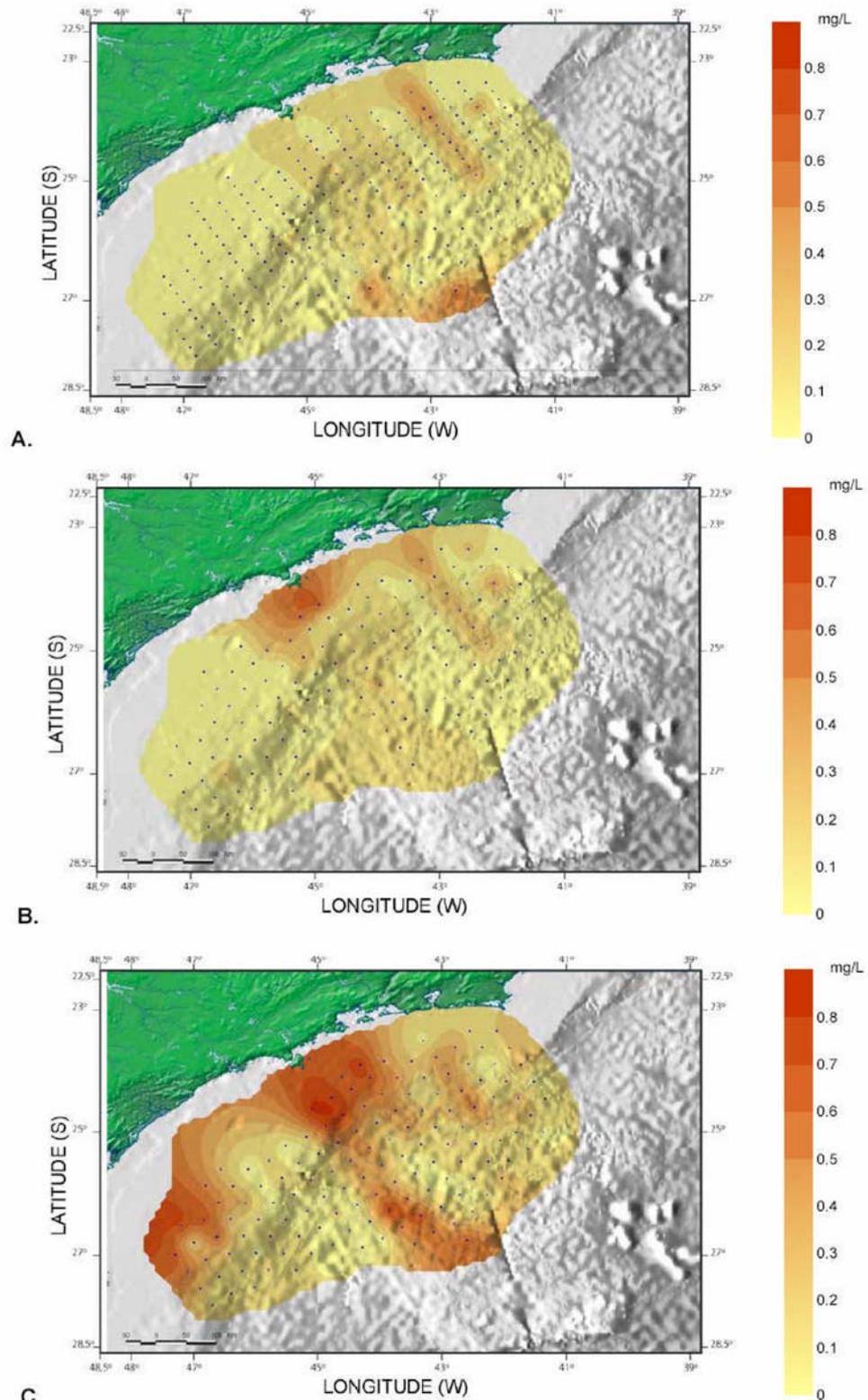


Figura II.5.1.3-20 - Variação Espacial Nitrato na Bacia de Santos A) Superfície B) Termoclina e C) Fundo.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

Fosfato

No relatório produzido por MMA/PETROBRAS/AS/PEG 2002, as concentrações de Fosfato, assim como as concentrações de Nitrito e Amônia, se mostraram relativamente baixas, variando de não detectado a $0,165 \text{ mg.l}^{-1}$, apresentando geralmente valores em torno de $0,02 \text{ mg.l}^{-1}$ (**Figura II.5.1.3-21**). As principais fontes de Fosfato são de origem continental e sua rápida absorção pelos produtores primários quase sempre resulta em baixas concentrações deste íon em águas superficiais.

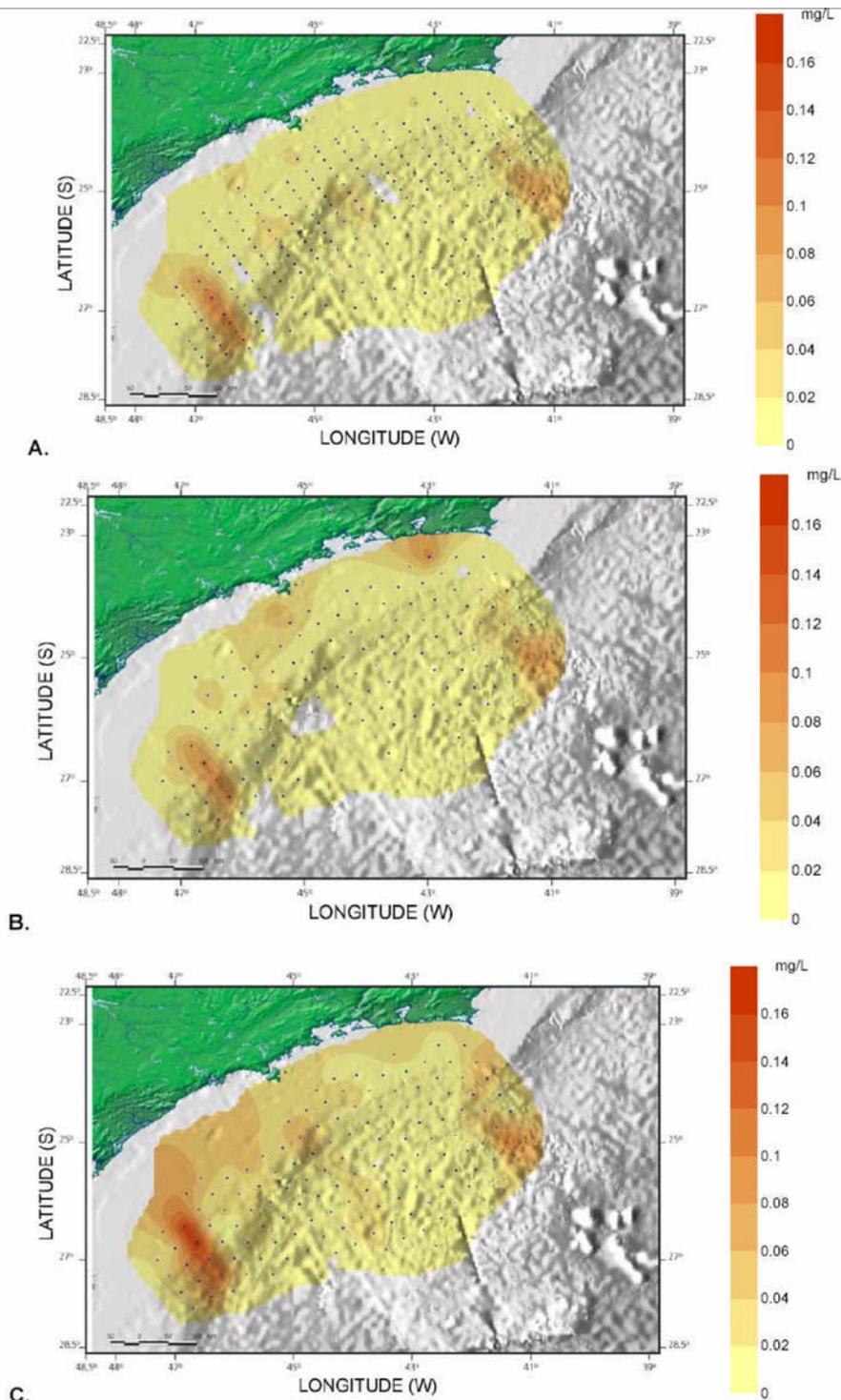


Figura II.5.1.3-21 - Variação Espacial de Fosfato na Bacia de Santos A) Superfície B) Termoclina e C) Fundo.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

Tabela II.5.1.3-9 - Resultados das concentrações de nutrientes obtidos durante a campanha de MERLUZA.

Estação	Prof. da Coleta	N-Amonia (mg.l ⁻¹)	N-Nitrito (mg.l ⁻¹)	N-Nitrato (mg.l ⁻¹)	Fosfato (mg.l ⁻¹)
2	superfície	0,027	0,012	0,029	0,053
2	acima				
2	termoclina	0,02	0,002	0,015	0,048
2	abaixo	0,01	0,003	0,007	0,038
3	superfície	0,011	0,002	0,018	0,053
3	acima				
3	termoclina	0,012	0,009	0,015	0,047
3	abaixo	0,013	ND	0,016	0,047
4	superfície	0,01	0,004	0,013	0,037
4	acima				
4	termoclina	0,013	ND	0,016	0,038
4	abaixo	0,011	0,001	ND	0,044
Controle	superfície	0,01	0,005	0,007	0,053
Controle	acima				
Controle	termoclina	0,02	0,007	0,013	0,048
Controle	abaixo	0,011	0,001	0,007	0,046

Fonte: PETROBRAS/SAMPLING CIENTÍFICA (2002)

Qualidade do Sedimento

A caracterização da qualidade do sedimento para a região do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás na Área de Tupi foi realizada utilizando compilações de dados adquiridos no âmbito do Relatório de Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) e o Relatório de Monitoramento Ambiental de Merluza (PETROBRAS/SAMPLING CIENTÍFICA, 2002).

Para caracterização da região ultraprofunda da Bacia de Santos, foi utilizado o estudo realizado para a caracterização ambiental dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Nesta campanha, o sedimento foi amostrado em 30 pontos, onde foram analisados a granulometria, a razão elementar da matéria orgânica (C, N e P), o teor de metais pesados e a quantidade de hidrocarbonetos. A coleta foi realizada com o auxílio de um *boxcorer* e as amostras analisadas segundo metodologia proposta por Clesceri et al. (1998).

O estudo feito por Perin *et al* (1997) foi utilizado para caracterizar o sedimento da Baía de Guanabara, área da base de apoio, onde foram analisados os metais em 51 amostras de sedimentos no estrato de 0 a 40 cm, correspondendo a uma sedimentação em torno de 35 anos. Para avaliação do carbono orgânico e granulometria, foi adotado o estudo produzido por Carreira (2000) em 8 estações de coleta na Baía. A avaliação dos hidrocarbonetos poliaromáticos foi realizada com base no estudo elaborado por Meniconi *et al*. (2005), onde foram coletadas amostras de sedimento em 21 estações.

Os métodos de amostragem adotados por algumas referências utilizadas na obtenção de dados para este diagnóstico são apresentados na **Tabela II.5.1.3-10**. A **Tabela II.5.1.3-11** apresenta os métodos analíticos adotados por algumas referências utilizadas na obtenção de dados para este diagnóstico.

As estações oceanográficas para coleta de sedimento utilizadas no Relatório de Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002), o Relatório de Monitoramento Ambiental de Merluza (PETROBRAS/SAMPLING CIENTÍFICA, 2002) e a Caracterização Ambiental dos Blocos BM-S-8, BM-S-9,

BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 (PETROBRAS/HABTEC, 2003). São apresentadas na **Figura II.5.1.3-22**.

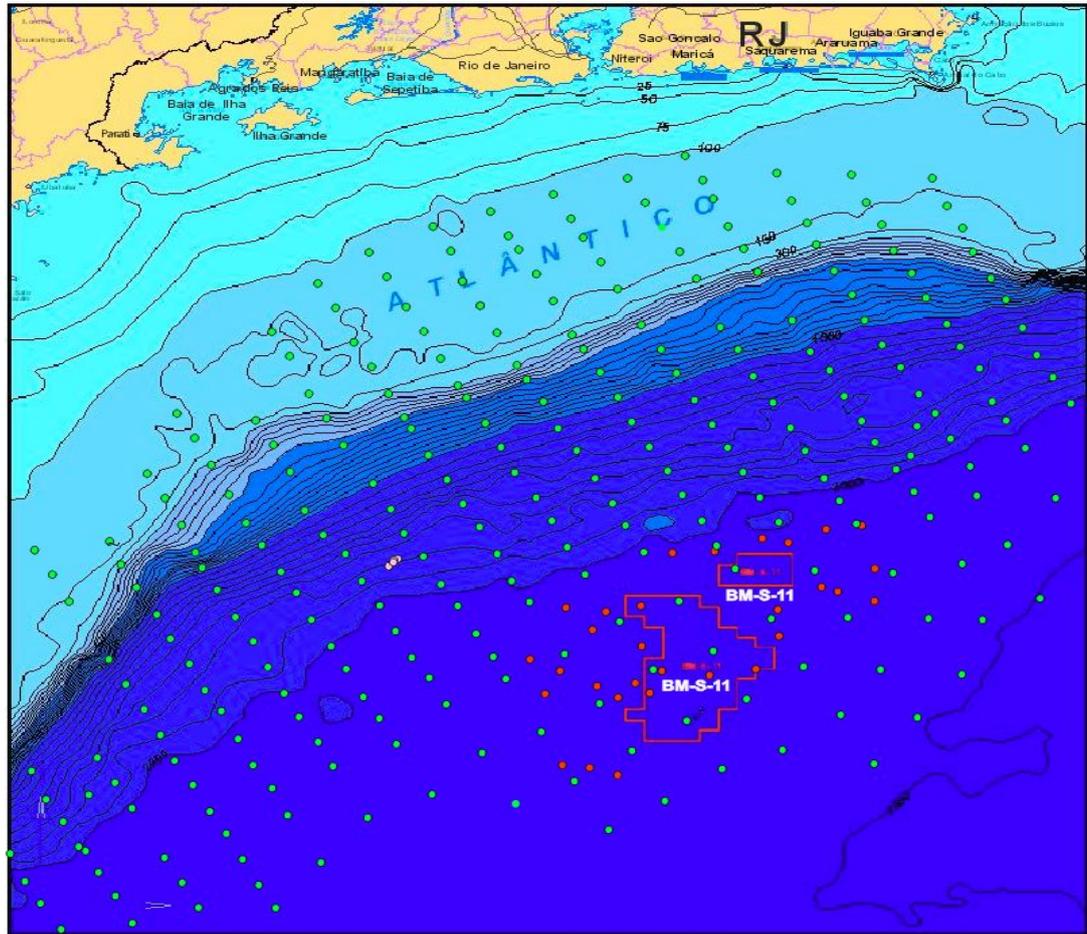


Figura II.5.1.3-22 Estações de coleta de sedimento na Bacia de Santos.

- – MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002);
- – PETROBRAS/SAMPLING CIENTIFICA (2002);
- – PETROBRAS/HABTEC (2002).

Tabela II.5.3-10 – Métodos de amostragem de projetos utilizados como fonte de dados.

Projeto	Tipo de Amostra	Método de Amostragem
PEG/AS	Sedimento	Box-Corer
Sampling Científica		
HABTEC		

Tabela II.5.1.3-11 – Método analítico dos diversos parâmetros de projetos utilizados como fonte de dados.

Parâmetro	Relatório	Método	Observações
Granulometria	PEG/AS	Holme & MCInyre (1984) e Suguio (1973)	-
	Sampling Científica	-	-
	HABTEC	Peneiramento e pipetagem	-
Hidrocarbonetos Totais - HTP	PEG/AS	Cromatografia gasosa com detector de chama CG-FID (EPA 8015C)	Extração com diclorometano (EPA 3510c)
	Sampling Científica		-
	HABTEC		-
Hidrocarbonetos Poliaromáticos - HPA	PEG/AS	EPA 8270C	Extração com diclorometano (EPA 3510c)
	Sampling Científica	Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (GC/MS)	-
	HABTEC		-
Fe, Ba, Cr, Cu, Ni, Pb, V e Ni	PEG/AS	Espectrofotometria de emissão de plasma e Espectrofotometria de Absorção Atômica	-
	Sampling Científica	Espectrofotometria de massa acoplada a plasma (ICP-MS), conforme o protocolo USEPA-600/R-94/111	-
	HABTEC	Espectrofotometria de emissão de plasma	-
Hg	PEG/AS	Absorção Atômica	Geração de hidretos/vapor frio
	Sampling Científica	espectrofotometria de massa acoplada ao plasma por fluxo de injeção FIAS Cold Vapor	-
	HABTEC	Espectrofotometria de emissão de plasma	-

A) Granulometria

Geralmente, a Bacia de Santos possui sedimentos finos, onde a fração lamosa está diretamente associada à alterações batimétricas. Na região da plataforma interna, ocorre uma tendência de acréscimo da fração mais grosseira no sedimento. Porém é importante ressaltar a presença de uma faixa carbonática ao longo das isóbatas de 100- 150 m de profundidade.

As variações dos sedimentos que compõem o fundo marinho é produto de processos geológicos e físicos, químicos e biológicos. Estas variações ocorrem de forma espacial e temporal, em escalas distintas. Com isso, os tipos de grãos encontrados, seu grau de selecionamento, teor de carbonato, diâmetro médio e outras características sedimentares é produto dos múltiplos processos atuantes no meio.

No estudo de caracterização da Bacia de Santos, produzido por MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002), fica evidente que há um predomínio de silte e argila (90,1% das amostras), sendo que o predomínio de silte, de 89,2%, foi muito superior a argila, de 0,9%. O cascalho foi encontrado em 3,3% das estações, e areia muito grossa em 7,5%, a areia grossa em 11,7%, a areia média em 14,9%, a areia fina em 18,2% e a areia muito fina em 5,6%. As areias predominam em somente 9,9% das estações. A maior contribuição é da areia muito fina com 5,6%, e a areia fina 3,3% (**Figura II.5.1.3.A-1**).

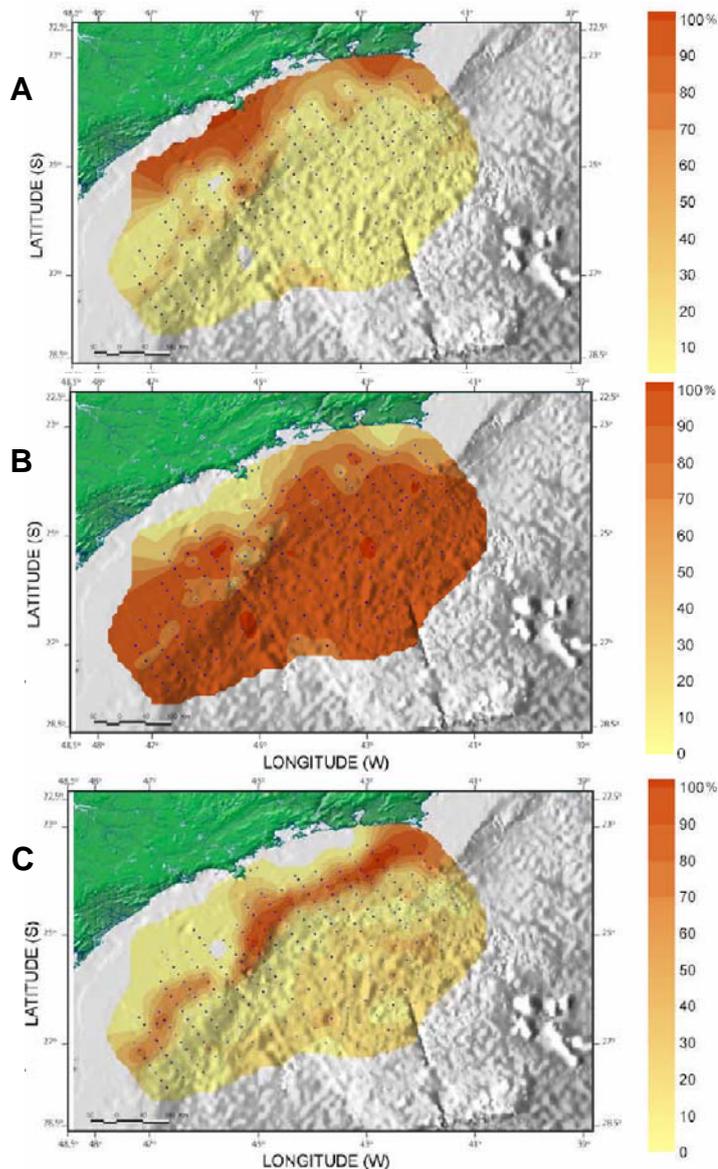


Figura II.5.1.3.A-1 *Varição espacial da granulometria na Bacia de Santos.*

a – Fração arenosa, b – Fração Lamosa,
c – Fração Carbonática.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)

Para a descrição granulométrica de águas ultraprofundas na Bacia de Santos, foi utilizado o estudo produzido pela PETROBRAS/HABTEC (2003), em que foram analisadas 30 amostras coletadas na área dos blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21, o estudo revelou um sedimento bastante homogêneo. A fração fina possui um percentual superior a 99% na maioria das estações. Somente em algumas estações (2, a 2.100 m e 11, a 2.225 m) o percentual de grossos (fração areia) foi superior a 10% (**Figura II.5.1.3.A-2**).

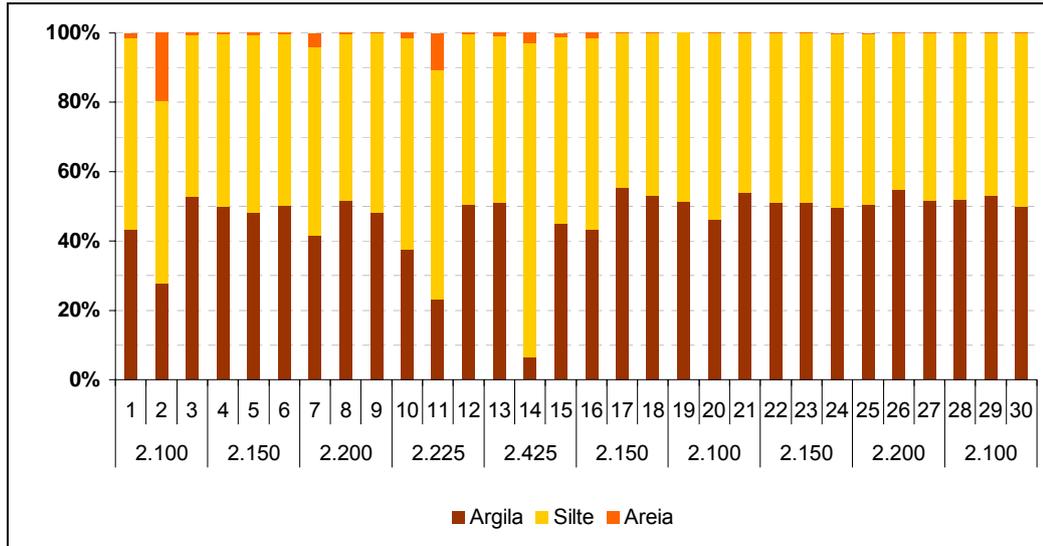


Figura II.5.1.3.A-2 - Granulometria (frequência simples) encontrada na região ultraprofunda da Bacia de Santos.

Fonte: Petrobras/ HABTEC, 2003.

De acordo com PETROBRAS/HABTEC (2003), o teor de Matéria Orgânica nos sedimentos da região variou entre 0,75 a 9,57 % e o de carbonato entre 56,65 a 61,74% (**Figura II.5.1.3.A-3**), evidenciando o fato do sedimento ser rico em carbonato, podendo formar vazas de organismos (Libes, 1992).

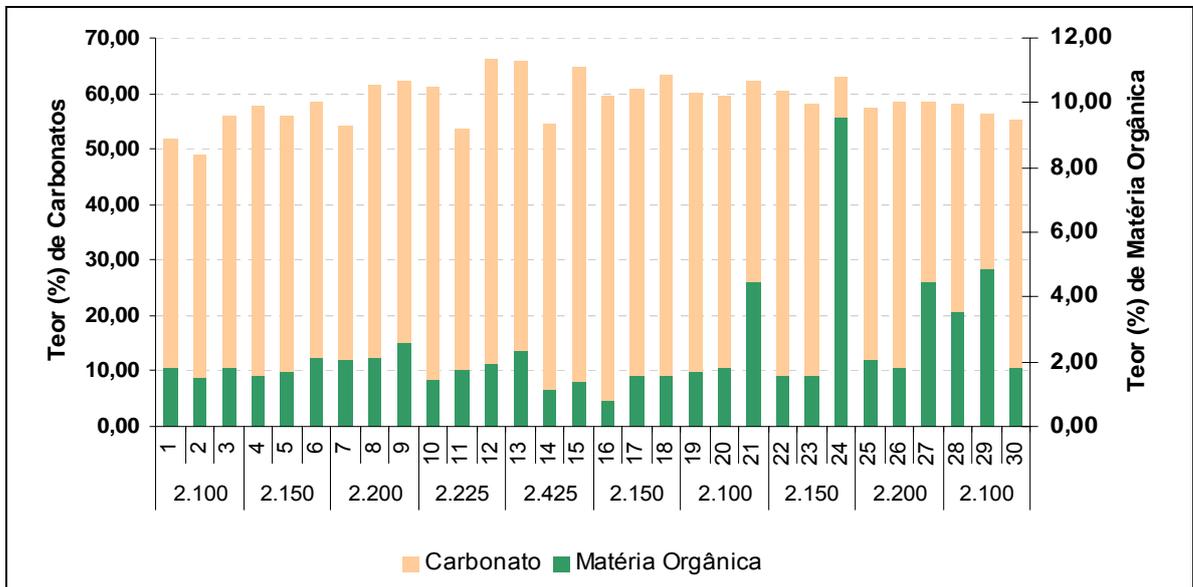


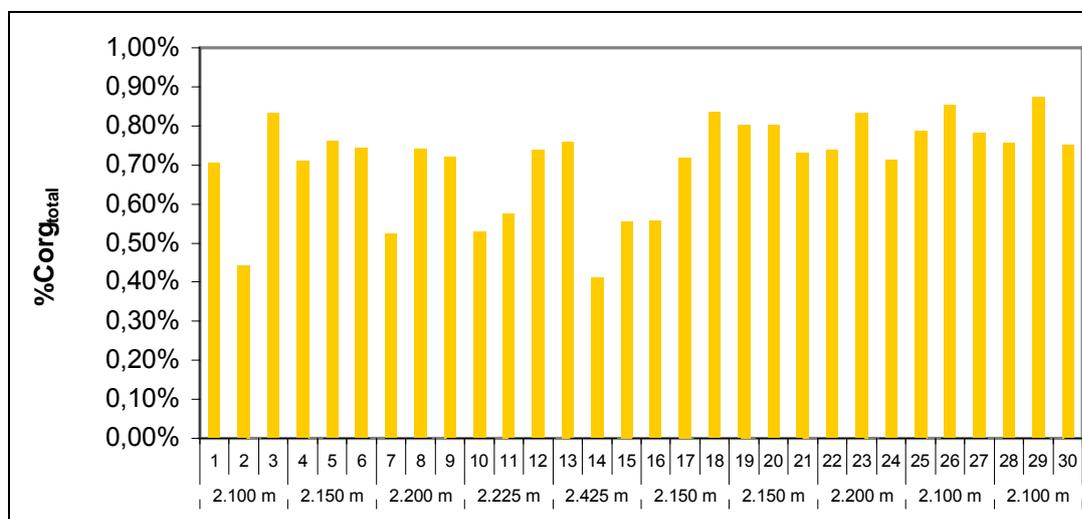
Figura II.5.1.3.A-3 - Teor de carbonato e matéria orgânica encontrado no sedimento da região ultraprofunda da Bacia de Santos.

Fonte: Petrobras/ HABTEC, 2003.

B) Carbono Orgânico, Nitrogênio total e Fósforo total.

De acordo com PETROBRAS/HABTEC, (2003) a distribuição do carbono orgânico nos sedimentos da região ultraprofunda da Bacia de Santos é muito homogênea, apresentando variações de concentrações de 0,41 a 0,88%. O nitrogênio total (N_{total}) encontrado possui variação de 0,046% ($465 \mu\text{g.g}^{-1}$) a 0,123% ($1.226 \mu\text{g.g}^{-1}$) e o fósforo total no sedimento da área dos blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 variou entre 0,03 ($320 \mu\text{g.g}^{-1}$) e 0,06% ($628 \mu\text{g.g}^{-1}$) (PETROBRAS/HABTEC, *op.cit.*). A **Figura II.5.1.3.B-1** possui os valores de Carbono Orgânico, Nitrogênio e Fósforo.

Na Baía de Guanabara, a variação da composição elementar da matéria orgânica apresentou uma variação de 2,83 a 5,54% de Carbono; 0,241 a 0,574% de Nitrogênio; e 0,019 a 0,042% de Fósforo (Carreira, 2000). Com base nestes resultados, foi calculada a razão C:N:P (molar) no sedimento, foram observadas razões C:N da ordem de 14, com valores oscilando de 8,9 a 33,4, indicando uma mistura entre as matérias orgânicas marinha e terrestre.



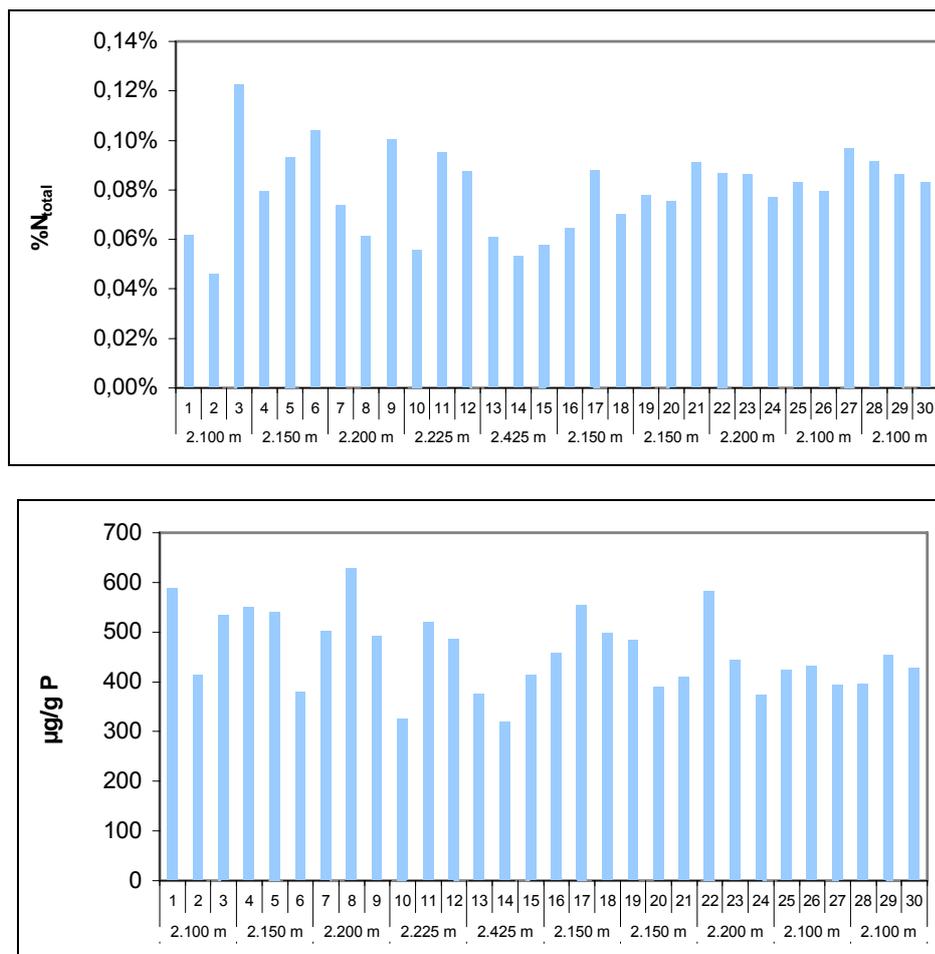


Figura II.5.1.3.B-1 Carbono orgânico total (A), Nitrogênio total (B) e Fósforo total (C) encontrados no sedimento da região ultraprofunda da Bacia de Santos.

Fonte: Petrobras/HABTEC, 2003.

C) Hidrocarbonetos

Hidrocarbonetos totais:

Os resultados apresentados na caracterização da Bacia de Santos produzido por MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) mostraram um aumento nos níveis de HTP nos sedimentos mais próximos à costa. As concentrações variaram de 403 a 127.598 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ com uma média de 6.760 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (desvio padrão = 14.162 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$), conforme a **Figura II.5.1.3.C-1**, que indica a distribuição geográfica dos HTP nos sedimentos da Bacia de Santos.

Os níveis mais altos foram registrados ao norte da Bacia, na região compreendida entre a desembocadura das Baías de Sepetiba e de Guanabara. De forma geral, os teores de HTP encontrados estão muito baixos e inferiores aos teores encontrados em sedimentos de áreas de exploração de petróleo.

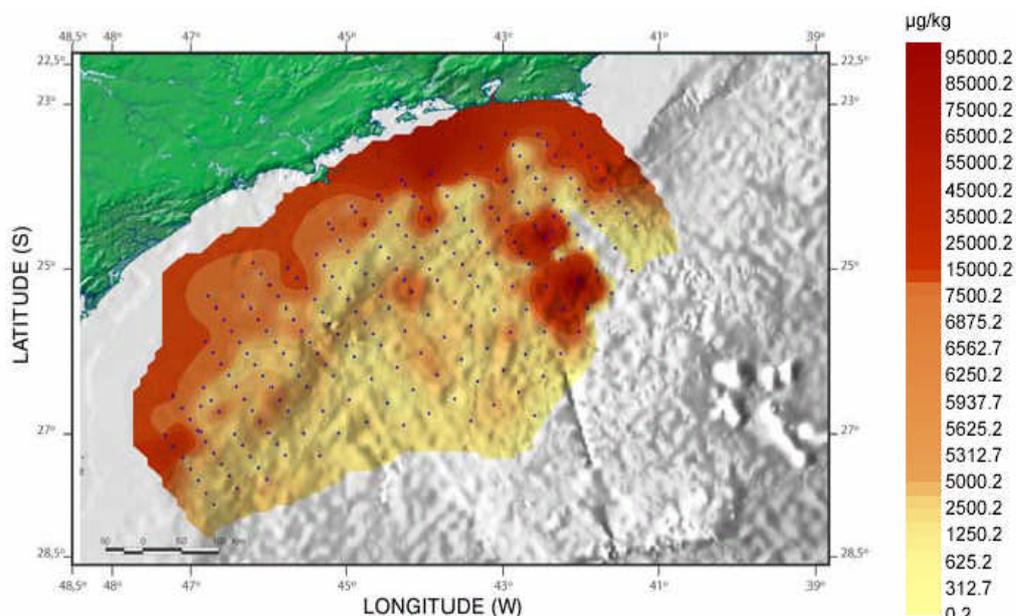


Figura II.5.1.3.C-1 - Distribuição horizontal das concentrações de THP no sedimento da Bacia de Santos.

Fonte: MMA/Petrobras/AS/PEG, 2002.

Na campanha de caracterização ambiental da região ultraprofunda da Bacia de Santos (PETROBRAS/HABTEC, 2003), em nenhum ponto amostrado registrou-se MCRN, ressaltando-se do mesmo modo as baixas concentrações de n-alcanos detectados. Os isoprenóides também foram encontrados em baixas concentrações, e em poucos pontos amostrados. De forma geral, a concentração de n-alcanos variou de $<7,00 \mu\text{g.kg}^{-1}$ a $286 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (**Figura II.5.1.3.C-2**).

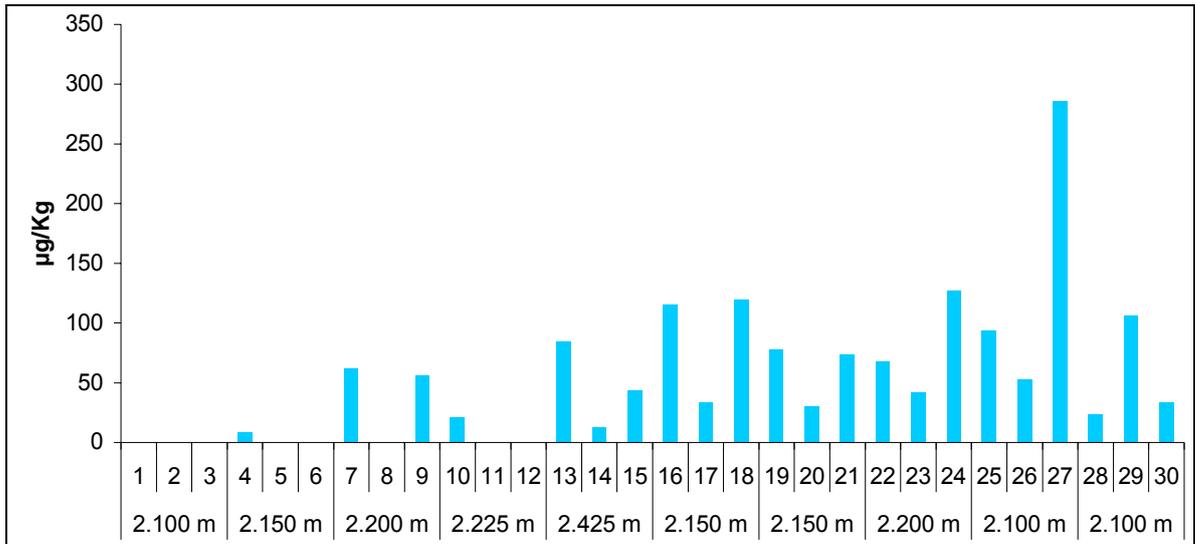


Figura II.5.1.3.C-2 - Distribuição do somatório dos n-alcenos encontrados no sedimento da região ultraprofunda da Bacia de Santos.

Fonte: Petrobras/HABTEC, 2003.

Conforme o estudo produzido por PETROBRAS/HABTEC (2003), as concentrações de THP na região ultraprofunda da Bacia de Santos variaram de 159 µg.kg⁻¹ a 1.303 µg.kg⁻¹ (**Figura II.5.1.3.C-3**).

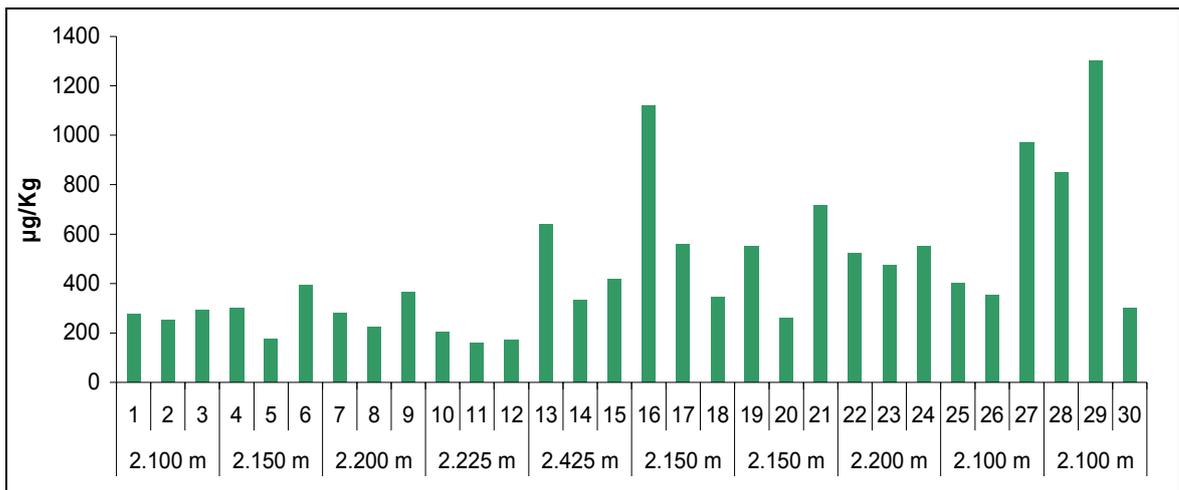


Figura II.5.1.3.C-3 - Distribuição das concentrações de THP encontradas no sedimento da região ultraprofunda da Bacia de Santos.

Fonte: Petrobras/HABTEC, 2003.

HPA

A concentração total de HPAs, apresentados no estudo produzido pela PEG/AS variou de $<0,1$ até $130,6 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (ppb) com média $12,1 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (ppb) e desvio padrão de $11,2 \mu\text{g.kg}^{-1}$. Os teores obtidos na área podem auxiliar na estimativa de um nível mínimo de *background* da Bacia de Santos. Desta forma, o teor médio de $12,1 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (ppb), e desvio padrão de $11,7 \mu\text{g.Kg}^{-1}$, pode ser considerado como o *background* local (**Figura II.5.1.3.C-4**). É importante ressaltar que esse valor está muito abaixo dos valores reportados na literatura para as regiões do Brasil e áreas de exploração de óleo. De acordo com PETROBRAS/SAMPLING CIENTÍFICA (2002) a área ao redor da Plataforma de Merluzza apresentou valores que oscilam de 2,95 a $21,36 \mu\text{g.Kg}^{-1}$, estes valores estão bem próximos das média da Bacia de Santos.

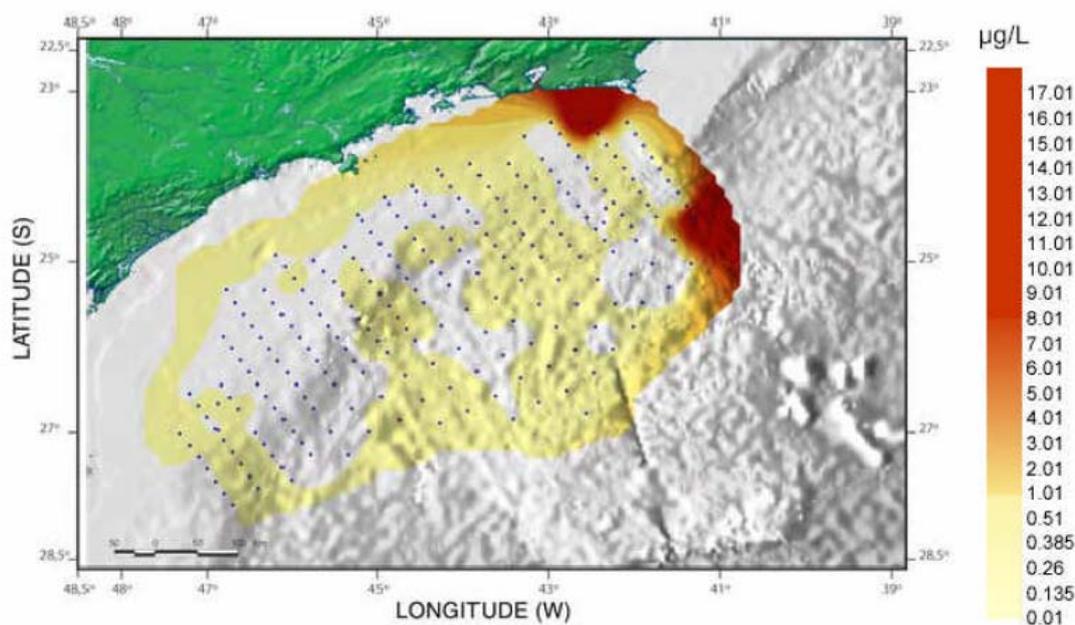


Figura II.5.1.3.C-4 - Distribuição horizontal das concentrações de HPA no sedimento da Bacia de Santos.

Fonte: MMA/Petrobras/AS/PEG, 2002.

De acordo com Meniconi (2005), na Baía de Guanabara, as concentrações de HPA variaram de 0,4 a $58,4 \mu\text{g.Kg}^{-1}$.

D) Metais

Ferro

No estudo produzido por MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002), os teores de metais foram altos em toda Bacia de Santos, com variações não ordenada por toda área amostrada. O teor médio obtido desse elemento no conjunto amostrado foi de $16.427,02 \text{ mg.kg}^{-1}$ (1,64%), com desvio padrão $sd=25.902,77$.

Os sedimentos coletados em áreas próximas aos poços de petróleo estão com valores dentro da média, e pode-se concluir que a presença de Fe no sedimento, esta muito mais ligado ao tipo de rochas, à quantidade de carbonatos e argilas presentes.(Figura II.5.1.3.D-1).

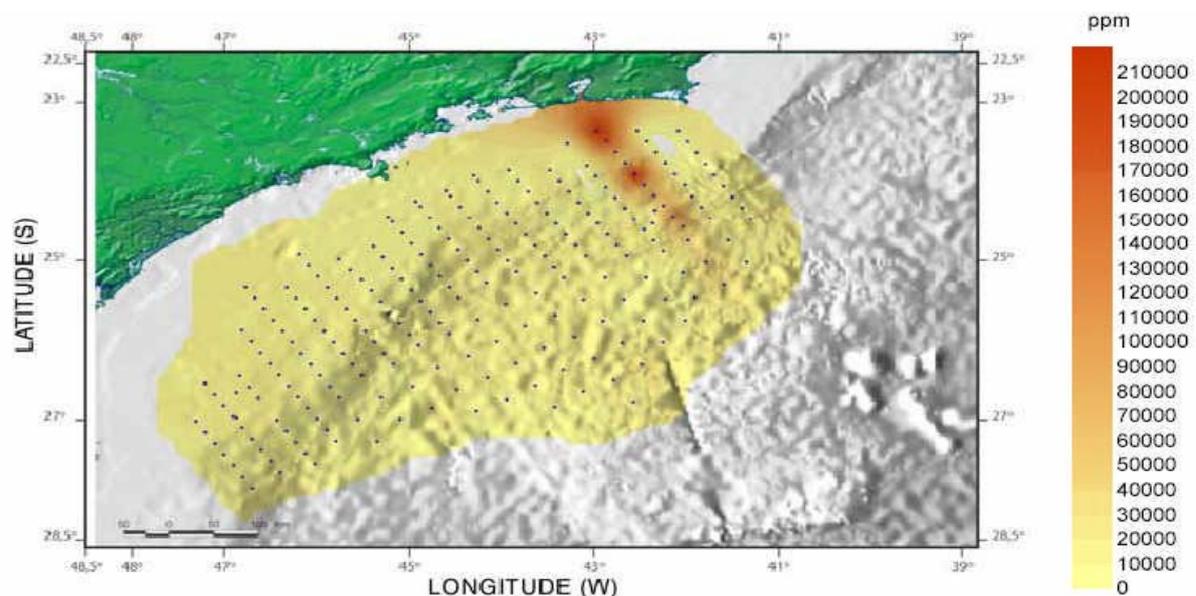


Figura II.5.1.3.D-1 - Variação Espacial do Ferro na Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG 2002

Mercúrio

De acordo com o estudo elaborado por MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002), pode-se deduzir que há uma tendência à contaminação ambiental nas áreas centrais da Bacia de Santos, possivelmente proveniente de despejos industriais. Ocorreu uma grande variação de ausência de teores na faixa de $4,0 \text{ mg.kg}^{-1}$. Os dados registrados no relatório da PETROBRAS/Sampling Científica (2002) registraram valores abaixo do limite de detecção. Conforme **Figura II.5.1.3.D-2**

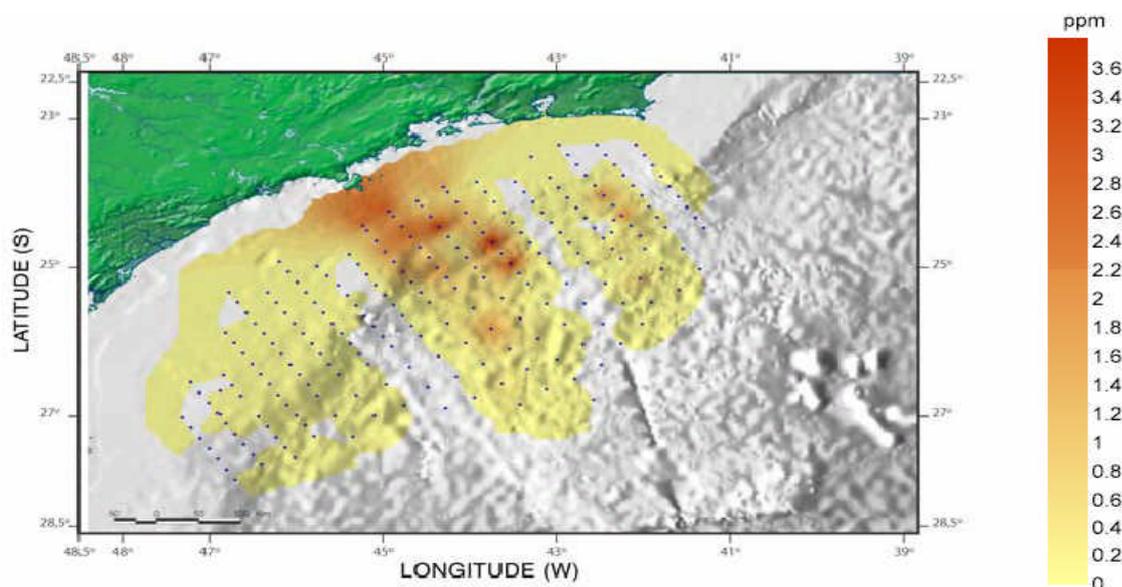


Figura II.5.1.3.D-2 - Variação Espacial do Mercúrio na Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG 2002

As concentrações de Mercúrio obtidas na Bacia de Santos (PETROBRAS/HABTEC, 2003) foram muito próximas ao limite de detecção do método ($0,1 \mu\text{g.g}^{-1}$). Na baía de Guanabara foram encontrados valores máximos de mercúrio de $0,5 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Perin et al., 1997).

Níquel

De acordo com MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002), em toda Bacia de Santos foi obtido um valor médio de $13,30 \text{ mg.kg}^{-1}$ com desvio padrão de $8,32 \text{ mg.kg}^{-1}$. O níquel (**Figura II.5.1.3.D.3**) mostrou tendência de diminuição ao sul, na Bacia de Santos.

O níquel, do mesmo modo que o vanádio, é adotado como indicador de descartes de óleos em ambiente marinho, deste modo, existe a possibilidade de contribuição de descartes especialmente nas áreas ao norte da Bacia de Santos.

Com relação ao estudo da PETROBRAS/Sampling Científica (2002), dois dos três pontos analisados apontaram valores abaixo do limite de detecção, sendo a concentração encontrada no terceiro ponto de $0,016 \mu\text{g. kg}^{-1}$.

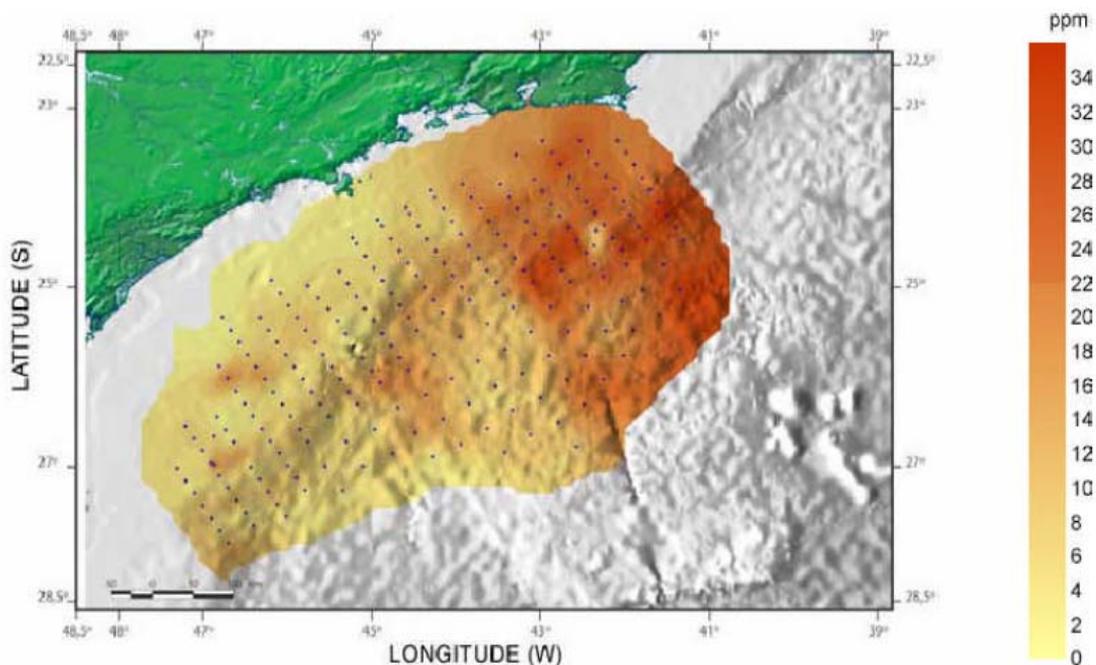


Figura II.5.1.3.D-3 - Variação Espacial de Níquel na Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG 2002

A concentração média de Níquel (**Figura II.5.1.3.D-4**) encontrada na região ultraprofunda da área de estudo foi $19 \pm 2 \mu\text{g.g}^{-1}$. Já a Baía de Guanabara, apresentou um valor médio de $34,2 \pm 37,5 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Perin et al., 1997).

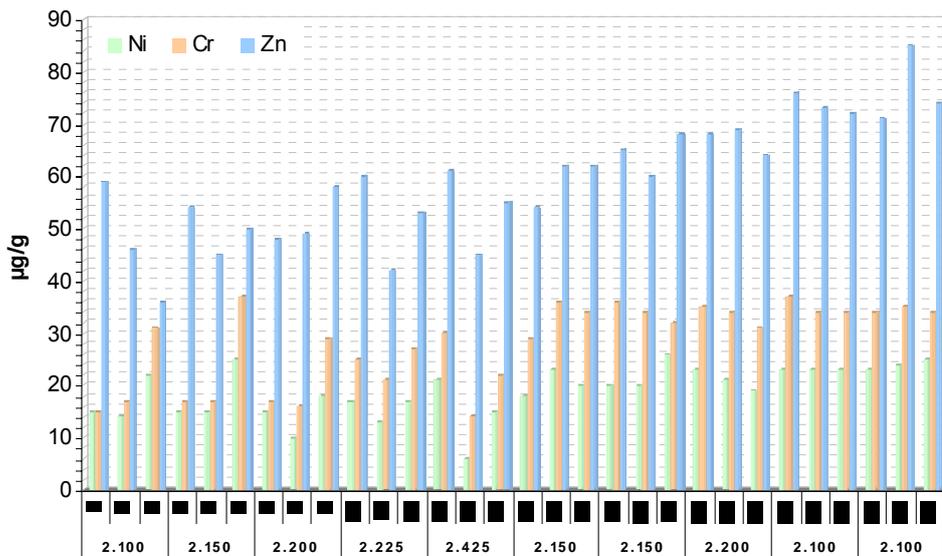


Figura II.5.1.3.D-4 - Concentrações de Zinco, Níquel e Cromo ($\mu\text{g.g}^{-1}$) encontradas no sedimento da região ultraprofunda da Bacia de Santos. Fonte: Petrobras/HABTEC, 2003.

Cromo

A média dos valores registrados no relatório produzido pela PEG/AS foi de $15,41 \text{ mg.kg}^{-1}$. No estudo ao redor da Plataforma de Merluza, as concentrações registradas estiveram abaixo dos níveis de detecção.

Na região ultraprofunda, a concentração média de Cromo (**Figura II.5.1.3.D-5**) foi de $28 \pm 3 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Petrobras/ HABTEC, 2003).

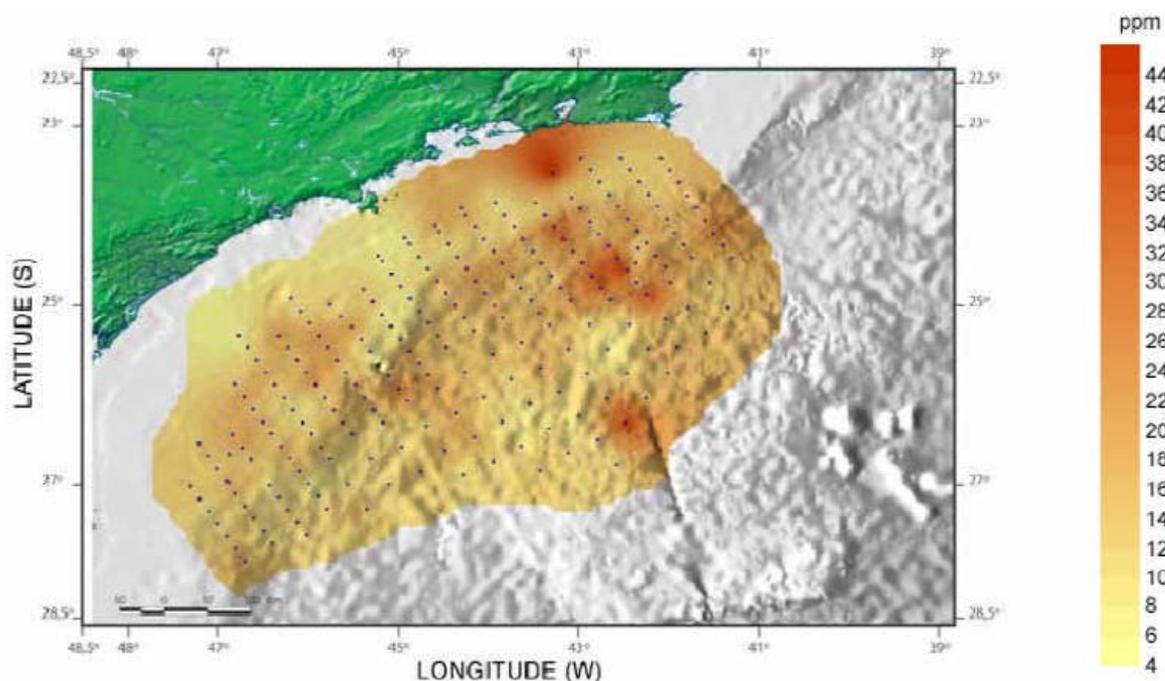


Figura II.5.1.3.D-5 Variação Espacial do Cromo na Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG 2002

Zinco

O valor médio obtido de zinco no relatório elaborado por MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) foi de $19,13 \text{ mg kg}^{-1}$. As concentrações encontradas, não apresentaram grandes variações na porção sul da Bacia de Santos (**Figura II.5.1.3.D-6**).

As concentrações registradas pela PETROBRAS/Sampling Científica (2002) obtiveram valores que oscilaram entre $0,025$ e $0,030 \text{ mg.g}^{-1}$ em torno da plataforma de Merluza.

A concentração média de Zinco para a região ultraprofunda da Bacia de Santos foi de $59 \pm 4 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$ (Petrobras/HABTEC, 2003).

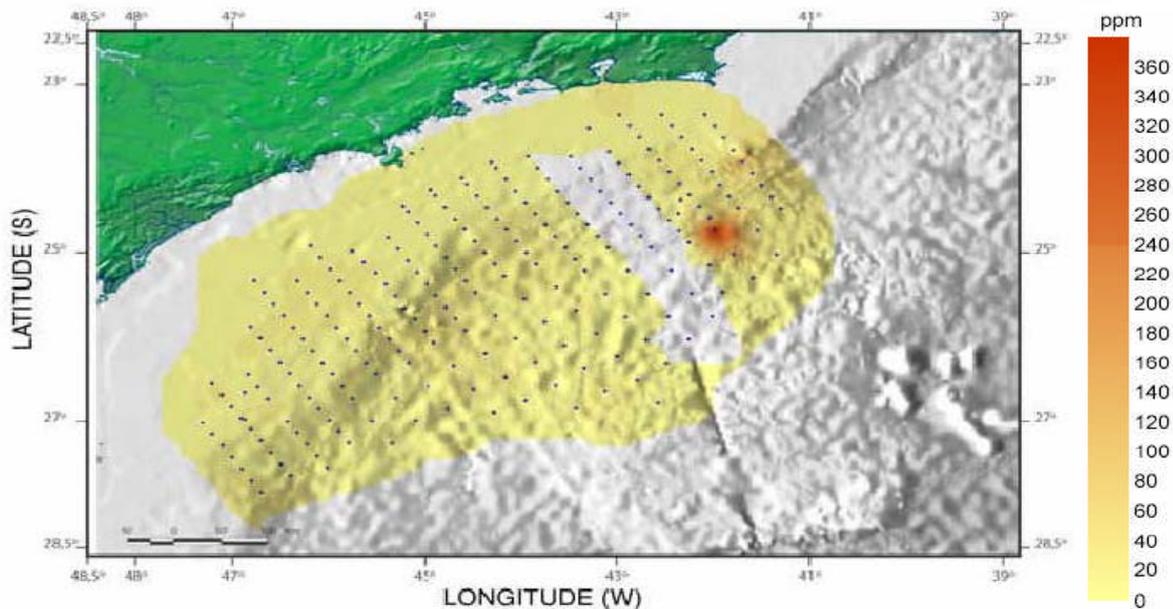


Figura II.5.1.3.D-6 Variação Espacial do Cromo na Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG 2002

Chumbo

A concentração média obtida pela PEG/AS desse elemento no conjunto amostrado foi de $14,26\text{mg.kg}^{-1}$, nota-se um decréscimo nas concentrações em direção sul.

As concentrações registradas pela Sampling Científica apresentaram valores que oscila entre $0,01$ e $0,02\text{mg.g}^{-1}$ em torno da plataforma de Merluza. Conforme **Figura II.5.1.3.D-7**.

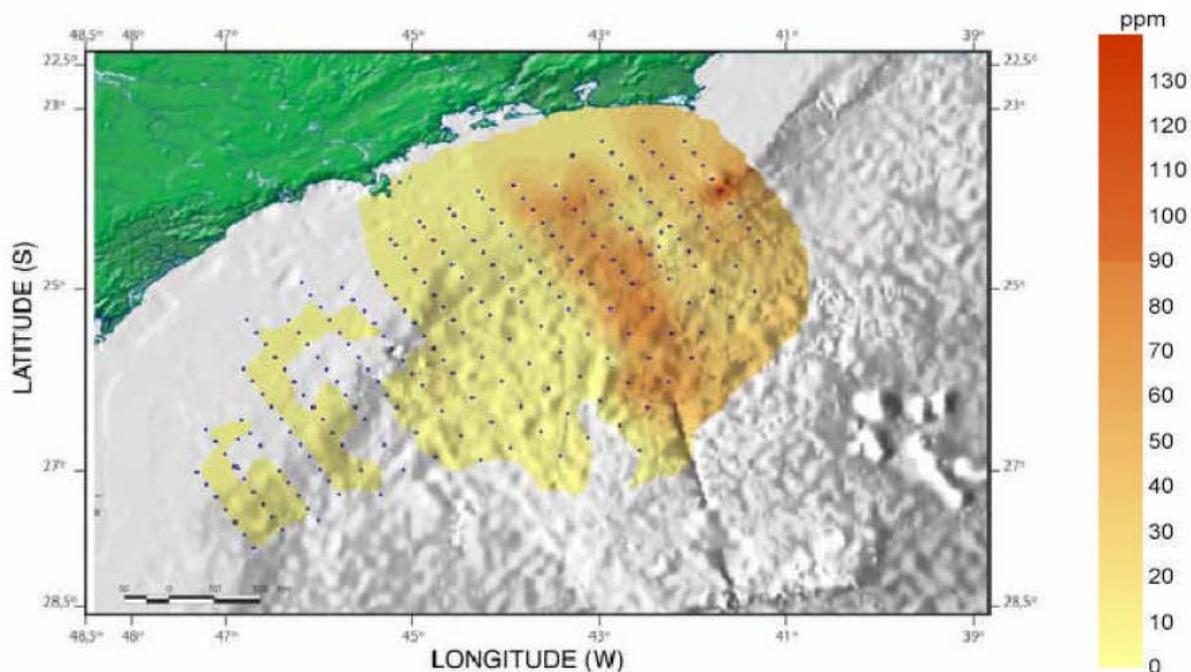


Figura II.5.1.3.D-7 *Variação Espacial do Chumbo na Bacia de Santos.*

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG 2002

A concentração média de chumbo apresentada por Petrobras/HABTEC (2003) na região ultraprofunda da Bacia de Santos foi em torno de $19 \pm 6 \mu\text{g.g}^{-1}$ (**Figura II.5.1.3.D-8**), corroborando os resultados observados por MMA/Petrobras/AS/PEG (2002). Na Baía de Guanabara, as concentrações médias tiveram valores de $123 \pm 72,9 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Perin et al., 1997), provavelmente relacionado ao alto grau de impacto antropogênico em sua na bacia de drenagem.

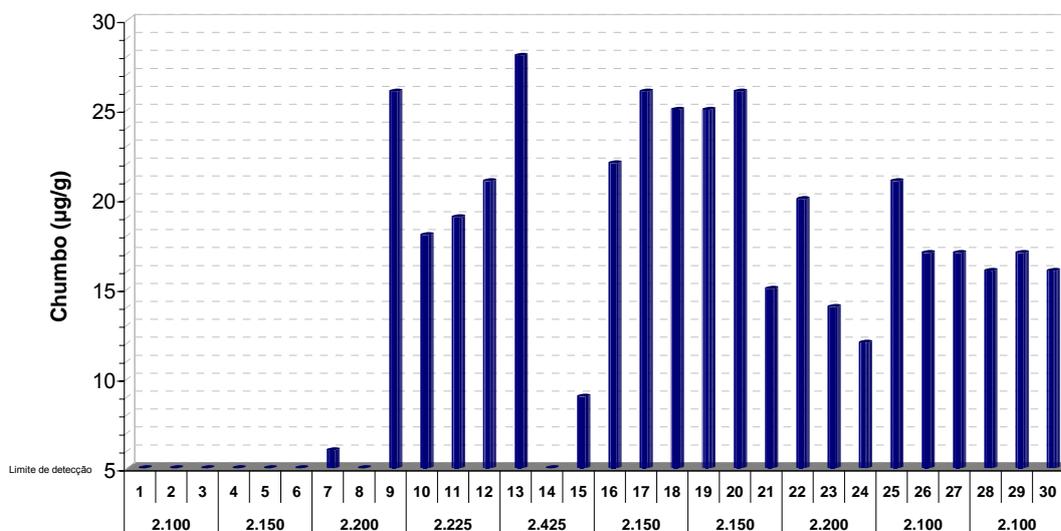


Figura II.5.1.3.D-8 Concentrações de chumbo ($\mu\text{g.g}^{-1}$) encontradas no sedimento da região ultraprofunda da Bacia de Santos.

Fonte: Petrobras/HABTEC, 2003.

Cobre

O teor médio encontrado no estudo do MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) na Bacia de Santos foi de $5,7\text{mg.kg}^{-1}$. Conforme a **Figura II.5.1.3.D-9**, os valores registrados para o Campo de Merluza estão entre os mais baixos de toda a Bacia. As concentrações registradas pela PETROBRAS/Sampling Científica (2002) registraram valores que oscilaram ente $0,002$ e $0,004 \text{ mg.g}^{-1}$ em torno da plataforma de Merluza.

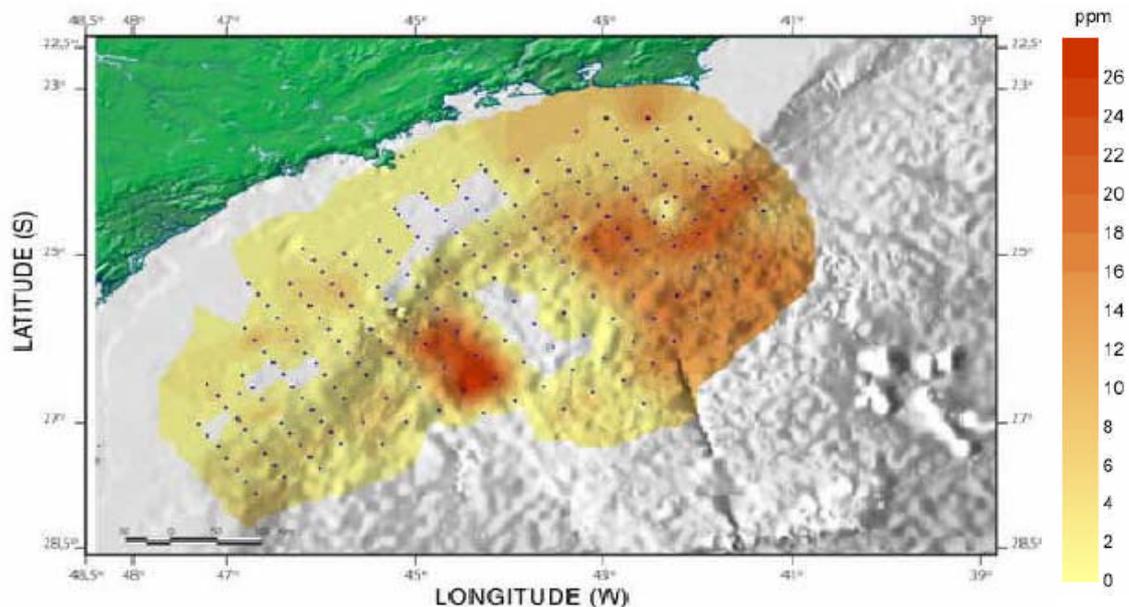


Figura II.5.1.3.D-9 - Variação Espacial do Cobre na Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG 2002

A concentração média de cobre relatada para a região ultraprofunda da Bacia de Santos foi de $21 \pm 1 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Figura II.5.1.3.D-10), com distribuição relativamente homogênea entre as estações (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Na Baía de Guanabara, segundo Perin *et al.* (1997) foram registradas concentrações compreendidas em uma faixa de variação de não detectável a $242 \mu\text{g.g}^{-1}$, com um valor médio de $79,5 \pm 76,8 \mu\text{g.g}^{-1}$.

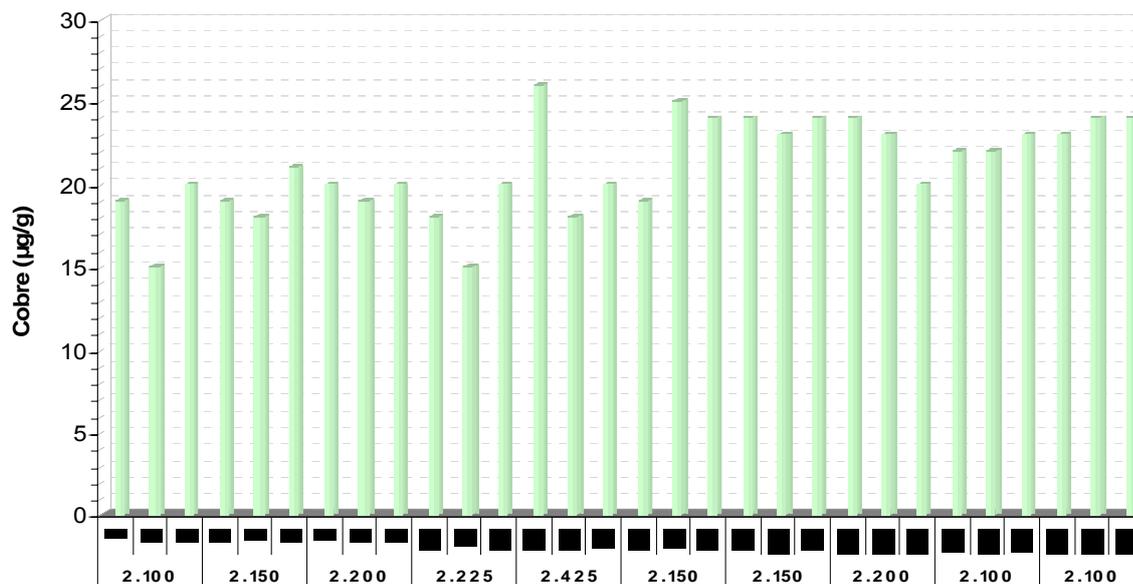


Figura II.5.1.3.D-10 - Concentrações de Cobre ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) encontradas no sedimento da região ultraprofunda da Bacia de Santos.

Fonte: Petrobras/HABTEC, 2003.

Vanádio

O estudo produzido por MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) apresenta um valor médio de suas amostras em torno de $26,01\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Os valores encontrados possuem variações ao longo da Bacia de Santos, onde as concentrações registradas para a região centro sul, da bacia de Santos os mais baixos.

O Vanádio em águas do mar é um forte indicador de impactos ambientais decorrentes de descartes de óleo, da mesma forma que o Níquel.

(Figura II.5.1.3.D-11)

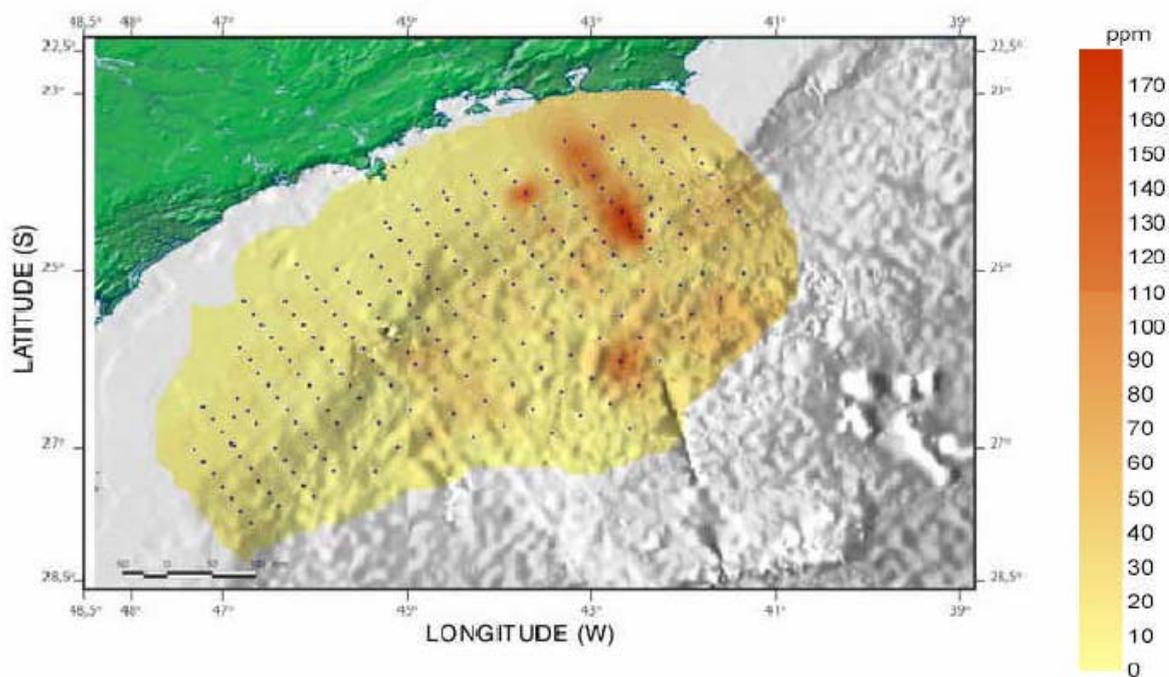


Figura II.5.1.3.D-11 Variação Espacial do Cobre na Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG 2002

Cádmio

No estudo realizado por MMA/Petrobras/AS/PEG (2002) as concentrações de Cádmio estiveram abaixo do limite de detecção do método, que variou de 0,2 a 0,5 $\mu\text{g.g}^{-1}$. Na Baía de Guanabara, este elemento possui valores máximos da em torno de 2 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (FEEMA, 1999).

II.5.1.4 – Geologia e Geomorfologia

Nesse item estão caracterizadas a geologia e geomorfologia da Bacia de Santos. Aspectos estruturais, estratigráficos e fisiográficos encontram-se descritos principalmente em escala regional. As informações aqui apresentadas foram sintetizadas, predominantemente, a partir de dados bibliográficos pesquisados em diversos trabalhos e em estudos realizados na costa sudeste brasileira, tanto pela PETROBRAS quanto por outras instituições, através de projetos que envolvem universidades, empresas e governo. Dentre estes, destacam-se projetos como o REMAC, o LEPLAC e o REVIZEE.

A) Características Regionais

A Bacia de Santos situa-se na porção sudeste da margem continental brasileira, em frente aos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina (**Figura II.5.1.4.A-1**), abrangendo uma área de aproximadamente 352.260 km² (ANP, 2002). Seu limite norte é o Arco de Cabo Frio, que a separa da Bacia de Campos, e seu limite sul o Alto de Florianópolis, onde faz fronteira com a Bacia de Pelotas. Para oeste, a Bacia de Santos é limitada pela Serra do Mar, feição fisiográfica que confina a bacia marginal ao domínio oceânico.

A maior parte dessa área, cerca de 200.00 km² (57%), está situada em lâminas d'água até 400 metros, e o restante em lâminas d'água entre 400 e 3.000 metros. A espessura do pacote sedimentar da Bacia foi estimada através de levantamentos sísmicos em 8.000m, sendo que outros autores postularam que essa espessura pode alcançar até 13.000m nos depocentros (PEREIRA & FEIJÓ, 1994).

Na parte referente à plataforma continental, a Bacia de Santos possui largura que pode atingir 230 km de extensão máxima e profundidade variando entre 120 a 180m (GRIEP *et al.*, 1997).

A largura máxima da plataforma continental é observada próximo à cidade de Santos, atingindo cerca de 230 km de extensão, e a mínima, com 50 km de extensão, em frente à cidade de Cabo Frio.

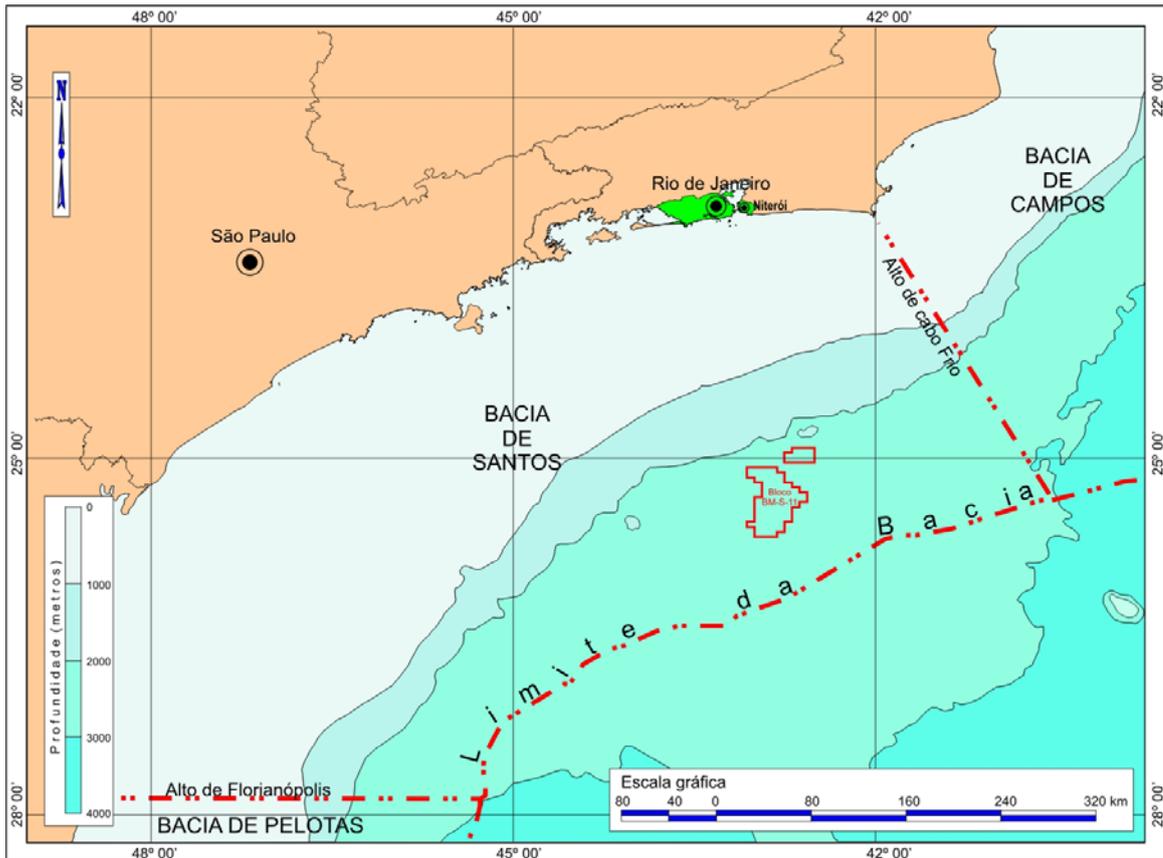


Figura II.5.1.4.A-1 - Área abrangida pela Bacia de Santos.

Fonte: Adaptado de BDEP/ANP (2008).

Origem e Evolução

A origem da Bacia de Santos, bem como das demais bacias da margem continental brasileira, está relacionada ao processo de abertura do Atlântico Sul (ASMUS & PORTO, 1972; VIRO, 1985), que teve início há cerca de 140 Ma com a fragmentação do supercontinente Gondwana e a consecutiva deriva continental observada como resultado dos esforços distensivos entre os continentes da América do Sul e da África (**Figura II.5.1.4.A-2**).

Este evento ocorrido durante os períodos Juro-cretáceo, resultou na separação da América do Sul e da África (ASMUS & PORTO, 1980; PEREIRA *et al.*, 1986). Na Bacia de Santos identificam-se, quatro estágios evolutivos: pré-*rift*, *rift*, próto-oceânico e oceânico (**Figura II.5.1.4.A-3**), cada um deles representado por um estilo tectônico diferente e próprio além de sistemas deposicionais distintos (PONTE *et al.*, 1971 e 1980; ASMUS & PORTO, 1972; CAINELLI & MOHRIAK, 1998).

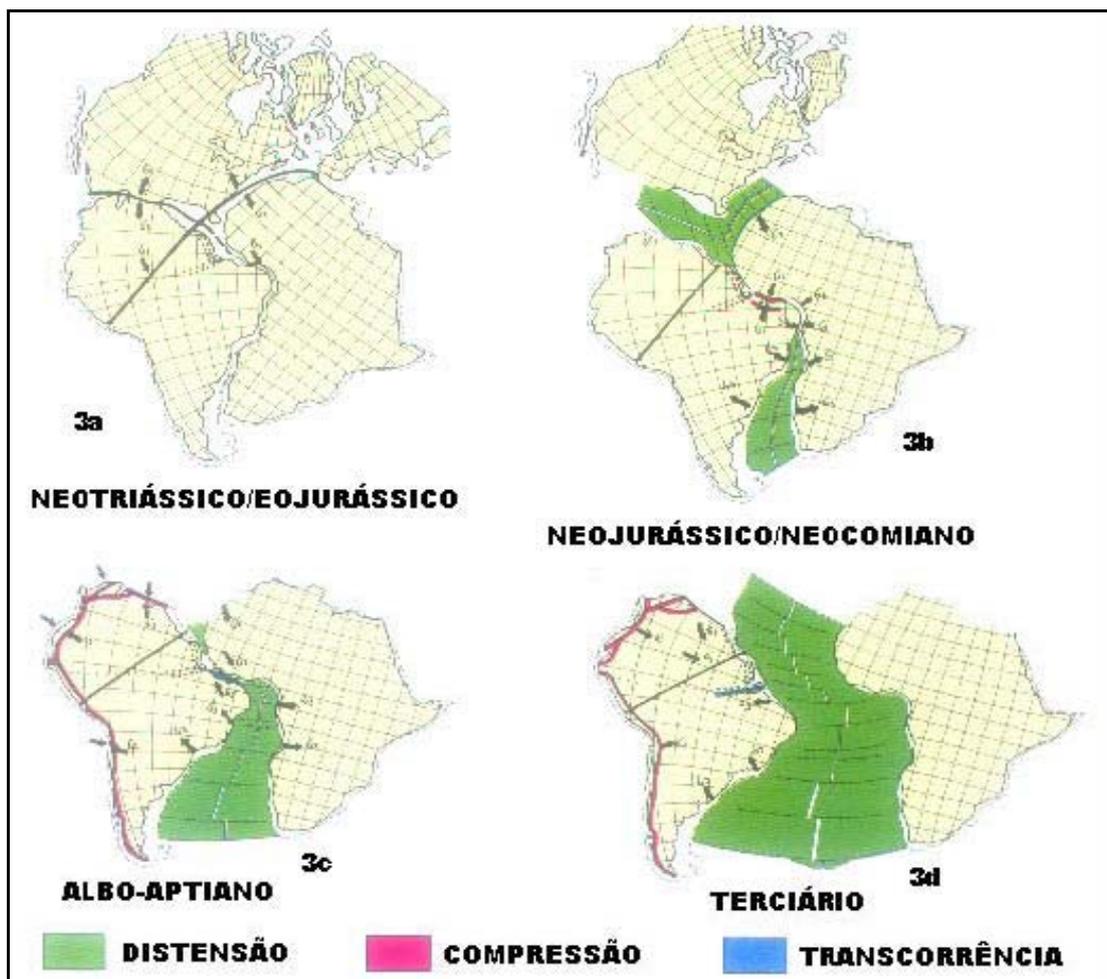


Figura II.5.1.4.A-2 – Evolução do processo de abertura do Atlântico Sul.

Fonte: Modificado de Viro (1985).

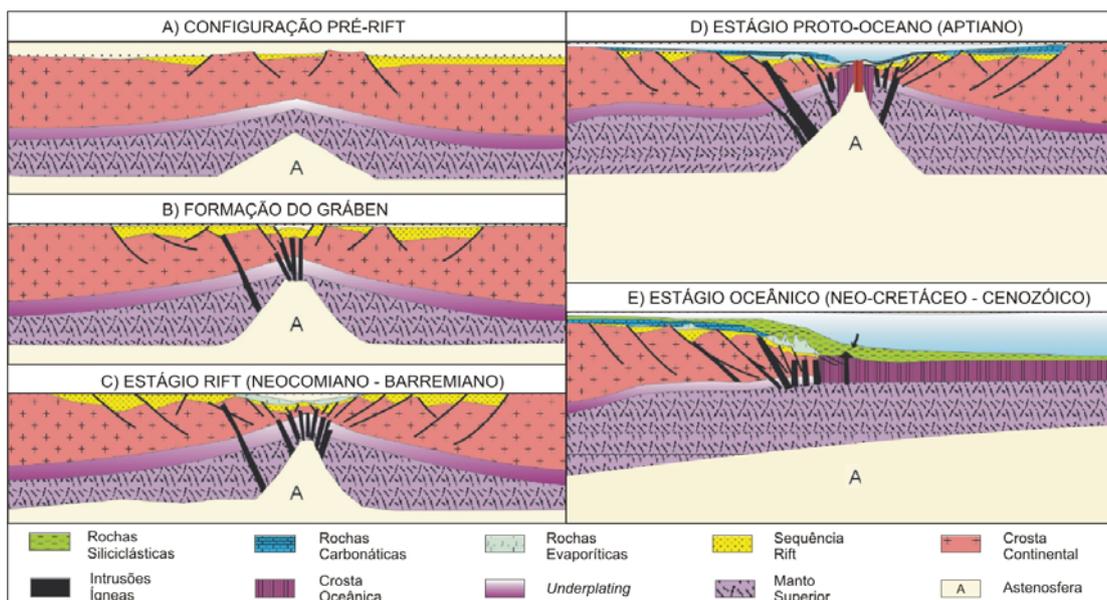


Figura II.5.1.4.A-3 - Modelo evolutivo das Bacias da Margem Leste Brasileira, mostrando a formação margem continental divergente.

Fonte: Modificado de CPRM, 2003.

O estágio pré-*rift* resultou do arqueamento com soerguimento crustal com idade Neopermiana, prolongando sua evolução até o Neojurássico. O modelo conceitual para esta fase admite um pequeno soerguimento astenosférico, com conseqüente adelgaçamento a nível regional, da crosta continental e da parte superior do manto, e com o desenvolvimento de falhamentos incipientes, controlando depósitos localizados com seqüências sedimentares de pouca espessura. Este estágio se caracterizou pela ausência de registros no interior da atual área da bacia, fato evidenciado pela ausência de seqüências sedimentares continentais e pela ocorrência de rochas vulcânicas eocretácicas.

No estágio *rift valley* ou *rift* intracratônico, iniciado no Cretáceo inferior (Neocomiano), foi atingido o limite de deformação plástica da parte superior da crosta, favorecendo a formação de abatimentos e conseqüentemente o surgimento de fossas tectônicas. O resultado dessa atividade propiciou o enfraquecimento dos blocos superiores, provocando a extrusão de lavas basálticas, da hoje Formação Camboriú (121 ± 11 m.a.) e a deposição de sedimentos flúvio-deltáicos e lacustres da Formação Guaratiba.

Ao término do episódio de formação do *rift*, houve um "*accretion*" da extensão litosférica marcada por grandes falhamentos os quais provocaram o basculamento de blocos crustais e sucessões sedimentares. O final da fase de *rift* é marcado por uma sucessão de eventos de soerguimento e erosão, evidenciados pela discordância da base dos níveis de sal (PEREIRA *et al.*, 1986).

Foi nesse estágio que se iniciou a formação do Oceano Atlântico, resultante de ruptura da litosfera causada pelo estiramento da crosta (MOHRIAK & MAGALHÃES, 1993).

O estágio proto-oceânico vem a seguir tendo início no período Aptiano, e caracterizando-se pelo processo de formação de *rifts*, que desencadeou o estiramento e afinamento da crosta, resultando na formação de uma margem continental de característica alongada, estreita e abatida. A presença de fraturas transversais nas áreas limites de soerguimento e subsidência, como o lineamento de Florianópolis, ao sul da bacia, propiciaram a formação de estruturas vulcânicas (elementos geológicos de restrição no interior da bacia) que, associadas às condições climáticas vigentes na época, contribuíram para o aparecimento da bacia evaporítica (ASMUS & PORTO, 1972).

O estágio atual, estágio oceânico, representa a consolidação do Oceano Atlântico. Na Bacia de Santos esse período iniciou-se durante o Albiano-Cenomaniano (Período Cretáceo), tendo como principal característica uma relativa estabilidade tectônica, onde os movimentos crustais limitaram-se à ocorrência de “movimentos verticais opostos, subsidência da margem e soerguimento da região costeira” (ASMUS & PORTO, *op. cit.*), não promovendo rupturas no substrato. Acredita-se que essa subsidência tenha sido controlada por mecanismos térmicos, halocinese e, possivelmente, por ação tectônica decorrente de movimentação de sal ou aparecimento/ativação de *rifts* locais por movimentação do embasamento (ASMUS & PORTO, *op. cit.*; MOHRIAK & MAGALHÃES, 1993).

Na passagem do Cretáceo para o Terciário, o afluxo de sedimentos diminuiu sensivelmente, iniciando-se uma fase transgressiva geral, que culminou no final do Terciário. A halocinese, menos expressiva nesta fase, se restringiu basicamente às áreas de domos perfurantes.

No âmbito estrutural, a tectônica salífera exerce influência significativa afetando o pacote sedimentar sobreposto e/ou criando condições de armazenamento de óleo e gás.

Geologia Estrutural

A Bacia de Santos constitui uma das maiores depressões do embasamento na costa brasileira, abrangendo o litoral dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina. As características gerais dos falhamentos da margem continental brasileira são de falhas normais, dispostas, essencialmente, paralelas à linha de costa. Entretanto as direções dos traços de falhas e as direções estruturais do embasamento pré-Cambriano podem apresentar ou não concordância (ASMUS, 1984).

Devido à grande profundidade em que se encontra, o embasamento da Bacia de Santos é pouco conhecido, sendo um pouco conhecido na parte oeste da Charneira de Santos, através de levantamentos aeromagnéticos. Segundo Macedo (1987 *apud* PEREIRA & MACEDO, 1990), as características estruturais observadas indicam que esse embasamento trata-se do prolongamento para leste

das rochas granito-gnaissicas da Faixa Ribeira, se encontrando profundamente recortado por falhas transcorrentes de idade pré- Cambriana e direção NE-SW.

Os planos de falhas mergulham, predominantemente, para leste e seus rejeitos variam de poucos metros até 3 a 5 km (ASMUS & FERRARI, 1978). Devido ao estiramento da crosta durante a fase de ruptura continental, admite-se que essas falhas diminuem seus ângulos de mergulho à medida que se aprofundam e se aproximam da zona crustal de comportamento mais dúctil, adquirindo forma geométrica lístrica.

De acordo com Pereira & Macedo (1990), extensões diferenciais da crosta continental durante a *fase rift* favoreceram a implantação de três importantes zonas ou faixas de transferência - do Rio de Janeiro, de Curitiba e de Florianópolis. A zona de transferência de Curitiba divide, informalmente, a Bacia de Santos em duas porções, denominadas embaiamento Norte e Sul. Essas zonas de transferência representam limites de porções da crosta que sofreram aquecimento diferenciado, antes da separação dos continentes.

Segundo MEISLING *et al.* (2001), estas Zonas de Transferência (ZTs) são falhas oblíquas com direção E/W, que podem compartimentar a bacia. Essas ZTs apresentariam altos intra-riftes, estruturalmente complexos que atuariam na concentração e migração de hidrocarbonetos na Bacia de Santos.

A ZT de Curitiba divide a bacia em duas sub-bacias, o embaiamento norte e o embaiamento sul (MACEDO, 1990) (**Figura II.5.1.4.A-4**). Segundo BACOCOLI e ARANHA (1984) e PEREIRA *et al.* (1986), o rifte da Bacia de Santos foi aberto na direção NE, sendo que os lineamentos de direção E-W representariam as ZT's, nas quais o rifte teria sofrido deslocamentos horizontais em direção a leste.

As principais ZT's na Bacia de Santos, onde ocorreram esses movimentos, foram as da parte central (ZT de Curitiba) e norte da bacia (ZT do Rio de Janeiro). Essa situação explicaria a presença dos embaiamentos norte e sul na bacia, associados aos dois principais deslocamentos da charneira de Santos. Tais embaiamentos resultariam de um maior estiramento da crosta e subsidência nas áreas de cruzamento entre o rifte e as zonas de fraqueza leste-oeste (PEREIRA *et al, op. cit.*).

O estágio proto-oceânico caracterizou-se pelo processo de formação de *riftes* associados ao estiramento e afinamento da crosta, resultando na formação de

uma margem continental de características alongada, estreita e abatida. A presença de fraturas transversais nas áreas limites de soerguimento e subsidência ao sul da bacia, propiciaram a formação de estruturas vulcânicas, que associadas às condições climáticas vigentes na época, contribuíram para o aparecimento da bacia evaporítica. Essa unidade evaporítica é espessa e aparece entre as Bacias de Santos e Sergipe/Alagoas (ASMUS & PORTO, 1980), representando a tectônica halocinética, que atua como o principal fator na modelagem do pacote sedimentar pós-rifte da bacia (PEREIRA *et al.*, 1986) (**Figura II.5.1.4.A-5**).

O estágio oceânico, que abrange até os dias atuais, representa a consolidação do Oceano Atlântico. Esse período na Bacia de Santos teve início durante o Albiano-Cenomaniano, tendo como principal característica uma relativa estabilidade tectônica. Os movimentos crustais ocorridos se limitaram a "movimentos verticais opostos, subsidência da margem e soerguimento da região costeira" (ASMUS & PORTO, *op. cit.*), não promovendo rupturas no substrato. Essa subsidência foi controlada por mecanismos térmicos e, possivelmente, pela ação tectônica decorrente de movimentação de sal ou aparecimento/ativação de riftes locais por movimentação do embasamento (ASMUS & PORTO, *op. cit.*; MOHRIAK & MAGALHÃES, 1993).

A ocorrência repentina do tectonismo Cenozóico na área da bacia cessou a "estabilidade" tectônica. Esse tectonismo ocorreu na área entre as ZT's do Rio de Janeiro e de Florianópolis, sendo esse processo responsável pela formação da serra do Mar e da serra da Mantiqueira. Segundo ASMUS e FERRARI (1978) in ASMUS & PORTO (*op. cit.*) o tectonismo nessa área representaria uma resposta tardia ao processo térmico ocorrido durante os períodos Triássico e Jurássico. Associado a esse estágio deu-se o estabelecimento de feições morfológicas na margem continental associadas às zonas de fraturas, como a do Rio de Janeiro, o qual se constituiu num importante agente topográfico na parte norte da bacia (**Figura II.5.1.4.A-5**).

O limite oeste da porção cretácica da Bacia situa-se na feição chamada Charneira de Santos (PEREIRA *et al.*, 1986) que se refere à faixa onde a crosta continental começa, efetivamente, seu afinamento em direção ao mar (zona de flexura crustal). À leste, o "limite interpretado" da bacia é posicionado na cota

batimétrica de 2.000 m, onde a espessura da cobertura sedimentar é pouco significativa, passando gradativamente ao Platô de São Paulo.

No trecho entre os lineamentos do Rio de Janeiro e de Florianópolis, em região de talude continental, ocorre um depocentro, estendendo-se na direção NE-SO, esta feição alcança as suas maiores profundidades frente à cidade do Rio de Janeiro, apresentando valores superiores a 10km. As feições geológicas mais importantes na área da Bacia de Santos é a Charneira de Santos e o platô de São Paulo. A Charneira é responsável pela limitação da sedimentação cretácica a oeste e da terciária (0 a 1.500m de profundidade) (PEREIRA *et al.*, 1986).

Já o platô de São Paulo é uma feição resultante de uma deformação da crosta e do manto superior (GUIMARÃES *et al.*; 1982; KOWSMANN *et al.*, 1982; GORINI & CARVALHO, 1984; MACEDO, 1990; ALVES *et al.* 1997). Esta feição é bastante ampla, se estendendo desde a base do talude continental, numa profundidade de 2.500m, até a profundidade de 3.500m, em direção a leste, e terminando em uma escarpa íngreme bem delineada. O platô é limitado pela Cadeia Vitória-Trindade, ao norte, e pela dorsal de São Paulo, ao sul. A leste, seu limite é coincidente com o limite do sal Aptiano (GORINI & CARVALHO, *op. cit.*).

Supõe-se que o embasamento do platô seja constituído por rochas continentais, que se prolongam sob a plataforma e o talude continental, apresentando uma redução contínua na sua profundidade no trecho entre o talude continental e a região oceânica (KOWSMANN *et al.*, *op.cit*) Segundo Cainelli & Mohriak (1998), os limites estruturais que definem a Bacia de Santos, Alto de cabo Frio a norte e Alto de Florianópolis a sul, são caracterizados pela ocorrência de rochas ígneas intrusivas e extrusivas (Fm. Cabo Frio e Fm. Camburiú).

As deformações gravitacionais da camada de sal no interior da Bacia de Santos propiciaram a ocorrência de uma ampla variedade de estruturas que, marcadamente, modelaram o pacote pós-*rift* da Bacia. A estas estruturas, se aliam todos os prospectos conhecidos da Bacia de Santos, tais como: homoclinais, falhas lítricas associadas a um dos flancos de almofadas de sal (PEREIRA & MACEDO, 1990).

As falhas lítricas normais, resultantes da tectônica de sal são, também responsáveis por estruturas anticlinais associadas tanto com os carbonatos do Albiano como com os depósitos siliciclásticos do Cretáceo tardio.

Na Bacia de Santos, as estruturas salíferas ocorrem associadas a *fairways* de camadas de sal profundas que atravessam a bacia. Dentre estas estruturas estão as diapiros, domos, almofadas e cascos de tartaruga (FAINSTEIN, 2004).

O efeito da halocinese na Bacia de Santos remonta ao Albiano, quando se inicia, durante a fase de deposição dos carbonatos, processos de escorregamentos gravitacionais sobre o sal. Tais escorregamentos promoveram deformações gravitacionais na camada dos evaporitos, produzindo uma grande variedade de estruturas, que modelaram o pacote pós-rifte da bacia.

Entre os períodos Neoturoniano e Maastrichtiano verificam-se três episódios deposicionais terrígenos prográdantes e regressivos, intercalados por variações significativas do nível do mar. Nesse período são registrados importantes eventos vulcânicos, de natureza básica, alinhados do centro para o norte da bacia (87 a 57 m.a.). A halocinese, na província de domos perfurantes, atingiu então seu ápice devido ao grande volume de sedimentos aportados. Nas províncias de "pillows", a movimentação do sal cessou em função do esgotamento da camada geradora. O desenvolvimento de halocinese na bacia permitiu então que se agrupassem as estruturas salinas em cinco províncias estruturais salinas (PEREIRA & MACEDO, 1990) conforme apresentada na **Figura II.5.1.4.A-4**.

A Província I não apresenta estruturas salinas, se constituindo num homoclinal. Tal província seria coincidente com a faixa onde ocorre pouco ou nenhuma halita, tendo sido depositado anidrita e/ou fácies terrígenas.

A Província II apresenta almofadas de pequeno porte com dimensões que variam entre 5 e 10 km², que possuem forma assimétrica e, em geral, a presença de falhas lítricas associadas a um dos flancos (*salt rollers*) (**Figura II.5.1.4.A-5**).

A Província III apresenta situação semelhante à Província I, onde é comum a ausência de evaporitos, principalmente nas porções central e sul da bacia.

A Província IV apresenta almofadas de grande porte com dimensões que variam entre 20 e 50 km². É rara a presença de falhas associadas a estas estruturas.

A Província V apresenta domos e muralhas perfurantes, estruturas interdômicas associadas, tal como casco-de-tartaruga.

O desenvolvimento dessas províncias se relaciona com o paleo-relevo da base do sal e com as espessuras originais dos evaporitos. As deformações das

Províncias I, II, III e IV, deram-se entre o Albiano e o Santoniano. Na Província V, as estruturas são mais recentes, tendo sido iniciadas no Albiano e se prolongado até o Neógeno, criando “janelas” nos evaporitos a partir do final do Cretáceo (PEREIRA & MACEDO, *op. cit.*).

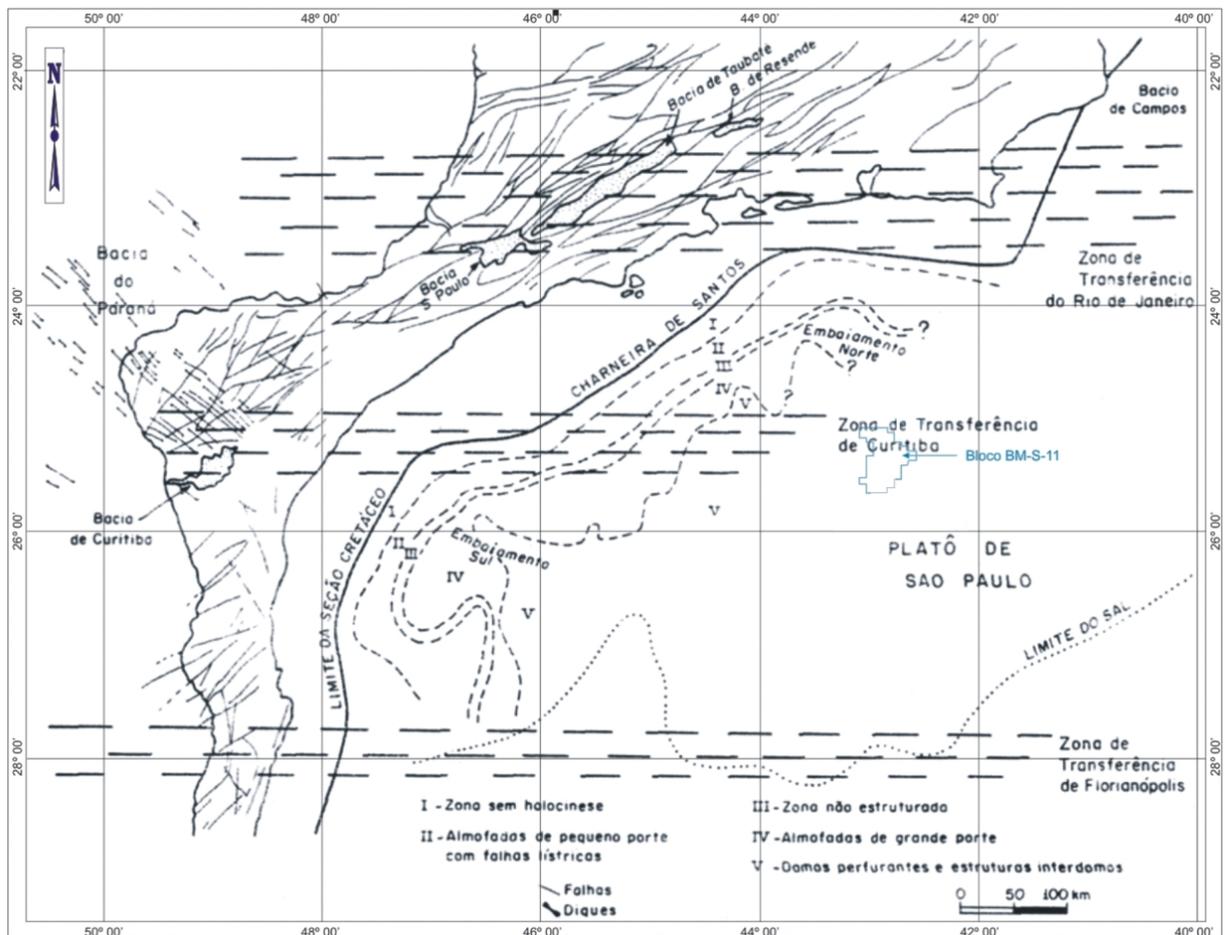


Figura II.5.1.4.A-4: Zonas Salíferas na Bacia de Santos.

Fonte: Modificado de PEREIRA & MACEDO (1990).

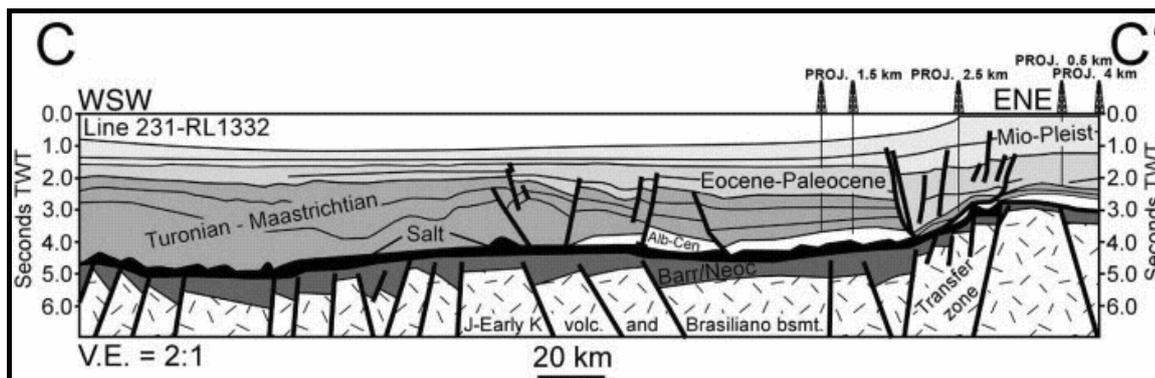


Figura II.5.1.4.A-5. Perfil longitudinal à linha de costa na área da Bacia de Santos norte. O perfil é paralelo a isóbara de 1.000 m onde se observam falhas na seção do sal. Fonte: MEISLING et al. (2001).

Estratigrafia

A evolução geológica fez com que a coluna estratigráfica das bacias marginais da costa leste fosse dividida em três Megassequências: *continental ou rift* - caracterizada por sedimentos continentais; *transicional* - caracterizada por sedimentos lacustres; e *marinha* - caracterizada por sedimentos de mares restritos e mares abertos.

A coluna estratigráfica da Bacia de Santos é subdividida da seguinte maneira: uma *fase rift*, sobre rochas vulcânicas do Cretáceo; uma fase transicional, com seqüências evaporíticas espessas (Formação Ariri); uma fase de margem passiva, caracterizada por carbonatos do Albiano; e uma seqüência siliciclástica muito espessa, depositada no Cretáceo Tardio.

Pereira & Feijó (1994), aplicando a estratigrafia de seqüências na Bacia de Santos, reconheceram duas fases distintas de evolução tectônica: a seqüência *rift* e a seqüência de margem passiva, separadas por um período de transição. A Carta Estratigráfica da Bacia de Santos, conforme redefinida por Pereira (1990) pode ser visualizada na **Figura II.5.1.4.A-6**, com seus elementos litoestratigráficos, bioestratigráficos e geocronológicos.

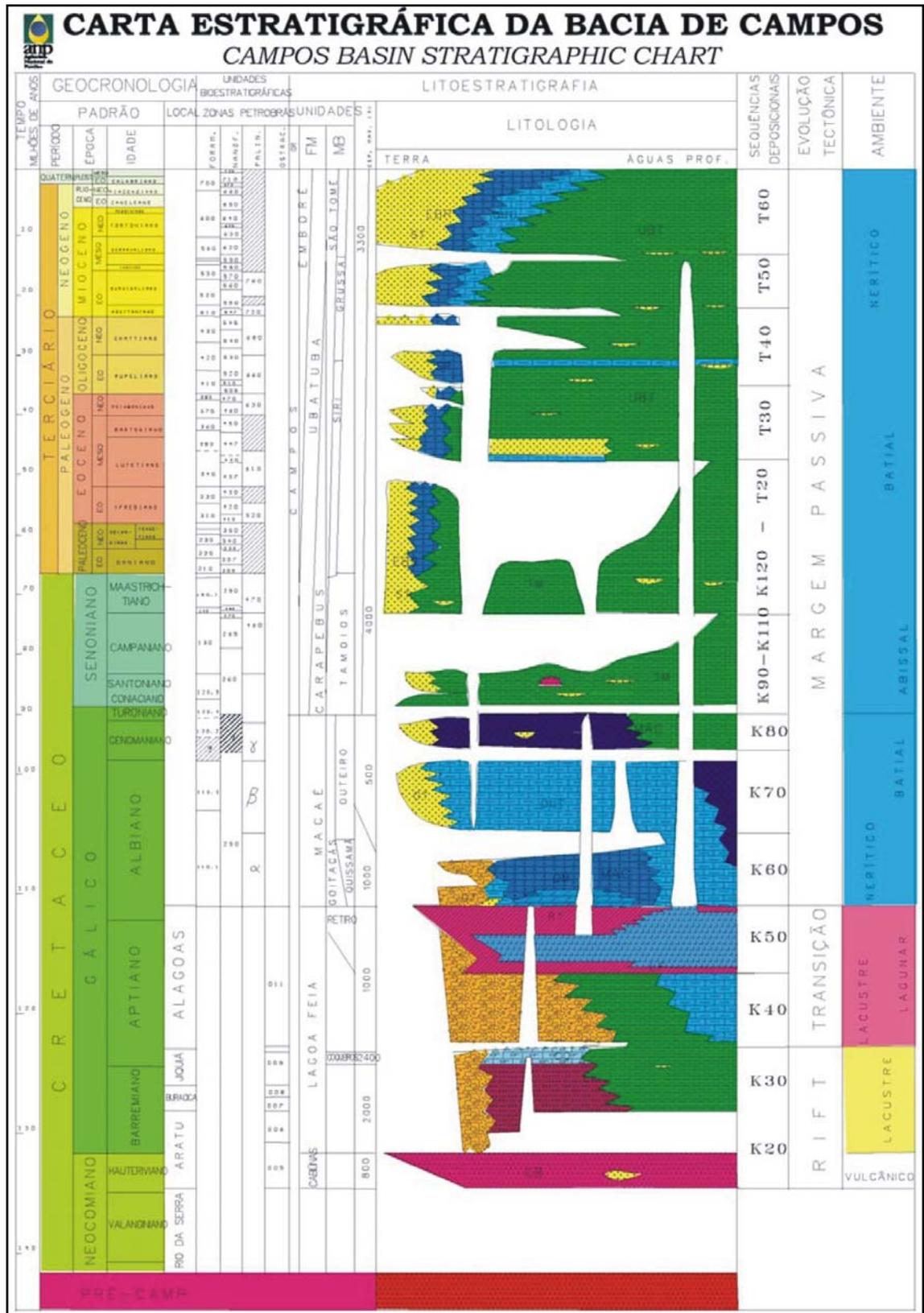


Figura II.5.1.4.A-6- Coluna estratigráfica esquemática da Bacia de Santos.
Fonte: Pereira e Feijó (1994).

De acordo com os referidos autores, a primeira seqüência mapeada da *Seqüência Rift*, equivale aos derrames basálticos neocomianos da Formação Camboriú, seguidos pelos leques aluvionais continentais barremianos da Formação Guaratiba. Os evaporitos da Formação Ariri, de idade Alagoas, caracterizam a transição do estágio *rift* para o marinho. Já a *Seqüência da Margem Passiva* apresenta conspícuas discordâncias, mapeáveis em seções sísmicas, que permitiram o reconhecimento de onze unidades conferindo à Bacia de Santos um importante papel paradigmático na subdivisão estratigráfica das rochas sedimentares cretáceas e terciárias da costa brasileira.

A seguir, da base para o topo, são descritas as litologias que compõem a coluna estratigráfica da Bacia de Santos. O embasamento cristalino pré-Cambriano da bacia teve sua natureza gnáissica inferida pelos dados disponíveis de poços perfurados, comparáveis a afloramentos no Estado do Rio de Janeiro. De acordo com Pereira & Macedo (1990), o pouco conhecimento do embasamento da Bacia de Santos é devido às altas profundidades em que se encontra.

Na primeira seqüência (seqüência *rift*) têm-se as Formações Camboriú e Guaratiba: a primeira constituída por derrames basálticos eo-cretácicos e a segunda por derrames clásticos e carbonatos de origem fluvial e lacustre, de ambiente continental. Sobre essas Formações, tem-se a seqüência evaporítica representada pela Formação Ariri. Recobrimo discordantemente os clásticos da Formação Guaratiba, a Formação Ariri caracteriza-se por espessos pacotes de halita e anidrita brancas, associadas localmente a calcilutitos, folhelhos e margas de ambiente marinho restrito.

Acima desta seqüência, inicia-se a implantação dos depósitos francamente marinhos transgressivos, com as Formações Florianópolis, Guarujá e Itanhaém, cujas litologias características são, respectivamente, arenitos avermelhados, calcarenitos oolíticos e pelitos (folhelhos e margas). Tais formações refletem a variação faciológica, do proximal para o distal, em uma bacia costeira de mar aberto subordinada a um regime de transgressão marinha. Diferentemente das demais bacias brasileiras, essa fase essencialmente transgressiva da Bacia de Santos foi interrompida no Albiano, com a ocorrência de quatro episódios

fortemente regressivos, durante os quais foram depositadas as rochas que compõem as Formações Santos, Juréia e Itajaí-Açú, descritas a seguir.

A Formação Santos, mais proximal, constitui-se de conglomerados e arenitos líticos, avermelhados. A Formação Juréia, numa posição intermediária, apresenta folhelhos, siltitos, arenitos finos e calcilutitos. Já a Formação Itajaí-Açú é formada por folhelhos cinza escuros, característicos de ambiente marinho profundo (talude). Corpos arenosos de origem turbidítica dispersos nesta seção são individualizados sob a denominação de Membro Ilha bela. A deposição dessas Formações foi acompanhada de importante vulcanismo basáltico, datado em 57 a 87M.a., contemporânea também à fase de maior halocinese da bacia.

Esta seqüência representa o término da seção cretácea da Bacia de Santos, cujo topo é marcado por forte discordância regional. Sobre essa discordância, uma nova seqüência francamente transgressiva implantou-se na bacia, sendo esta representada pelos sedimentos das Formações Iguape e Marambaia: a primeira constituída por calcarenitos e calciruditos bioclásticos, típicos de plataforma carbonática, com interdigitações de clásticos nas áreas mais proximais (desde conglomerados até argilitos); e a segunda por folhelhos e margas intercalados a arenitos finos de origem turbidítica.

Recobrando essas rochas terciárias, nas regiões mais proximais da bacia, estão os sedimentos quaternários da Formação Sepetiba, considera-se que esta formação foi depositada por leques costeiros constituídos por clásticos grosseiros e depósitos de coquinas, que se sobrepõem concordantemente à Formação Iguape.

A estratigrafia e o estilo estrutural da Bacia de Santos, da plataforma continental em direção à região oceânica mais profunda, encontra-se ilustrada na **Figura II.5.1.4.A-7.**

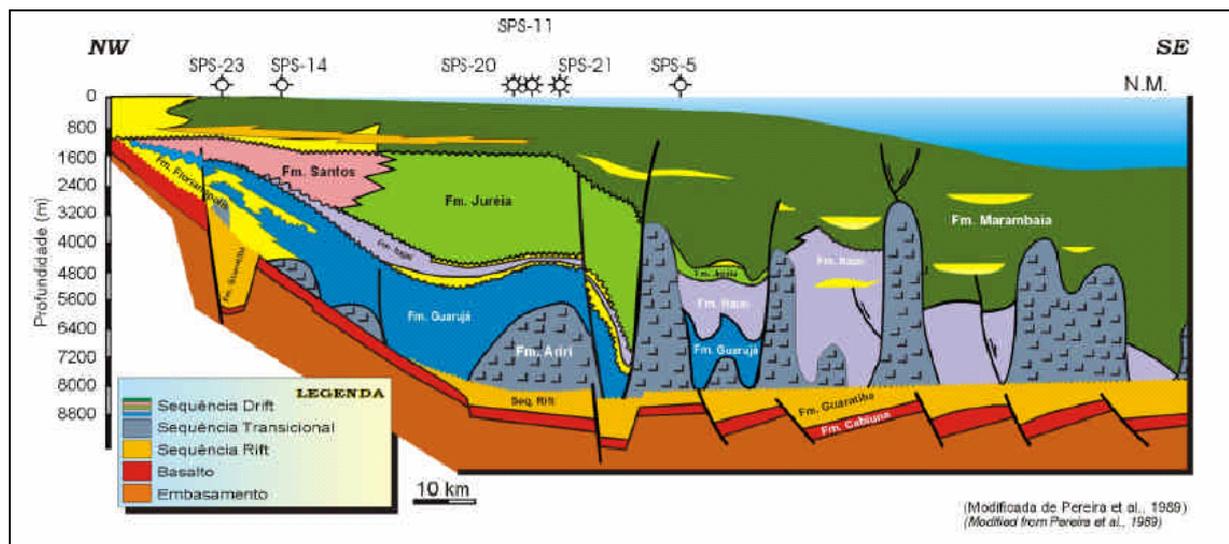


Figura II.5.1.4.A-7 - Seção Geológica da Bacia de Santos com as unidades e seqüências estratigráficas.

Fonte: ANP (2006).

Sob o ponto de vista crono-estratigráfico, o pacote sedimentar mostra a existência de dez seqüências sedimentares (PEREIRA *et al*, 1986):

- Seqüência do Lago - corresponde à Formação Guaratiba, com idade Alagoas-Buracica, estando sobreposta à Formação Camboriú (pré-Alagoas). Corresponde à fase rifte da Bacia de Santos.
- Seqüência Golfo - corresponde à Formação Ariri, de idade Alagoas, sendo eminentemente evaporítica.
- Seqüência Eo/Meso-Albiano - corresponde às partes inferiores das Formações Guarujá e Florianópolis. Essa seqüência é bastante deformada, por efeito da halocinese.
- Seqüência Neo-Albiano/Cenomaniano – corresponde às partes superiores das formações Guarujá e Florianópolis. Essa seqüência representa o início da primeira fase transgressiva ocorrida na bacia.
- Seqüência Cenomaniano/meso-Turoniano – corresponde à base da Formação Itajaí, representando o ponto culminante da fase transgressiva na bacia.
- Seqüência neo-Turoniano/eo-Santoniano - corresponde à parte superior da Formação Itajaí, englobando uma parte da base da Formação Santos. Essa fase corresponde ao final do processo

transgressivo, o qual foi seguido de um abaixamento do nível do mar expressivo.

- Seqüência Santoniano/eo-Campaniano - corresponde à metade superior da Formação Santos, de caráter progradacional em decorrência do abaixamento relativo do nível do mar.
- Seqüência Campaniano/eo-Eoceno - corresponde à parte superior das formações Santos e Itajaí, representando a fase de transgressão.
- Seqüência eo-Eoceno/meso-Mioceno - corresponde às formações Sepetiba e Marambaia. Esse pacote sedimentar representa uma ampla fase transgressiva.

O preenchimento sedimentar na área do platô de São Paulo é condicionado pelo seu arcabouço estrutural. Nas áreas dos baixos estruturais, porção interna do platô, o preenchimento sedimentar atinge, em média, 6.000 m de espessura e nas áreas dos altos estruturais, nas porções central e externa, atingem espessuras entre 2.000 e 4.000 m. Os depocentros registram espessuras de sedimentos em torno de 7.000 m na área da margem continental entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo. São identificadas no platô duas camadas sedimentares que se encontram sobrepostas às camadas crustais mais profundas. Uma camada superficial possui uma espessura entre 1.000 e 2.000 m e uma camada subjacente de espessura entre 2.000 e 3.000 m, possivelmente relacionada aos evaporitos (KOWSMANN *et al.*, 1982).

A área emersa da bacia não apresenta uma coluna estratigráfica que possa ser extensiva a toda a região abrangida pela Bacia de Santos, dificultando uma possível descrição e correlação entre as áreas continental e marinha.

Sistema Petrolífero

O sistema petrolífero na Bacia de Santos apresenta trapas do tipo estruturais ou mistas. As rochas geradoras se encontram na Formação Guaratiba, tendo o pico de geração ocorrido do Turoniano ao Maastrichtiano (CHANG, 2004).

Os principais *plays* estariam nos calcários eo-mesoalbianos da Formação Guarujá, nos turbiditos do Membro Ilha Bela, nos turbiditos do Cretáceo Superior, nas areias situadas entre o Paleoceno/Eoceno. Destaca-se que os *plays* da

Formação Guarujá e do Membro Ilha Bela são os mais importantes até o momento na bacia (CHANG, *op. cit.*; MULTIMIN, 2006).

Na Bacia de Santos os principais campos petrolíferos conhecidos estariam relacionados com (MULTIMIN, *op. cit.*):

- Reservatórios em Rochas Carbonáticas do Albiano Inferior da Formação Guarujá; Reservas globais de 79 Bbl de óleo leve (40 a 45° API) e 2,160 BCF de gás natural.
- Campo de Tubarão -170 km da costa em lâmina d'água de 145 m - Óleo leve (48° API) e gás natural.
- Campo de Estrela do Mar - 12 km ao sul de Tubarão - Óleo leve (43° API) e gás natural.
- Campo de Coral - 13 km ao sul de Coral - Óleo leve (39,5° API) e gás natural.
- Campo de Caravela - 17 km ao sul de Estrela do Mar - Óleo leve (40,2° API) e gás natural.
- Campo de Caravela Sul - 16 km ao sul de Caravela - Óleo leve (43° API) e gás.
- Campo de Mexilhão que se encontra a 165 km do litoral de Caraguatatuba (SP), possuindo profundidades d'água com cerca de 500 m. – gás natural e condensado.
- Campo de Merluza que se encontra localizado defronte ao município de Praia Grande, litoral do estado de São Paulo, a cerca de 180 km do continente. gás natural e condensado.

Recentemente identificou-se reservatórios carbonáticos e bioclásticos de origem microbial abaixo da camada de sal cujos reservatórios passaram a ser denominados reservatórios do Pré-sal – óleo 27° API.

Características Fisiográficas

Na Área da Bacia de Santos são identificadas cinco Unidades Fisiográficas (Figura II.5.1.4.A-1). A região considerada neste estudo insere-se no denominado Litoral Sudeste ou das Escarpas cristalinas, que se estende desde o cabo Frio até o cabo de Santa Marta.

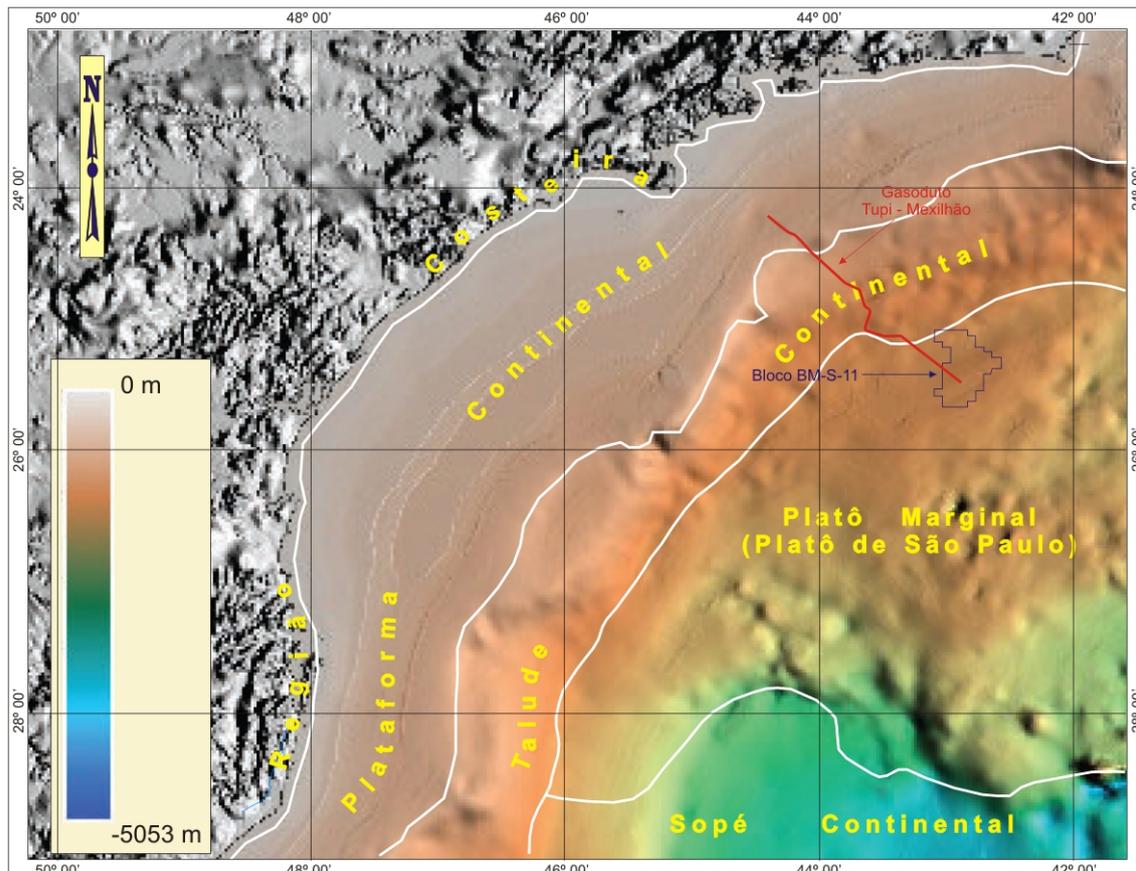


Figura II.5.1.4.A-1 - Unidades Fisiográficas principais da Bacia de Santos.

Fonte: Modificado de CPRM, 2003.

Esse compartimento se caracteriza pela presença do embasamento junto à linha de costa, o qual inibe a construção de planícies costeiras. As planícies costeiras existentes se relacionam às áreas dos baixos cursos fluviais, que sofreram “entulhamento sedimentar”, sendo destaque as baías de Guanabara e de Sepetiba (MUEHE, *op.cit.*).

A presença de cordões arenosos é observada ao longo desse macrocompartimento, que geralmente, ocorre em forma de cordões duplos, com

disposição paralela entre si e a presença de depressão intra-cordões (MUEHE, op.cit.). A seguir, são descritas as unidades fisiográficas existentes na Bacia de Santos.

Região Costeira

Em sua porção norte, o trecho que vai de Cabo Frio até Angra dos Reis a área da costa se alterna entre tipo *ria* e costas baixas retificadas, com lagunas, às vezes, totalmente colmatadas. As costas do tipo *ria* caracterizam-se por uma topografia continental montanhosa, com invasão do mar, formando estuários e indentações irregulares, lagunas, baías, etc. O desenvolvimento das planícies costeiras à oeste de Cabo Frio está associado a uma sucessão de cordões litorâneos, que se entendem até a Ilha de Marambaia.

Na região entre Angra dos Reis e Santos, o relevo do tipo *ria* caracteriza uma costa submergente, onde predominam pequenas enseadas e praias de bolso. O litoral paulista pode ser subdividido em duas porções de características diversas. Ao norte, os pontões da Serra do Mar atingem o litoral em quase toda a sua extensão (*ria*). Ao sul, desenvolvem-se grandes planícies costeiras, formadas por depósitos marinhos ou flúvio-lagunares. As planícies são separadas entre si por pontões do embasamento. A passagem de uma província à outra é progressiva.

Entre Caraguatatuba e Cananéia observa-se o aumento da superfície das planícies sedimentares quaternárias, de Norte para Sul. No trecho entre Cananéia e Iguape, esse aumento na extensão das planícies é explicado como resultante de uma diferenciação na dinâmica de deposição ou de uma diferenciação tectônica (flexura continental) (SUGUIO, 1973). Nessa região, o sistema de lagunas e rios se comunica com o oceano através de desembocaduras lagunares, dando origem a quatro ilhas (Cardoso, Cananéia, Comprida e Iguape), cada qual com características geomorfológicas distintas.

De uma maneira geral as praias da baixada santista e do litoral sul paulista são do tipo dissipativas, com declividades de 1 a 5 graus. A praia de Ilha Comprida, no complexo Cananéia- Iguape, constitui a feição de maior expressão. Ao longo da costa do Paraná a planície litorânea tem largura máxima da ordem de 55 km, sendo profundamente recortada por complexos estuarinos, complexos estes que deram origem a diversas baías e inúmeras ilhas (das Peças, do Mel,

Rasa, da Cotinga e Rasa da Cotinga), citando-se a baía de Paranaguá como a maior e mais importante. Em geral, esses complexos estuarinos são corpos de águas rasas, com profundidades inferiores a 10m.

Mais para o Sul, ao longo da costa de Santa Catarina, pode-se individualizar três setores: o setor Norte, caracterizado por planícies costeiras de grande expressão e pela presença das Baías de Guaratuba e São Francisco; o setor intermediário, onde se destacam as rochas cristalinas pré-cambrianas, que interrompem a continuidade das planícies costeiras quaternárias (com um destaque especial para a Ilha de Santa Catarina); e o setor Sul onde, até a cidade de Torres, observa-se uma vasta planície costeira, com extensas lagunas e paleo-lagunas. Outra feição bastante característica da região são os depósitos eólicos formados em diversas gerações.

Área Marinha

Plataforma Continental

Desde o Pleistoceno Superior até o final do Holoceno, a plataforma continental brasileira foi palco de uma grande regressão (Wisconsiniana) e de uma grande transgressão (Flandriana), que a influenciaram em toda sua extensão e determinaram os processos que moldaram sua topografia atual. Ao longo do litoral da Bacia de Santos, a plataforma continental apresenta-se consideravelmente ampla, com relevo suave e monótono, a exceção da região entre a Baía de Guanabara (RJ) e São Sebastião (SP), pela ocorrência de pontões de rochas cristalinas, freqüentemente com disposição oblíqua à linha costeira, chegam muitas vezes até o mar, delimitando pequenas baías (BDT, 2006).

De uma forma geral, os contornos batimétricos acompanham bem de perto a linha de costa e definem, no conjunto, uma superfície regular, sem formas topográficas acrecionais ou erosivas, de grande amplitude regional.

No trecho compreendido entre o Rio de Janeiro e Santos, a plataforma continental encontra-se dividida em dois níveis - um interno e outro externo separados por um declive intermediário bastante pronunciado, cujo gradiente chega até 1:200 (PETROBRAS/HABTEC, 2006).

De Santos até Florianópolis, esse desnível intermediário se alarga, se igualando em amplitude aos níveis interno e externo, estabelecendo, nesse trecho, uma plataforma média.

Toda a plataforma desse setor apresenta-se recortada, perpendicularmente, por canais estreitos e rasos, cuja origem está relacionada a regressões do nível do mar. A largura máxima da plataforma continental é observada próximo à cidade de Santos, atingindo cerca de 230 km de extensão, e a mínima, com 50 km de extensão, em frente à cidade de Cabo Frio.

A profundidade da quebra da plataforma varia de 40 a 180m, ocorrendo mais comumente entre 140 e 160m. Na realidade, a quebra da plataforma poderia ser mais bem definida como uma “zona de quebra” (BOYER, 1969) relativamente estreita (largura máxima de 30km). Seu traçado também acompanha a linha de costa, enquanto sua morfologia, convexa e arredondada, assim como bastante uniforme, suaviza sobremaneira a transição plataforma-talude. Ao longo da região em estudo, o talude é caracterizado por um perfil geral convexo, largura típica de moderada a ampla e por baixos gradientes de declividade. Ele se estende por cerca de 2.200 km ao longo de toda a região Sul. Sua largura é relativamente homogênea, ficando entre 120 a 150 km. Sua declividade varia de 0,5 até 2 graus, podendo alcançar 6 graus em algumas áreas, onde é freqüente a ocorrência de escorregamentos.

Em geral, essa província é subdividida em talude superior e talude inferior, embora reconhecendo que a individualização não é muito evidente. O talude superior seria caracterizado por ser mais estreito e íngreme, com largura média de 13 km e declividade entre 2 e 4 graus. O talude inferior é sempre mais largo, variando dentre 100 e 140 km. A declividade também varia bastante, de 0,30 e 1,50 graus. O limite inferior não se faz notar muito bem e a transição para o sopé continental é nitidamente gradacional (BOYER, 1969). A profundidade desse limite inferior situa-se entre 2.400 a 2.900 m, exceto nas áreas junto ao platô de São Paulo (2.000 m).

Na porção norte da Bacia de Santos, junto ao embaiamento de São Paulo, a base do talude apresenta diversas intumescências no seu relevo, devidas a diápiros de sal da Formação. Ariri, que alcançam o assoalho marinho nessa região. Na porção sul da bacia, o talude inferior, embora nivelado, apresenta

irregularidades em seu relevo, devido à presença de escarpas de escorregamentos e movimentos de massa.

As feições morfológicas importantes que ocorrem nesse setor são antigos canais e cânions, que possuem larguras entre 10 e 40 m. As feições de maior destaque são os cânions da Guanabara, de Araruama, de Cabo Frio e do Rio de Janeiro. Um banco de biohermas está situado a cerca de 53 km diante à baía da Guanabara (ALVES & PONZI, 1984).

Segundo ASMUS e FERRARI (1978) *apud* MUEHE & CARVALHO (1993), a gênese e configuração desse trecho da plataforma continental estariam relacionadas a um tectonismo atuante durante o Terciário, no sudeste do continente sul-americano, que causou fraturamentos no embasamento cristalino. WEISSEL (1990) *apud* MUEHE e CARVALHO (*op. cit.*), afirma que a configuração atual da plataforma poderia ser resultante de um modelamento erosivo pós-fase rifte, ocorrido ao longo de zonas de fraturamento preexistentes ao soergimento continental, anterior à abertura da bacia do oceano Atlântico sul.

Talude Continental

O talude continental é muito suavizado ($0,70^{\circ}$ - $0,90^{\circ}$), atingindo 160km de largura e 2.200 m de profundidade (ALVES & PONZI, 1984), se apresentando bastante abrupto e, por vezes, escalonado. A quebra da plataforma continental se dá entre 140 e 160 m de profundidade de leste a oeste. As isóbatas são paralelas entre si e seguem a orientação da linha de costa. Estão presentes paleocanais com mais de 200 m de profundidades, uma área erosiva onde são encontradas várias ravinas submarinas, restritas localmente, e com um relevo de no máximo 20m, cicatrizes de deslizamentos e vales submarinos (vales do Rio de Janeiro).

Na área de transição entre talude e o Platô de São Paulo a morfologia do fundo marinho inclui um conjunto de depressões lineares paralelas e perpendiculares à quebra da plataforma. Tais depressões lineares representam, na superfície do fundo marinho, expressões superficiais de planos de falhas relacionados a muralhas de sal subsuperficiais. Nas porções menos profundas, ocorrem diversos *pockmarks*, que podem atingir 350m de largura, estando alinhados com os planos de falhas, sugerindo possivelmente um caminho preferencial para a expulsão de fluidos. Nas na porção mais profunda estão

presentes pequeno número de canais com larguras próximas a 2.500m, sendo inativos e parcialmente preenchidos por sedimentos recentes (CALDER *et al.*, 2002).

Platô de São Paulo

O platô de São Paulo representa uma das feições morfológicas de maior destaque na margem continental sudeste brasileira, sendo resultante de uma deformação da crosta e do manto superior situada diante à Bacia de Santos (GUIMARÃES *et al.*; 1982; KOWSMANN *et al.*, 1982; GORINI & CARVALHO, 1984; MACEDO, 1990; ALVES *et al.* 1997). É uma feição bastante ampla situada desde a base do talude continental, numa profundidade de 2.500 m, se prolongando em direção a leste até a profundidade de 3.500 m, terminando em uma escarpa íngreme. O platô é limitado pela Cadeia Vitória-Trindade, ao norte, e pela dorsal de São Paulo, ao sul, sendo que a leste seu limite coincide com o limite do sal Aptiano (GORINI & CARVALHO, *op. cit.*).

O platô de São Paulo pode ser dividido em duas porções a norte e a sul. A porção norte apresenta uma forma regular, retangular que acompanham os contornos do talude continental com uma área aproximada de 70.000 km². Nesta porção as características relativas à feição de platô marginal são pequenas, tendo larguras que variam entre 180 e 280km e uma declividade entre 1:200 e 1:160. A leste, o platô é limitado pela faixa de ocorrência de estruturas salinas. O relevo é moderado, apresentando declividade uniforme, sendo as feições morfológicas de maior expressão os quatro cânions que o atravessam (ZEMBRUSCKI, 1979).

Na porção sul, o platô apresenta-se bem delineado, com forma irregular, ocupando uma área de 212.350 km², sendo limitada pelo talude continental inferior a 2.000 m, a leste a 3.200 m e ao sul a 3.600 m de profundidade. A largura máxima desta porção é de 500 km, possuindo declividades entre 1:400 e 1:600. Esta porção subdivide-se em duas superfícies, as quais se encontram em níveis de profundidades diferentes, constituindo dois patamares, o inferior e o superior. Estes patamares são divididos por uma escarpa pouco íngreme com gradiente que varia entre 6° e 10°. O relevo desta porção apresenta-se ondulado, intumescido e fortemente influenciado pela movimentação de diápiros de sal (ZEMBRUSCKI, *op. cit.*; GORINI & CARVALHO, 1984).

Sopé Continental

Na área de estudo, o sopé continental ocorre nos dois setores meridionais, enquanto que no setor Embaiamento de São Paulo apenas uma mínima parte de sua porção proximal está inserida. O sopé continental caracteriza a transição entre o relevo abrupto dominado pela transferência de sedimentos terrígenos característico do talude continental para um ambiente oceânico abissal, distante de todo aporte de sedimentos da margem. A extensão do sopé varia entre 220 e 750km atingindo na sua porção mais externa profundidades superiores a 3000m na área de interesse, com declividades da ordem de 1:150 a 1:400 (Zembruski, 1979).

Caracterização Faciológica dos Sedimentos

Segundo Rocha *et al.* (1975 *apud* REMAC, 1979), a plataforma interna do litoral sudeste, entre Cabo Frio e Santos, é constituída por areia e cascalho biodetrítico, a média por argila e silte terrígenos, pobres em areia e a externa por carbonato biodetrítico.

Na plataforma externa, entre Cabo Frio e Santos, a fácies principal dos sedimentos carbonáticos são areias de recifes de algas e misturas de foraminíferos bentônicos, moluscos e briozoários. Enquanto que para o norte de Santos predominam composições ricas em recifes de algas e briozoários, bem como de seus produtos de desagregação. A contribuição desse tipo de carbonato diminui e para o sul (KEMPH, 1972 *apud* KOWSMANN & COSTA, 1979; ROCHA *et al.*, 1975 *apud* KOWSMANN & COSTA, 1979).

No trecho compreendido entre o Rio de Janeiro e a Ilha de São Sebastião, abaixo da isóbata de 50m, observam-se uma grande área de sedimentos finos, especialmente areias e siltes argilosos, sendo que, abaixo da isóbata de 110m, os sedimentos voltam a apresentar um caráter mais arenoso. Depósitos lagunares costeiros localizados na plataforma média, entre Santos e o Arroio Chuí, constituem uma extensa fácies lamosa com predominância de silte e argila (ROCHA *et al.*, 1975 *apud* KOWSMANN & COSTA, 1979). Ao sul de Santos, as lamelas aproximam-se do talude continental, enquanto ao norte de Florianópolis avançam até a plataforma interna. Entre Santos e Cabo Frio a ocorrência já não é

tão contínua, embora essas lamas ainda mantenham o caráter de unidade faciológica destacada.

O teor de lama nos sedimentos aumenta, significativamente, à medida que se afasta da costa em direção a zonas mais profundas. Ao longo da isóbata de 70m, o teor de lama dos sedimentos de fundo já é maior do que 50%. Do mesmo modo, amostras coletadas na plataforma ao longo do estado do Paraná, apesar de poucas, sugerem um aumento gradativo no teor de CaCO₃ com a profundidade. Ao longo da costa do Paraná e Santa Catarina, as areias da plataforma interna são quartzosas, bem selecionadas e ricas em material biodetrítico. Nas enseadas, predominam silte e areia muito fina.

Caracterização Geotécnica

Ao longo da plataforma continental, pode-se considerar o assoalho submarino como sendo essencialmente estável, com os movimentos de massa, de origem gravitacional, ocorrendo, em geral, em zonas de quebra da plataforma, talude continental e sopé continental.

Movimentos de massa se referem a todos os processos de ressedimentação, que movem sedimentos de águas rasas para águas profundas sobre o assoalho oceânico. Direcionados por forças gravitacionais, esses movimentos abrangem desde deslizamentos submarinos de grandes blocos de sedimentos até correntes de turbidez, passando por fluxos de detritos.

Esteves (1996) ressalta o caráter contínuo dos processos de deslizamento e fluxo, enfatizando que o processo inicial da instabilidade dos sedimentos pode estar ligada a diversos fatores sin e pós-deposicionais, tais como: alta taxa de sedimentação, acumulação de gás nos poros dos sedimentos, gradiente excessivo, bioturbação, diapirismo de sal e de lama, etc.

Silva *et al.* (1999), através de levantamentos sísmicos de alta resolução (3,5KHz), identificaram, preferencialmente no Domínio do Talude Continental, feições de movimentos de massa atuantes na região centro-sul da Bacia de Santos. Ressalta-se que a região Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás na Área de Tupi, está situada fora deste Domínio, deste modo está integralmente inserida no Domínio do Platô Marginal (**Figura II.5.1.4.A-1**).

De acordo com o Setor de Geodésia da PETROBRAS não existem registros de que a atividade de exploração e produção tenha causado instabilidade no fundo marinho em toda a margem continental brasileira. Não existem indícios de rastejo (*creep*) provocado pelas atividades de exploração e produção nos poços da Bacia de Santos.

B) Mapa Batimétrico/faciológico

O Mapa Batimétrico/faciológico regional referente à região do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás na Área de Tupi, bem como as feições geomorfológicas estão apresentadas no **Mapa II.5.1.4-1** ao final dessa seção.

C) Caracterização geológica e geomorfológica da região do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás na Área de Tupi

Geologia estrutural

A região do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás na Área de Tupi, está localizada na porção sudoeste do Platô de São Paulo, no limite das sub-bacias denominadas de Embaiamento Norte e Embaiamento Sul, estando situada na Zona de Transferência de Curitiba (**Mapa II.5.4-2**).

As espessuras de Rifte podem atingir até 4 Km, sendo que os depocentros formam uma trama em xadrez dos prismas formados pelos blocos de meio-graben preenchidos, intercalados por horsts. A grande maioria dos falhamentos da fase rifte desaparece na seqüência transicional (evaporitos do Aptiano) e na seqüência pós-sal (sedimentos marinhos).

Com relação à tectônica salífera, a área está posicionado dentro do domínio compressional, com predomínio de grandes paredes de sal e mini-bacias na sua porção noroeste e diápiros e estruturas compressionais com dobras assimétricas na porção sudeste. Os domos nesta área chegam a ser perfurantes em relação às seqüências posteriores, mas não chegam a aflorar no fundo do mar. Em contrapartida, uma serie de pequenas falhas sobre as cristas dos domos, geradas

pela movimentação ascendente do sal, afetam o fundo oceânico, formando grandes lineamentos de direção predominantemente NE-SW (**Figura II.5.1.4.C-1**).

A movimentação do sal resultou numa série de estruturas que controlaram a deposição das areias em águas mais profundas. Os principais alvos exploratórios nesta área são a associação da presença de rochas reservatórios junto às *estruturas resultantes da tectônica salífera*.

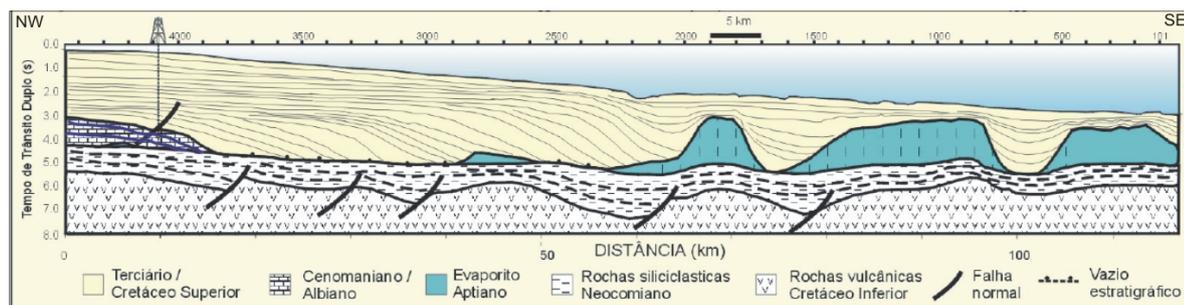


Figura II.5.1.4.C-1- Seção sísmica na Bacia de Santos, ilustrando feições halocinéticas relacionadas à progradação clástica maciça, formando diápiros de sal em águas profundas.

Fonte: Modificado de Mohriak et al, 1995b.

Estratigrafia

Na região do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás na Área de Tupi, a estratigrafia é representada pelas seguintes fácies sedimentares:

- Os sedimentos de idade Terciária (Formação Marambaia) são representados por uma espessa seção argilitos e folhelhos com algum arenito fino intercalado.
- Os sedimentos de idade Senoniano (Fácies Itajaí predominantemente) caracterizados por espessa seção pelítica de idade cenomaniana e maastrichtiana.
- Sedimentos de idade Albiano/Cenomaniano representados por folhelhos, margas e calcilutitos de ambiente distal (Fácies Itanhaém e Guarujá).
- Seqüência Evaporítica Aptiana (Formação Ariri).

- Calcilutitos e coquinas do topo da seqüência rifte correlatas as coquinas reservatórios da Formação Lagoa Feia (Bacia de Campos) sobrepostos à folhelhos e arenitos da Formação Guaratiba.
- Basaltos da Formação Camboriú

Unidades fisiográficas do assoalho marinho

A região do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás na Área de Tupi está integralmente inserida no Domínio Fisiográfico Platô Marginal (Platô de São Paulo), com batimetria variando entre 2.100 m e 2.200 m, com ocorrência de pequenos topos de 2.090 m. O gasoduto se estende do Platô de São Paulo até a Plataforma Continental, atravessando toda a extensão do Talude Continental.

A fisiografia da área é caracterizada por relevo pouco movimentado com declividade média variando de 0 a 3%. Este gradiente aumenta em direção à porção centro-sul da região do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás na Área de Tupi onde estão situados os poços P-5, P-6 e I-2 onde ocorrem declividades de até 6%, devido a irregularidades do fundo marinho. O relevo é marcado pela presença de cristas (*sediment ridges*), grábens (*crestal grabens*) e bacias (*salt mini basins*).

Descrição dos sedimentos de fundo

Com base no mapa batimétrico/faciológico (**Mapa II.5.1.4-1**) e nas poucas amostras descritas e interpretadas na literatura dessa região, pode-se observar que a região do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás na Área de Tupi encontra-se no Domínio de Oceano Profundo, estando inserida na Unidade Faciológica Hemipelágicos, onde o terreno é predominantemente lamoso, constituídos de folhelhos e argilitos.

Localmente o pacote sedimentar é constituído por espessa cobertura de lama normalmente adensada constituída de argila e silte, eventualmente intercaladas por camadas arenosas delgadas.

Zonas com sub-afloramentos e afloramentos de lama sobreadensada, de geometria alongada com orientação NE–SW, ocorrem associados a camadas mais profundas soerguidas, ou a planos de falha geológica superficiais (**Figura**

II.5.1.4.C-2). Nestes locais o pacote de lama é inexistente ou apresenta menos de 40m de espessura.

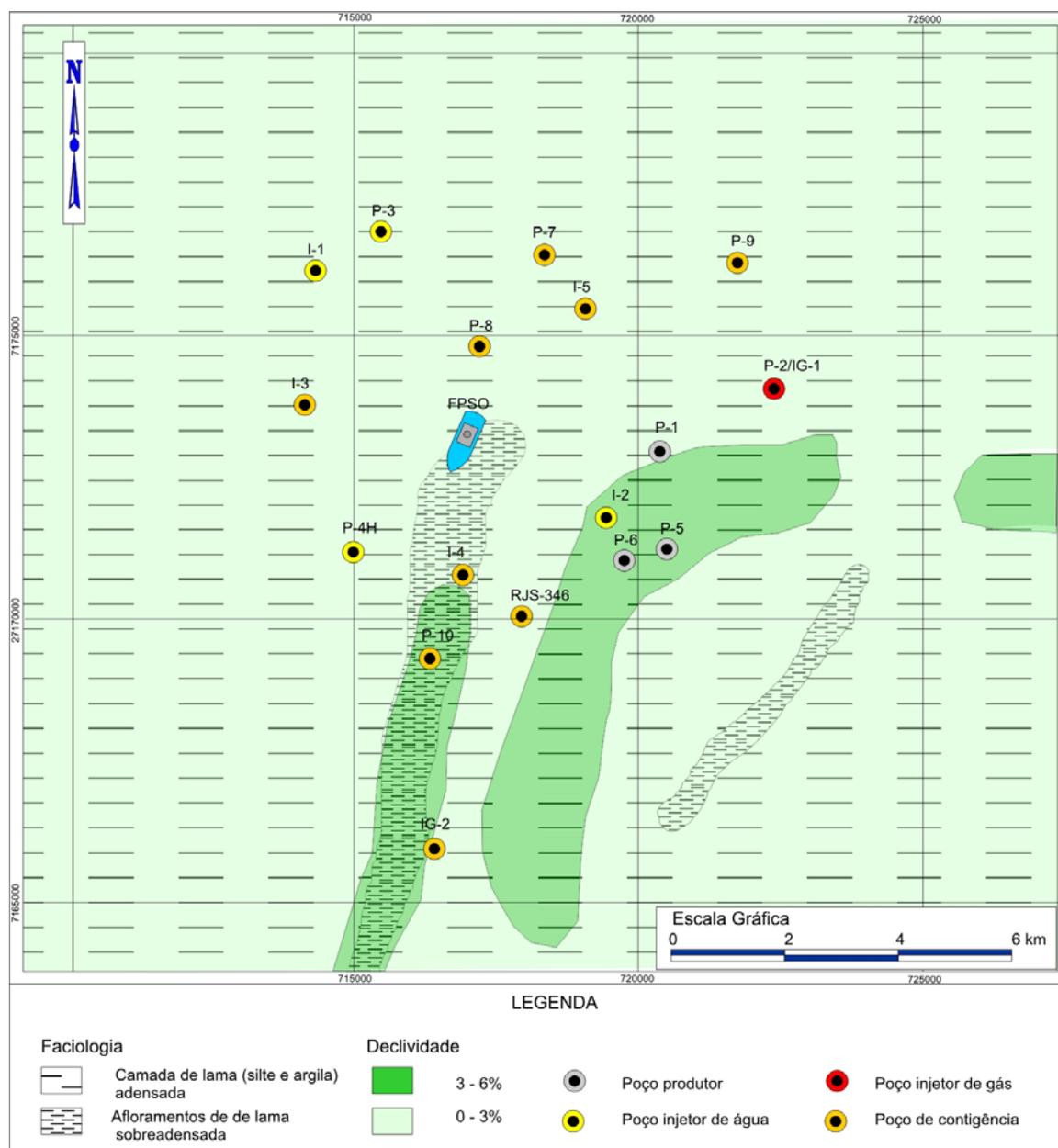


Figura II.5.1.4.C-2 – Mapa de Faciologia e Declividade da região do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento na Área de Tupi.

Fonte: Modificado de Petrobras, 2008.

Caracterização Geotécnica

A região do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento na Área de Tupi encontra-se totalmente inserida no Platô Marginal, em área de relevo pouco movimentado.

Nesta área o fundo do mar é constituído por cobertura de lama adensada, apresentando aumento linear da resistência à penetração com o aumento da profundidade.

D) Caracterização geológica e geomorfológica da rota do gasoduto Tupi–Mexilhão

A rota do gasoduto Tupi–Mexilhão se estenderá por 216 km para NW, partindo do FPSO Cidade de Angra dos Reis situado na unidade fisiográfica platô marginal (Platô de São Paulo) em direção ao Campo de Mexilhão, situado próximo ao limite das unidades fisiográficas talude continental e plataforma continental (**Mapas II.5.1.4-2 e II.7.1.6.1.1-1**).

Ao longo das unidades fisiográficas, rota do Gasoduto Tupi–Mexilhão apresenta características distintas. Sobre o Platô de São Paulo a rota se estende por cerca de 110 km, com gradientes de declividades apresentando a mesma variação da área do Piloto do Sistema de Produção, de 3% à 6%. Neste trecho o pacote sedimentar é composto essencialmente por lama constituída de silte e argila.

No Domínio do Talude Continental encontramos gradientes mais elevados, variando de 12% à 60% de declividade. Ao longo da rota do gasoduto os sedimentos vão gradando de fácies lama no limite com o platô marginal para fácies arenosa em direção à plataforma.

No trecho situado entre os km 110 e 162 o pacote sedimentar é constituído por lama. A partir deste ponto ocorrem pacotes constituídos por areia biodetrítica com formações carbonáticas por uma extensão de 13 km (entre os km 162 e 175), voltando a aflorar sedimentos lamosos constituídos de argila e silte até o km 175.

Deste ponto até o final da rota, os sedimentos são constituídos por areia biodetrítica com ocorrências localizadas de formações carbonáticas e de pequenos pacotes sedimentares constituídos de areias clásticas. No trecho situado entre os kms 199 e 209 foram identificadas ocorrências de estruturas do tipo *pockmark*.