

## **II.5.1 - MEIO FÍSICO**



## II.5.1 - Meio Físico

### II.5.1.1 - Meteorologia

A Bacia de Santos é uma bacia sedimentar localizada na plataforma continental brasileira. Limita-se a norte com a Bacia de Campos, através do Alto de Cabo Frio e, a sul, com a Bacia de Pelotas através do alto de Florianópolis. Do ponto de vista meteorológico, esta é uma região de transição dos climas das regiões Sul e Sudeste do Brasil.

A seguir, são apresentadas as análises para diversos parâmetros meteorológicos, visando à caracterização meteorológica da região. Procurou-se, sempre que havia dados disponíveis, apresentar as análises tanto para a Área do Pré-Sal quanto para pontos mais ao sul, passíveis de sofrerem impactos das atividades previstas. Os dados meteorológicos utilizados neste estudo incluem:

- INMET<sup>1</sup> (estação de Florianópolis): temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), precipitação (PPT), evaporação (Ev), umidade relativa (UR), pressão atmosférica (P) e insolação (I);
- METAR<sup>2</sup> (estação Florianópolis): vento;
- PB/Oceanop: vento;
- GPCP<sup>3</sup>: precipitação;
- Reanálises do NCEP<sup>4</sup>: temperatura do ar, umidade relativa, pressão ao nível do mar e vento (PNM).

A **Tabela II.5.1-1**, apresentada a seguir, indica a localização e o período de amostragem dos dados ilustrados na **Figura II.5.1.1-1**. Os dados observados em superfície na estação de Florianópolis (METAR e INMET) foram utilizados nessa

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Meteorologia

<sup>2</sup> METeological Aerodrome Report

<sup>3</sup> Global Precipitation Climatology Project, do Goddard Space Flight Center – NASA ([http://precip.gsfc.nasa.gov:80/gpcp\\_v2\\_comb\\_new.html](http://precip.gsfc.nasa.gov:80/gpcp_v2_comb_new.html)).

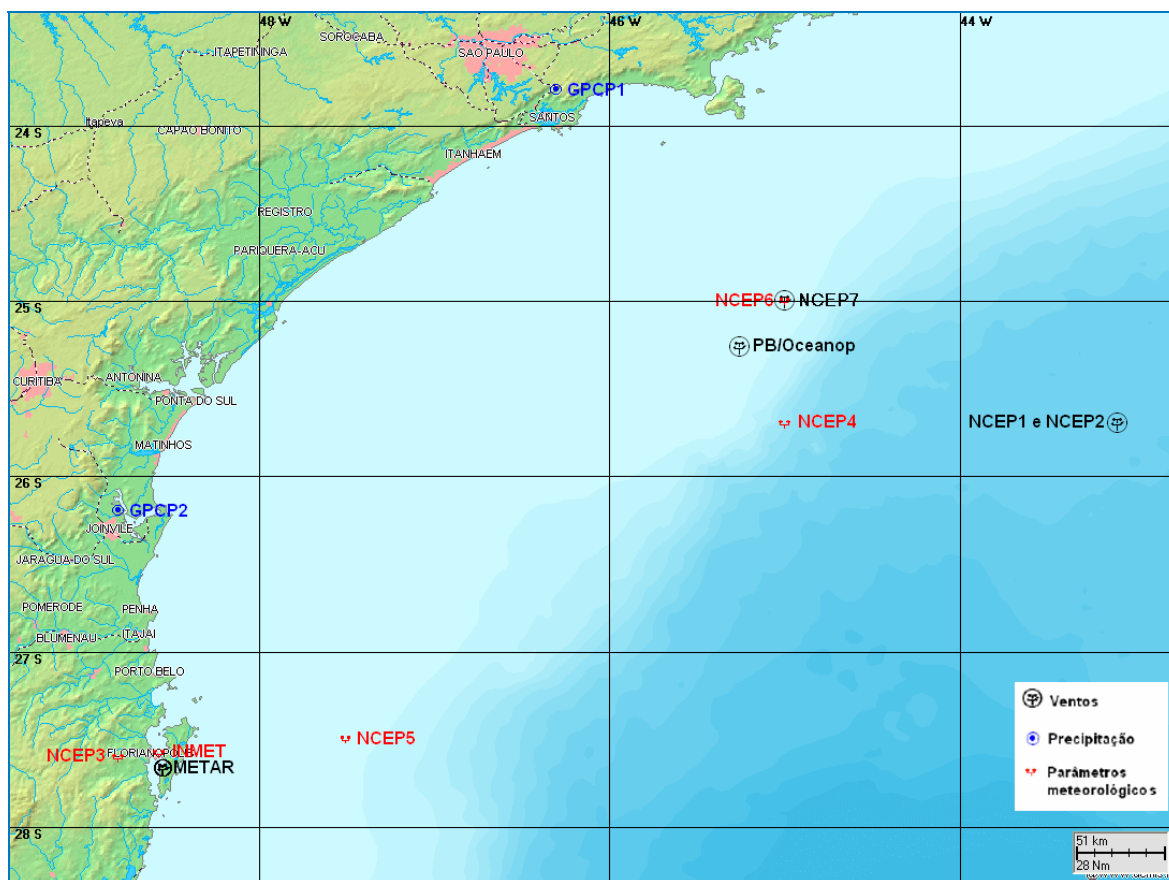
<sup>4</sup> National Center for Environmental Prediction, do National Center for Atmospheric Research (NCAR)

caracterização meteorológica por serem os dados disponíveis publicamente mais próximos da região em estudo. Para comparação com os dados de Florianópolis foram utilizados os pontos de reanálise de NCEP e precipitação do GPCP mais próximos (NCEP3, NCEP5 e GPCP2).

**Tabela II.5.1-1 - Informações para as estações de medição de vento e parâmetros meteorológicos.**

Parâmetros	Dado	Coordenadas		Período
		Latitude (S)	Longitude (W)	
Vento	METAR/Florianópolis	27°40,00'	48°33,00'	1-jan-2006 a 31-dez-2006
	Vento PB/Oceanop	25°15'57,40"	45°15'14,00"	10-out-2005 a 12-abr-2007
	NCEP1 (Vento 10 m)	25,70°	43,10°	1-jan-1980 a 31-dez-2009
	NCEP2 (Vento 10 m)	25,70°	43,10°	1-jan-2006 a 31-dez-2006
	NCEP7 (Vento 925 hPa)	25,00°	45,00°	1-jan-1980 a 31-dez-2009
Parâmetros Meteorológicos	INMET (T <sub>ar</sub> , UR, Ev, I, PPT e P)	27,58°	48,57°	1961 a 1990
	NCEP3 (T <sub>ar</sub> )	27,60°	48,80°	1948 a 2008
	NCEP4 (T <sub>ar</sub> )	25,70°	45,00°	1948 a 2008
	NCEP5 (UR e PNM)	27,50°	47,50°	1948 a 2008
	NCEP6 (UR e PNM)	25,00°	45,00°	1948 a 2008
	GPCP1 (Precipitação)	23,80°	46,30°	1979 a 2007
	GPCP2 (Precipitação)	26,20°	48,80°	1979 a 2007



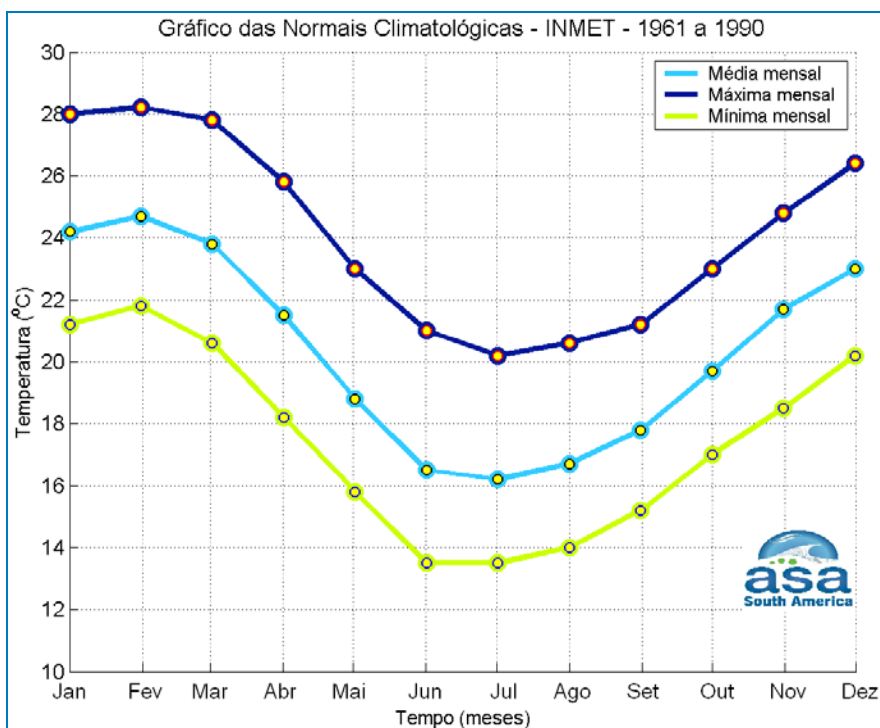


**Figura II.5.1.1-1** - Mapa com a localização dos parâmetros meteorológicos analisados.

### II.5.1.1.1 - Temperatura do Ar

A **Figura II.5.1.1-2** apresenta a climatologia das temperaturas do ar média, máxima e mínima na porção sul da Bacia de Santos, de acordo com dados medidos na estação do INMET<sup>5</sup> em Florianópolis. Observa-se que janeiro, fevereiro e março são os meses mais quentes (médias em torno de 24 °C), enquanto que junho, julho e agosto são os meses mais frios (médias em torno de 17 °C). Este padrão segue a sazonalidade da radiação solar, de acordo com as estações do ano, e não apresenta uma variação muito pronunciada ao longo do ano, característico de regiões subtropicais.

<sup>5</sup> Instituto Nacional de Meteorologia.

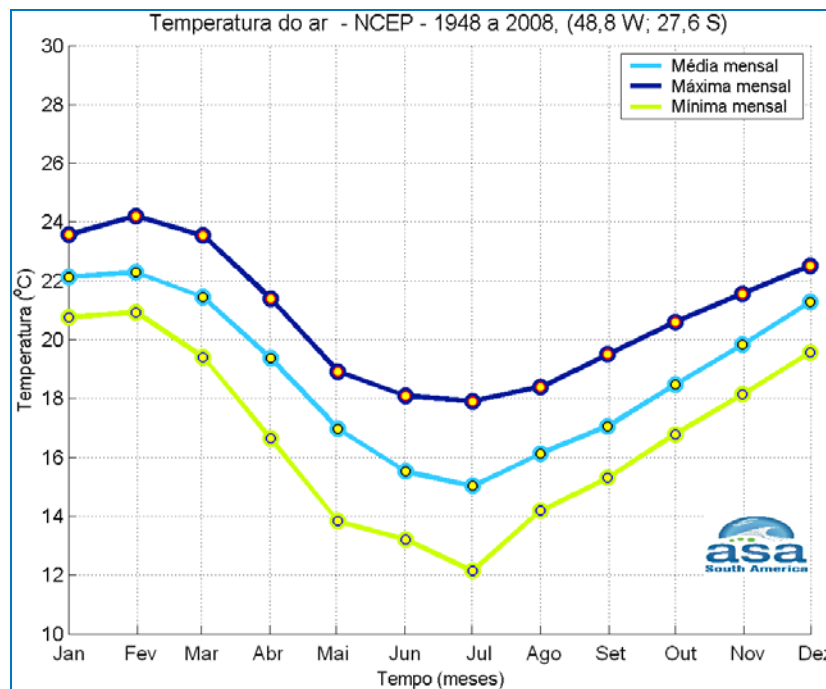


**Figura II.5.1.1-2** - Climatologia da temperatura média, máxima e mínima mensal (1961 a 1990) para Florianópolis do INMET.

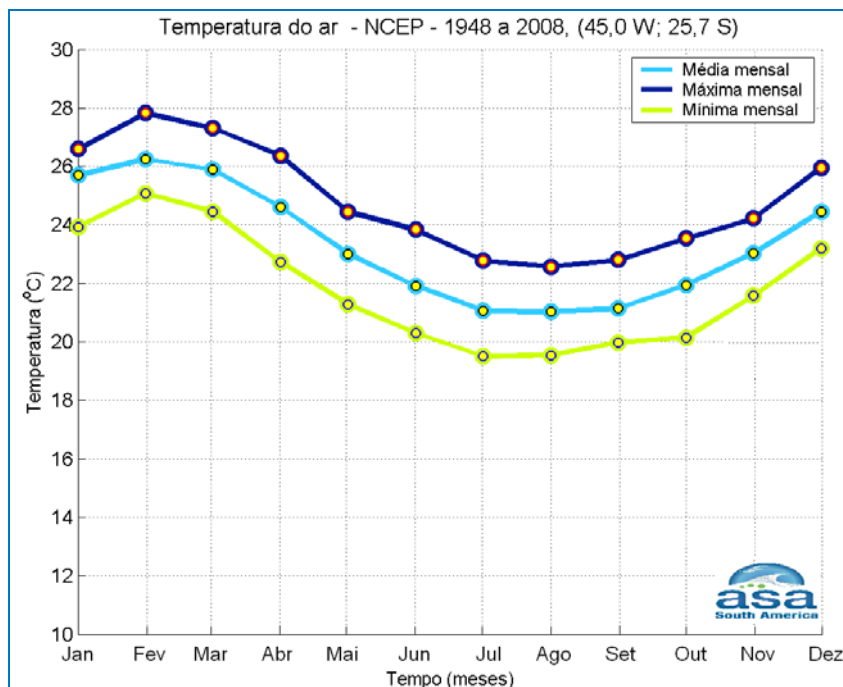
A **Figura II.5.1.1-3** e a **Figura II.5.1.1-4** apresentam as climatologias das temperaturas do ar média, máxima e mínima, de acordo com resultados de reanálise do NCEP<sup>6</sup>, para a costa de Santa Catarina (NCEP3) e para a região central da Bacia de Santos (NCEP4). O ciclo sazonal de ambas as regiões apresenta variabilidade semelhante à observada em Florianópolis.

A região mais ao norte apresenta temperaturas ligeiramente superiores: médias em torno de 26 °C nos meses mais quentes, e em torno de 21 °C nos meses mais frios. Para a posição mais ao sul, os valores médios de verão e inverno são, respectivamente, 22 °C e 15 °C. É importante ressaltar que os dados de reanálise do NCEP possuem baixa resolução espacial, portanto, representam uma média sobre uma grande área e não são capazes de reproduzir as características locais das regiões analisadas.

<sup>6</sup> National Center for Environmental Prediction do National Center for Atmospheric Research.



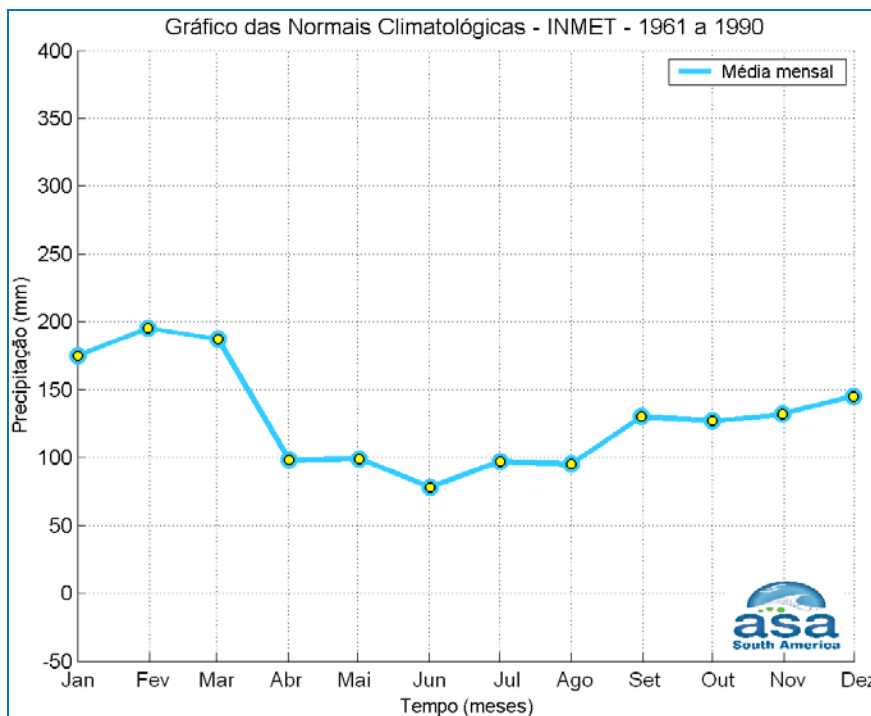
**Figura II.5.1.1-3** - Climatologias das temperaturas média, mínima e máxima mensal (1948 a 2008) para o NCEP3.



**Figura II.5.1.1-4** - Climatologias das temperaturas média, mínima e máxima mensal (1948 a 2008) para o NCEP4.

### II.5.1.1.2 - Precipitação

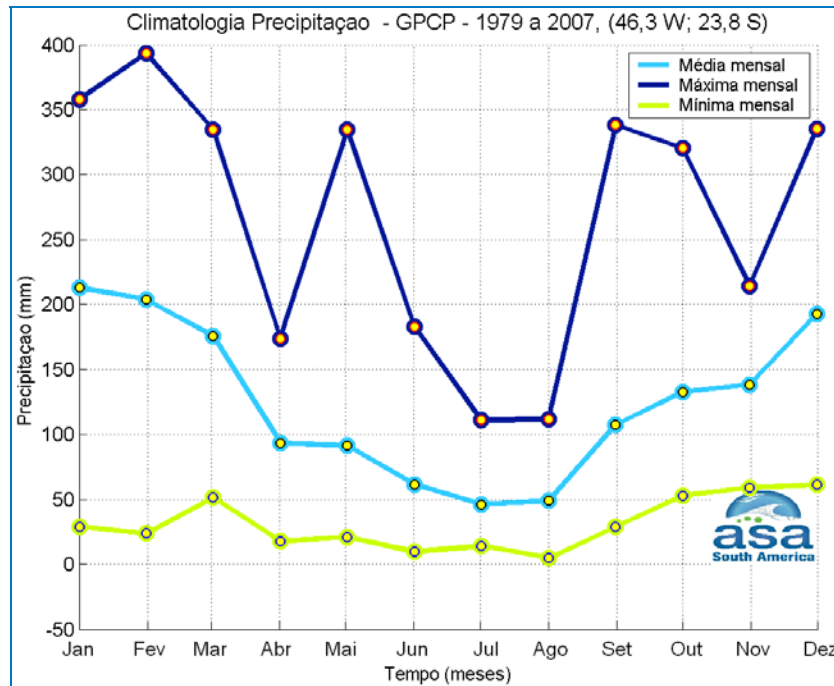
A **Figura II.5.1.1-5** apresenta a climatologia da precipitação média na porção sul da Bacia de Santos, de acordo com dados medidos na estação do INMET em Florianópolis. Observa-se que janeiro, fevereiro e março são os meses mais chuvosos (médias em torno de 180 mm), enquanto que o período de abril a agosto é o mais seco (médias em torno de 85 mm).



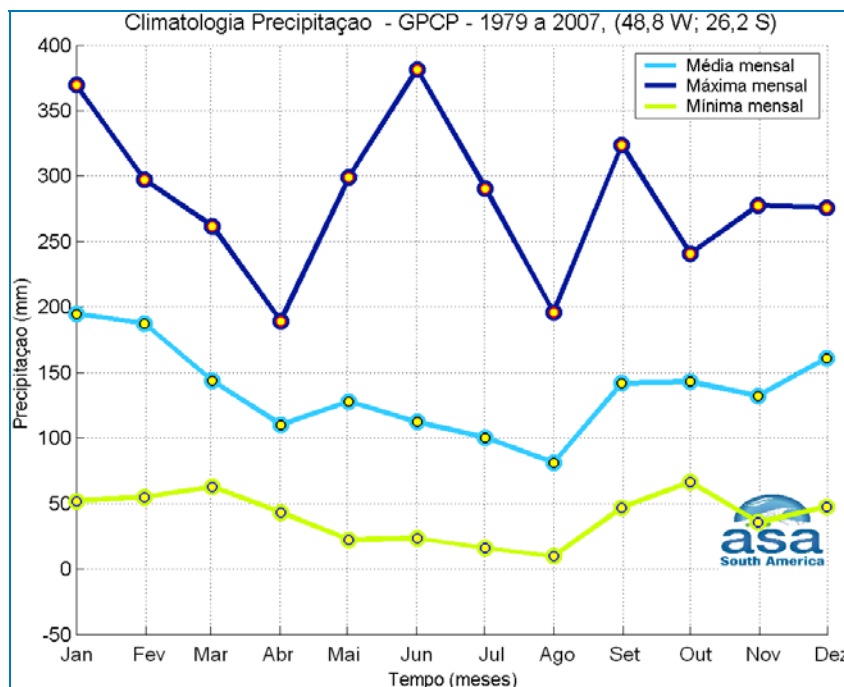
**Figura II.5.1.1-5** - Climatologia da precipitação média mensal (1961 a 1990) para Florianópolis, de acordo com o INMET.

A **Figura II.5.1.1-6** e a **Figura II.5.1.1-7** apresentam as climatologias da precipitação média, máxima e mínima para o litoral de São Paulo (GPCP1) e para o litoral de Santa Catarina (GPCP2), de acordo com dados do GPCP.

Em ambas as figuras observa-se que, em média, o trimestre mais seco é junho-julho-agosto e o mais chuvoso é dezembro-janeiro-fevereiro. Estes períodos estão ligeiramente deslocados com relação aos dados de Florianópolis, principalmente a estação chuvosa que se inicia antes nos dados do GPCP. Os dados de precipitação do GPCP possuem baixa resolução espacial e uma região representada por estes dados pode conter diversos regimes de precipitação.



**Figura II.5.1.1-6 - Climatologia da precipitação média, mínima e máxima mensal (1979 a 2007) para o GPCP1.**



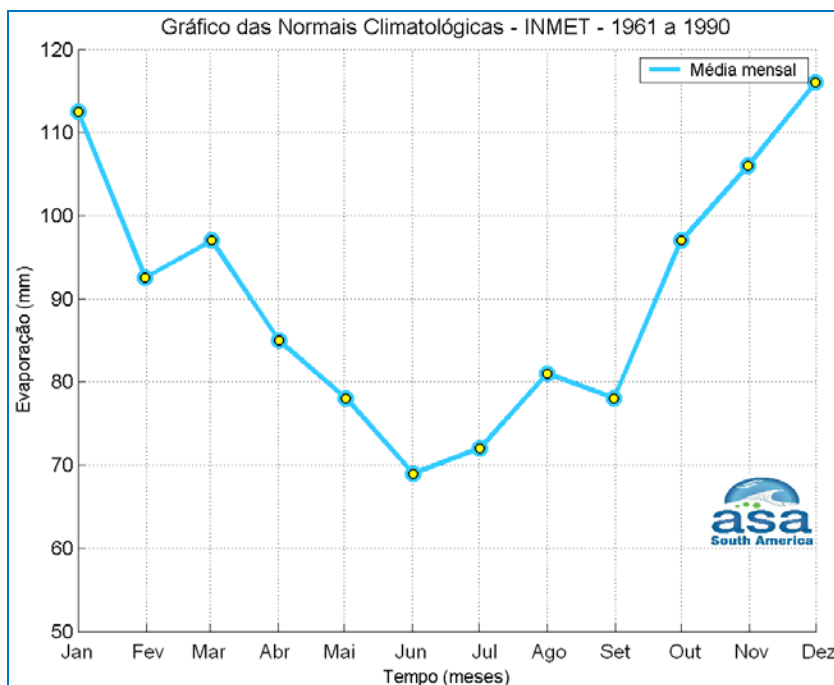
**Figura II.5.1.1-7 - Climatologia da precipitação média, mínima e máxima mensal (1979 a 2007) para o GPCP2.**

O padrão de precipitação da Bacia de Santos está inserido na transição dos regimes de precipitação das regiões Sul e Sudeste. No verão, ambas as regiões possuem altas taxas de precipitação associadas à Zona de Convergência do

Atlântico Sul (ZCAS) e ao aumento do transporte de umidade neste período (Kodama, 1982a; Kodama, 1982b; Quadro & Abreu, 1994). Entretanto, no inverno, a região sul apresenta um volume de precipitação acumulada bastante significativo devido ao elevado número de sistemas frontais que atingem esta região. Na região Sudeste a estação seca é melhor definida com menores volumes de precipitação acumulada do que a região Sul.

### II.5.1.1.3 - Evaporação

A **Figura II.5.1.1-8** apresenta a climatologia da evaporação média mensal, na porção sul da Bacia de Santos, de acordo com dados medidos na estação do INMET em Florianópolis (único conjunto disponível de dados de evaporação confiáveis). Observa-se que novembro, dezembro e janeiro são os meses em que ocorre maior evaporação (médias em torno de 110 mm), enquanto que maio, junho e julho são os meses em que ocorre menor evaporação (médias em torno de 75 mm). Este padrão é similar ao da temperatura do ar, que também responde diretamente à variação da radiação solar incidente.

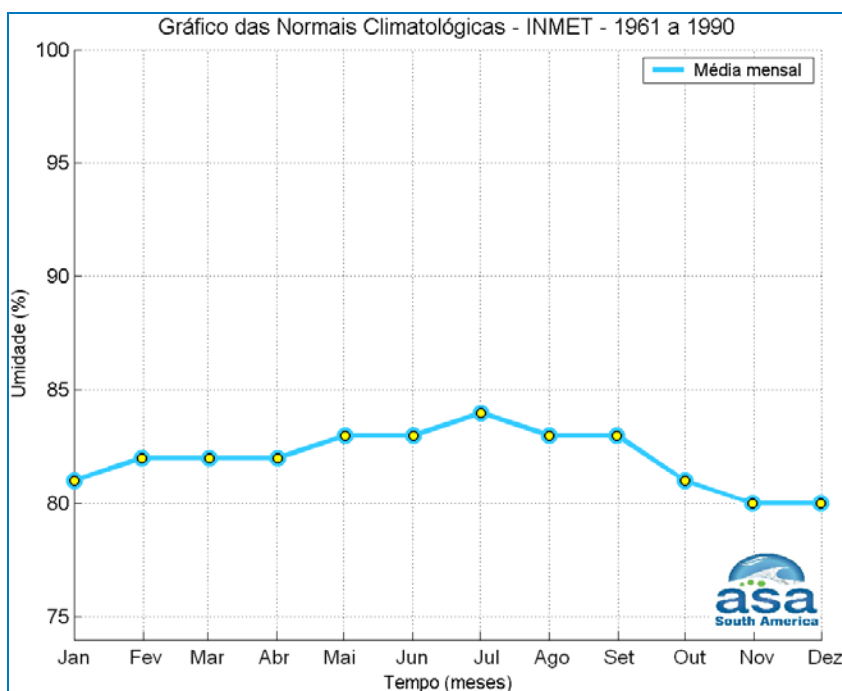


**Figura II.5.1.1-8** - Climatologia da evaporação média mensal (1961 a 1990) para Florianópolis, de acordo com o INMET.



#### II.5.1.1.4 - Umidade Relativa do Ar

A **Figura II.5.1.1-9** apresenta a climatologia da umidade relativa média mensal, na porção sul da Bacia de Santos, de acordo com dados medidos na estação do INMET em Florianópolis. Observa-se que, neste local, os valores de umidade relativa variam pouco, entre 80 e 84%, atingindo o máximo no inverno (julho). Este máximo em julho pode ser justificado pelo fato da precipitação durante o inverno ser mais estratiforme e frontal (podendo persistir por alguns dias), o que mantém os valores de umidade ligeiramente mais elevados do que no verão, quando as chuvas são mais convectivas e ocorrem principalmente no período da tarde. Apesar dos sistemas frontais serem fenômenos de escala sinótica, as condições de umidade durante sua passagem são bastante influenciadas por características locais, como no caso de Florianópolis. Portanto, este padrão obtido pode não ser o típico quando for considerada uma região mais abrangente.

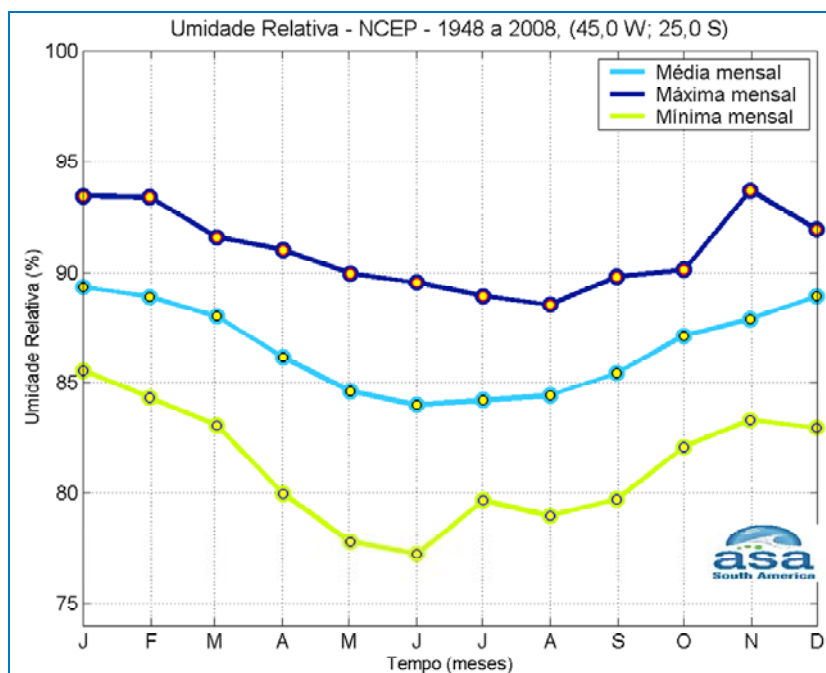


**Figura II.5.1.1-9** - Climatologia da média mensal para umidade relativa do ar (1961 a 1990) em Florianópolis, de acordo com o INMET.

A reanálise do NCEP na região central da Bacia de Santos (NCEP6, **Figura II.5.1.1-10**) indica valores médios entre 84 e 90%, com valores máximos nos meses

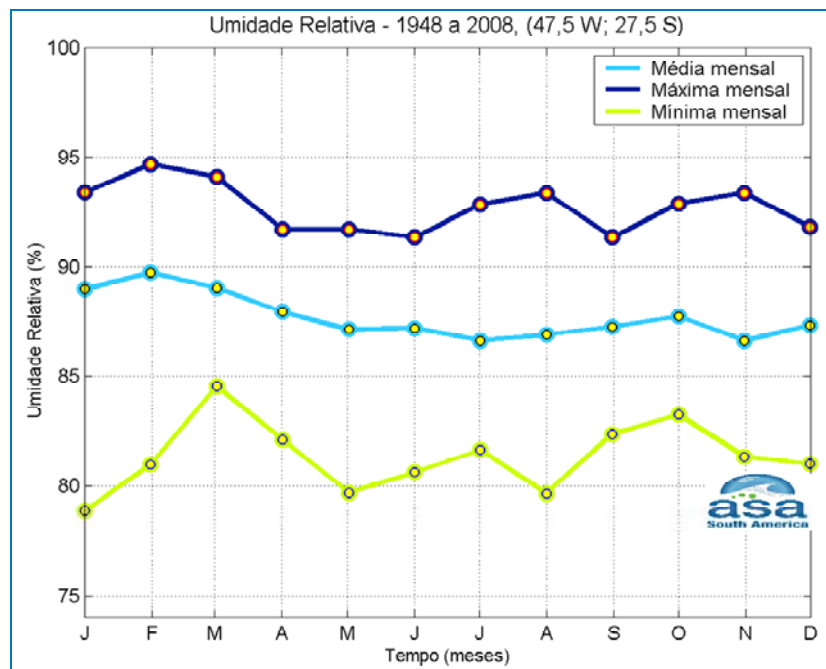
de verão, quando a evaporação e o transporte de umidade são maiores. Na região sul da Bacia de Santos (NCEP5), a reanálise do NCEP (**Figura II.5.1.1-11**) também apresenta valores bastante elevados durante todo ano, porém com menor variação sazonal, devido a maior passagem de sistemas frontais nessa região.

Os dados de reanálise do NCEP apresentam uma pequena diferença na sazonalidade, mas as duas regiões analisadas apresentam o máximo de umidade relativa no verão, enquanto os dados do INMET de Florianópolis indicam o máximo desta variável no inverno. Os dados do NCEP possuem baixa resolução espacial, sendo representativos de uma grande área e respondem principalmente a fenômenos de grande escala, como a atuação da ASAS, passagem de sistemas frontais e eventos de ZCAS. Os dados do INMET além de serem influenciados por fenômenos de grande escala, também respondem a diversos fatores locais, como a topografia, o tipo da superfície e circulação de brisa. Os fatores locais são muito importantes na determinação da umidade observada e por este motivo verifica-se uma diferença na sazonalidade dos dados do INMET e de reanálise do NCEP.



**Figura II.5.1.1-10** - Climatologia da média mensal para umidade relativa do ar (1948 a 2008) na região central da Bacia de Santos, de acordo com o NCEP (NCEP6).

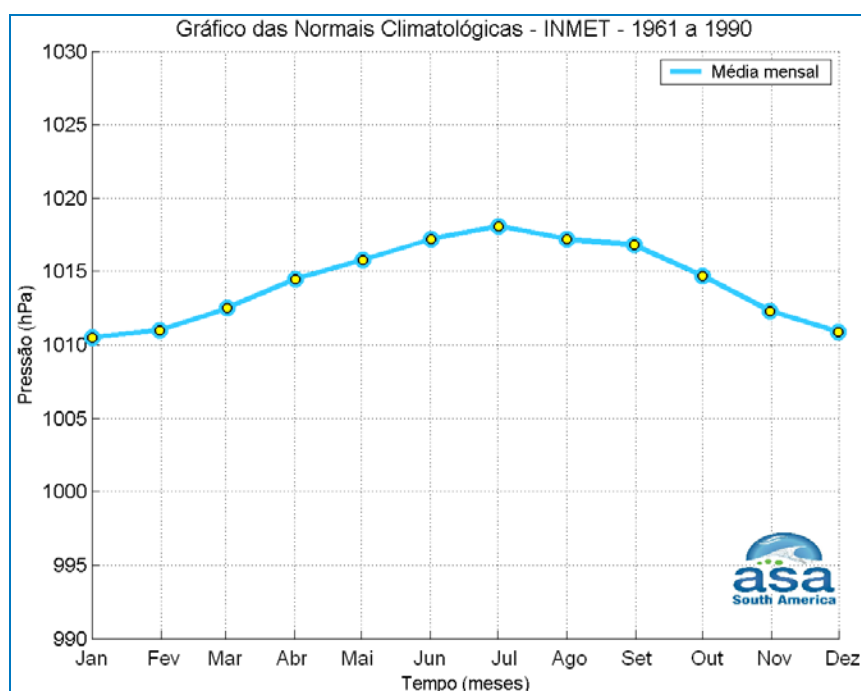




**Figura II.5.1.1-11** - Climatologia da média mensal para umidade relativa do ar (1948 a 2008) na região sul da Bacia de Santos, de acordo com o NCEP (NCEP5).

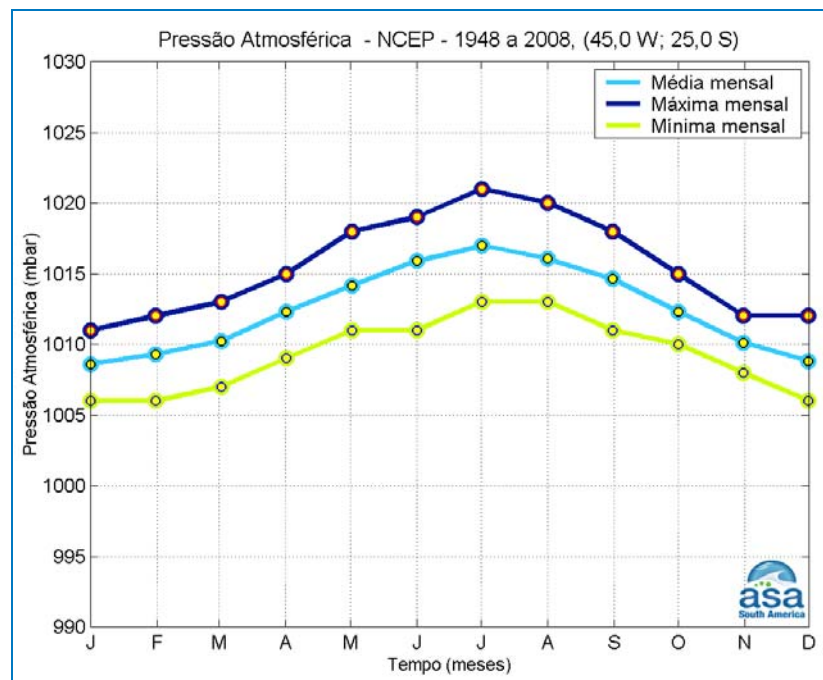
#### II.5.1.1.5 - Pressão Atmosférica

A **Figura II.5.1.1-12** apresenta a climatologia da pressão atmosférica média mensal, na porção sul da Bacia de Santos, de acordo com dados medidos na estação do INMET em Florianópolis. Observa-se que neste local, os valores variam de 1010,5 a 1018 hPa, atingindo o máximo no inverno (julho).

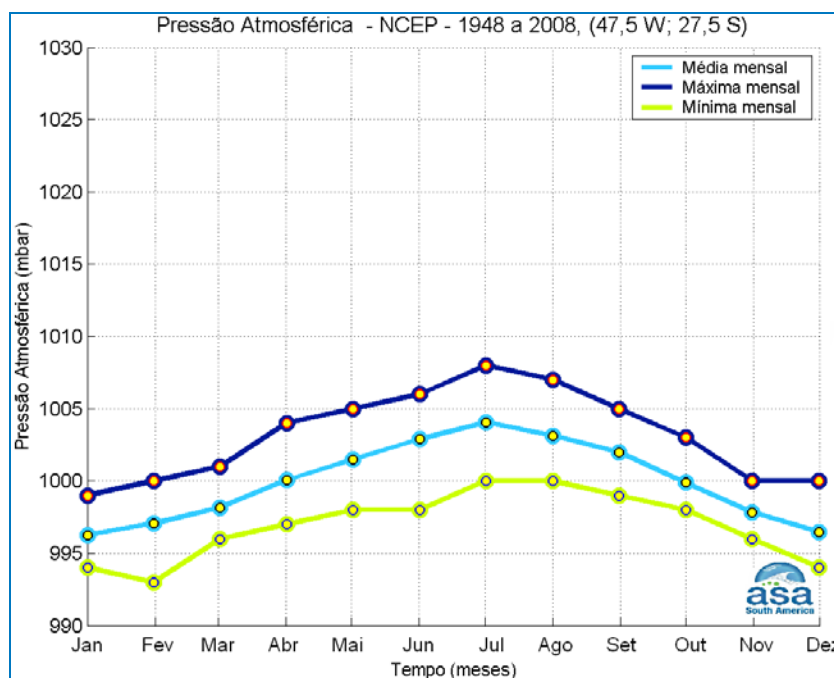


**Figura II.5.1.1-12 - Climatologia da média mensal para pressão atmosférica (1961 a 1990) em Florianópolis, de acordo com o INMET.**

A climatologia da pressão no nível do mar para os dados de reanálise do NCEP tanto para a porção sul (NCEP5), quanto para a porção central (NCEP6) da Bacia de Santos (**Figura II.5.1.1-13** e **Figura II.5.1.1-14**) também apresentam valores máximos durante o inverno e mínimos durante o verão. Esse padrão é coerente com a variação da temperatura, uma vez que seu aumento implica em uma redução da densidade e conseqüente redução da pressão durante o verão (situação oposta ocorre durante o inverno). A porção central da Bacia de Santos apresenta valores de pressão mais elevados do que a porção sul, pois região ao norte sofre maior influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). A ASAS é um sistema semipermanente de alta pressão atmosférica, induzido pela circulação global (célula de Hadley). Este sistema atmosférico apresenta uma migração sazonal, sendo mais intensa e com centro localizado mais ao norte e mais próximo à costa durante o inverno (e com padrão contrário sendo observado durante o período de verão). Este sistema é o padrão dominante no Oceano Atlântico subtropical, com influência também sobre a circulação continental na região.



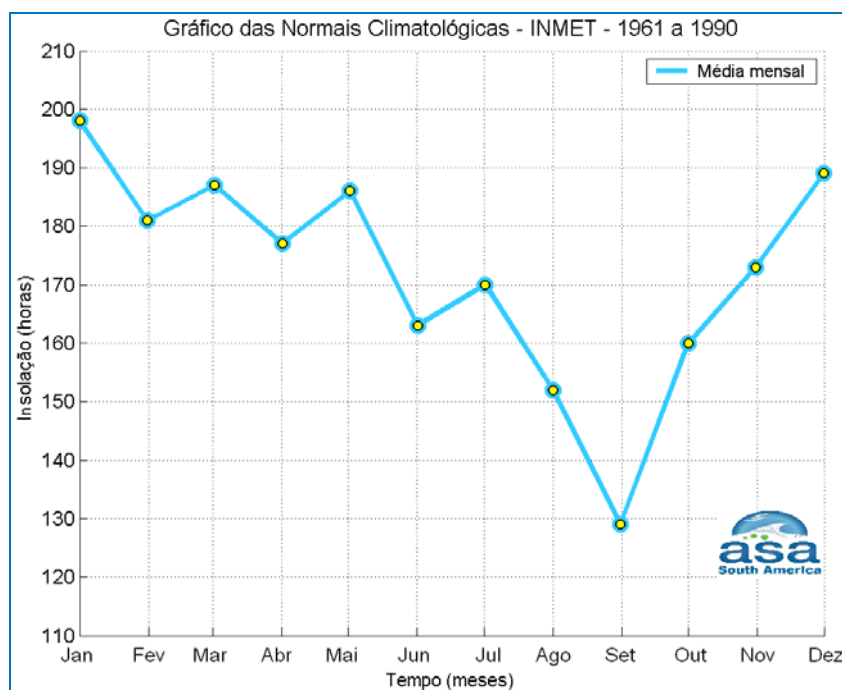
**Figura II.5.1.1-13** - Climatologia da média mensal para pressão atmosférica (1948 a 2008) na região central da Bacia de Santos, de acordo com o NCEP (NCEP6).



**Figura II.5.1.1-14** - Climatologia da média mensal para pressão atmosférica (1948 a 2008) na região sul da Bacia de Santos, de acordo com o NCEP (NCEP5).

### II.5.1.1.6 - Insolação

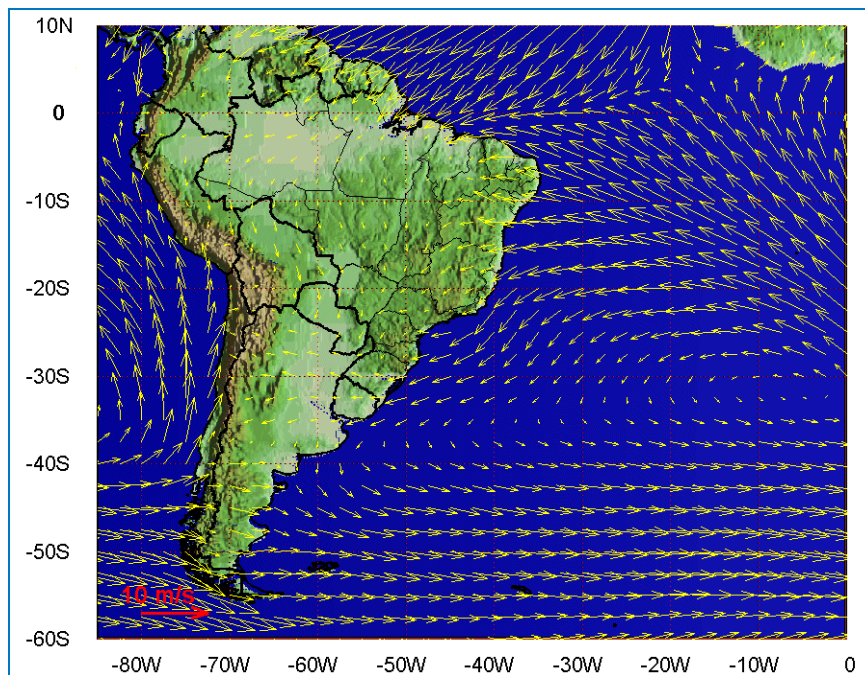
A **Figura II.5.1.1-15** apresenta a climatologia da insolação média mensal, na porção sul da Bacia de Santos, de acordo com dados medidos na estação do INMET em Florianópolis (único conjunto disponível de dados de insolação confiáveis). Observa-se que, neste local, a quantidade média de horas de incidência direta do sol por mês é maior nos meses de verão, com máximo em janeiro e mínimo em setembro. Este padrão segue a sazonalidade da radiação solar e é influenciado pela cobertura de nuvens, por este motivo o máximo de insolação ocorre no verão. A insolação mínima observada ocorre na primavera, pois apesar de haver um aumento da radiação solar com relação ao inverno, esta é a estação que apresenta o maior número de passagens de sistemas frontais, provocando aumento da nebulosidade e consequente redução da insolação.



**Figura II.5.1.1-15** - Climatologia da média mensal para insolação (1961 a 1990) em Florianópolis, de acordo com o INMET.

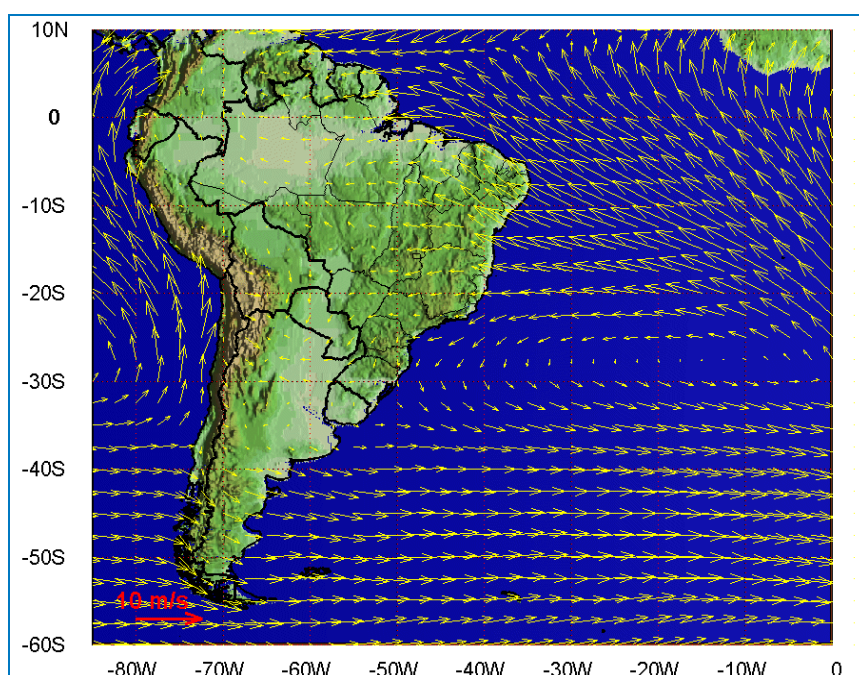
### II.5.1.1.7 - Regime de Ventos

A circulação atmosférica da região de interesse é dominada pela ação da ASAS, pela passagem de sistemas frontais e por circulações locais. Nesta região, a variabilidade sazonal no padrão do vento, associada ao deslocamento da ASAS, é caracterizada pelo predomínio de ventos de NE no verão e ventos de ENE no inverno. Este padrão é ilustrado na **Figura II.5.1.1-16** e na **Figura II.5.1.1-17**, que apresentam o comportamento sazonal da circulação atmosférica obtida através da média de 12 anos (1990 – 2001) de reanálise do modelo de circulação geral do NCEP. Nessa análise foram utilizados dados de vento na altura de 10 m. Observa-se a mudança do posicionamento sazonal da ASAS e conseqüentemente mudança no padrão de ventos gerados por esse sistema.



**Figura II.5.1.1-16** - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento a 10 m no período de verão (Reanálise do NCEP).



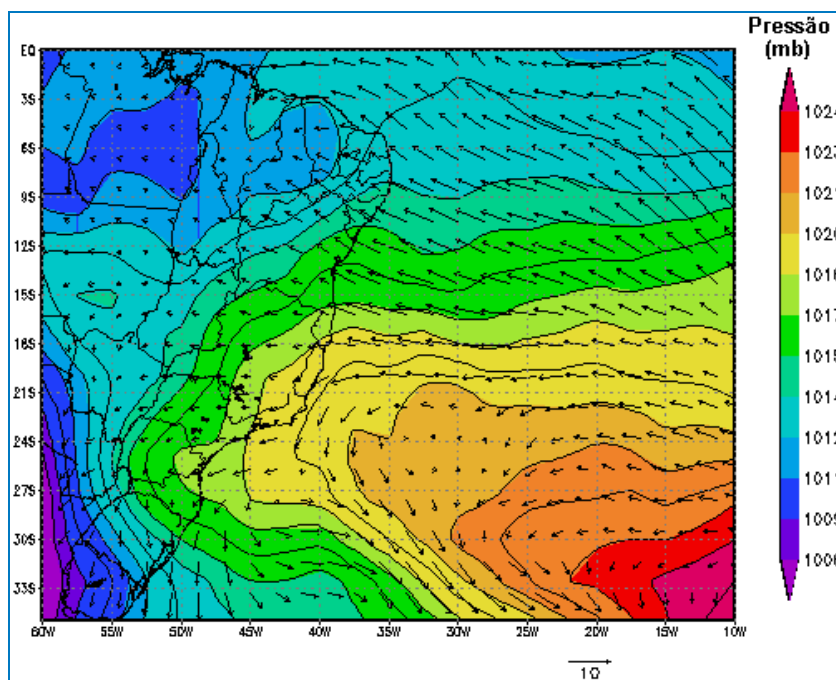


**Figura II.5.1.1-17** - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento a 10 m no período de inverno (Reanálise do NCEP).

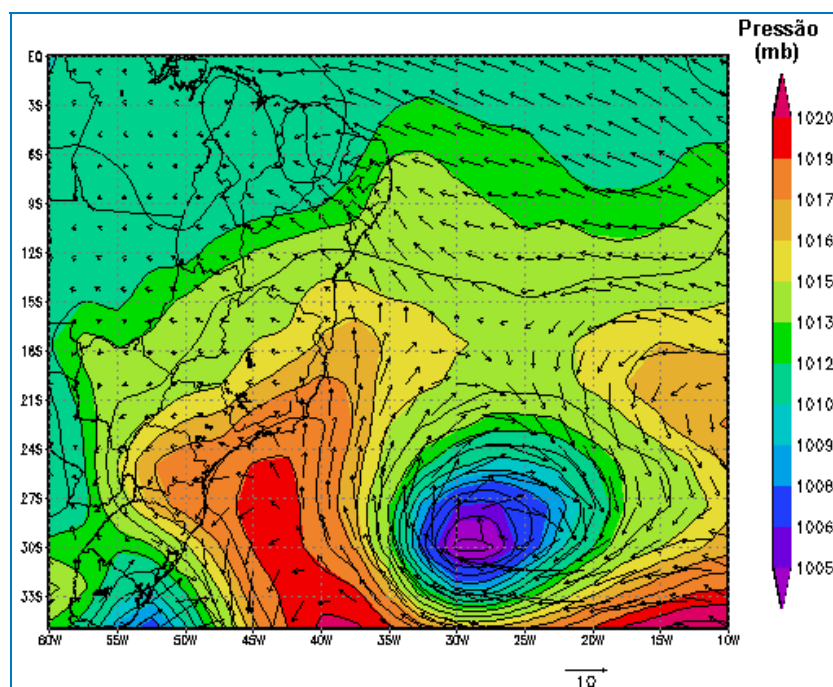
A influência da ASAS na região de interesse está associada a condições de tempo estáveis, devido à subsidência induzida na região de alta pressão. Entretanto, essa estabilidade é frequentemente perturbada pelo deslocamento de sistemas frontais, que geralmente se formam sobre o Oceano Pacífico Sul, dirigem-se para leste até encontrarem os Andes, e, entre 40 e 20°S, seguem no sentido sudoeste-nordeste ao longo da costa leste sul americana. A **Figura II.5.1.1-18** e a **Figura II.5.1.1-19** ilustram instantes do vento NCEP a 10 m de altura para a América do Sul, em situação de tempo estável sob a atuação da ASAS e de deslocamento de um sistema frontal, respectivamente (Garreaud & Wallace, 1998; Seluchi & Marengo, 2000).

Os sistemas frontais atuam durante o ano todo sobre todo o Atlântico Sul, com frequências maiores nas latitudes mais altas e menores nas latitudes mais baixas. As perturbações geradas são essenciais para a determinação das variabilidades intra-anuais na superfície oceânica.

Em meso e micro escalas, a variabilidade meteorológica induzida pelas brisas marinhas e terrestres também é significativa, principalmente nos padrões dinâmicos da circulação observada sobre a plataforma continental.



**Figura II.5.1.1-18** - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de reanálise do NCEP para o dia 1º de junho de 2003 (situação de bom tempo).



**Figura II.5.1.1-19** - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de reanálise do NCEP para o dia 15 de junho de 2003, às 18GMT (deslocamento de um sistema frontal).

A seguir, são apresentadas análises estatísticas dos ventos listados na **Tabela II.5.1-2**. Para a análise da série histórica foram utilizados 30 anos de dados do vento da reanálise do NCEP obtidos a 10 m de altura para o ponto mais próximo da região de estudo (NCEP1). Com relação aos dados medidos, foram utilizados dados de METAR (informações meteorológicas codificadas das condições do tempo na região dos aeroportos) da estação de Florianópolis e da PB/Oceanop para o ano de 2006. Para realizar uma comparação com estes dados, foram utilizados dados de vento a 10 m da reanálise do NCEP para o ano de 2006 (NCEP2). Além disso, foi realizada análise da ocorrência de eventos extremos de acordo com os dados do NCEP obtidos a 10 m de altura, entre os anos de 1980 a 2009 (NCEP7).

**Tabela II.5.1-2 - Dados de vento utilizados para a caracterização da Bacia de Santos.**

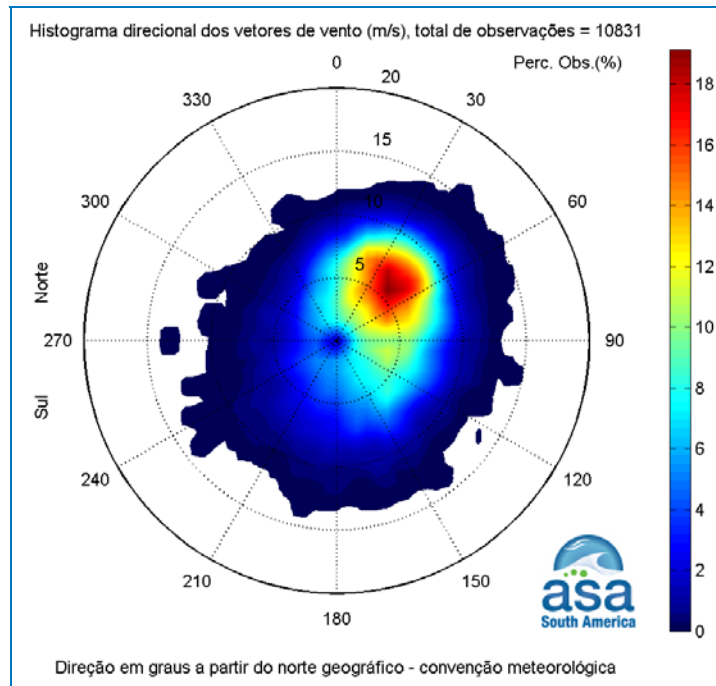
Fonte	Latitude	Longitude	Período
NCEP1 (10 m)	25,70°	43,10°	1-jan-1980 a 31-dez-2009
NCEP2 (10 m)	25,70°	43,10°	1-jan-2006 a 31-dez-2006
NCEP7 (925 hPa)	25,00°	45,00°	1-jan-1980 a 31-dez-2009
PB/Oceanop	25°15'57,40"S	45°15'14,00"W	10-out-2005 a 12-abr-2007
METAR/Florianópolis	27°40,00'S	48°33,00'W	1-jan-2006 a 31-dez-2006

### **A - Climatologia do NCEP**

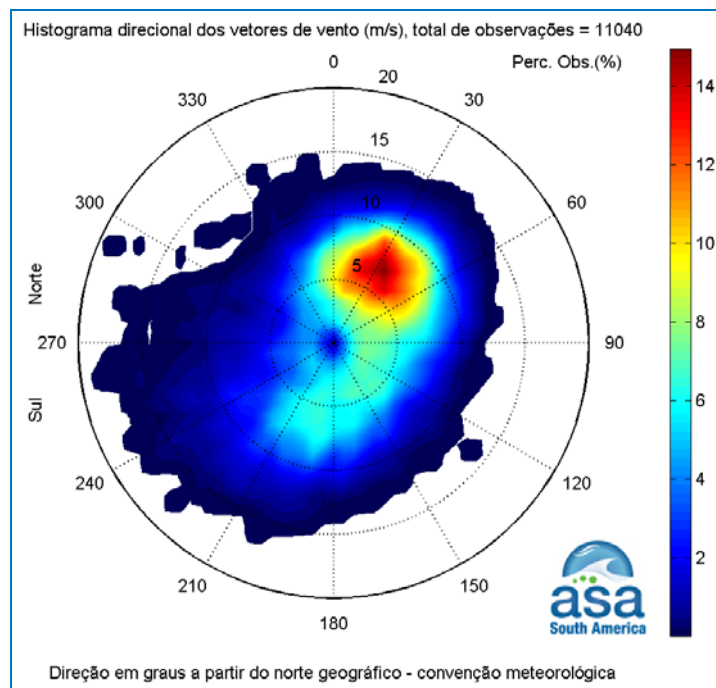
A **Figura II.5.1.1-20** e a **Figura II.5.1.1-21** apresentam os histogramas direcionais dos dados de vento NCEP1, para os períodos de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto) de 1980 a 2009. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. A intensidade é apresentada em (m/s) e a escala de cores representa a porcentagem de observações.

Observa-se que, durante o período de verão, os ventos mais frequentes são provenientes de nordeste, influenciados pela circulação da ASAS. No inverno os ventos predominantes também são provenientes de NE, mas existe uma maior dispersão nas demais direções, com aumento principalmente de ventos de sul, devido ao maior número de sistemas frontais que atuam sobre a região neste período.





**Figura II.5.1.1-20** - Histograma direcional dos vetores do vento NCEP1 para o período de janeiro a março de 1980 a 2009.



**Figura II.5.1.1-21** - Histograma direcional dos vetores do vento NCEP1 para o período de junho a agosto de 1980 a 2009.

A **Tabela II.5.1-3** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento NCEP1 para o período de verão. Observa-se que os ventos mais frequentes são provenientes das direções NE (19,1%) e NNE (14,5%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de NE (6,9 m/s) e NNE (6,5 m/s); e os ventos mais fortes registrados foram provenientes de NNE (14,4 m/s), NE (14,2 m/s) e ESE (14,2 m/s). Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 9,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II.5.1-3 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP1 para o período de janeiro a março de 1980 a 2009.**

Veloc. (m/s)	D I R E Ç Ã O																Tot.	Perc.	Dir. Méd.
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0,0- 1,0	13	9	5	16	4	15	6	13	7	10	5	8	5	9	12	15	152	1,4	32
1,0- 2,0	31	44	41	29	43	35	20	21	26	26	20	22	23	28	27	27	463	4,3	44
2,0- 3,0	65	70	71	79	77	65	45	54	38	36	36	27	13	32	30	56	794	7,3	67
3,0- 4,0	81	124	126	122	96	101	76	62	48	43	37	32	25	29	41	69	1112	10,3	65
4,0- 5,0	94	155	182	181	114	128	99	72	53	44	28	25	14	17	30	58	1294	11,9	70
5,0- 6,0	135	192	273	203	177	131	114	75	58	49	18	15	10	21	19	70	1560	14,4	65
6,0- 7,0	136	264	298	226	139	118	123	74	56	30	25	16	8	15	9	36	1573	14,5	63
7,0- 8,0	92	276	366	244	142	103	75	76	52	35	19	5	9	4	5	24	1527	14,1	61
8,0- 9,0	56	202	314	192	86	74	56	46	29	22	9	8	4	3	6	10	1117	10,3	59
9,0-10,0	35	142	217	104	46	28	23	28	28	9	14	3	4	1	0	4	686	6,3	56
10,0-11,0	11	57	112	45	24	16	13	18	8	11	9	4	1	2	0	2	333	3,1	60
11,0-12,0	2	23	38	22	20	6	1	11	11	2	0	3	0	0	0	1	140	1,3	69
12,0-13,0	0	7	20	10	1	2	2	7	4	1	1	0	1	0	0	0	56	0,5	73
13,0-14,0	0	1	6	5	1	0	3	0	0	1	1	1	0	0	0	0	19	0,2	72
14,0-15,0	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0,0	63
Total	751	1566	2071	1479	970	823	656	557	418	319	222	169	117	161	179	372	10830		
Porc.	6,9	14,5	19,1	13,7	9,0	7,6	6,1	5,1	3,9	2,9	2,0	1,6	1,1	1,5	1,7	3,4			
Vel. Méd.	5,5	6,5	6,9	6,4	5,9	5,5	5,7	5,8	5,7	5,1	5,0	4,4	4,1	3,7	3,6	4,4			
Vel. Máx.	11,2	13,5	14,4	14,2	13,5	14,2	13,6	12,9	12,4	13,3	13,4	13,1	12,8	10,9	8,8	11,5			
Perct. (0,9)	8,0	9,0	9,0	9,0	8,0	8,0	8,0	9,0	9,0	8,0	9,0	8,0	7,0	6,0	6,0	7,0			

A **Tabela II.5.1-4** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento NCEP1 para o período de inverno. Observa-se que os ventos mais frequentes são provenientes das direções NE (14,9%) e NNE (14,0%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de SW e WSW (7,7 m/s); e os ventos mais fortes registrados foram provenientes de SW (18,0 m/s) e W (17,3 m/s). Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 13,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II.5.1-4 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP1 para o período de junho a agosto de 1980 a 2009.**

Ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do Vento.  
Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção meteorológica.

Veloc. (m/s)	D I R E Ç Ã O																Tot.	Perc.	Dir. Méd.
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0,0- 1,0	4	5	2	7	3	8	6	9	2	5	4	6	6	4	5	7	83	0,8	105
1,0- 2,0	25	26	29	24	34	24	18	18	14	25	24	16	16	22	20	16	351	3,2	61
2,0- 3,0	39	40	51	53	42	47	51	41	33	37	35	33	24	30	30	33	619	5,6	97
3,0- 4,0	61	88	89	68	63	69	56	65	53	47	29	28	30	27	38	39	850	7,7	75
4,0- 5,0	123	121	111	102	95	64	89	75	67	70	47	36	31	21	43	66	1161	10,5	66
5,0- 6,0	146	193	182	141	86	75	82	76	75	93	65	31	26	25	37	61	1394	12,6	58
6,0- 7,0	160	226	207	161	102	74	66	84	115	107	64	34	18	18	27	62	1525	13,8	61
7,0- 8,0	141	248	245	158	94	53	52	69	107	115	79	34	20	9	21	56	1501	13,6	58
8,0- 9,0	101	225	239	141	66	35	25	59	93	82	64	39	24	15	8	26	1242	11,3	55
9,0-10,0	71	191	204	114	47	19	20	25	69	75	62	45	15	11	4	12	984	8,9	53
10,0-11,0	36	102	161	74	18	6	6	17	52	66	56	17	9	7	0	5	632	5,7	59
11,0-12,0	16	57	73	32	7	1	3	5	16	37	40	27	8	6	1	4	333	3,0	35
12,0-13,0	4	19	40	13	1	0	0	2	8	24	37	22	9	2	2	2	185	1,7	247
13,0-14,0	2	9	13	2	0	0	1	0	5	24	22	15	3	1	0	1	98	0,9	222
14,0-15,0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	7	13	12	1	1	0	1	38	0,3	235
15,0-16,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	10	9	0	0	0	26	0,2	247
16,0-17,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	3	2	0	0	11	0,1	261
17,0-18,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0	0	0	5	0,0	252
Total	929	1550	1649	1090	658	475	475	545	709	815	648	412	255	201	236	391	11038		
Porc.	8,4	14,0	14,9	9,9	6,0	4,3	4,3	4,9	6,4	7,4	5,9	3,7	2,3	1,8	2,1	3,5			
Vel. méd.	6,4	7,2	7,4	6,8	5,9	5,3	5,3	5,8	6,8	7,2	7,7	7,7	6,5	5,4	4,7	5,6			
Vel. Máx.	13,7	13,7	14,6	13,8	12,3	11,4	13,2	12,6	13,9	15,6	18,0	17,1	17,3	16,8	12,5	14,4			
Perct. (0,9)	9,0	10,0	10,0	10,0	9,0	8,0	8,0	8,0	10,0	11,0	12,0	13,0	12,0	9,0	7,0	8,0			

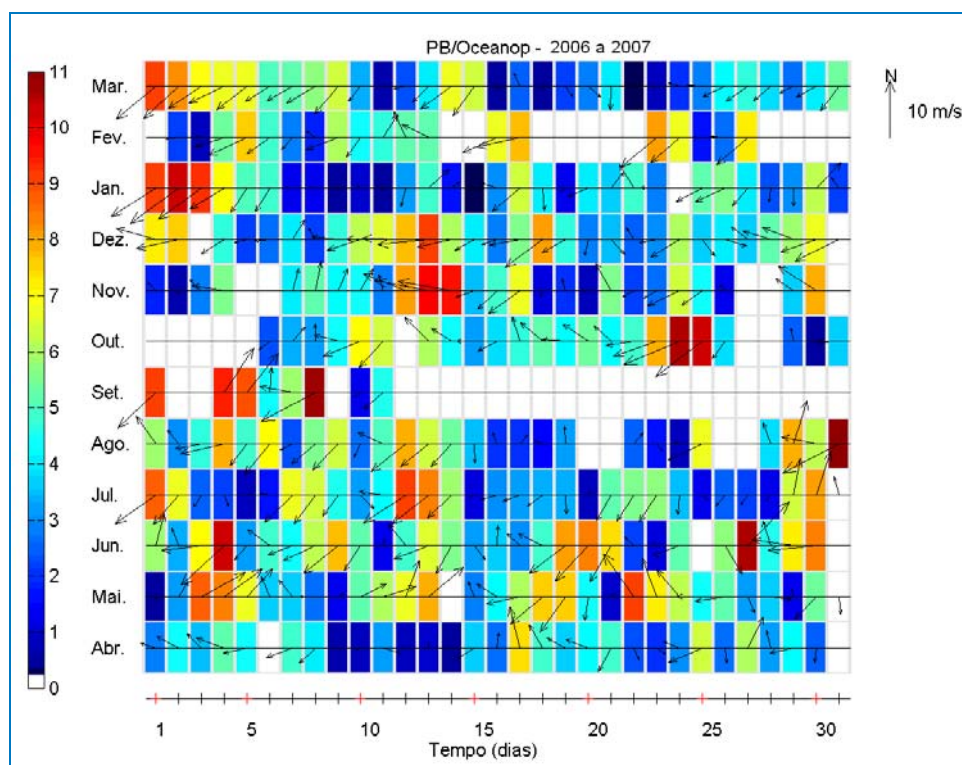
A Tabela II.5.1-5 apresenta a estatística mensal do vento NCEP1. A direção predominante é de NE (10 meses), com exceção de abril e julho, em que os ventos predominantes são de ENE e NNE, respectivamente. Os ventos médios mensais mais intensos ocorreram em setembro (7,6 m/s) e outubro (7,2 m/s). Os valores máximos absolutos ocorreram em maio (19 m/s) e junho (18,7 m/s), enquanto as médias das máximas mensais mais elevadas ocorreram em setembro (14,3 m/s) e julho (14,2 m/s).

**Tabela II.5.1-5 - Estatística mensal do vento NCEP1 para o período de 1979 a 2008.**  
Valores de intensidade e máximos em m/s.

Meses	Direção predominante	Intensidade média	Desvio padrão	Máxima absoluta	Média das máximas	Desvio padrão
Janeiro	NE	6,1	2,6	15,1	11,5	1,3
Fevereiro	NE	6,1	2,4	14,2	11,4	1,2
Março	NE	5,8	2,5	14,2	11,8	1,3
Abril	ENE	6,0	2,5	15,6	13,0	1,4
Maio	NE	6,3	2,9	19,0	14,0	2,0
Junho	NE	6,4	2,7	18,7	13,8	2,2
Julho	NNE	6,8	2,8	18,0	14,2	1,7
Agosto	NE	7,0	2,8	16,6	13,6	1,3
Setembro	NE	7,6	2,9	18,3	14,3	1,5
Outubro	NE	7,2	2,9	15,9	13,3	1,3
Novembro	NE	6,8	2,8	14,8	13,1	1,1
Dezembro	NE	6,4	2,7	16,4	12,7	1,5

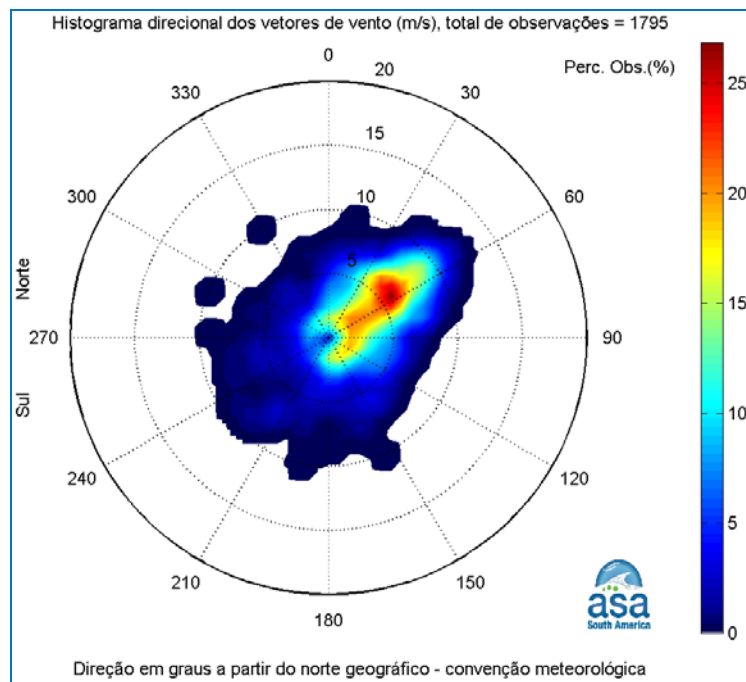
## B - Análise de Dados Observados

A **Figura II.5.1.1-22** apresenta o *stick plot* dos valores médios diários dos dados de vento PB/Oceanop. Observa-se a dominância de ventos de NE, com frequentes perturbações de quadrante sul.

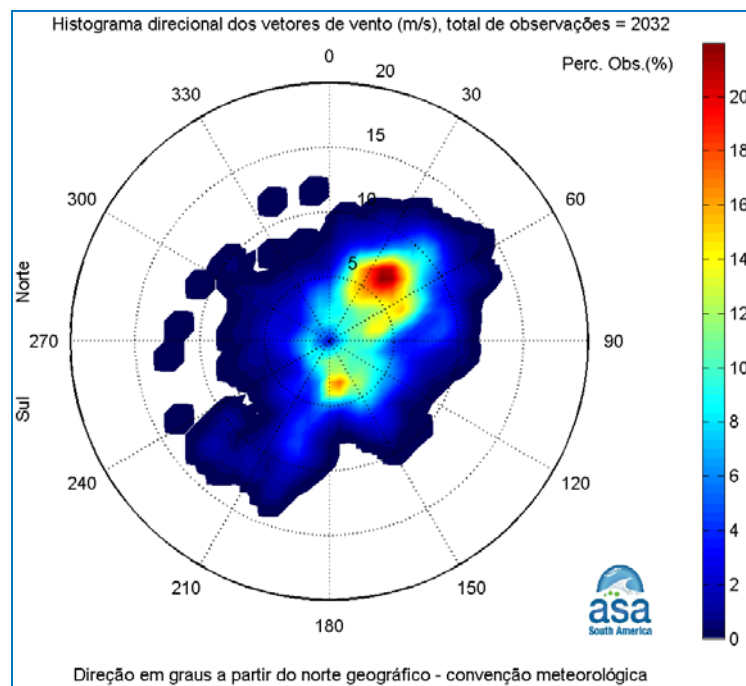


**Figura II.5.1.1-22** - Diagrama *stick plot* dos valores médios diários de dados de vento PB/Oceanop durante o período de abril de 2006 a março de 2007 (convenção vetorial).

A **Figura II.5.1.1-23** e a **Figura II.5.1.1-24** apresentam os histogramas direcionais dos dados de vento PB/Oceanop para os períodos de verão de 2007 (janeiro a março) e inverno de 2006 (junho a agosto), respectivamente. O período de verão de 2006 contém muitas lacunas, por isso optou-se por utilizar os dados de 2007 para caracterizar o verão. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico, e segue a convenção meteorológica. A intensidade é apresentada em (m/s), e a escala de cores representa a porcentagem de observações. Observa-se que, tanto no período de verão quanto no de inverno, os ventos mais frequentes são provenientes de nordeste; mas, no inverno, também existe uma frequência significativa de ventos provenientes de sul-sudeste.



**Figura II.5.1.1-23** - Histograma direcional dos vetores do vento PB/Oceanop para o período de janeiro a março de 2007.



**Figura II.5.1.1-24** - Histograma direcional dos vetores do vento PB/Oceanop para o período de junho a agosto de 2006.

A **Tabela II.5.1-6** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento PB/Oceanop para o período de verão. Observa-se que os ventos mais frequentes são provenientes das direções NE (26,6%) e ENE (20,4%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de NE (6,0 m/s) e ENE (5,8 m/s); e os ventos mais fortes registrados também foram provenientes de NE (11,0 m/s) e ENE (10,9 m/s). Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 9,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II.5.1-6 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento PB/Oceanop para o período de janeiro a março de 2007.**

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

Veloc. (m/s)	DIREÇÃO																Tot.	Perc.	Dir. Méd.
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0,0- 1,0	4	10	7	7	2	3	6	24	12	2	5	0	3	6	6	4	101	4,7	141
1,0- 2,0	16	15	30	13	16	23	17	19	13	5	4	4	8	14	15	8	220	10,2	73
2,0- 3,0	18	12	26	27	33	23	12	8	20	8	6	10	4	7	3	9	226	10,5	82
3,0- 4,0	16	22	40	36	17	21	12	8	9	4	1	4	6	1	5	4	206	9,5	65
4,0- 5,0	13	22	46	47	30	17	9	6	5	7	2	4	2	4	7	3	224	10,4	63
5,0- 6,0	12	34	70	64	12	19	7	9	6	6	2	8	3	2	2	0	256	11,9	59
6,0- 7,0	3	22	84	59	7	5	8	4	1	5	6	3	2	2	0	1	212	9,8	57
7,0- 8,0	3	7	50	46	9	0	1	3	1	4	2	4	1	0	0	1	132	6,1	58
8,0- 9,0	0	1	68	33	0	0	0	1	2	2	3	1	0	0	0	0	111	5,1	55
9,0-10,0	0	1	32	26	0	0	0	0	1	1	3	1	1	1	0	1	68	3,1	54
10,0-11,0	0	0	21	7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	29	1,3	54
Total	85	146	474	365	126	111	72	83	70	44	34	39	30	37	38	31	1785		
Porc.	4,8	8,2	26,6	20,4	7,1	6,2	4,0	4,6	3,9	2,5	1,9	2,2	1,7	2,1	2,1	1,7			
Vel. méd.	3,4	4,3	6,0	5,8	3,8	3,4	3,3	2,9	2,8	4,4	4,6	4,4	3,3	2,6	2,4	2,7			
Vel. máx.	7,5	9,1	11,0	10,9	8,0	6,6	7,0	10,1	9,9	9,2	9,1	9,3	9,2	9,9	5,2	9,7			
Perct. (0,9)	5,0	6,0	9,0	8,0	6,0	5,0	6,0	6,0	5,0	7,0	8,1	7,0	6,0	5,0	4,0	4,8			

A **Tabela II.5.1-7** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento PB/Oceanop para o período de inverno. Observa-se que os ventos mais frequentes são provenientes das direções NE (22,0%) e ENE (14,4%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de NE (6,9 m/s) e SW (6,8 m/s); e os ventos mais fortes registrados foram provenientes de SSW (13,2 m/s) e de ENE (13,1 m/s). Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 12,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

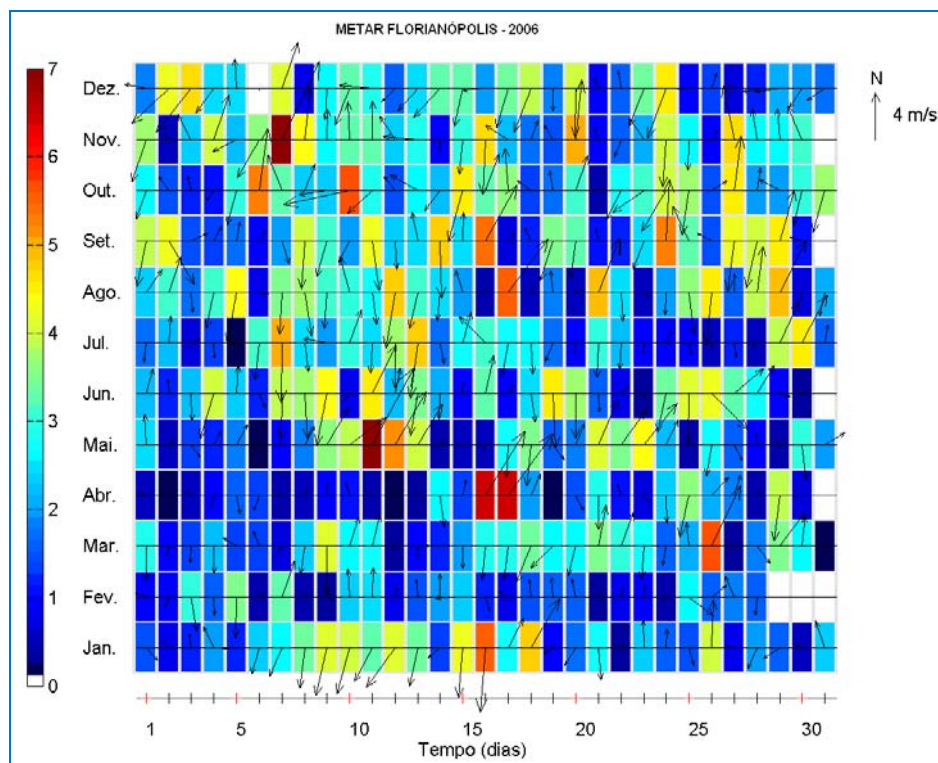


**Tabela II.5.1-7 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento PB/Oceanop para o período de junho a agosto de 2006.**

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

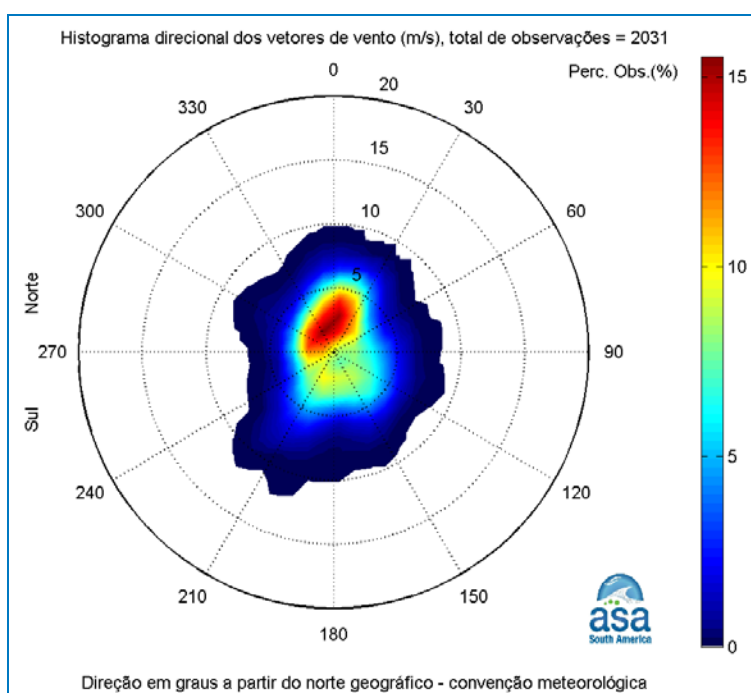
Vel. oc. (m/s)	DIREÇÃO																Tot.	Perc.	Dir. Méd.
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0,0- 1,0	2	2	8	3	1	2	5	10	12	2	0	4	0	4	3	5	63	2,9	140
1,0- 2,0	12	8	12	8	12	7	8	9	17	4	3	13	9	7	5	5	139	6,3	105
2,0- 3,0	14	11	9	14	9	18	12	16	14	18	9	6	6	4	5	14	179	8,1	122
3,0- 4,0	12	28	22	32	28	20	22	24	46	5	3	6	8	1	8	10	275	12,5	99
4,0- 5,0	15	41	29	36	17	21	26	24	22	12	7	1	5	9	3	8	276	12,5	82
5,0- 6,0	6	44	56	45	14	17	27	20	13	9	5	2	3	4	2	4	271	12,3	73
6,0- 7,0	5	58	84	51	13	10	7	10	4	15	2	2	2	2	0	0	267	12,1	55
7,0- 8,0	3	20	78	34	12	6	6	5	2	16	0	1	1	2	1	1	188	8,5	59
8,0- 9,0	2	15	59	25	19	5	1	3	3	14	1	0	0	0	1	0	148	6,7	63
9,0-10,0	2	6	38	24	11	0	1	2	3	10	5	0	0	0	2	0	104	4,7	65
10,0-11,0	0	6	32	11	3	0	0	0	0	8	4	0	0	0	0	0	64	2,9	57
11,0-12,0	1	1	16	4	0	0	0	0	0	5	3	0	1	1	0	1	33	1,5	42
12,0-13,0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	4	9	1	1	0	0	0	21	1,0	213
13,0-14,0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0,1	90
Total	74	240	446	292	139	106	115	123	136	123	51	36	36	34	32	48	2031		
Porc.	3,6	11,8	22,0	14,4	6,8	5,2	5,7	6,1	6,7	6,1	2,5	1,8	1,8	1,7	1,6	2,4			
Vel. méd.	4,0	5,6	6,9	6,2	5,5	4,4	4,2	4,1	3,6	6,6	6,8	2,9	3,9	3,8	3,8	3,4			
Vel. máx.	11,8	11,7	12,3	13,1	10,4	8,6	9,2	9,6	9,5	13,2	12,8	12,7	12,3	11,0	9,6	11,7			
Perct. (0,9)	7,0	8,0	10,0	9,0	8,6	6,9	6,0	6,0	5,0	10,0	12,0	5,9	6,0	6,1	7,3	5,0			

A Figura II.5.1.1-25 apresenta o *stick plot* dos valores médios diários dos dados de vento METAR de Florianópolis. Observa-se uma dominância de ventos meridionais, com ventos de N mais frequentes.



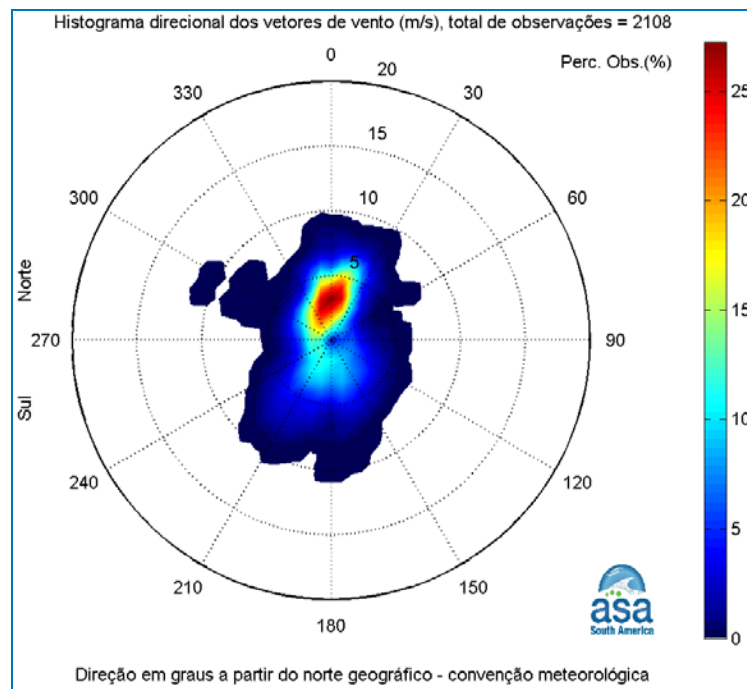
**Figura II.5.1.1-25 - Diagrama stick plot dos valores médios diários de dados de vento METAR/Florianópolis durante o período de janeiro a dezembro de 2006 (convenção vetorial).**

A **Figura II.5.1.1-26** e a **Figura II.5.1.1-27** apresentam os histogramas direcionais dos dados de vento METAR Florianópolis, para os períodos de verão (janeiro a março) e inverno de 2006 (junho a agosto). A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. A intensidade é apresentada em (m/s) e a escala de cores representa a porcentagem de observações. Observa-se que, durante o período de verão, os ventos mais frequentes são provenientes de N; e no inverno os ventos são mais meridionais, com ventos de N mais frequentes.



**Figura II.5.1.1-26** - Histograma direcional dos vetores do vento METAR/Florianópolis para o período de janeiro a março de 2006.





**Figura II.5.1.1-27** - Histograma direcional dos vetores do vento METAR/Florianópolis para o período de junho a agosto de 2006.

A **Tabela II.5.1-8** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento METAR Florianópolis para o período de verão. Observa-se que os ventos mais frequentes são provenientes das direções N (15,5%) e NNE (10,3%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de N (3,8 m/s) e SSW (3,8 m/s); e os ventos mais fortes registrados foram provenientes de SW (9,8 m/s). Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 6,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II.5.1-8 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento METAR/Florianópolis para o período de janeiro a março de 2006.**

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

Veloc. (m/s)	DIREÇÃO																Tot.	Perc.	Dir. Méd.
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0,0- 1,0	2	0	0	0	3	1	0	2	1	2	2	4	2	1	0	3	23	1,1	240
1,0- 2,0	30	21	19	17	27	18	9	15	24	20	20	25	56	47	33	24	405	19,0	300
2,0- 3,0	54	54	26	22	30	11	19	29	40	37	28	12	46	46	49	43	546	25,7	326
3,0- 4,0	74	39	14	8	32	14	31	30	28	27	20	5	8	12	23	33	398	18,7	36
4,0- 5,0	81	39	9	8	13	22	29	25	23	34	16	1	3	4	6	18	331	15,6	60
5,0- 6,0	47	34	2	4	10	13	20	16	12	23	10	1	0	3	2	6	203	9,5	71
6,0- 7,0	19	21	2	1	3	1	3	6	4	11	4	2	0	2	3	1	83	3,9	19
7,0- 8,0	8	1	0	0	0	2	0	3	4	7	5	0	0	0	0	0	30	1,4	195
8,0- 9,0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	3	0	0	0	0	0	8	0,4	202
9,0-10,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0,1	220
Total	315	209	72	60	118	82	111	127	137	164	110	50	115	115	116	128	2029		
Porc.	15,5	10,3	3,5	3,0	5,8	4,0	5,5	6,3	6,8	8,1	5,4	2,5	5,7	5,7	5,7	6,3			
Vel. méd.	3,8	3,7	2,7	2,7	2,8	3,4	3,7	3,5	3,2	3,8	3,5	2,0	1,9	2,2	2,5	2,8			
Vel. máx.	7,7	7,7	6,7	6,7	6,7	7,2	6,7	8,2	8,2	8,2	9,8	6,2	4,6	6,7	6,2	6,2			
Perct. (0,9)	5,0	6,0	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,0	6,0	3,0	2,0	3,0	3,0	4,0			

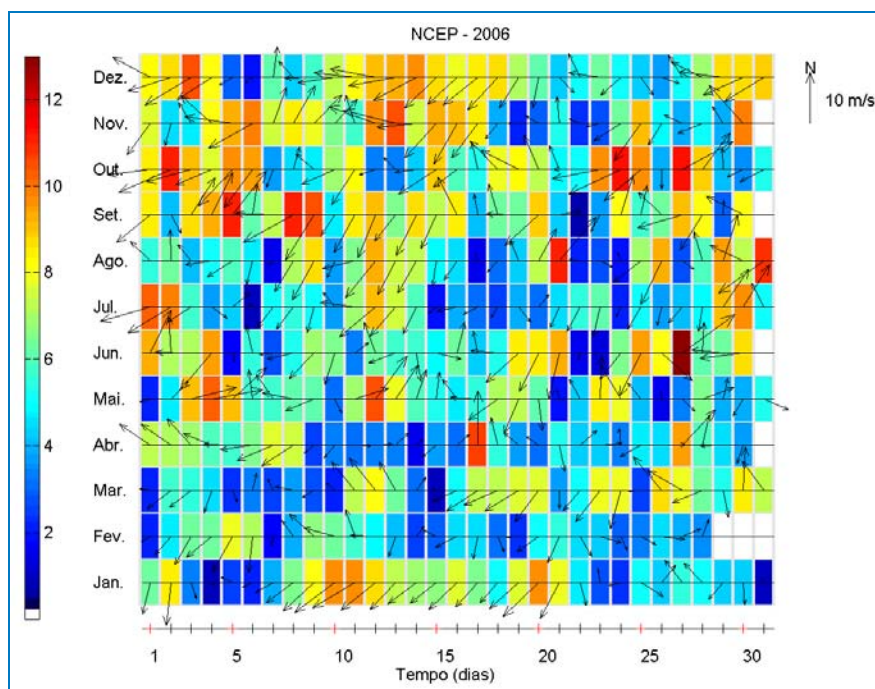
A Tabela II.5.1-9 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento METAR Florianópolis para o inverno. Observa-se que os ventos mais frequentes são provenientes das direções N (27,3%) e NNE (10,4%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de NNE (4,3 m/s), SSW e SW (4,1 m/s); e os ventos mais fortes registrados (9,3 m/s) foram provenientes de SSW e SW. Do total de registros, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 7,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II.5.1-9 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento METAR/Florianópolis para o período de junho a agosto de 2006.**

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

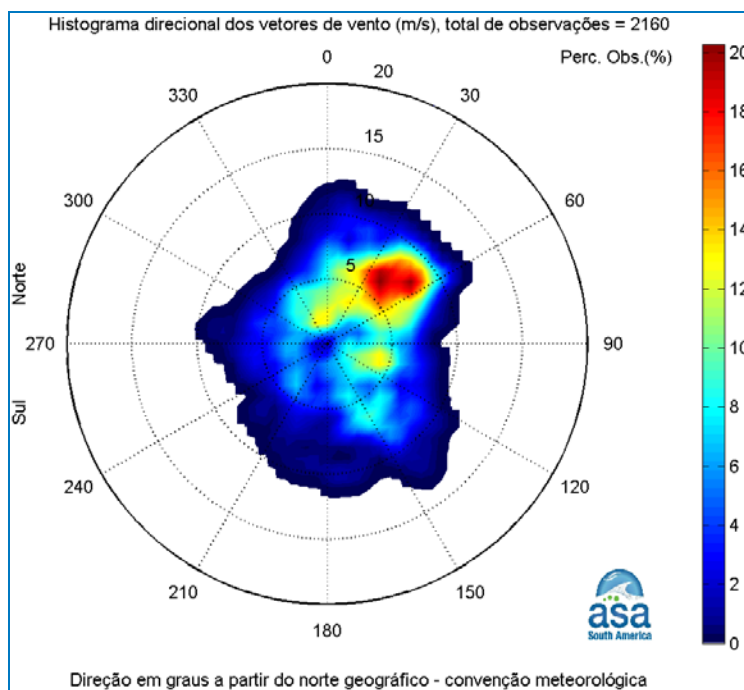
Veloc. (m/s)	DIREÇÃO																Tot.	Perc.	Dir. Méd.
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0,0- 1,0	1	0	0	0	0	1	0	2	5	2	1	3	3	2	1	1	22	1,0	229
1,0- 2,0	36	16	10	11	17	11	17	18	25	18	15	24	35	32	26	39	350	15,9	299
2,0- 3,0	100	28	9	1	11	20	13	26	32	32	28	14	26	22	44	68	474	21,5	323
3,0- 4,0	159	40	5	0	6	12	14	21	41	34	24	9	7	13	25	45	455	20,6	346
4,0- 5,0	140	49	2	2	2	11	18	26	33	29	23	5	1	2	3	26	372	16,9	10
5,0- 6,0	90	47	3	0	1	3	5	17	21	18	15	4	0	1	2	11	238	10,8	7
6,0- 7,0	36	27	4	1	0	0	1	3	12	19	22	1	0	2	1	1	130	5,9	331
7,0- 8,0	8	8	0	0	0	0	0	1	5	11	5	0	0	1	1	0	40	1,8	241
8,0- 9,0	4	3	0	0	0	0	0	1	0	6	2	0	0	2	0	0	18	0,8	266
9,0-10,0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	6	0,3	202
Total	574	218	33	15	37	58	68	115	176	171	137	60	72	77	103	191	2105		
Porc.	27,3	10,4	1,6	0,7	1,8	2,8	3,2	5,5	8,4	8,1	6,5	2,9	3,4	3,7	4,9	9,1			
Vel. méd.	3,8	4,3	3,0	2,3	2,1	2,8	3,0	3,4	3,6	4,1	4,1	2,4	1,8	2,4	2,5	2,8			
Vel. máx.	8,7	8,7	6,2	6,7	5,1	5,7	6,2	8,2	9,8	9,3	9,3	6,2	4,1	8,2	7,7	6,2			
Perct. (0,9)	5,0	6,0	6,0	4,0	3,0	4,0	4,0	5,0	6,0	7,0	6,0	4,0	3,0	3,8	3,0	4,0			

A Figura II.5.1.1-28 apresenta o *stick plot* dos valores médios diários dos dados de vento NCEP2.

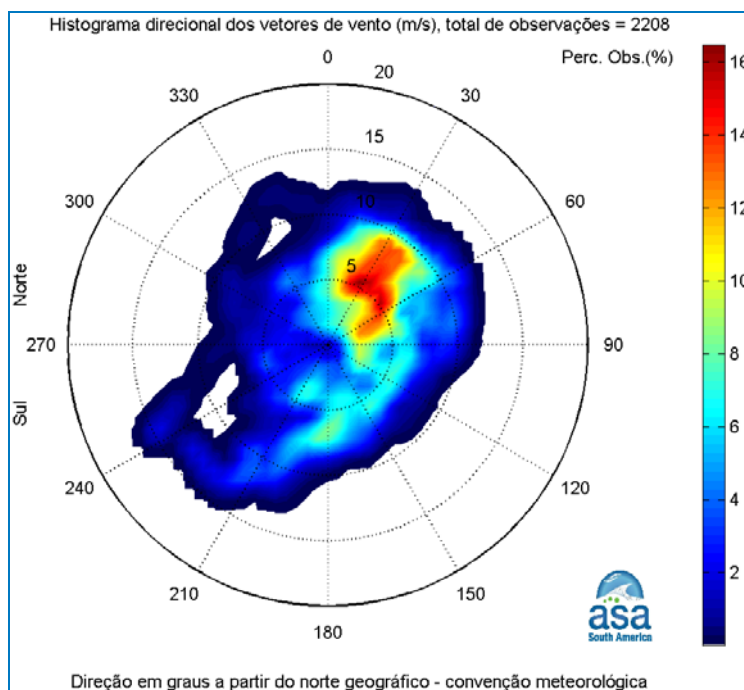


**Figura II.5.1.1-28** - Diagrama stick plot dos valores médios diários de dados de vento NCEP2 durante o período de janeiro a dezembro de 2006 (convenção vetorial), na posição 25,70°S e 43,10°W.

A **Figura II.5.1.1-29** e a **Figura II.5.1.1-30** apresentam os histogramas direcionais dos dados de vento NCEP2, para os períodos de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto) de 2006. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. A intensidade é apresentada em (m/s) e a escala de cores representa a porcentagem de observações. Observa-se que, durante o período de verão, os ventos mais frequentes são provenientes de nordeste; e no inverno existe uma maior frequência de ventos provenientes do quadrante sul.



**Figura II.5.1.1-29** - Histograma direcional dos vetores do vento NCEP2 para o período de janeiro a março de 2006.



**Figura II.5.1.1-30** - Histograma direcional dos vetores do vento NCEP2 para o período de junho a agosto de 2006.

A **Tabela II.5.1-10** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento NCEP2 para o período de verão. Observa-se que os ventos mais frequentes são provenientes das direções NE (20,3%) e ENE (11,5%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de NE (6,8 m/s) e ENE (6,6 m/s); e os ventos mais fortes registrados foram provenientes de SE (11,8 m/s) e N (11,2 m/s). Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 9,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II.5.1-10 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP2 para o período de janeiro a março de 2006.**

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

Vel. oc. (m/s)	DI REÇÃO																Tot.	Perc.	Di r. Méd.
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0,0- 1,0	3	3	4	3	0	8	1	4	2	3	1	3	0	1	2	1	39	1,8	91
1,0- 2,0	12	5	5	2	18	7	0	6	8	8	3	2	3	5	11	12	107	5,0	15
2,0- 3,0	26	13	6	3	10	13	13	8	5	1	5	9	12	6	12	13	155	7,2	2
3,0- 4,0	23	27	26	18	20	26	19	14	4	6	23	9	11	10	20	23	279	12,9	40
4,0- 5,0	26	25	43	26	23	39	11	22	17	13	15	2	10	11	15	16	314	14,5	68
5,0- 6,0	29	43	57	35	26	16	25	21	2	8	4	9	10	12	13	13	323	15,0	50
6,0- 7,0	30	46	66	38	23	11	22	31	8	6	0	4	5	5	1	7	303	14,0	60
7,0- 8,0	21	37	87	60	3	17	12	22	5	3	3	0	2	0	0	0	272	12,6	60
8,0- 9,0	11	13	81	33	0	6	30	6	0	2	0	0	3	0	0	0	185	8,6	61
9,0-10,0	9	21	52	16	0	0	14	6	8	3	0	0	0	0	0	0	129	6,0	58
10,0-11,0	7	7	11	14	0	0	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	47	2,2	50
11,0-12,0	1	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0,3	132
Total	198	240	438	248	123	143	158	142	59	53	54	38	56	50	74	85	2159		
Porc.	9,2	11,1	20,3	11,5	5,7	6,6	7,3	6,6	2,7	2,5	2,5	1,8	2,6	2,3	3,4	3,9			
Vel. méd.	5,3	6,0	6,8	6,6	4,3	4,5	6,5	5,5	4,9	4,7	3,8	3,7	4,4	4,1	3,5	3,7			
Vel. máx.	11,2	10,5	10,4	10,4	7,6	8,8	11,8	10,2	9,9	9,5	7,3	6,5	8,1	7,0	6,0	7,0			
Perct. (0,9)	8,0	9,0	9,0	9,0	6,0	7,0	9,0	7,3	9,0	7,2	5,0	5,7	6,0	5,5	5,0	5,0			

A **Tabela II.5.1-11** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento NCEP2 para o período de inverno. Observa-se que os ventos mais frequentes são provenientes das direções NE e NNE (16,5%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de SW (8,6 m/s) e SSW (7,3 m/s); e os ventos mais fortes registrados (13,9 e 13,7 m/s) foram provenientes de WSW e SW. Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 13,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II.5.1-11 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP2 para o período de junho a agosto de 2006.**

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

Veloc. (m/s)	DIREÇÃO																Tot.	Perc.	Dir. Méd.
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW				
0,0- 1,0	0	3	1	2	3	0	7	0	1	0	1	0	1	0	5	8	32	1,4	10
1,0- 2,0	5	6	5	7	7	0	1	0	9	7	4	1	1	0	4	5	62	2,8	71
2,0- 3,0	11	15	15	19	23	18	9	4	2	6	3	8	3	1	11	9	157	7,1	61
3,0- 4,0	13	16	19	29	15	23	5	14	10	18	4	2	5	7	4	7	191	8,7	82
4,0- 5,0	25	42	29	41	17	5	10	20	21	6	12	5	6	4	10	10	273	12,4	59
5,0- 6,0	25	61	48	27	37	31	30	21	16	5	15	10	4	3	15	13	361	16,3	66
6,0- 7,0	32	40	51	16	13	21	14	20	38	6	1	0	6	2	6	10	276	12,5	66
7,0- 8,0	20	58	46	29	12	8	2	18	27	26	7	0	1	6	2	2	264	12,0	63
8,0- 9,0	7	52	64	16	14	0	4	0	16	17	2	0	1	2	0	1	196	8,9	49
9,0-10,0	6	52	60	26	20	0	0	0	1	21	5	0	1	3	1	0	196	8,9	48
10,0-11,0	8	11	15	22	8	0	0	0	0	16	11	1	0	0	1	0	93	4,2	64
11,0-12,0	4	5	11	8	0	0	0	0	0	19	4	0	0	0	0	3	54	2,4	74
12,0-13,0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4	16	4	0	0	0	2	27	1,2	230
13,0-14,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	4	0	0	0	0	18	0,8	229
Total	156	362	364	242	169	106	82	97	140	166	93	42	28	30	53	70	2200		
Porc.	7,1	16,5	16,5	11,0	7,7	4,8	3,7	4,4	6,4	7,5	4,2	1,9	1,3	1,4	2,4	3,2			
Vel. méd.	5,9	6,7	7,0	6,2	5,7	4,8	4,8	5,5	5,9	7,3	8,6	5,9	4,8	5,7	4,3	4,6			
Vel. máx.	11,2	12,1	11,7	11,4	10,6	8,0	8,3	7,9	9,3	12,5	13,7	13,9	9,4	9,2	10,4	12,6			
Perct. (0,9)	9,0	9,0	9,0	10,0	9,0	6,0	6,0	7,0	8,0	11,0	13,0	12,3	6,7	8,5	6,0	7,0			

### C - Análise de Sistemas Frontais

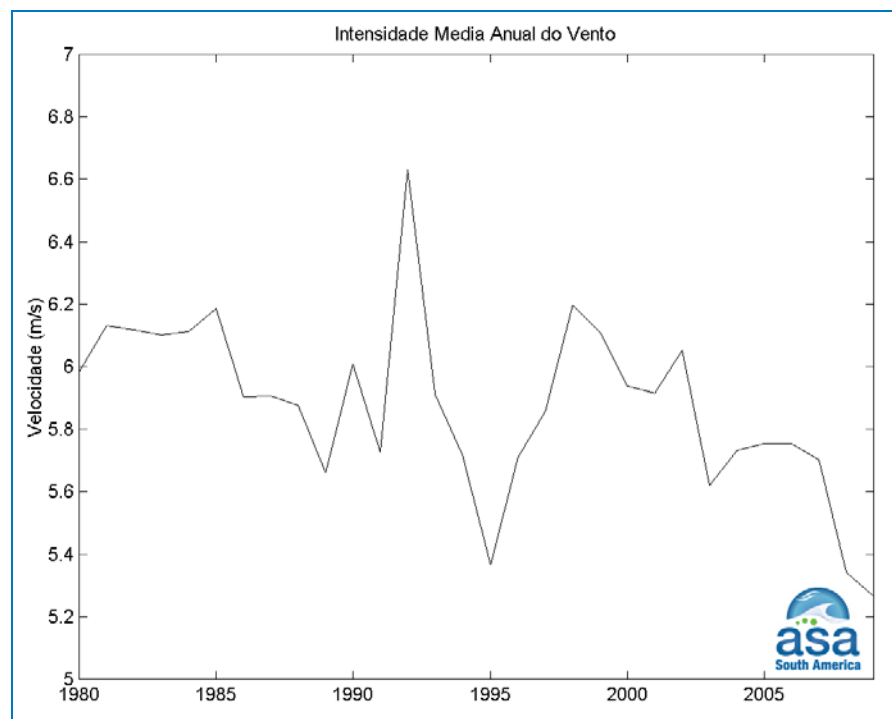
Uma estatística dos sistemas frontais que atingiram a Bacia de Santos, apresentada na **Tabela II.5.1-12**, indica que a média mensal desses sistemas atuando na região é de 3,8 sistemas nos meses de verão; 4,7 sistemas no outono; 4,8 o inverno, e 5,2 sistemas nos meses de primavera. Esta análise foi realizada a partir de dados de vento de reanálise do NCEP, disponíveis com resolução temporal de 6 horas e espacial de 2,5°, para o período de 1980 a 2009, na posição de 25°S e 45°W (NCEP7). Os resultados obtidos são coerentes com os trabalhos de Oliveira (1986) e Andrade (2005), com a ocorrência do menor número de sistemas frontais no verão e maior na primavera.

Com relação à intensidade do vento, a **Figura II.5.1.1-31** apresenta a média anual para o período 1980-2009, baseado no mesmo conjunto de dados NCEP apresentados na **Tabela II.5.1-12**. Observa-se que o ano de 1992 apresentou o vento mais intenso de todo período e o ano de 1995 apresentou o vento menos intenso; a média de todo o período (1980 a 2009) indicou uma intensidade do vento de 5,9 m/s, enquanto que a média para o ano de 1992 foi de 6,6 m/s e para o ano de 1995 foi de 5,4 m/s. Uma possível explicação para o máximo e o mínimo obtido para a intensidade do vento é a variabilidade do El Niño Oscilação Sul, pois 1992 foi um ano de El Niño e 1995 foi um ano de La Niña.

O comportamento médio mensal da magnitude do vento é ilustrado na **Figura II.5.1.1-32**. Observa-se que os ventos médios menos intensos ocorrem no verão e os mais intensos na primavera. Os meses em que ocorreram as velocidades mínima e máxima de todo o período foram fevereiro e setembro, respectivamente.

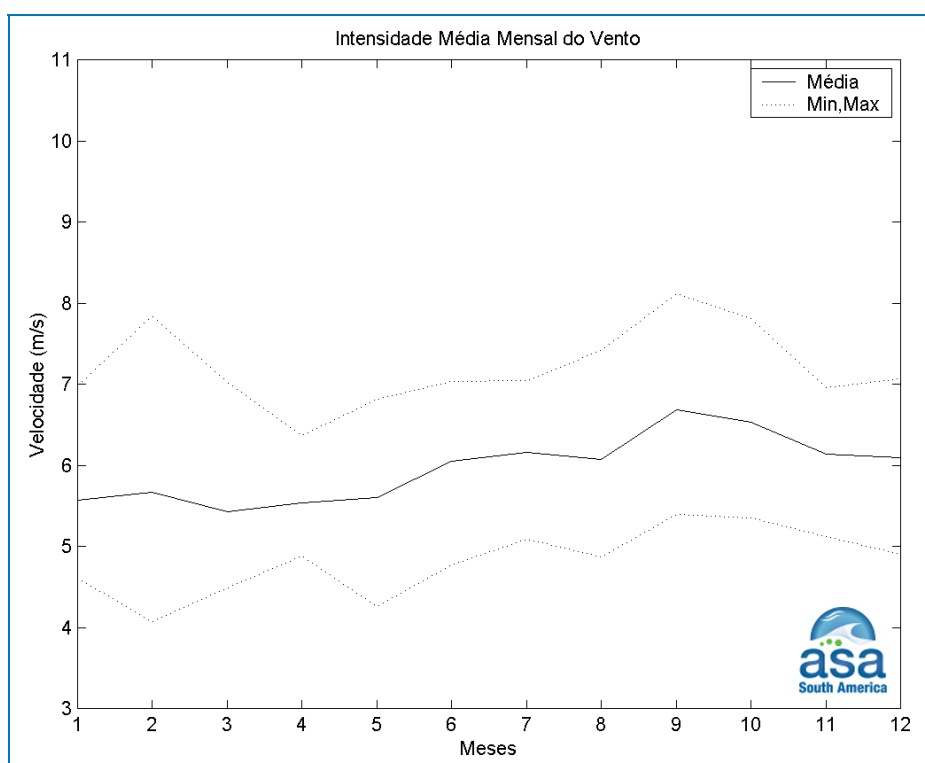
**Tabela II.5.1-12** - Ocorrência e duração de sistemas frontais representativas da Bacia de Santos para as quatro estações do ano, no período de 1980 a 2009.

1987 - 2007	Nº.de Frentes	Frentes/mês	Duração Média das Frentes (H)	Período Médio entre Frentes (DIA)
<i>JAN-FEV-MAR</i>				
Valores Médios	11,3	3,8	49,9	6,3
Desvios Padrão	3,2	1,1	12,2	1,9
<i>ABR-MAI-JUN</i>				
Valores Médios	14,1	4,7	50,9	4,6
Desvios Padrão	2,7	0,9	10,1	1,2
<i>JUL-AGO-SET</i>				
Valores Médios	14,4	4,8	49,3	45
Desvios Padrão	2,2	0,8	7,1	1,2
<i>OUT-NOV-DEZ</i>				
Valores Médios	15,6	5,2	48,1	3,9
Desvios Padrão	2,3	0,8	7,7	0,8



**Figura II.5.1.1-31** - Intensidade média anual do vento para o período de 1980 a 2009.





**Figura II.5.1.1-32** - Intensidade média mensal do vento para o período de 1980 a 2009 e as médias mensais mínimas e máximas.

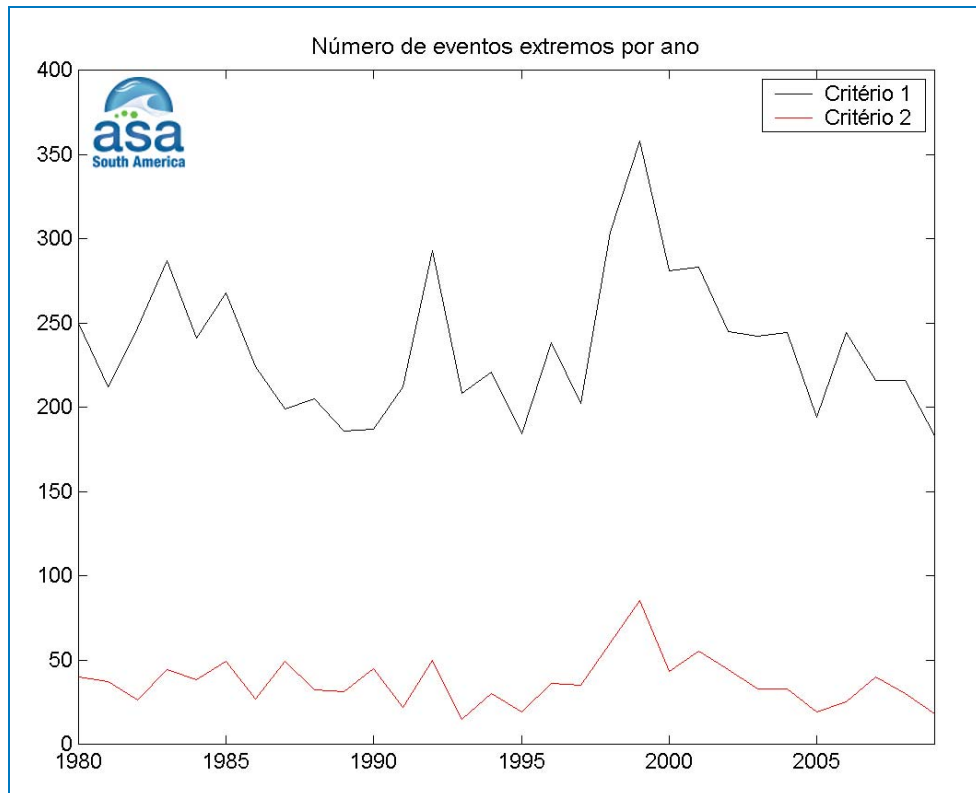
#### **D - Caracterização das Condições Extremas**

Uma caracterização dos eventos extremos de vento foi realizada para o período de 1980 a 2009 com base nos dados de vento a 10 m da reanálise do NCEP (NCEP1). Segundo Wilks (1995) o termo *eventos extremos* indica os maiores (ou menores) valores de uma variável em um determinado número de observações. Desta forma, para caracterização de condições extremas foram considerados os maiores valores da velocidade do vento.

Dois critérios foram utilizados para selecionar os eventos extremos: 1º) valor médio mais um desvio padrão (representando aproximadamente o percentil de 85%); 2º) valor médio mais dois desvios padrão (representando aproximadamente o percentil de 95%). Foram selecionados 7.074 eventos de acordo com o primeiro critério e 1.110 eventos de acordo com o segundo critério. Na **Figura II.5.1.1-33** pode ser observada a variação dos eventos extremos ao longo de todo o período analisado para os dois critérios. O número máximo de eventos extremos ocorreu

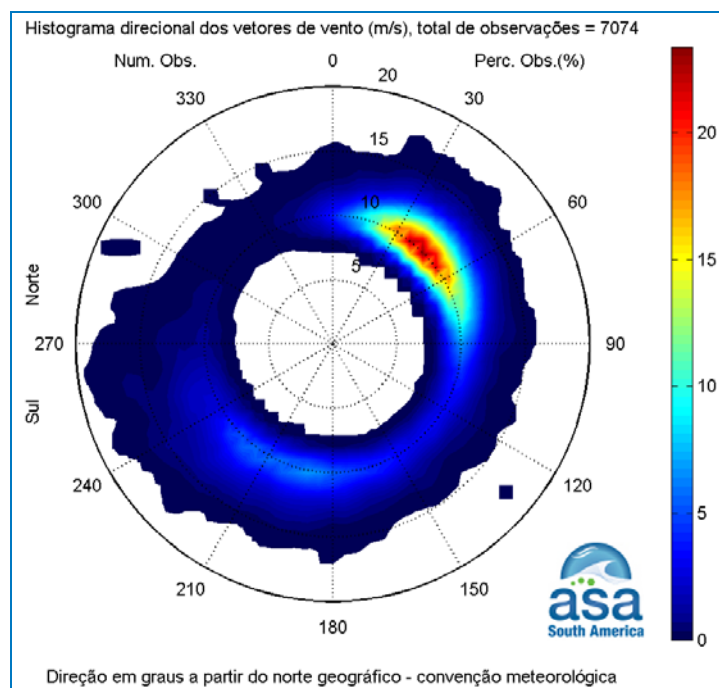


no ano de 1999 para os dois critérios, com 358 e 85 eventos pelo primeiro e segundo critério, respectivamente. O número mínimo de eventos extremos pelo primeiro critério foi de 183 eventos no ano de 2009 e pelo segundo critério foi de 15 eventos no ano de 1993.

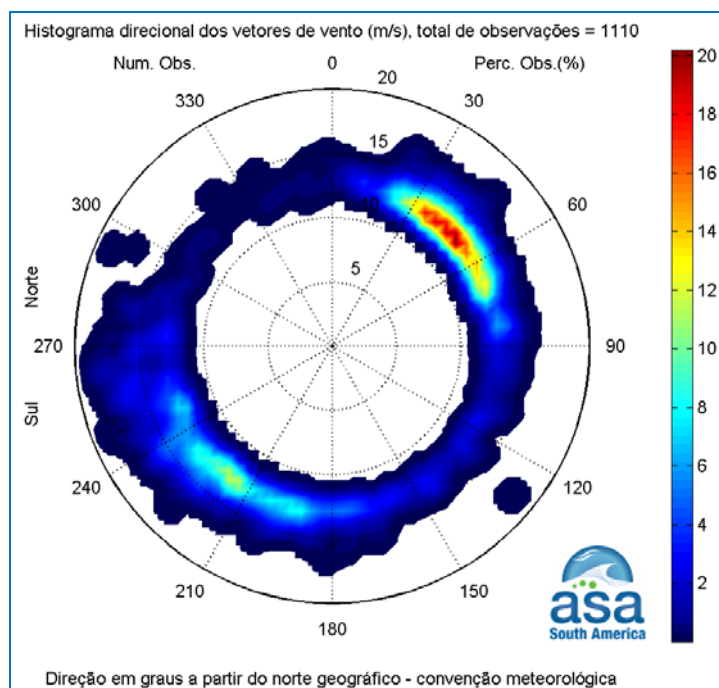


**Figura II.5.1.1-33** - Número de eventos extremos por ano no período de 1980 a 2009 para os dois critérios de seleção.

A **Figura II.5.1.1-34** e a **Figura II.5.1.1-35** apresentam os histogramas direcionais dos eventos extremos de vento selecionados pelo primeiro e o segundo critério, respectivamente. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. A intensidade é apresentada em (m/s) e a escala de cores representa a porcentagem de observações (Perc. Obs.). Nos dois critérios utilizados os eventos mais frequentes são de ventos provenientes de NE (intensificação da ASAS), mas no segundo critério os eventos extremos de vento provenientes de SW também apresentam ocorrência significativa (passagem de sistemas frontais).



**Figura II.5.1.1-34** - Histograma direcional dos eventos extremos de vento selecionados pelo primeiro critério para o período de 1980 a 2009.



**Figura II.5.1.1-35** - Histograma direcional dos eventos extremos de vento selecionados pelo segundo critério para o período de 1980 a 2009.

A **Tabela II.5.1-13** apresenta a distribuição sazonal dos eventos extremos ocorridos entre 1980 e 2009. Os resultados indicam que o maior número de eventos extremos de vento ocorreram no inverno e o menor no verão.

**Tabela II.5.1-13** - Número de eventos extremos de vento no verão (janeiro a março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro).

	1º Critério	2º Critério
	$\bar{V}_v + \sigma$	$\bar{V}_v + 2\sigma$
Verão	1004 (14,2%)	80 (7,2%)
Outono	1402 (19,8%)	273 (24,6%)
Inverno	2507 (35,4%)	471 (42,4%)
Primavera	2161 (30,6%)	286 (25,8%)

#### II.5.1.1.8 - Considerações Finais

A Bacia de Santos encontra-se na região de transição dos climas das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Durante o verão, o aquecimento provocado pelo aumento de radiação solar incidente provoca uma redução da pressão e um aumento do transporte de umidade para esta região, favorecendo a convecção e a definição da estação chuvosa. A estação seca ocorre no período do inverno, mas é menos pronunciada na porção sul da bacia, pois esta região é mais influenciada pela passagem de sistemas frontais.

O escoamento de baixos níveis dominante é proveniente de NE, devido à atuação da ASAS, e mais intenso durante o inverno, quando a alta encontra-se fortalecida. Este padrão é frequentemente perturbado pela passagem de sistemas frontais, que proporcionam intensos ventos de sul na região de interesse. Os sistemas frontais ocorrem durante todo ano, mas são menos intensos e frequentes durante o verão.

Os eventos extremos de vento foram, em geral, provenientes de NE, associados ao fortalecimento ou deslocamento da ASAS. No inverno ocorre um aumento de eventos extremos de quadrante sul, associados a passagens de sistemas frontais. Com relação à sazonalidade destes eventos, observa-se uma menor ocorrência durante o verão e maior durante o inverno.

### II.5.1.2 - Oceanografia

A região da Bacia de Santos está sob influência do regime da Corrente do Brasil (CB), a corrente de contorno oeste associada ao Giro Subtropical do Atlântico Sul. A região da CB é formada pelo empilhamento das massas de água características do Atlântico Sul. A seguir, é detalhada a análise para os principais parâmetros oceanográficos da região.

Para a elaboração do estudo oceanográfico foram utilizados dados de variadas fontes:

- NOAA<sup>7</sup>: climatologia da temperatura da superfície do mar (TSM) para o período de 1982 a 2008;
- NODC<sup>8</sup>: climatologia de temperatura e salinidade;
- WOCE<sup>9</sup>: cruzeiros A17 e A23: temperatura e salinidade;
- WOCE ACM12: dados de corrente dos fundeios BM/333, BM/334, BM/335;
- Banco de dados da ASA: elevação da superfície do mar em Praia Grande/SP;
- Modelo HYCOM<sup>10</sup>: corrente de superfície;
- Modelo POM<sup>11</sup>: campo de correntes para a modelagem de derrame de óleo;
- Modelo WAVEWATCH III (WW3): dados simulados de ondas.

A **Tabela II.5.1-14**, apresentada a seguir, indica a localização e o período de amostragem dos dados ilustrados na **Figura II.5.1.2-1** dos dados oceanográficos utilizados.

<sup>7</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration

<sup>8</sup> National Oceanographic Data Center

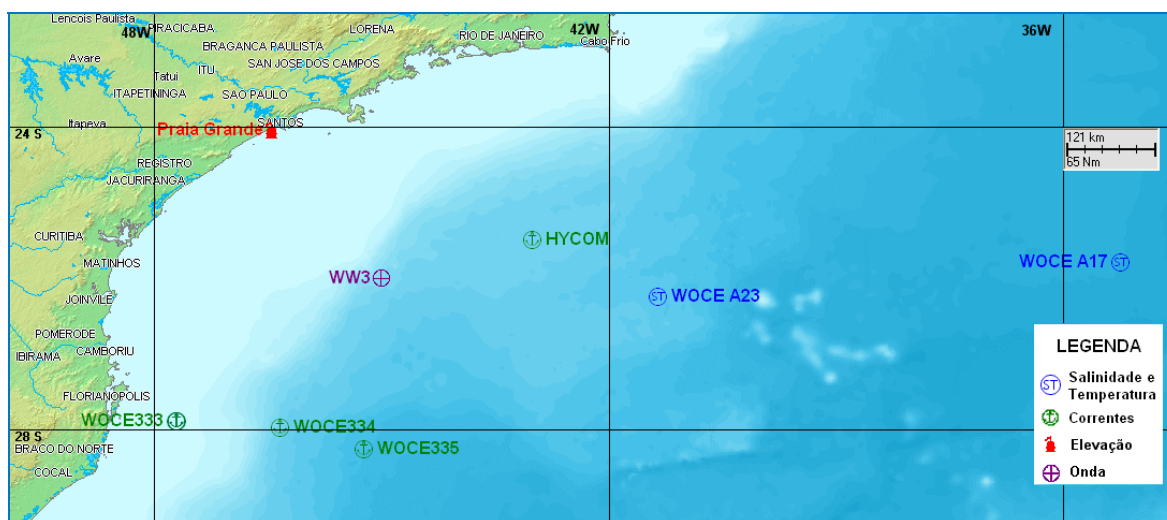
<sup>9</sup> World Ocean Circulation Experiment

<sup>10</sup> Hybrid Coordinate Ocean Model

<sup>11</sup> Princeton Ocean Model.

**Tabela II.5.1-14 - Informações para as estações de medição de correntes, temperatura, salinidade, ondas e maré.**

Parâmetros	Dado	Coordenadas		Período
		Latitude (S)	Longitude (W)	
CORRENTE	WOCE ACM-12 BM/333	27,9020°	46,7040°	3-jan-1991 a 26-nov-1992
	WOCE ACM-12 BM/334	27,9850°	46,3380°	3-jan-1991 a 26-nov-1992
	WOCE ACM-12 BM/335	28,2690°	45,2250°	4-jan-1991 a 26-nov-1992
	HYCOM	25,50°	43,00°	01-jan-2004 a 31-dez-2008
	POM	—	—	
TEMPERATURA E SALINIDADE	TSM (NOAA)	—	—	1982-2008
	NODC	—	—	Climatologia
	WOCE A17	25,7962°	35,2337°	03 de fevereiro de 1994
	WOCE A23	26,2533°	41,3442°	05 de maio de 1995
ELEVAÇÃO	Praia Grande	24,048765°	46,44134°	11 a 29 de julho de 2005
ONDA	Modelo WW3	26,00°	45,00°	2005 a 2007



**Figura II.5.1.2-1 - Mapa com a localização dos parâmetros oceanográficos analisados.**

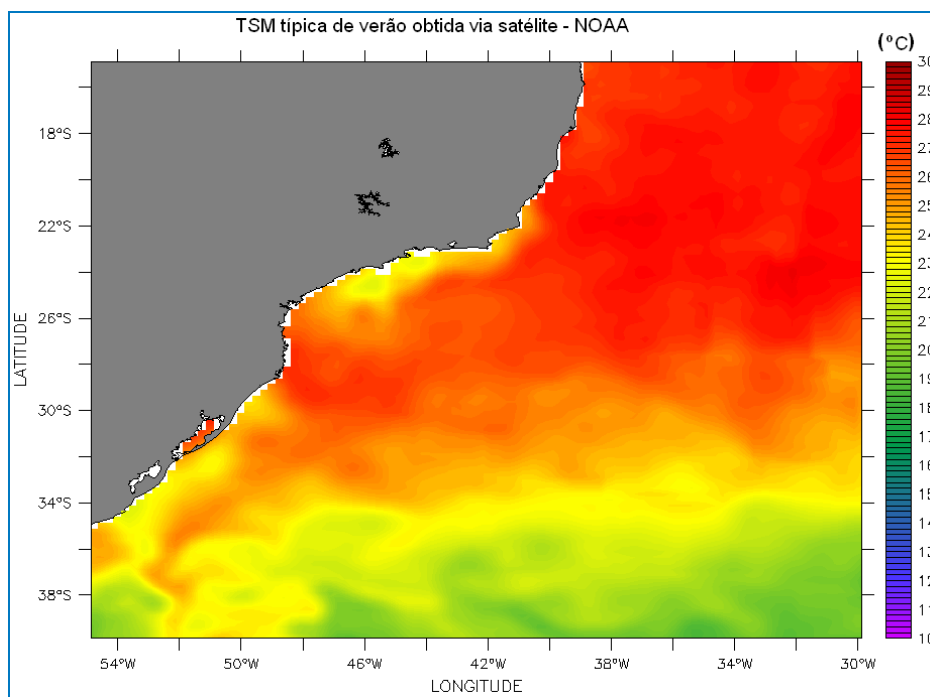
### II.5.1.2.1 - Temperatura, Salinidade, Densidade e Massas d'Água

A Figura II.5.1.2-2 e a Figura II.5.1.2-3, apresentadas a seguir, ilustram os valores típicos de temperatura da superfície do mar (TSM), na costa leste brasileira, de acordo com dados de satélite obtidos junto a NOAA (Reynolds *et al.*, 2007). Na região da Bacia de Santos, as temperaturas variam de 23 a 27 °C, no

verão, e de 17 a 22 °C no inverno. As temperaturas mais baixas são encontradas ao sul do domínio e na região litorânea de São Paulo e do Rio de Janeiro (associadas ao processo de ressurgência costeira).

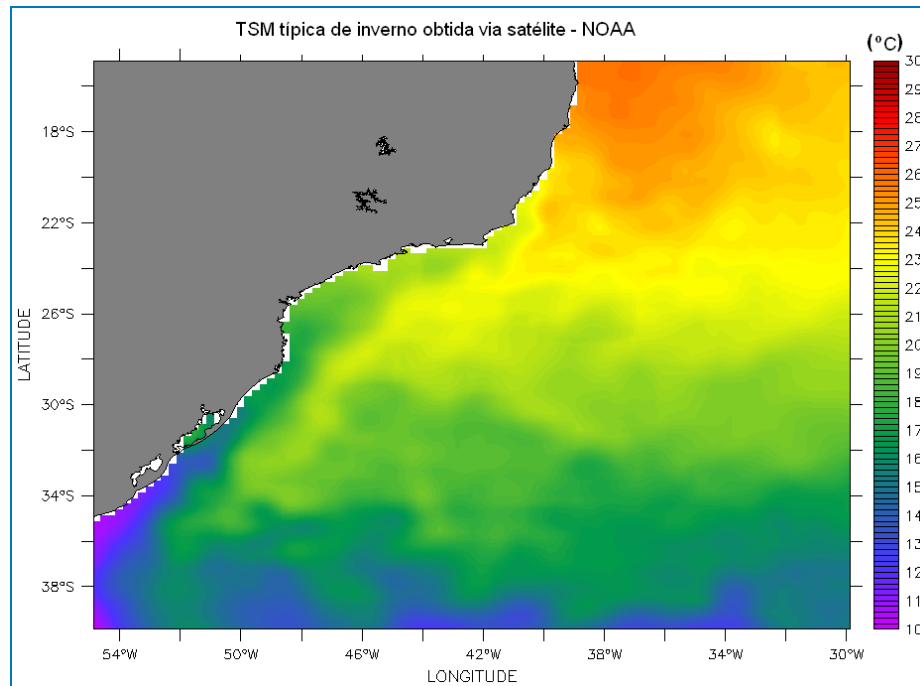
A **Figura II.5.1.2-4** e a **Figura II.5.1.2-5** ilustram os valores médios de TSM e salinidade, de acordo com dados compilados pelo NODC, para a costa leste brasileira. As temperaturas variam de 23 a 26 °C, no verão (janeiro a março), e de 19 a 22 °C, no inverno (junho a agosto), em boa concordância com os valores obtidos por satélite. A salinidade varia de 35,0 a 36,5 em ambos os períodos.

Nos dois conjuntos de dados analisados fica clara a influência da Corrente do Brasil, quente e salina, ao longo da costa do Sul e Sudeste do Brasil, principalmente no verão.

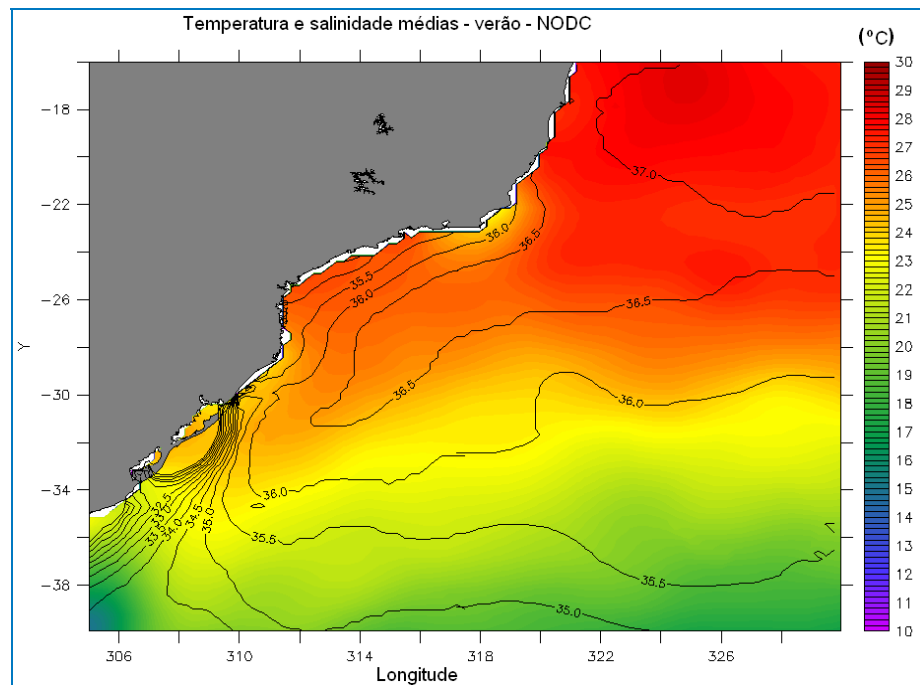


**Figura II.5.1.2-2** - Mapa de temperatura da superfície do mar (TSM), típica de verão, obtida a partir de dados de satélite da NOAA (Reynolds et al., 2007).

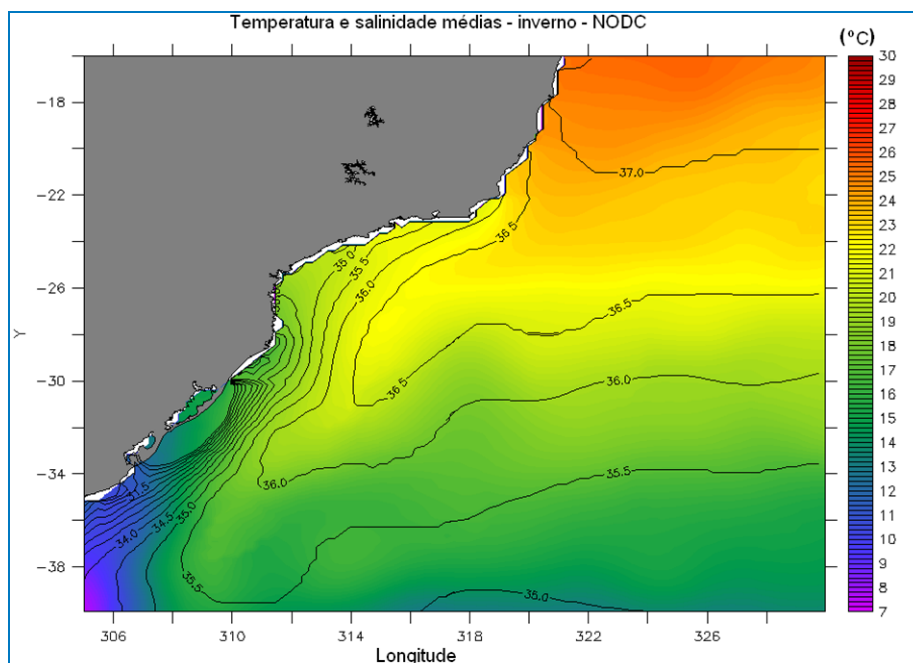




**Figura II.5.1.2-3** - Mapa de temperatura da superfície do mar (TSM), típica de inverno, obtida a partir de dados de satélite da NOAA (Reynolds et al., 2007).



**Figura II.5.1.2-4** - Mapa de temperatura da superfície do mar (TSM), com contornos de salinidade sobrepostos, médias para o verão, obtidas a partir de dados do NODC.



**Figura II.5.1.2-5** - Mapa de temperatura da superfície do mar (TSM), com contornos de salinidade sobrepostos, médias para o inverno, obtidas a partir de dados do NODC.

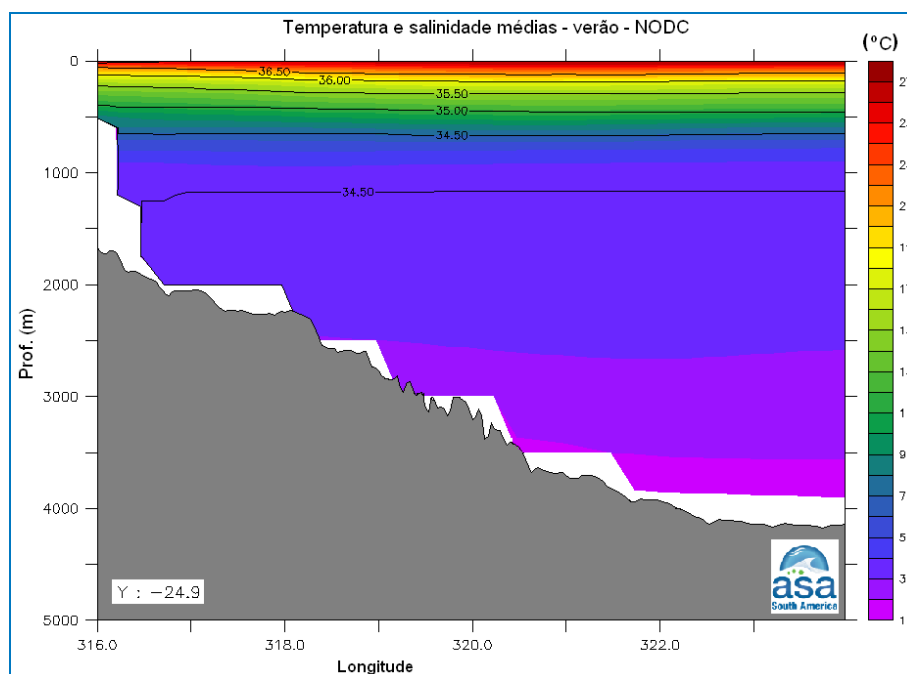
Durante o inverno um dos principais processos oceanográficos que influencia na dinâmica da plataforma do Sul e Sudeste do Brasil é a penetração das águas de origem sub-antártica transportadas para norte por uma ramificação costeira da Corrente das Malvinas (Silva *et al.*, 1996). Essas águas frias e de baixa salinidade dividem a dinâmica da região com as águas quentes e salinas de origem tropical transportadas pela Corrente do Brasil.

Somadas a estas duas águas, podemos ainda encontrar a contribuição de águas de origem continental provenientes da Lagoa dos Patos e do próprio estuário do Rio da Prata, que originam gradientes transversais de temperatura e salinidade bem definidos. De acordo com Soares & Möller (2001), estas águas são feições dominantes na plataforma interna, participando da formação e distribuição de massas de água, enquanto que as águas tropicais e sub-tropicais (transportadas pela Corrente do Brasil) dominam a plataforma externa e o talude. Segundo estes autores, esta massa de água fria e pouco salina ocupa aproximadamente 50 m de profundidade, sendo o alcance transversal máximo na primavera austral, quando o escoamento da Lagoa dos Patos é máximo e o regime de ventos favorece a mistura.

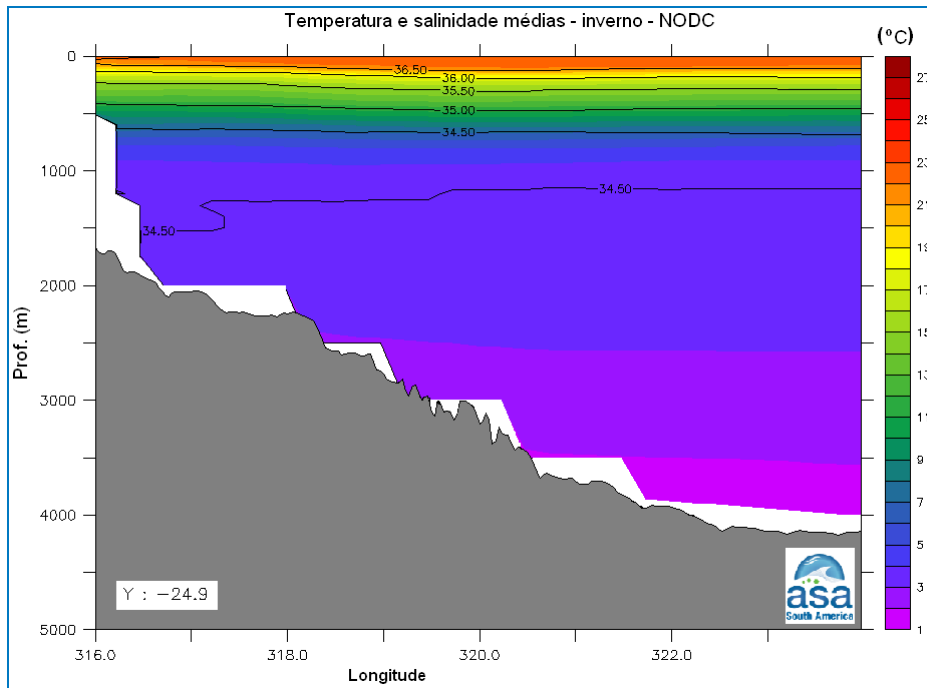
A **Figura II.5.1.2-6** e a **Figura II.5.1.2-7** ilustram os valores médios de temperatura e salinidade, para uma secção vertical ao longo de 24,9° S, de acordo com dados compilados pelo NODC, para os períodos de janeiro a março (verão) e de junho a agosto (inverno).

Próximo à superfície verifica-se uma resposta direta ao ciclo sazonal de radiação solar incidente na superfície, com temperaturas mais elevadas no verão (em torno de 26 °C) e temperaturas menores no inverno (em torno de 21 °C). Nas camadas inferiores, devido à alta capacidade térmica da água, existe uma inércia no aquecimento e resfriamento com relação à superfície e os máximos e mínimos de temperatura ocorrem no outono e na primavera, respectivamente. Variações sazonais de temperatura são mais significativas até aproximadamente 200 m. As alterações de salinidade são menos significativas.

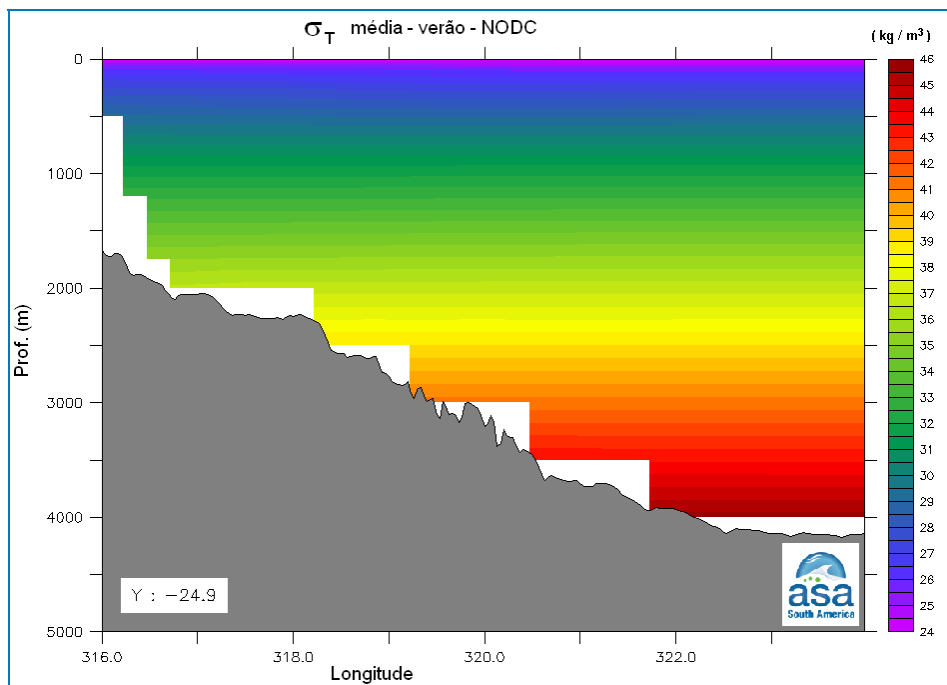
A **Figura II.5.1.2-8** e a **Figura II.5.1.2-9** apresentam secções médias de sigmaT ( $\sigma_T$ ), ao longo de 24,9° S, calculados para os períodos de verão e inverno. As variações sazonais de  $\sigma_T$  acompanham principalmente as variações da temperatura. Portanto, valores mínimos e máximos de  $\sigma_T$  próximo à superfície são verificados no verão e no inverno, respectivamente.



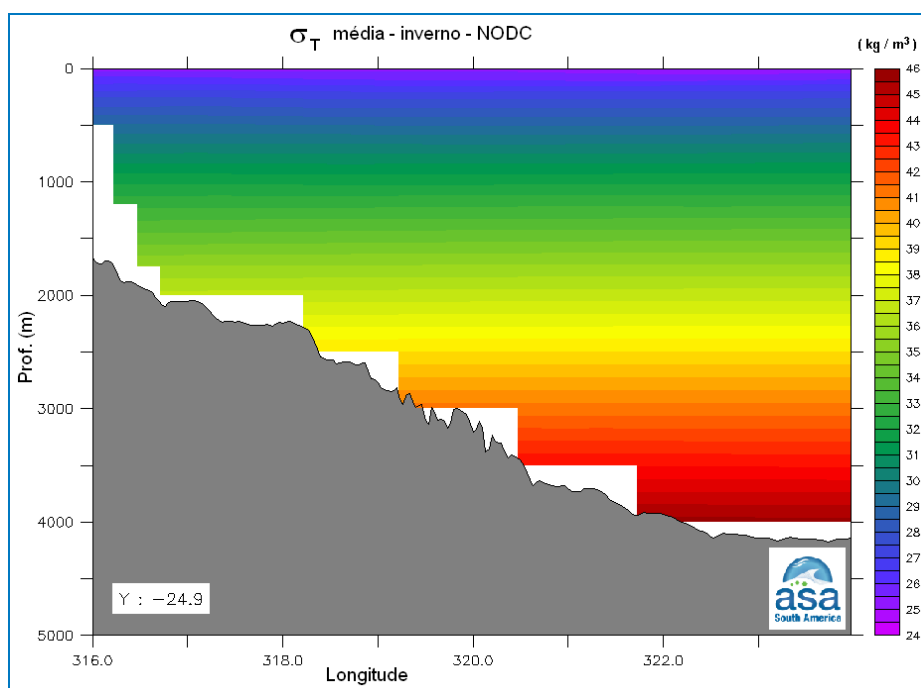
**Figura II.5.1.2-6** - Secção de temperatura, com contornos de salinidade sobrepostos, ao longo de 24,90°S, médios para o verão, obtidos a partir de dados do NODC.



**Figura II.5.1.2-7** - Secção de temperatura, com contornos de salinidade sobrepostos, ao longo de 24,90°S, médios para o inverno, obtidos a partir de dados do NODC.



**Figura II.5.1.2-8** - Seção vertical de  $\sigma_T$  (kg/m³) ao longo de 24,90°S para o período de janeiro a março (verão), de acordo com os dados do NODC.



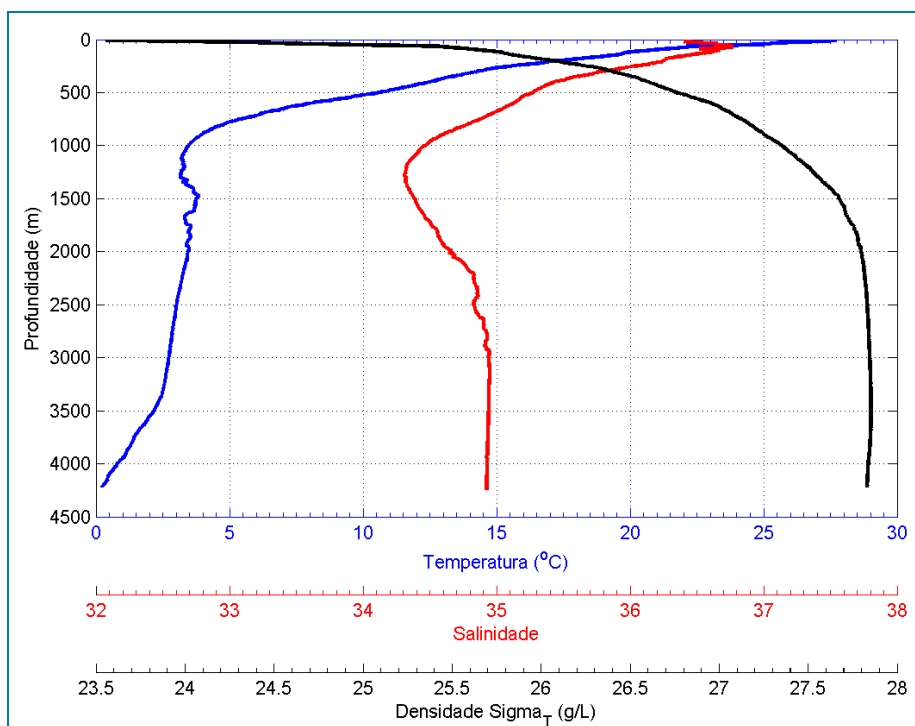
**Figura II.5.1.2-9** - Seção vertical de  $\sigma_T$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) ao longo de  $24,90^\circ\text{S}$  para o período de junho a julho (inverno), de acordo com os dados do NODC.

Dados de temperatura e salinidade obtidos do WOCE são analisados a seguir. Os dados foram coletados com CTD e são referentes às seguintes posições e datas, listadas na **Tabela II.5.1-15**.

**Tabela II.5.1-15** - Coordenadas e datas das coletas dos dados de temperatura e salinidade.

Cruzeiro	Latitude	Longitude	Data
WOCE A17	$25,7962^\circ\text{ S}$	$35,2337^\circ\text{ W}$	3 de fevereiro de 1994
WOCE A23	$26,2533^\circ\text{ S}$	$41,3442^\circ\text{ W}$	5 de maio de 1995

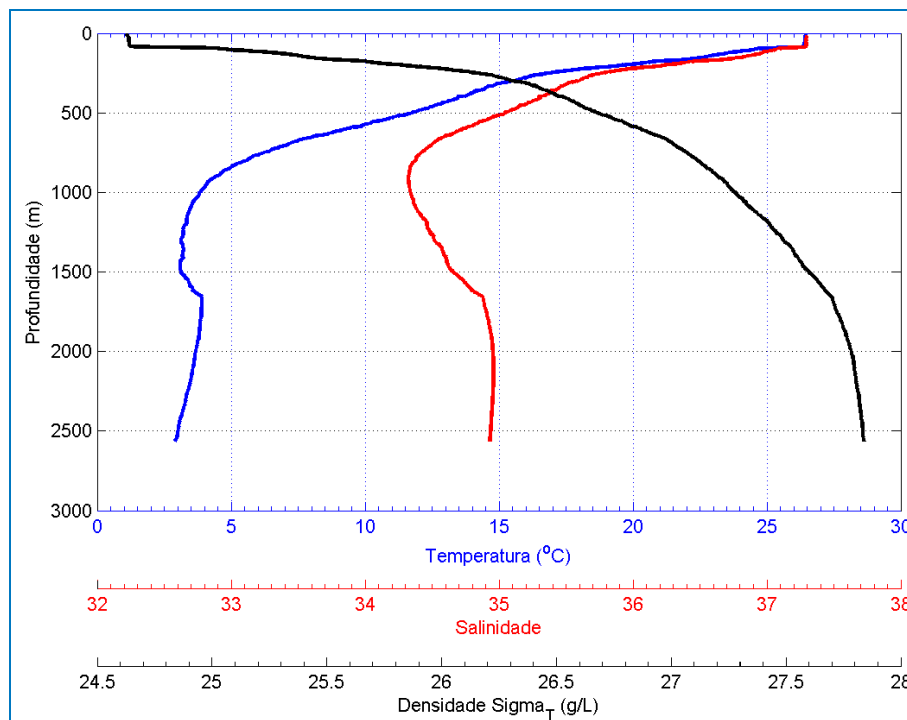
A **Figura II.5.1.2-10** apresenta os perfis verticais de temperatura, salinidade e  $\sigma_T$ , que foi calculado a partir do polinômio apresentado em Fofonoff e Millard (UNESCO, 1983), para os dados coletados em WOCE A17. As profundidades da termoclina, haloclina e picnoclina são aproximadamente 1.000, 1.300 e 1.800 m, respectivamente.



**Figura II.5.1.2-10** - Perfis verticais de temperatura, salinidade e  $\sigma_T$  para os dados obtidos no Cruzeiro WOCE A17 nas coordenadas 25,7962°S e 35,2337°W em 3 de fevereiro de 1994.

A **Figura II.5.1.2-11** apresenta os perfis verticais de temperatura, salinidade e  $\sigma_T$ , que foi calculado a partir do polinômio apresentado em Fofonoff e Millard (UNESCO, 1983), para os dados coletados em WOCE A23. As profundidades da termoclina, haloclina e pycnoclina são aproximadamente 1.000, 800 e 1.600 m, respectivamente.





**Figura II.5.1.2-11** - Perfis verticais de temperatura, salinidade e  $\sigma_T$  para os dados obtidos no Cruzeiro WOCE A23 nas coordenadas 26,2533°S e 41,3442°W em 5 de maio de 1995.

A região de estudo é caracterizada por uma circulação oceânica formada por um conjunto de variadas massas d'água: Água Costeira (AC), Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água de Plataforma (AP), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). Cada uma delas apresenta um índice termohalino característico, reflexo das condições ambientais do local de formação e, quando houver, dos processos de mistura sofridos até chegarem à região em estudo. A seguir segue uma breve caracterização das massas d'água presentes na região.

#### **A - Água Costeira (AC):**

Segundo Aseff (2006), a Água Costeira não apresenta um índice termohalino constante, pois suas características sofrem variações sazonais de acordo com os aportes continentais e com a influência das águas de origem subantártica. As diferentes classificações dos índices termohalinos da AC são:

- $T > 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $S < 35$  (Emílsson, 1961; Miranda, 1982);
- $T = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $S = 34,9$  (Castro Filho *et al.*, 1987);
- $T > 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $S < 35,4$  (Aidar *et al.*, 1993).

Nesse estudo está sendo considerado o índice termohalino de Castro Filho *et al.* (op. cit.).

### **B - Água Tropical (AT):**

Massa de água quente e salina (com salinidade maior que 36), transportada superficialmente para o sul pela Corrente do Brasil. É formada em baixas latitudes por processos de intensa radiação e excesso de evaporação em relação à precipitação. Ao longo de seu deslocamento para o sul, perde sal e calor à medida que se mistura com outras massas. Geralmente é encontrada no talude, mas pode ocupar a plataforma média e externa durante o verão. (Aseff, 2006). Seguem exemplos de classificação termohalina da AT:

- $T > 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $S > 36$  (Emílsson, op. cit.; Miranda, op. cit.);
- $T = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $S = 37$  (Castro Filho *et al.*, op. cit.);
- $T > 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $S > 36$  (Stramma & England, 1999);

Nesse estudo está sendo considerado o índice termohalino de Castro Filho *et al.* (op. cit.).

### **C - Água Central do Atlântico Sul (ACAS):**

Massa de água formada pela mistura da AT e ASA (Água Subantártica). Apresenta temperaturas um pouco menores e salinidade semelhante à AT. Na coluna d'água é encontrada imediatamente abaixo da AT (Aseff, op. cit.). Cirano *et al.* (2006) afirma que sua formação acontece na zona de confluência da Corrente do Brasil com a Corrente das Malvinas, o que justifica sua salinidade. A seguir são apresentados exemplos de classificações termohalinas para ACAS:

- $10^{\circ} < T < 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $35 < S < 36$  (Sverdrup *et al.*, 1942; Emílsson, op. cit.; Miranda, op. cit.);

- $6\text{ °C} < T < 18\text{ °C}$  e  $34,5 < S < 36$  (Aidar *et al.*, 1993);
- $T = 13\text{ °C}$  e  $S = 35,4$  (Castro Filho *et al.*, 1987);
- $6\text{ °C} < T < 20\text{ °C}$  e  $34,6 < S < 36$  (Stramma & England, *op. cit.*);

Nesse estudo está sendo considerado o índice termohalino de Castro Filho *et al.* (*op. cit.*).

#### **D - Água de Plataforma (AP):**

Água de grande influência do aporte continental sobre a plataforma, a AP é relativamente quente e salina (Aseff, *op.cit.*).

A classificação do índice termohalino da AP é dada por:

- $T > 20\text{ °C}$  e  $35 < S < 36$  (Emilsson, *op. cit.*; Miranda, *op. cit.*).

#### **E - Água Intermediária Antártica (AIA):**

Massa de água localizada imediatamente abaixo da ACAS. Apresenta-se como uma corrente de contorno oeste bem definida, que se move na direção do equador ao norte de  $25^{\circ}$  S, fluindo para o sul em  $28^{\circ}$  S. Esta bifurcação ocorre próximo à latitude de Santos, mas com eixo da divergência ocorrendo praticamente paralelo ao talude (Cirano *et al.*, *op. cit.*).

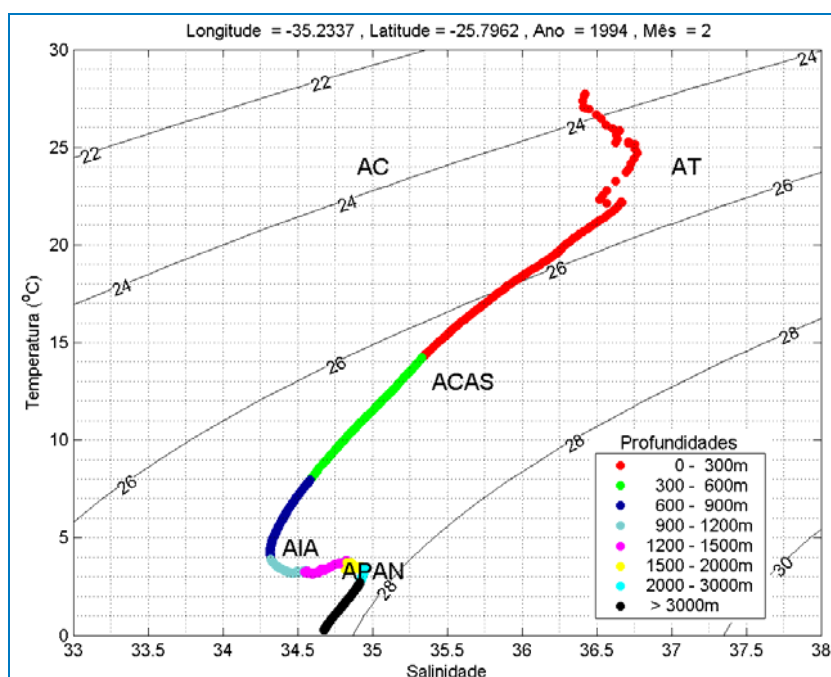
Stramma & England (*op. cit.*), classificaram o índice termohalino da AIA como:  $3\text{ °C} < T < 6\text{ °C}$  e  $34,2 < S < 34,6$

#### **F - Água Profunda do Atlântico Norte (APAN):0**

Transportada para sul pela Corrente de Contorno Profunda (Godoi, 2005) e situada logo abaixo da AIA é parte integrante da circulação termohalina. A APAN é caracterizada por valores de temperatura entre 3 e 4 °C e salinidades entre 34,6 e 35, ocupando níveis entre 1.500m e 3.000m ao longo do Sudeste Brasileiro (Silveira *et al.*, 2000 *apud* Cirano *et al.*, 2006). Apresenta-se com um fluxo organizado, fluindo para o sul ao longo do contorno oeste até cerca de  $32^{\circ}$  S, onde pelo menos parte da corrente retorna em direção ao equador (Reid, 1989;

Weatherly, 1993 *apud* Cirano *et al.*, 2006). Stramma & England (1999) classificam o índice termohalino da APAN como:  $3\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 4\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $34,6 < S < 35,0$ .

A **Figura II.5.1.2-12** mostra o diagrama T-S espalhado construído a partir dos dados do Cruzeiro A17. A profundidade obtida originalmente em dbares foi convertida em metros, a maior profundidade amostrada foi de 4.218 m. Nesta figura são identificadas as principais massas de água presentes na região.



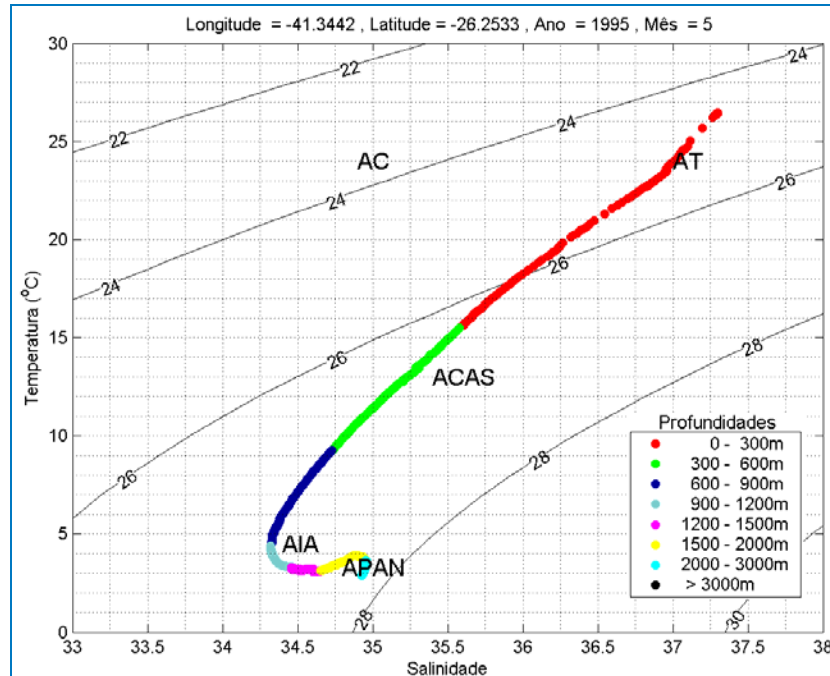
**Figura II.5.1.2-12** - Diagrama T-S espalhado, mostrando os pares T-S característicos das massas d'água da costa leste/sudeste do Brasil, dados obtidos no cruzeiro WOCE A17.

As profundidades amostradas, em metros, são indicadas na legenda.

A **Figura II.5.1.2-13** mostra o diagrama T-S espalhado construído a partir dos dados do Cruzeiro A23. A profundidade obtida originalmente em dbares foi convertida em metros e a maior profundidade amostrada foi de 2.562 m. Nesta figura são identificadas as principais massas de água presentes na região.

Comparando a **Figura II.5.1.2-12** e a **Figura II.5.1.2-13** observa-se, num primeiro momento, que em ambos os pontos, tanto no verão quanto no outono, as massas de água profundas (a partir de 300 m) apresentam-se constantes. Essas são águas formadas em superfície e que, após atingirem altas profundidades,

mantêm suas características termohalinas, sendo então, bastante semelhantes em ambos os gráficos.



**Figura II.5.1.2-13 - Diagrama T-S espalhado, mostrando os pares T-S característicos das massas d'água da costa leste/sudeste do Brasil, dados obtidos no cruzeiro WOCE A23.**

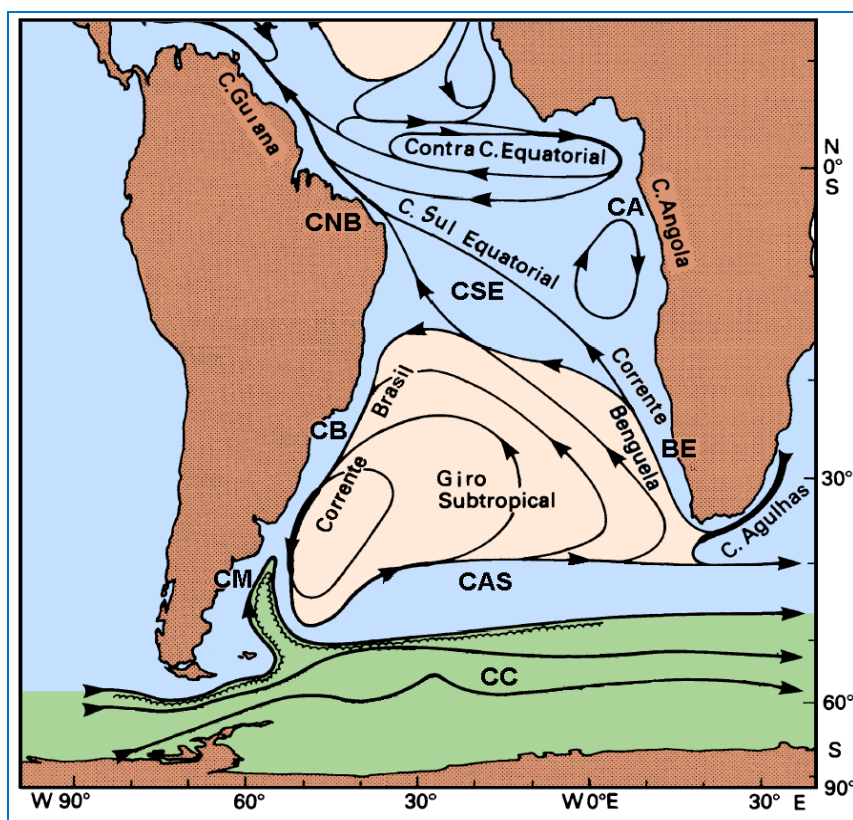
As profundidades amostradas, em metros, são indicadas na legenda.

Para as águas superficiais, pode-se observar a influência atmosférica nos índices termohalinos. A **Figura II.5.1.2-12** apresenta um ponto mais afastado da costa e amostras de verão (fevereiro). Nela verificam-se as altas temperaturas – valores acima de 27 °C – e salinidade máxima próxima de 36,5.

A **Figura II.5.1.2-13**, representa um ponto próximo à costa, porém em área fora de plataforma, dessa forma, não se observam influências de águas costeiras. Os dados foram coletados no outono (maio), assim, os valores apresentam menores temperaturas – máxima próxima de 26 °C – e um aumento na salinidade – próxima a 37,2 - o que indica o reflexo das condições atmosféricas de outono.

### II.5.1.2.2 - Correntes

A **Figura II.5.1.2-14** ilustra o Giro Sub-Tropical do Atlântico Sul. Este giro possui uma corrente de contorno oeste para sul, a Corrente do Brasil (CB), a qual se separa da costa na região da confluência com a Corrente das Malvinas (CM). A partir deste ponto, a Corrente do Brasil composta com a Corrente das Malvinas se afasta da costa e flui para leste como Corrente do Atlântico Sul (CAS). O giro no Atlântico é complementado pela Corrente de Benguela (BE), Corrente Sul Equatorial (CSE), fechando o circuito com a Corrente do Brasil para sul e a Corrente Norte do Brasil (CNB).



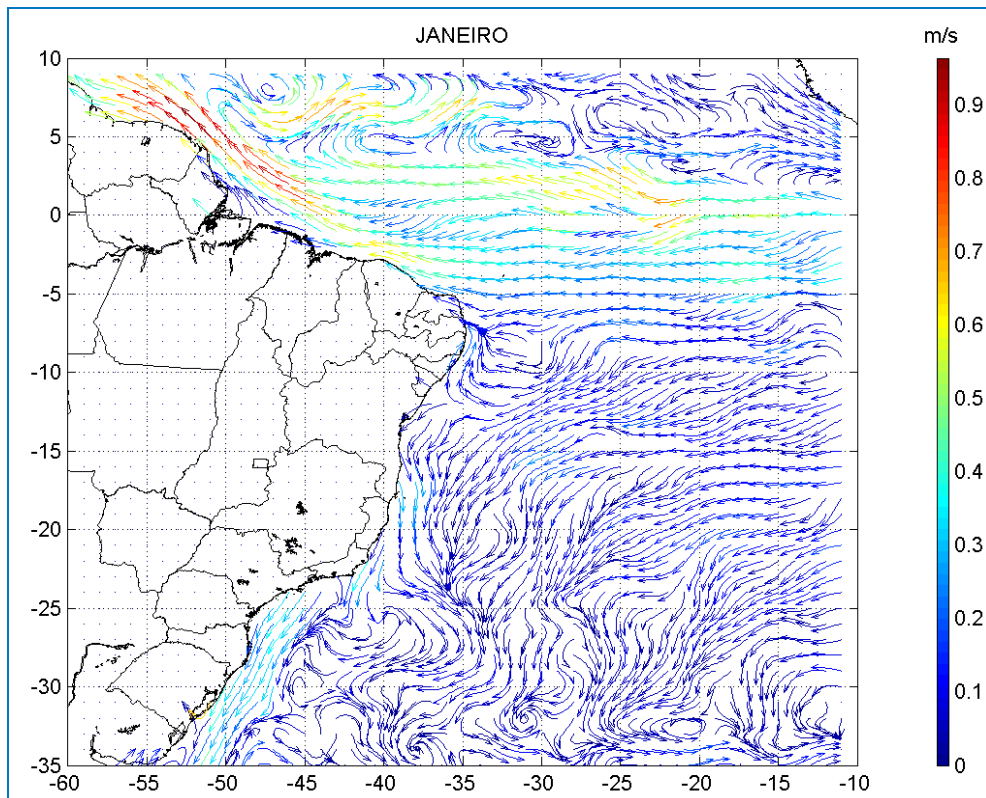
**Figura II.5.1.2-14** - Representação da circulação no Oceano Atlântico Sul, indicando as seguintes correntes oceânicas:

Corrente Circumpolar (CC), Corrente do Atlântico Sul (CAS), Corrente de Benguela (BE), Corrente de Angola (CA), Corrente Sul Equatorial (CSE), Corrente do Brasil (CB) e Corrente das Malvinas (CM). Adaptado de Tomczak & Godfrey (1994).

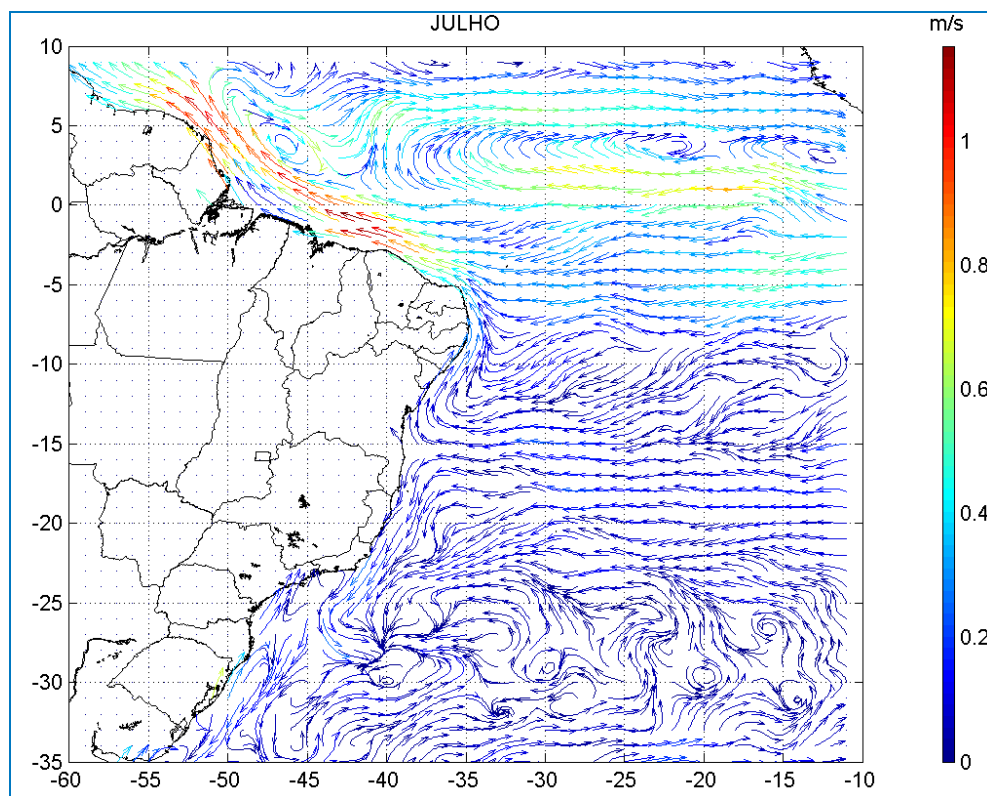
Na **Figura II.5.1.2-15** e na **Figura II.5.1.2-16** são apresentados os campos de correntes próximos à superfície oriundos da decomposição, na resolução espacial de 1 grau, dos dados de observação da circulação próxima à superfície,



registrada através de uma rede de bóias de deriva rastreadas por satélite (Lumpkin & Garraffo, 2005). Os campos apresentados são relativos às médias mensais (1990 a 2004) para os meses de janeiro e julho, típicos de verão e inverno, respectivamente. Observa-se a bifurcação da CSE ocorrendo entre 10 e 15° S, originado a CNB e a CB. Na região costeira da Bacia de Santos há uma tendência de circulação em direção à sudoeste no verão e à nordeste no inverno. Na região adjacente, prevalece o fluxo para sudoeste, associado à CB.



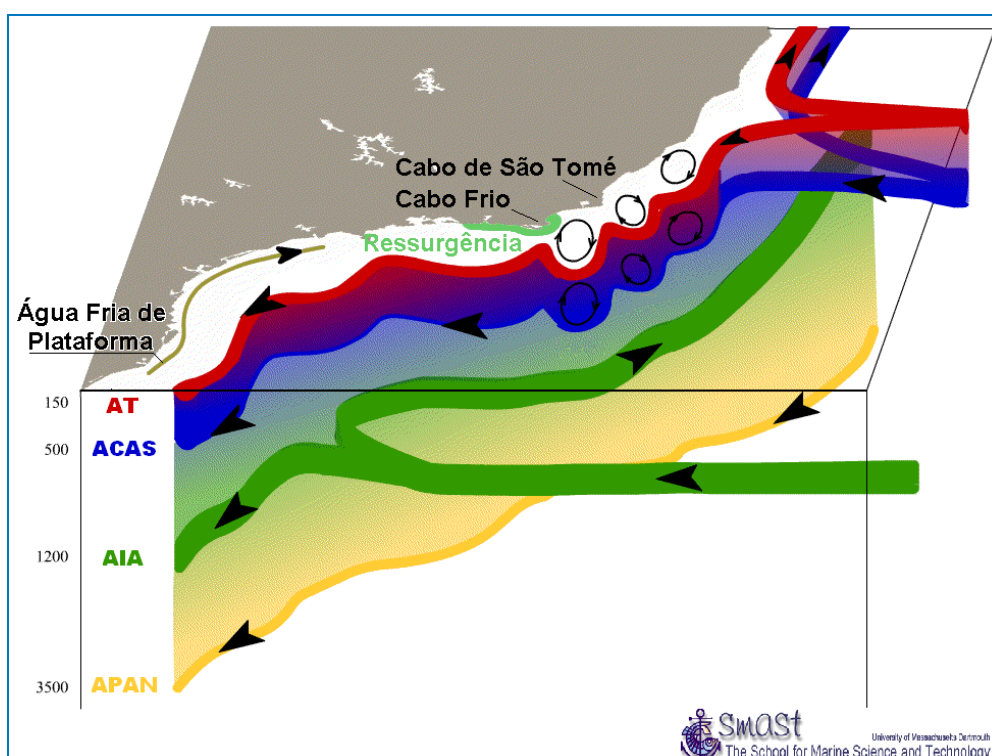
**Figura II.5.1.2-15** - Média mensal climática de janeiro da circulação próxima à superfície, oriunda da decomposição, na resolução espacial de 1 grau, dos dados de observação da circulação próxima à superfície, registrada através de uma rede de bóias de deriva rastreadas por satélite (Lumpkin & Garraffo, 2005).



**Figura II.5.1.2-16** - Média mensal climática de julho da circulação próxima à superfície, oriunda da decomposição, na resolução espacial de 1 grau, dos dados de observação da circulação próxima à superfície, registrada através de uma rede de bóias de deriva rastreadas por satélite (Lumpkin & Garraffo, 2005).

As primeiras medições diretas da CB foram feitas por Evans & Signorini (1985), nas latitudes de 20°30'S e 23°S, as quais apresentaram um fluxo confinado aos primeiros 400 m de profundidade, com uma contra-corrente no sentido norte, abaixo destes 400 m iniciais. Segundo Godoi (2005), observações e experimentos numéricos revelam que a CB, fluindo ao largo do Sudeste Brasileiro, transporta AT e ACAS entre a superfície e níveis picnoclínicos. Subjacente a CB, a Corrente de Contorno Intermediária (CCI) transporta, em níveis subpicnoclínicos da coluna de água, predominantemente AIA. Neste contexto, nota-se, portanto, uma relação entre as referidas correntes de contorno oeste e correspondente estratificação de massas de água: o Sistema CB está associado com a estrutura das massas de água AT/ACAS-AIA. A **Figura II.5.1.2-17** apresenta o Sistema Corrente do Brasil.

Na parte norte, acima do Cabo de São Tomé, a direção da corrente é para 180°, variando para 220° na região de Cabo Frio. Esta mudança afeta significativamente a CB, induzindo à formação de vórtices e meandros, como indicado na **Figura II.5.1.2-17**. Este meandramento da CB foi capturado por Signorini (1978), em sua análise de topografia dinâmica, e por Miranda & Castro Filho (1979) em suas observações hidrográficas na região adjacente à Cabo Frio (23° S), ao longo de duas secções meridionais. Esta figura apresenta ainda, além da representação da circulação oceânica na região, as massas d'água a ela associadas.



**Figura II.5.1.2-17** - Esquema da circulação oceânica na costa brasileira. As cores diferenciam as massas d'água existentes na região:

Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN)<sup>12</sup>.

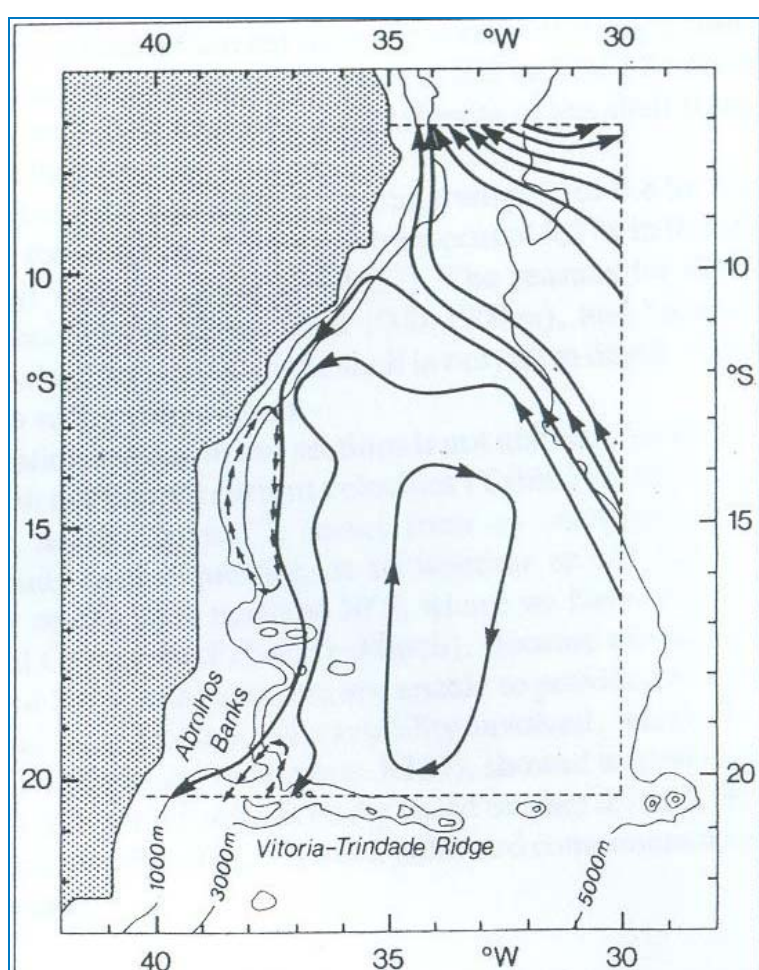
O volume estimado transportado pela CB na região da quebra da plataforma e do talude na latitude de 22°S é de  $5,5 \pm 2,6 \text{ Sv}^{13}$  (Lima, 1997). Algumas regiões sobre o talude continental podem apresentar velocidades de correntes maiores que 1,0 m/s (Castro Filho & Miranda, 1998).

<sup>12</sup> Adaptado de <http://www.smast.umassd.edu/modeling>

<sup>13</sup> 1 Sv equivale a  $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$

Gonçalves (2000) apresentou uma seqüência de estudos com o objetivo de caracterizar a circulação da CB. Segundo este autor, o nível de movimento nulo para a região investigada foi de 700 m. Considerando este nível, o transporte de volume para a CB foi, em média, 5,5 Sv em 24° S e 16,0 Sv em 27° S.

Parte significativa do fluxo da CB passa através dos canais dos Bancos de Abrolhos e divide-se em dois ramos. Um deles flui afastado da costa, além da isóbata de 3.000 m (Stramma *et al.*, 1990), como indicado na **Figura II.5.1.2-18**, enquanto o outro flui seguindo a linha de quebra da plataforma (Signorini, 1978).



**Figura II.5.1.2-18** - Representação esquemática do campo de fluxo geostrófico nos primeiros 500 m, com base em dados hidrográficos históricos, coletados na região demarcada.

As linhas cheias correspondem a transporte de 2 Sv e a linha tracejada de 1 Sv (Adaptado de Stramma *et al.*, 1990).



A corrente que flui para sudoeste durante o verão é reforçada pelos ventos que provêm principalmente de nordeste nessa estação devido à influência da ASAS. Outra consequência do predomínio dos ventos de NE é a ressurgência de águas frias (Água Central do Atlântico Sul – ACAS) em regiões costeiras. Esses eventos são muito comuns na região de Cabo Frio. No inverno, entretanto, a alta incidência de sistemas frontais induz a ocorrência de correntes com direção nordeste nas porções interna e média da plataforma (Castro F & Miranda, 1998).

Vários modelos numéricos globais reproduzem o sistema de correntes em larga escala nesta região. O processo de *warm up* do modelo hidrodinâmico aqui apresentado foi baseado nos resultados de uma simulação de 14 anos do modelo OCCAM<sup>14</sup>, disponibilizados pela Universidade de Southampton. O OCCAM foi elaborado com base no GFDL MOM<sup>15</sup>, incluindo uma superfície livre e esquemas de advecção melhorados. A grade, para o Oceano Atlântico Sul, é regular ( $\frac{1}{4}$  de grau), com 36 níveis (20 m de espessura próximo à superfície e 255 m em 5.500 m de profundidade). Este modelo foi inicializado com médias anuais de temperatura e salinidade do LEVITUS<sup>16</sup>, forçado na superfície com dados de vento do ECMWF<sup>17</sup> (médias mensais) e relaxado para os campos sazonais de temperatura e salinidade do LEVITUS.

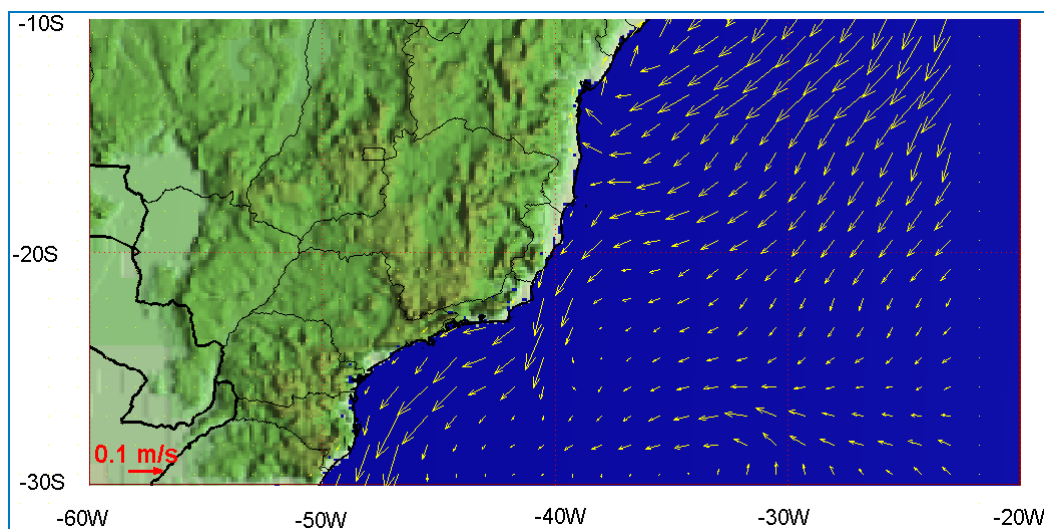
A **Figura II.5.1.1-27** ilustra uma média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM. Nota-se o ramo Sul da CSE atingindo a costa do Brasil em torno de 15°S, bifurcando-se e originando a CNB, fluindo para Norte, e a CB, fluindo para Sul.

<sup>14</sup> Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling Project - Southampton Oceanography Centre.

<sup>15</sup> Global Fluid Dynamics Laboratory - Modular Ocean Model.

<sup>16</sup> <http://ingrid.lidgo.columbia.edu/SOURCES/.LEVITUS94>.

<sup>17</sup> European Centre for Medium-range Weather Forecast.



**Figura II.5.1.2-19** - Média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM.

### II.5.1.2.3 - Análise dos Dados de Correntes

As informações de correntes apresentadas, a seguir, foram obtidas junto ao Banco de Dados do WOCE. A localização e período de coleta são apresentados a seguir e foram previamente mostradas na **Tabela II.5.1-14** e **Figura II.5.1.2-1**:

- WOCE ACM-12 BM/333 - medições em 230, 475 e 680 m, de 3 de janeiro de 1991 a 26 de novembro de 1992, em região de talude (lâmina d'água igual a 1.179 m e coordenadas 27,9020°S; 46,7040°W).
- WOCE ACM-12 BM/334 - medições em 208, 470, 870, 1370 e 2140 m, de 3 de janeiro de 1991 a 26 de novembro de 1992, em região de talude (lâmina d'água igual a 2.187 m e coordenadas 27,9850°S; 46,3380°W).
- WOCE ACM-12 BM/335 - medições em 275, 515, 915, 1415, 2510 e 3215 m, de 4 de janeiro de 1991 a 26 de novembro de 1992, em região de talude (lâmina d'água igual a 3.258 m e coordenadas 28,2690°S; 45,2250°W).

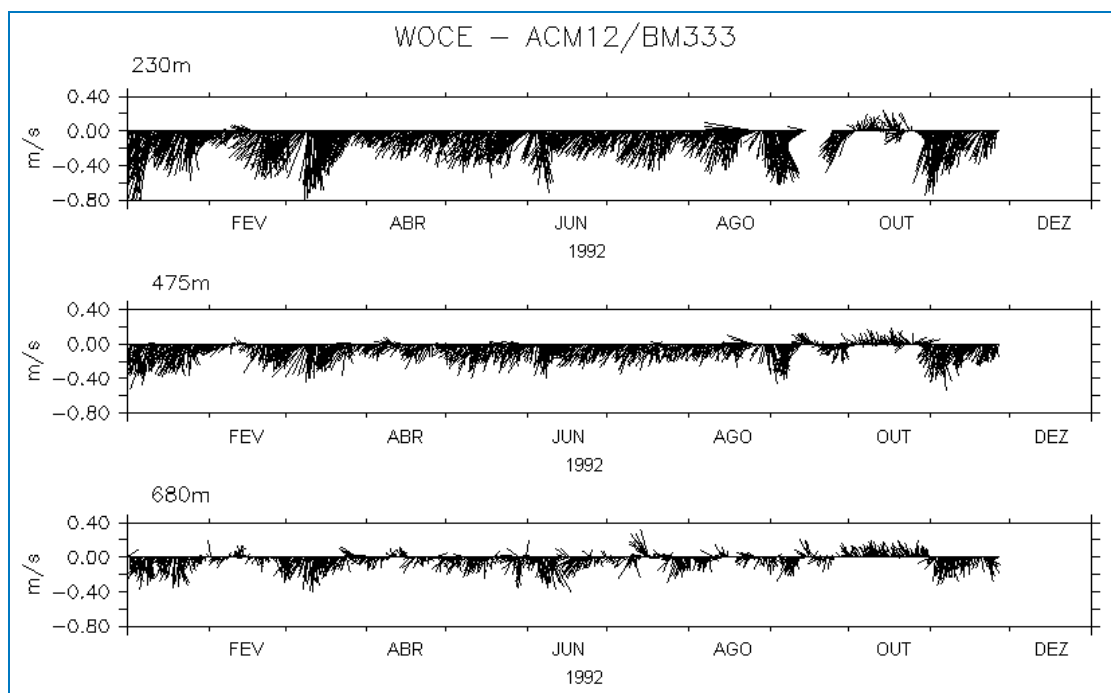


## A - ACM-12 BM/333

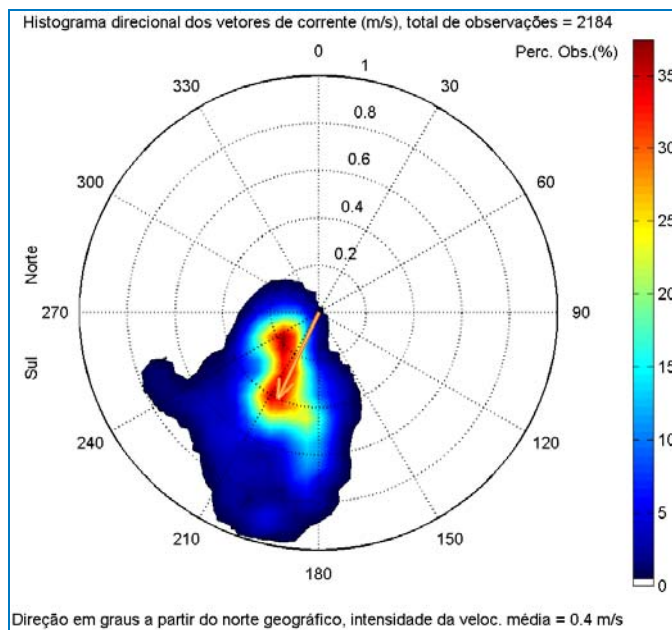
A **Figura II.5.1.2-20** apresenta os diagramas *stick plot* dos dados de corrente medidos em 1992 no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE. Observa-se uma tendência de movimentação para SW em todas as profundidades amostradas, com a intensidade diminuindo em direção ao fundo.

A **Figura II.5.1.2-21** e a **Figura II.5.1.2-22** apresentam os dados de corrente do fundeio BM/333 – WOCE, medidos a 230 m de profundidade, plotados na forma de histograma direcional para os períodos de verão (janeiro a março de 1992) e inverno (junho a agosto de 1992), respectivamente. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico. A intensidade é apresentada em (m/s) e a escala de cores representa a porcentagem de observações.

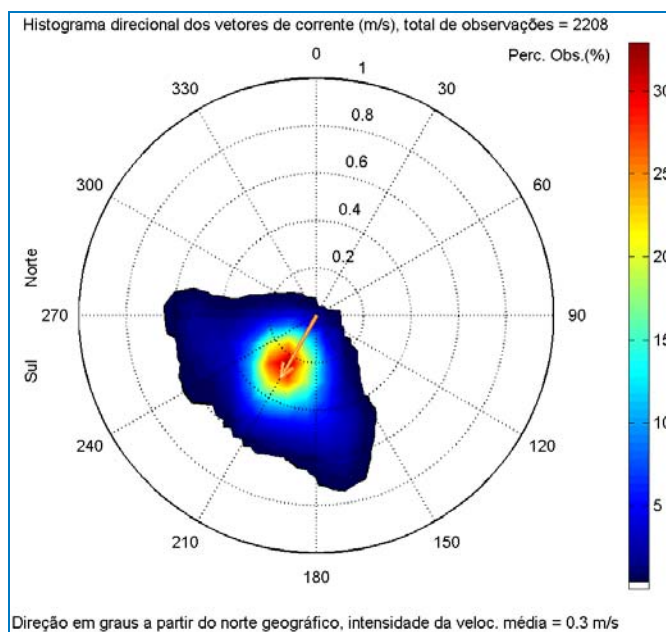
Verifica-se a predominância de correntes nos quadrantes SW e S em ambos os períodos, com maiores intensidades no verão. A velocidade média foi igual a 0,4 m/s no verão e a 0,3 m/s no inverno.



**Figura II.5.1.2-20** - Diagrama *stick plot* dos vetores de corrente medidos em 3 profundidades (230, 475 e 680 m), em 1992, no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, reamostrados a cada 6h.



**Figura II.5.1.2-21** - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundo BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 230 m de profundidade para janeiro a março de 1992,  $dt=2h$ .



**Figura II.5.1.2-22** - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundo BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 230 m de profundidade para junho a agosto de 1992,  $dt=2h$ .

A **Tabela II.5.1-16** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções da corrente ACM12-BM333/WOCE para o período de verão (janeiro a março de 1992). Observa-se que as correntes mais frequentes são nas direções SSW (37%) e SW (24%). As correntes com velocidades médias máximas dirigiram-se para S (50,8 cm/s) e SSW (42,4 cm/s) e as correntes mais intensas registradas também fluíram em direção a S e SSW (89,7 cm/s). Do total de registros das correntes, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 70,0 cm/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II.5.1-16 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (cm/s) e direção (°) da corrente em BM333 (WOCE/ACM12) no período de 1º de janeiro de 1992 a 31 de março de 1992, com intervalo de amostragem dt=2h.**

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

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Porc.	Dir. méd.
0,0- 5,0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	6	4	3	2	0	0	17	0,8	242
5,0-10,0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	15	5	8	3	0	0	37	1,7	240
10,0-15,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	30	40	8	10	0	0	93	4,3	244
15,0-20,0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	20	79	50	15	4	0	0	171	7,9	233
20,0-25,0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	49	84	63	17	2	0	0	224	10,4	229
25,0-30,0	0	0	0	0	0	0	0	1	24	100	46	43	3	0	0	0	217	10,0	214
30,0-35,0	0	0	0	0	0	0	0	5	27	97	40	25	0	0	0	0	194	9,0	208
35,0-40,0	0	0	0	0	0	0	0	3	34	106	34	11	0	0	0	0	188	8,7	205
40,0-45,0	0	0	0	0	0	0	0	5	72	140	60	1	0	0	0	0	278	12,9	202
45,0-50,0	0	0	0	0	0	0	0	2	75	85	35	2	0	0	0	0	199	9,2	198
50,0-55,0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	55	20	3	0	0	0	0	131	6,1	199
55,0-60,0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	36	12	4	0	0	0	0	98	4,5	198
60,0-65,0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	17	29	1	0	0	0	0	91	4,2	200
65,0-70,0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	13	20	4	0	0	0	0	78	3,6	200
70,0-75,0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	23	6	14	0	0	0	0	64	3,0	208
75,0-80,0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	14	1	1	0	0	0	0	32	1,5	196
80,0-85,0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	11	1	0	0	0	0	0	18	0,8	195
85,0-90,0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	24	1	0	0	0	0	0	33	1,5	196
Total	0	0	0	0	0	0	0	17	481	800	519	271	54	21	0	0	2163		
Porc.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	22,2	37,0	24,0	12,5	2,5	1,0	0,0	0,0			
Vel. méd.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,6	50,8	42,4	33,3	26,4	16,8	12,7	0,0	0,0			
Vel. máx.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	49,6	89,7	89,7	85,9	75,8	26,2	21,2	0,0	0,0			
Percts. (0,9)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,0	70,0	65,0	60,0	47,0	20,0	17,0	0,0	0,0			

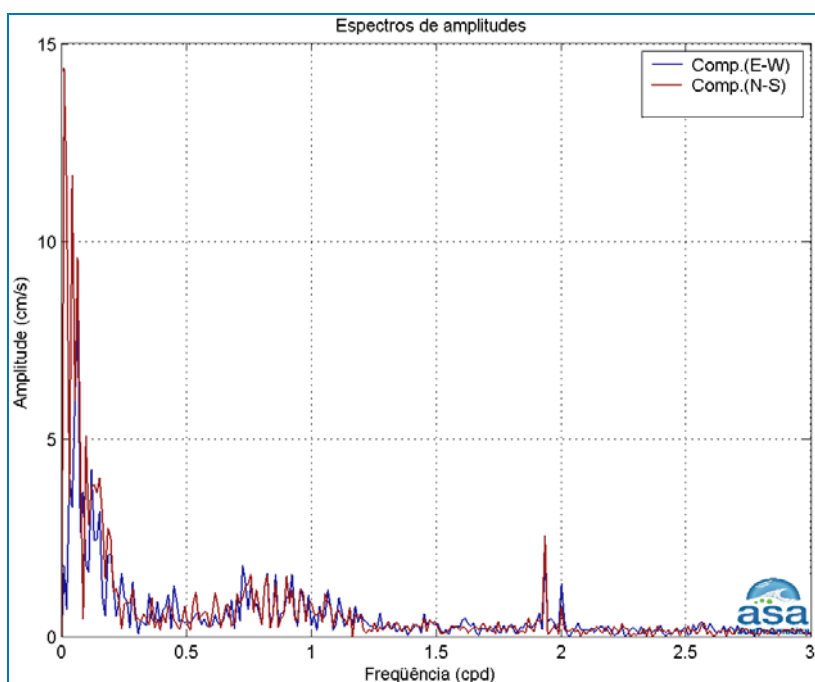
A **Tabela II.5.1-17** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções da corrente ACM12-BM333/WOCE para o período de inverno (junho a agosto de 1992). Observa-se que as correntes mais frequentes são nas direções SW (32,9%) e SSW (32,4%). As correntes com velocidades médias máximas foram em direção a W (38,6 cm/s) e SSE (38,3 cm/s) e as correntes mais intensas registradas fluíram para S (69,9 cm/s) e SSE (67,4 cm/s). Do total de registros das correntes, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 60,0 cm/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II.5.1-17 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (cm/s) e direção (°) da corrente em BM333 (WOCE/ACM12) no período de 1º de junho de 1992 a 31 de agosto de 1992, com intervalo de amostragem dt=2h.**

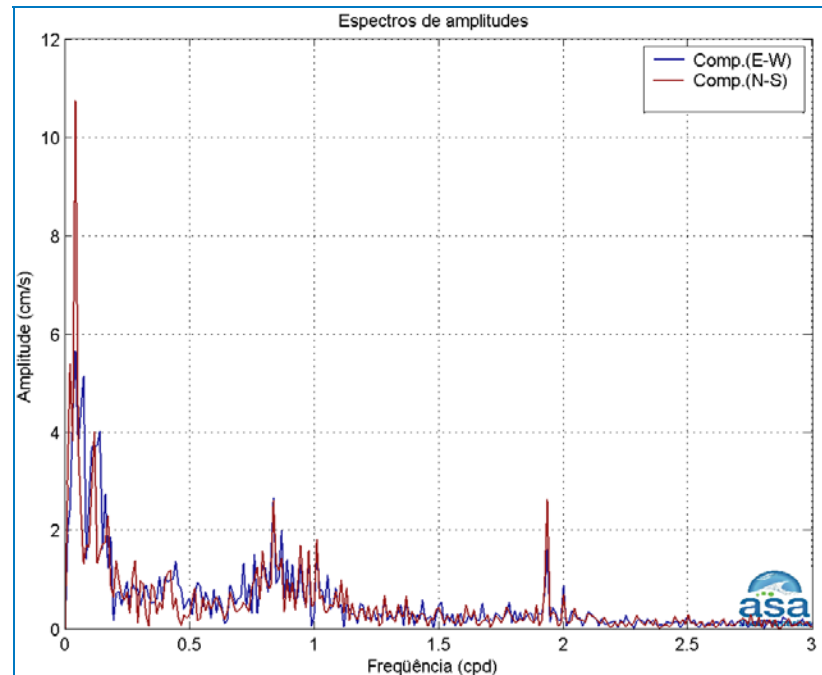
Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção vetorial.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Porc.	Dir. méd.
0.0- 5.0	0	0	0	0	0	4	2	4	4	6	6	0	1	1	0	0	28	1.3	185
5.0-10.0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	14	20	1	4	0	0	0	47	2.1	215
10.0-15.0	0	0	0	0	0	0	0	2	15	36	41	15	3	0	0	0	112	5.1	216
15.0-20.0	0	0	0	0	0	0	0	3	32	62	96	27	4	0	0	0	224	10.1	215
20.0-25.0	0	0	0	0	0	0	0	2	50	142	187	43	6	0	0	0	430	19.5	216
25.0-30.0	0	0	0	0	0	0	0	2	68	131	154	27	4	0	0	0	386	17.5	211
30.0-35.0	0	0	0	0	0	0	0	2	46	126	107	27	8	0	0	0	316	14.3	211
35.0-40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	87	62	12	5	0	0	0	216	9.8	206
40.0-45.0	0	0	0	0	0	0	0	13	50	40	34	17	2	0	0	0	156	7.1	203
45.0-50.0	0	0	0	0	0	0	0	14	45	61	16	26	15	0	0	0	177	8.0	207
50.0-55.0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	9	1	8	11	0	0	0	53	2.4	210
55.0-60.0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	2	1	13	0	0	0	31	1.4	221
60.0-65.0	0	0	0	0	0	0	0	6	12	0	1	2	0	0	0	0	21	1.0	180
65.0-70.0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	0	0	3	0	0	0	0	10	0.5	189
Total	0	0	0	0	0	4	2	54	420	714	727	209	76	1	0	0	2207		
Porc.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	2.4	19.0	32.4	32.9	9.5	3.4	0.0	0.0	0.0			
Vel. méd.						3.0	3.1	38.3	34.4	29.0	26.2	30.8	38.6						
Vel. máx.						4.0	4.3	67.4	69.9	52.2	61.4	65.6	58.1	2.6					
Percts. (0, 9)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.0	50.0	40.0	35.0	45.0	55.0	0.0					

A Figura II.5.1.2-23 e a Figura II.5.1.2-24 apresentam os espectros de amplitude das correntes para os dados do fundeio BM/333. A análise do espectro de amplitudes mostra que não existe diferença significativa entre os períodos de verão e inverno. As variações da corrente são inferiores a 15 cm/s; as maiores intensidades ocorrem na baixa frequência, havendo também uma leve influência de oscilação de maré.



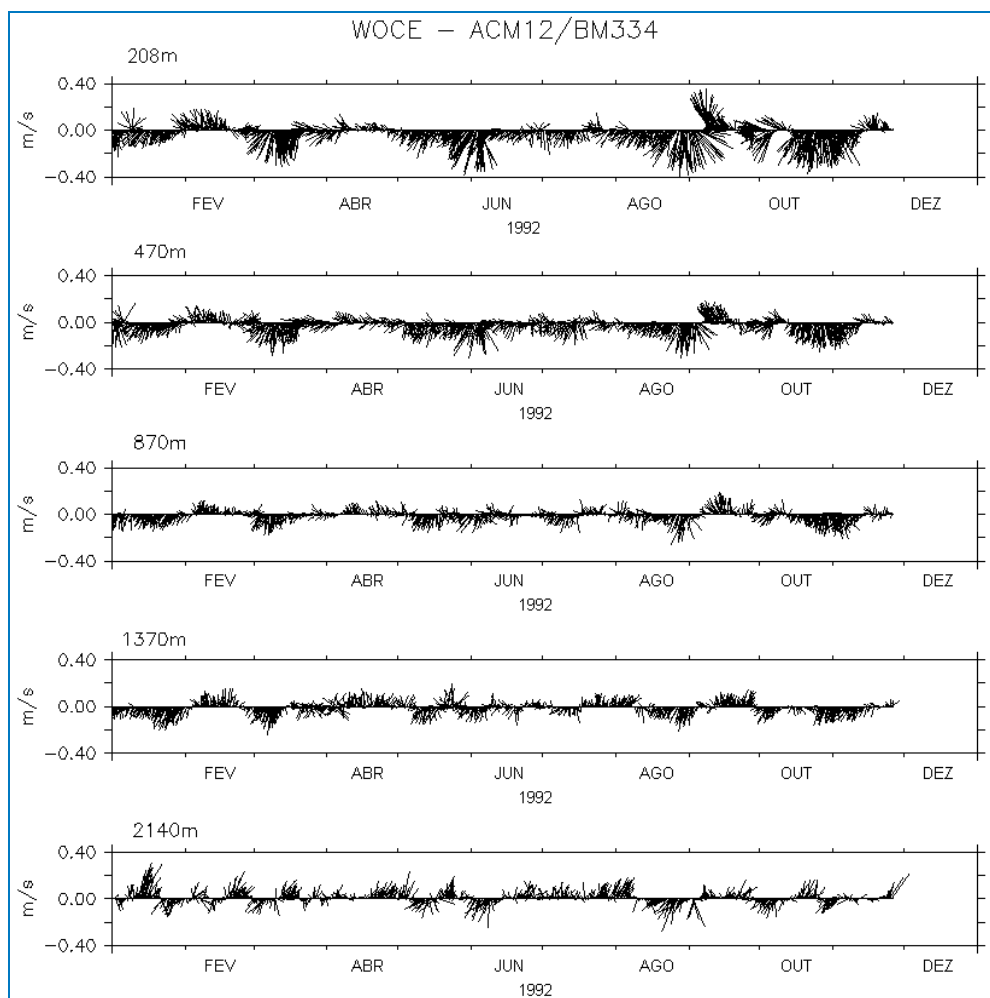
**Figura II.5.1.2-23 - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 230 m de profundidade para janeiro a março de 1992, dt=2h. Freqüência em ciclos por dia (cpd).**



**Figura II.5.1.2-24** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 230 m de profundidade junho a agosto de 1992,  $dt=2h$ .

### **B - ACM-12 BM/334**

A **Figura II.5.1.2-25** apresenta os diagramas *stick plot* dos dados de corrente medidos em 1992 no fundeio BM/334 do experimento ACM12 do WOCE. Observa-se uma tendência de movimentação para SSW nas camadas superficiais e intermediárias. Próximo ao fundo (2.140 m), aumenta a tendência de movimento em direção a NNE.

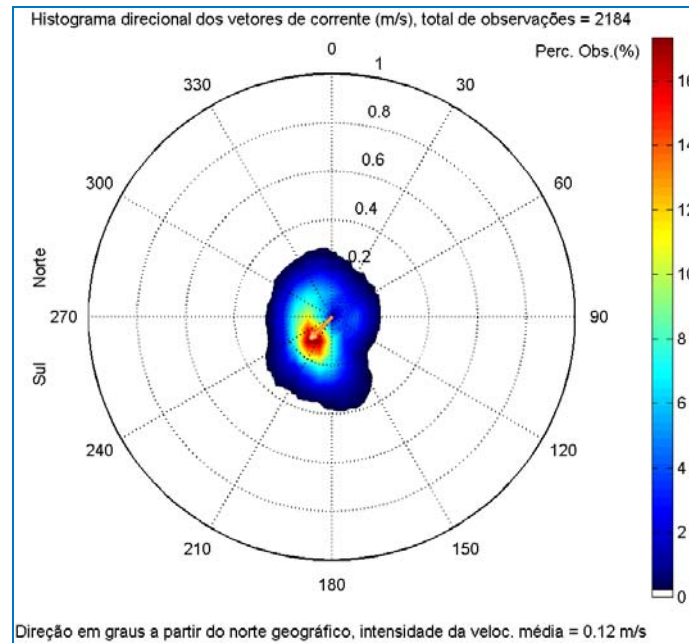


**Figura II.5.1.2-25** - Diagrama stick plot dos vetores de corrente medidos em 3 profundidades (208, 470, 870, 1.370 e 2.140 m), em 1992, no fundeio BM/334 do experimento ACM12 do WOCE, reamostrados a cada 6h.

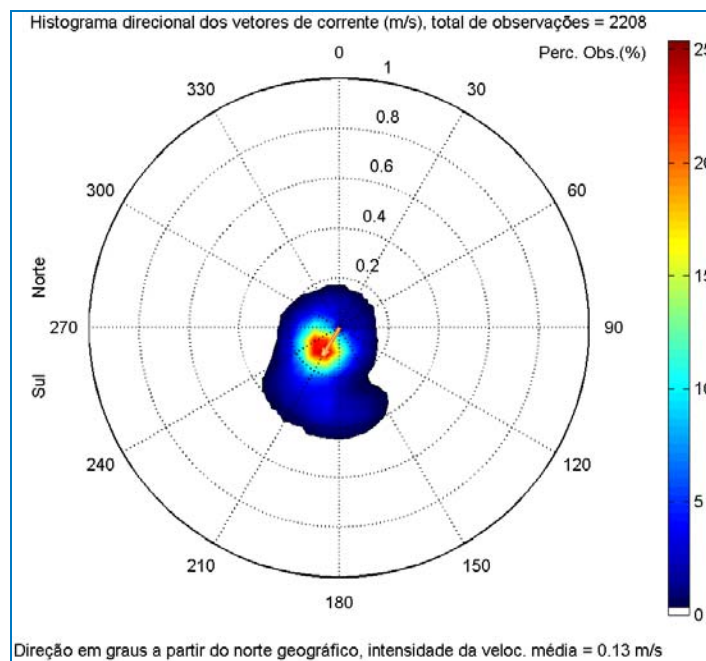
A **Figura II.5.1.2-26** e a **Figura II.5.1.2-27** apresentam os dados de corrente (fundeio BM/334 – WOCE, medidos a 208 m) plotados na forma de histograma direcional para os períodos de verão (janeiro a março de 1992) e inverno (junho a agosto de 1992), respectivamente. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico. A intensidade é apresentada em (m/s) e a escala de cores representa a porcentagem de observações.

Verifica-se a predominância de correntes nos quadrantes SW e S, para ambos os períodos. A velocidade média foi igual a 0,12 m/s no verão e a 0,13 m/s no inverno.





**Figura II.5.1.2-26** - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundo BM/334 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 208 m de profundidade para janeiro a março de 1992,  $dt=2h$ .



**Figura II.5.1.2-27** - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundo BM/334 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 208 m de profundidade para junho a agosto de 1992,  $dt=2h$ .

A **Tabela II.5.1-18** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções da corrente ACM12-BM334/WOCE para o período de verão. Observa-se que as correntes mais frequentes são nas direções SW (17,4%) e SSW (15,4%). As correntes com velocidades médias máximas dirigiram-se para S (17,6 cm/s) e SSE (17,1 cm/s) e as correntes mais intensas registradas também foram em direção a SSE (33,7 cm/s) e S (33,4 cm/s). Do total de registros das correntes, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 30,4 cm/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II.5.1-18 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (cm/s) e direção (°) da corrente em BM334 (WOCE/ACM12) no período de 1<sup>o</sup> de janeiro de 1992 a 31 de março de 1992, com intervalo de amostragem dt=2h.**

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

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Porc.	Dir. méd.
0,0- 2,0	8	10	6	15	20	15	4	10	13	17	11	4	4	8	24	18	187	8,6	46
2,0- 4,0	7	3	7	6	11	1	6	0	6	6	6	9	3	6	10	10	97	4,4	329
4,0- 6,0	6	7	10	5	4	3	6	1	5	7	15	6	7	13	8	12	115	5,3	301
6,0- 8,0	6	9	8	9	10	7	6	0	8	22	16	19	15	5	6	15	161	7,4	247
8,0-10,0	6	7	1	7	13	13	4	4	7	22	31	25	20	15	17	9	201	9,2	244
10,0-12,0	10	12	5	7	8	16	5	2	12	35	51	27	20	23	8	17	258	11,8	244
12,0-14,0	15	4	1	4	3	2	4	6	16	58	76	27	21	27	21	12	297	13,6	240
14,0-16,0	5	1	2	5	4	2	3	7	19	40	63	35	18	28	25	5	262	12,0	240
16,0-18,0	6	1	3	1	0	0	0	4	29	26	40	17	25	15	10	16	193	8,8	242
18,0-20,0	3	1	0	0	0	0	0	3	20	25	29	11	9	10	7	8	126	5,8	231
20,0-22,0	2	0	0	0	0	0	0	4	34	28	9	6	1	3	3	6	96	4,4	205
22,0-24,0	1	0	0	0	0	0	0	4	21	15	9	4	0	0	3	4	61	2,8	205
24,0-26,0	1	0	0	0	0	0	0	4	22	16	8	0	0	0	1	1	53	2,4	193
26,0-28,0	0	0	0	0	0	0	0	4	10	9	5	0	0	0	0	0	28	1,3	190
28,0-30,0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	10	10	0	0	0	0	0	28	1,3	203
30,0-32,0	0	0	0	0	0	0	0	3	8	0	0	0	0	0	0	0	11	0,5	172
32,0-34,0	0	0	0	0	0	0	0	6	4	0	0	0	0	0	0	0	10	0,5	168
Total	76	55	43	59	73	59	38	63	241	336	379	190	143	153	143	133	2184		
Porc.	3,5	2,5	2,0	2,7	3,3	2,7	1,7	2,9	11,0	15,4	17,4	8,7	6,5	7,0	6,5	6,1			
Vel. méd.	10,2	7,6	6,7	6,9	6,1	7,3	7,3	17,1	17,6	14,6	13,8	12,1	11,9	11,6	10,3	10,3			
Vel. máx.	24,1	19,7	17,4	16,5	14,5	15,6	14,8	33,7	33,4	29,6	29,6	23,8	20,3	20,9	24,1	24,6			
Percts. (0,9)	16,0	12,0	14,0	13,2	10,4	10,0	12,0	30,4	26,0	24,0	20,0	18,0	16,0	16,0	16,4	18,0			

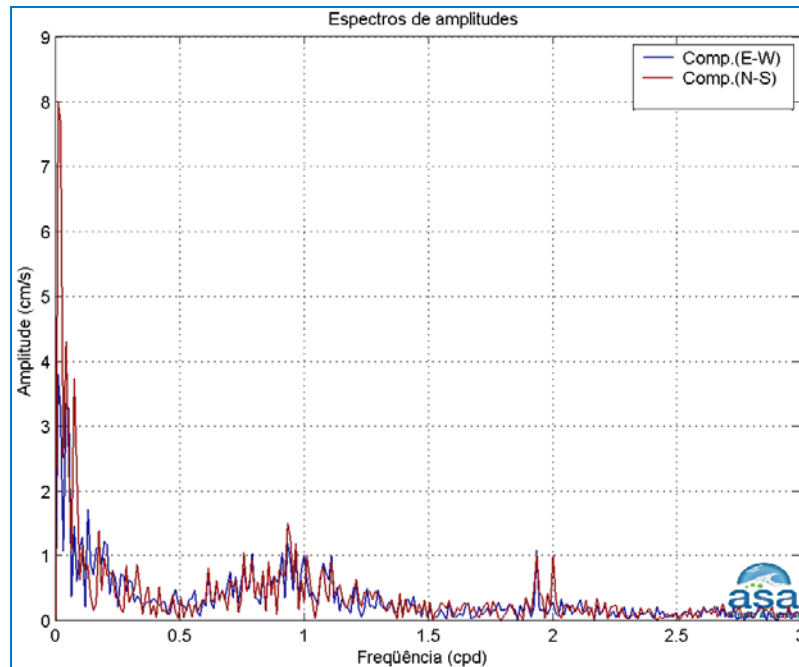
A **Tabela II.5.1-6** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções da corrente ACM12-BM334/WOCE para o período de inverno. Observa-se que as correntes mais frequentes são nas direções SW (25,4%) e SSW (23,0%). As correntes com velocidades médias máximas fluíram para S (18,9 cm/s) e SSE (15,5 cm/s); e as correntes mais intensas registradas também foram em direção a SSE (41,2 cm/s) e S (40,9 cm/s). Do total de registros das correntes, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 34 cm/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II.5.1-19 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (cm/s) e direção (°) da corrente em BM334 (WOCE/ACM12) no período de 1º de junho de 1992 a 31 de agosto de 1992, com intervalo de amostragem dt=2h.**

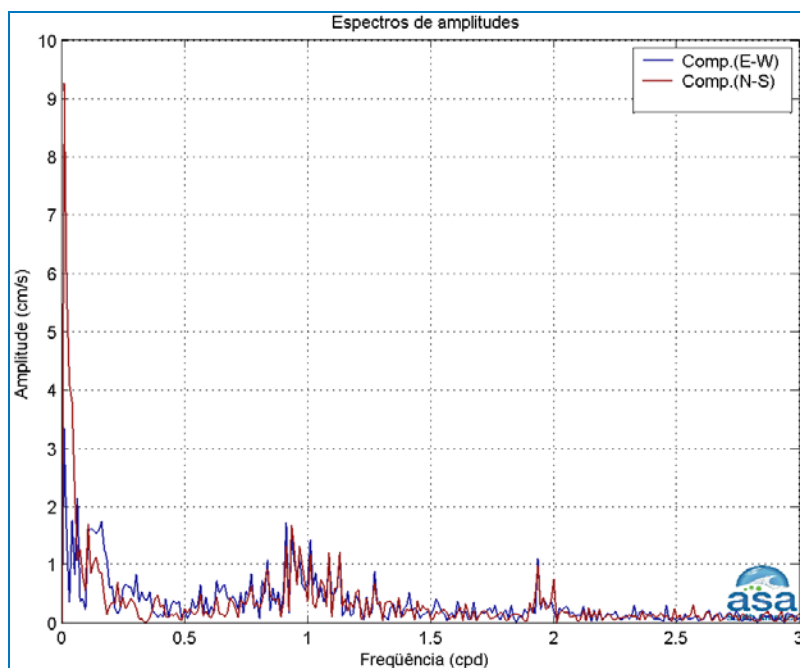
Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção vetorial.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Porc.	Dir. méd.
0,0- 2,0	9	1	3	2	6	4	4	11	15	29	23	30	20	10	9	5	181	8,2	231
2,0- 4,0	6	2	3	3	0	2	4	11	10	24	41	27	12	6	4	161	7,3	230	
4,0- 6,0	3	2	1	3	7	3	4	5	12	32	47	24	17	7	10	4	181	8,2	227
6,0- 8,0	11	5	0	5	0	5	11	7	17	39	42	25	26	10	4	9	216	9,8	228
8,0-10,0	3	2	5	6	2	7	5	18	23	47	61	31	22	5	7	6	250	11,3	218
10,0-12,0	4	0	0	0	0	0	4	14	18	56	66	37	19	9	4	1	232	10,5	223
12,0-14,0	0	0	0	0	0	0	5	12	28	66	58	56	20	7	3	0	255	11,5	221
14,0-16,0	2	0	0	0	0	0	1	7	21	48	58	34	14	6	2	1	194	8,8	223
16,0-18,0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	31	35	19	6	1	0	0	100	4,5	221
18,0-20,0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	19	19	8	2	0	0	0	49	2,2	222
20,0-22,0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	11	24	6	0	0	0	0	48	2,2	216
22,0-24,0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	11	20	5	0	0	0	0	45	2,0	213
24,0-26,0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	16	10	1	0	0	0	0	35	1,6	205
26,0-28,0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	12	6	0	0	0	0	0	24	1,1	198
28,0-30,0	0	0	0	0	0	0	0	1	9	13	16	0	0	0	0	0	39	1,8	203
30,0-32,0	0	0	0	0	0	0	0	3	10	16	14	0	0	0	0	0	43	1,9	201
32,0-34,0	0	0	0	0	0	0	0	11	20	16	12	0	0	0	0	0	59	2,7	191
34,0-36,0	0	0	0	0	0	0	0	11	31	9	0	0	0	0	0	0	51	2,3	181
36,0-38,0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	8	6	0	0	0	0	0	23	1,0	195
38,0-40,0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	4	3	0	0	0	0	0	14	0,6	194
40,0-42,0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	1	0	0	0	0	0	0	8	0,4	176
Total	38	12	12	19	15	21	38	121	266	508	561	303	158	61	45	30	2208		
Porc.	1,7	0,5	0,5	0,9	0,7	1,0	1,7	5,5	12,0	23,0	25,4	13,7	7,2	2,8	2,0	1,4			
Vel. méd.	5,8	5,6	5,0	6,2	4,1	6,0	7,4	15,5	18,9	14,6	13,3	10,1	8,4	7,7	6,2	6,1			
Vel. máx.	14,8	9,5	9,8	9,8	9,5	9,8	15,9	41,2	40,9	40,3	39,8	24,4	18,3	16,5	14,8	15,6			
Percts. (0,9)	10,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	12,0	34,0	34,0	30,0	26,0	16,0	14,0	14,0	12,0	8,0			

A Figura II.5.1.2-28 e a Figura II.5.1.2-29 apresentam os espectros de amplitude das correntes para os dados do fundeio BM/334. A análise do espectro de amplitudes mostra que não existe diferença significativa entre os períodos de verão e inverno. As variações da corrente são inferiores a 10 cm/s; as maiores intensidades ocorrem na baixa frequência, havendo também uma leve influência de oscilação de maré.



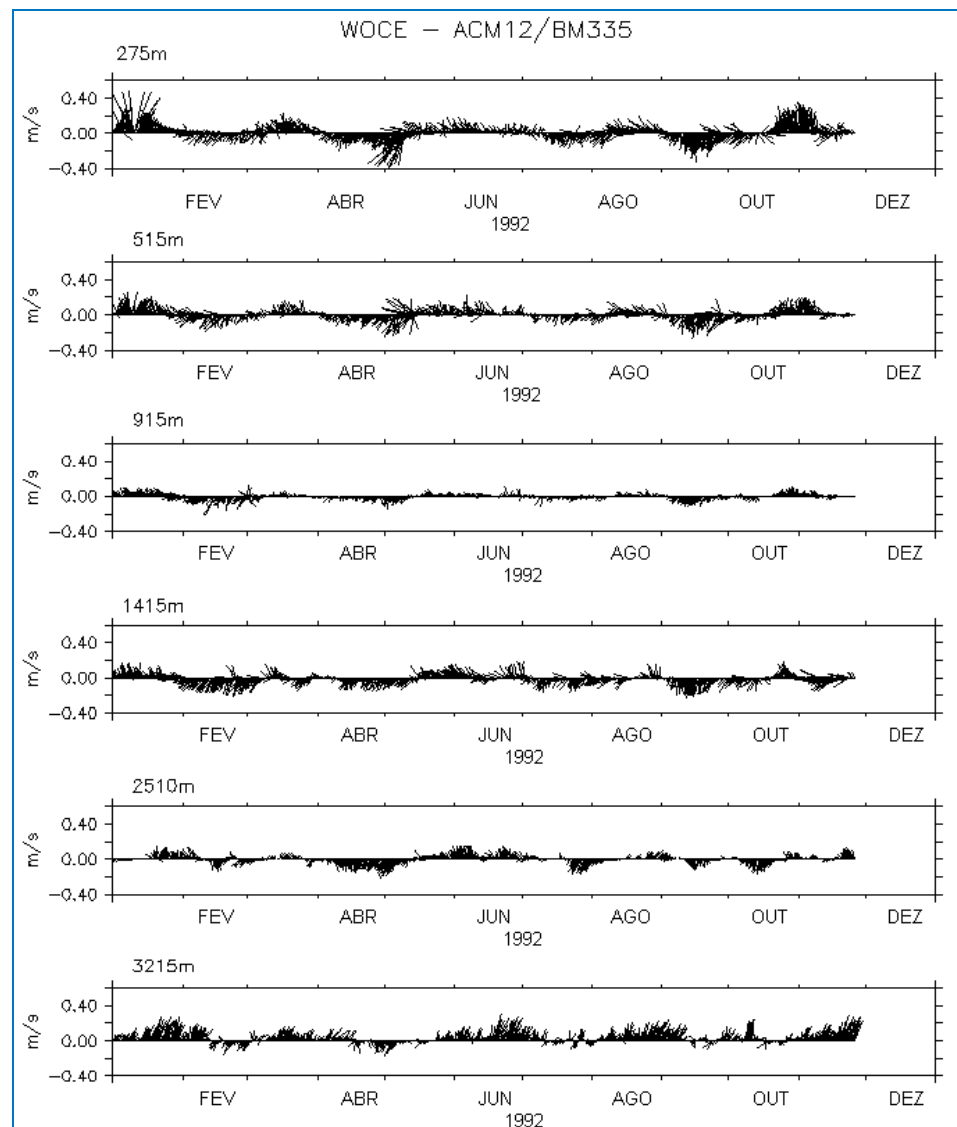
**Figura II.5.1.2-28 - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/334 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 208 m de profundidade para janeiro a março de 1992, dt=2h.**



**Figura II.5.1.2-29** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/334 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 208 m de profundidade para junho a agosto de 1992,  $dt=2h$ .

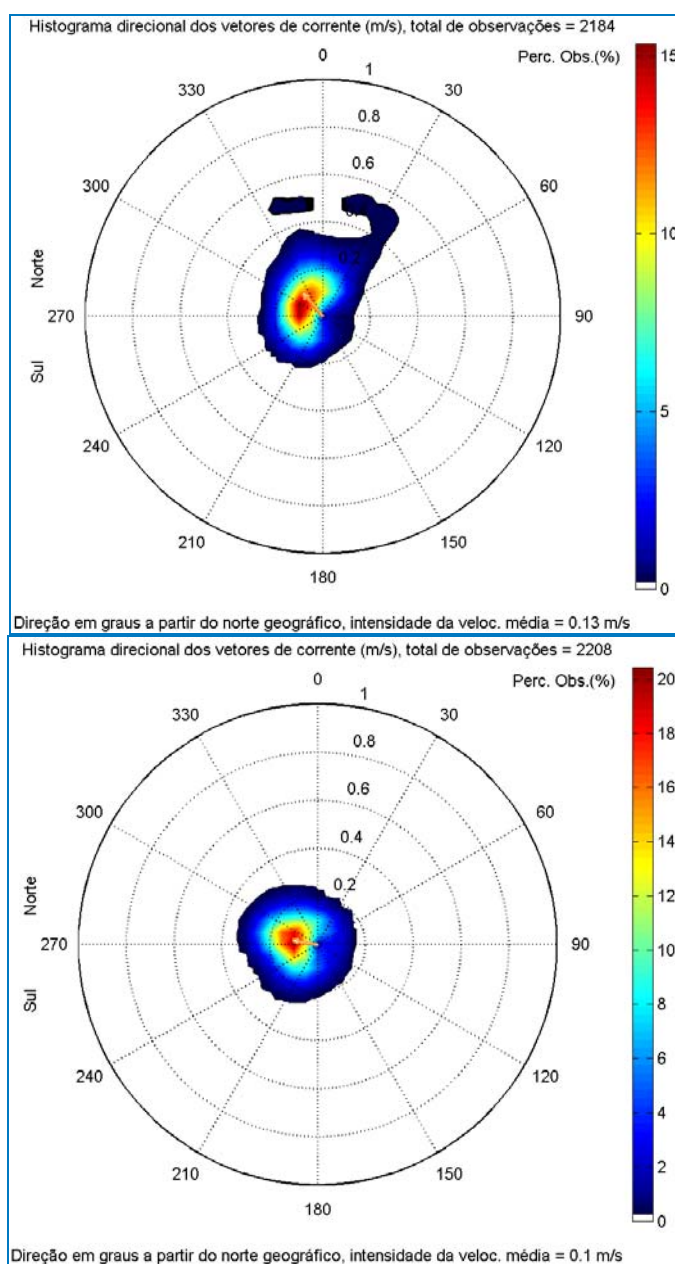
### C - ACM-12 BM/335

A **Figura II.5.1.2-30** apresenta os diagramas *stick plot* dos dados de corrente medidos em 1992 no fundeio BM/335 do experimento ACM12 do WOCE. Observa-se uma tendência de movimentação nas direções NW e SW nas camadas superficiais e intermediárias. Próximo ao fundo (3.215 m), a tendência é de movimento em direção a NNE.



**Figura II.5.1.2-30** - Diagrama stick plot dos vetores de corrente medidos em 3 profundidades (275, 515, 915, 1.415, 2.510 e 3.215 m), em 1992, no fundeio BM/335 do experimento ACM12 do WOCE, reamostrados a cada 6h.

A **Figura II.5.1.2-31** apresenta os dados de corrente (fundeio BM/335 – WOCE, medidos a 275 m) plotados na forma de histograma direcional para os períodos de verão e inverno de 1992. Verifica-se a predominância de correntes no quadrante W.



(a)  
verão/1992

(b)  
inverno/1992

**Figura II.5.1.2-31** - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio BM/335 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 275 m de profundidade para janeiro a março de 1992 (a) e junho a agosto de 1992 (b),  $dt=2h$ .

A **Tabela II.5.1-20** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções da corrente ACM12-BM335/WOCE para o período de verão. Observa-se que as correntes mais frequentes são nas direções WNW e NNW (15,3%). As correntes com velocidades médias máximas fluíram para NE (19,2 cm/s) e NNE (17,4 cm/s); e as correntes mais intensas registradas foram em



direção a NNW (52,0 cm/s) e NNE (51,1 cm/s). Do total de registros das correntes, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 42 cm/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II.5.1-20 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (cm/s) e direção (°) da corrente em BM335 (WOCE/ACM12) no período de 1º de janeiro de 1992 a 31 de março de 1992, com intervalo de amostragem dt=2h.**

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

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Porc.	Dir. méd.
0,0- 2,0	3	2	2	0	2	0	1	1	3	5	16	10	10	16	8	5	84	3,8	271
2,0- 4,0	5	6	3	2	2	0	1	4	4	10	26	25	17	36	12	7	160	7,3	267
4,0- 6,0	11	5	3	1	1	1	1	4	5	10	20	20	19	35	16	10	162	7,4	277
6,0- 8,0	8	8	3	1	0	0	2	2	6	7	26	29	35	40	23	17	207	9,5	279
8,0-10,0	22	16	5	1	2	0	0	0	4	22	21	20	34	42	33	31	253	11,6	294
10,0-12,0	20	25	13	0	0	2	0	1	4	17	22	13	48	48	25	40	278	12,7	302
12,0-14,0	17	31	4	0	1	0	1	0	0	12	35	26	25	45	37	35	269	12,3	299
14,0-16,0	22	21	1	0	0	0	1	1	2	6	16	22	27	27	34	36	216	9,9	305
16,0-18,0	22	11	2	0	0	0	0	0	1	2	17	17	16	27	20	34	169	7,7	307
18,0-20,0	21	9	1	1	0	0	0	0	0	0	7	12	11	13	29	36	140	6,4	319
20,0-22,0	14	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	3	18	14	56	2,6	328
22,0-24,0	12	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	9	18	45	2,1	343
24,0-26,0	11	11	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	12	41	41	1,9	360
26,0-28,0	3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	22	1,0	2
28,0-30,0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	17	0,8	351
30,0-32,0	1	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	13	0,6	11
32,0-34,0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	0,2	351
34,0-36,0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0,1	9
38,0-40,0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0,1	7
40,0-42,0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,0	37
42,0-44,0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,1	35
44,0-46,0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0,1	3
46,0-48,0	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	0,4	5
48,0-50,0	5	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	19	0,9	14
50,0-52,0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10	0,5	356
Total	206	178	59	6	8	3	7	13	29	91	207	195	245	334	268	335	2184		
Porc.	9,4	8,2	2,7	0,3	0,4	0,1	0,3	0,6	1,3	4,2	9,5	8,9	11,2	15,3	12,3	15,3			
Vel. méd.	16,5	17,4	19,2	7,4	5,7	8,8	7,2	5,5	7,2	8,7	9,3	9,7	10,2	9,8	12,8	16,5			
Vel. máx.	50,2	51,1	49,3	18,8	13,4	11,4	14,5	14,7	16,5	16,8	20,6	20,3	20,6	22,6	25,8	52,0			
Percts. (0,9)	24,0	30,0	42,0	17,0	10,8	10,0	13,6	10,8	12,4	12,0	16,0	16,0	16,0	16,0	20,0	26,0			

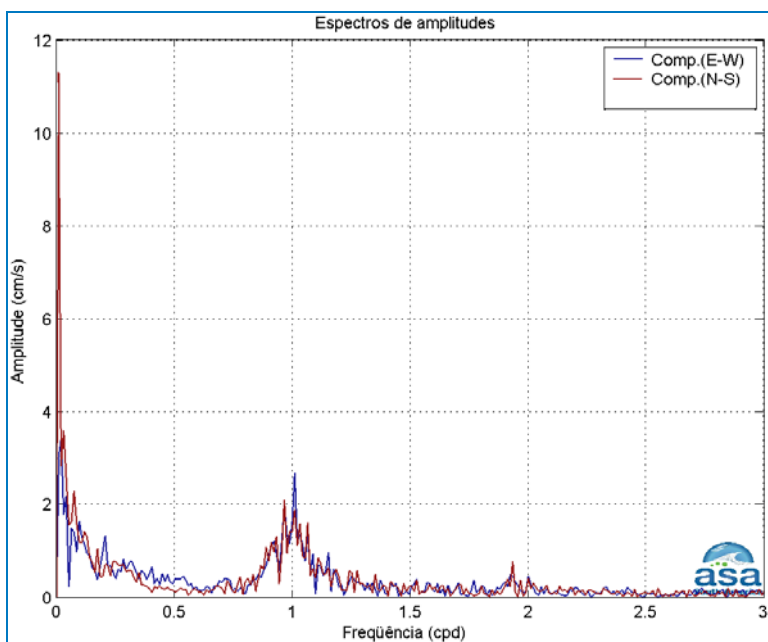
A Tabela II.5.1-21 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções da corrente ACM12-BM335/WOCE para o período de inverno. Observa-se que as correntes mais frequentes são nas direções WNW (20,4%) e W (14,0%). As correntes com velocidades médias máximas também fluíram para W (13,9 cm/s) e WNW (13,1 cm/s); e as correntes mais intensas registradas foram em direção a WNW (29,3 cm/s) e NW (28,7 cm/s). Do total de registros das correntes, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 22 cm/s, como indicam os percentis apresentados na tabela. Esta análise indica correntes mais frequentes no quadrante W para ambos os períodos, com máximos no quadrante N durante o verão.

**Tabela II.5.1-21 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (cm/s) e direção (°) da corrente em BM335 (WOCE/ACM12) no período de 1º de junho de 1992 a 31 de agosto de 1992, com intervalo de amostragem dt=2h.**

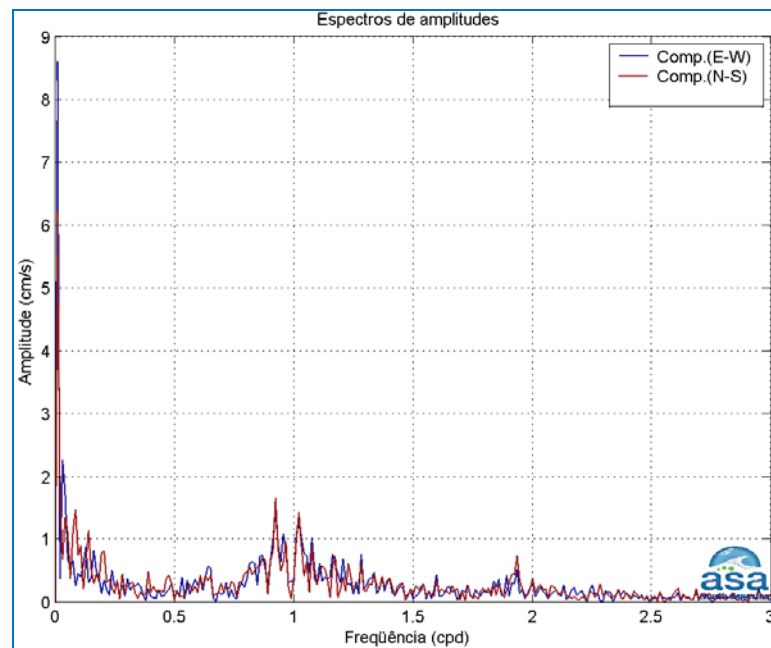
Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção vetorial.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Porc.	Dir. méd.
0, 0- 2, 0	10	10	14	9	12	12	13	8	5	10	3	9	6	20	10	13	164	7,4	10
2, 0- 4, 0	17	22	14	8	17	11	7	5	9	19	16	11	13	36	22	20	247	11,2	313
4, 0- 6, 0	15	13	21	7	4	6	7	6	8	13	18	13	25	24	29	25	234	10,6	306
6, 0- 8, 0	19	11	9	8	14	5	2	2	8	13	25	31	17	37	33	23	257	11,6	295
8, 0-10, 0	12	16	15	6	7	4	3	2	7	18	29	35	23	36	15	22	251	11,4	282
10, 0-12, 0	14	7	5	1	0	2	4	2	7	9	21	29	32	39	21	17	210	9,5	281
12, 0-14, 0	6	2	3	0	0	0	1	5	10	15	27	33	43	45	14	21	225	10,2	269
14, 0-16, 0	2	1	0	0	0	0	1	0	1	5	19	32	34	47	23	13	178	8,1	278
16, 0-18, 0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	8	7	20	24	52	12	10	138	6,3	276
18, 0-20, 0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	11	10	25	36	12	8	108	4,9	279
20, 0-22, 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	2	36	34	13	1	94	4,3	281
22, 0-24, 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	16	26	9	1	59	2,7	282
24, 0-26, 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	14	11	3	0	29	1,3	284	
26, 0-28, 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	0	8	0,4	295
28, 0-30, 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	6	0,3	295
Total	95	82	81	39	54	40	38	33	59	116	187	229	310	451	220	174	2208		
Porc.	4,3	3,7	3,7	1,8	2,4	1,8	1,7	1,5	2,7	5,3	8,5	10,4	14,0	20,4	10,0	7,9			
Vel. méd.	6,7	5,8	5,5	4,9	4,5	4,3	4,9	6,4	8,1	8,6	10,7	11,0	13,9	13,1	11,0	9,0			
Vel. máx.	14,5	14,8	13,3	11,3	9,5	10,4	14,0	16,8	18,3	20,3	23,5	24,4	26,7	29,3	28,7	22,9			
Percts. (0, 9)	10,0	10,0	8,8	8,0	8,0	8,0	10,0	12,0	12,0	16,0	18,0	16,0	22,0	20,8	20,0	16,0			

A Figura II.5.1.2-32 e a Figura II.5.1.2-33 apresenta o espectro de amplitude das correntes para os dados do fundeio BM/335. A análise do espectro de amplitudes mostra que não existe diferença significativa entre os períodos de verão e inverno. As variações da corrente são inferiores a 12 cm/s; as maiores intensidades ocorrem na baixa frequência, havendo também uma leve influência de oscilação de maré.



**Figura II.5.1.2-32 - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/335 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 280m de profundidade para janeiro a março de 1992 (verão), dt=2h.**



**Figura II.5.1.2-33** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/335 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 280m de profundidade para junho a agosto de 1992 (inverno),  $dt=2h$ .

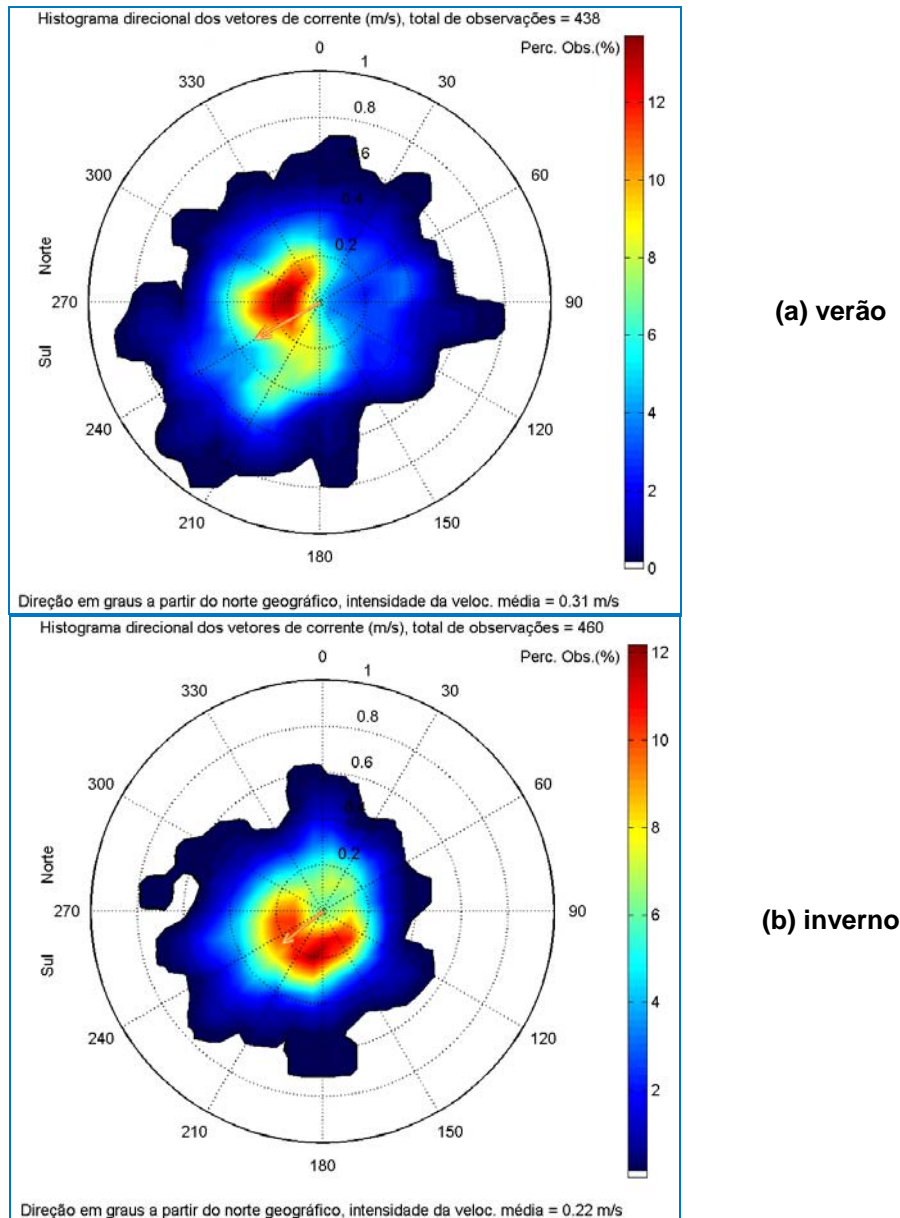
A análise destes dados mostra que o fundeio BM/333 (230 m), mais próximo à costa, sofre principalmente a influência da Corrente do Brasil, com corrente preferencial fluindo para SSW e mais intensa do que as observadas nos outros dois fundeios. O fundeio BM/334 (275 m) ainda encontra-se no regime da Corrente do Brasil, com fluxo preferencial no quadrante S, mas apresentou velocidades bastante inferiores em relação ao fundeio BM/333. No fundeio BM/355 (208 m) o fluxo preferencial foi no quadrante W e fraco, sugerindo a existência de uma possível recirculação anticiclônica próxima à região de medição.

#### **II.5.1.2.4 - Análise das Correntes Simuladas**

##### **A - HYCOM**

Com o objetivo de complementar a análise de dados de corrente, foi realizada uma caracterização para a superfície baseada em análises do modelo HYCOM (Bleck, 2002) para o período de 2004 a 2008 em um ponto centrado na região de interesse (43°W, 25,5°S).

A **Figura II.5.1.2-34** apresenta os dados de corrente de superfície do HYCOM plotados na forma de histograma direcional para os períodos de verão (janeiro, fevereiro e março) e inverno (junho, julho e agosto) de 2004 a 2008. Verifica-se a predominância de correntes no quadrante W no verão e no quadrante S no inverno, indicando a influência da Corrente do Brasil sobre a região. A velocidade média foi igual a 0,31 m/s no verão e 0,22 m/s no inverno, em ambos os casos para SW.



**Figura II.5.1.2-34** - Histograma direcional dos vetores de corrente do HYCOM em superfície para janeiro a março (a) e junho a agosto (b) de 2004 a 2008.

A **Tabela II.5.1-22** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções da corrente do HYCOM em superfície para o período de verão. Observa-se que as correntes mais frequentes são nas direções SW (13,5%) e SSW (12,9%). As correntes com velocidades médias máximas dirigiram-se para WSW (37,7 cm/s) e SW (37,5 cm/s) e as correntes mais intensas registradas também fluíram em direção a SW (97,2 cm/s) e WSW (95,3 cm/s). Do total de registros das correntes, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 63 cm/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II.5.1-22 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (cm/s) e direção (°) da corrente do HYCOM em superfície para o período de janeiro a março de 2004 a 2008.**

Obs.: a direção	é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção vetorial.	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Porc.	Dir. méd.
0,0-5,0		0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	4	0,9	218
5,0-10,0		1	1	1	2	2	1	0	0	1	2	6	2	3	3	1	1	27	6,2	259
10,0-15,0		3	2	1	2	2	2	1	2	0	5	5	4	7	2	6	5	49	11,2	279
15,0-20,0		6	0	2	0	1	2	2	2	5	2	4	4	5	6	2	5	48	11,0	276
20,0-25,0		0	3	3	1	2	3	1	0	7	5	5	5	6	5	2	6	54	12,4	249
25,0-30,0		3	0	1	0	0	0	3	2	1	3	4	6	5	1	4	3	36	8,2	261
30,0-35,0		5	0	3	3	3	1	1	2	6	5	4	2	8	3	3	5	54	12,4	264
35,0-40,0		3	0	3	5	1	1	3	2	2	6	4	2	5	6	2	1	46	10,5	232
40,0-45,0		0	0	1	2	3	1	2	0	2	8	5	2	4	5	1	1	37	8,5	227
45,0-50,0		0	2	0	1	0	0	1	0	0	2	5	3	6	2	1	1	24	5,5	257
50,0-55,0		1	0	0	0	1	0	1	1	1	3	6	3	0	0	0	0	17	3,9	214
55,0-60,0		0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	3	2	0	0	0	1	12	2,7	220
60,0-65,0		1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	6	0	0	0	0	0	12	2,7	242
65,0-70,0		0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	1	1	1	0	0	9	2,1	228
70,0-75,0		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0,5	191
75,0-80,0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
80,0-85,0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0,7	236
85,0-90,0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
90,0-95,0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0,2	215
95,0-100,0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,5	232
Total		23	8	17	16	17	12	15	11	26	52	59	44	51	35	22	29	437		
Porc.		5,3	1,8	3,9	3,7	3,9	2,7	3,4	2,5	5,9	11,9	13,5	10,1	11,7	8,0	5,0	6,6			
Vel. méd.		27,0	24,6	27,3	29,2	31,6	21,2	32,1	28,0	29,4	36,1	37,5	37,7	29,6	28,2	24,2	24,7			
Vel. máx.		64,8	49,4	60,2	45,2	71,2	42,0	51,3	54,9	69,4	69,1	97,2	95,3	73,6	66,2	47,6	58,9			
Percts. (0,9)		38,0	45,0	39,0	40,0	54,0	36,5	45,0	41,0	40,0	56,5	63,0	60,0	45,0	40,0	36,5	38,0			

A **Tabela II.5.1-23** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções da corrente do HYCOM em superfície para o período de inverno. Observa-se que as correntes mais frequentes são nas direções SW (12,2%), WSW e W (9,4%). As correntes com velocidades médias máximas foram em direção a WSW (29,4 cm/s) e SW (28,9 cm/s) e as correntes mais intensas registradas fluíram para S (68,5 cm/s) e SW (66,4 cm/s). Do total de registros das correntes, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 50 cm/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II.5.1-23 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (cm/s) e direção (°) da corrente do HYCOM em superfície para o período de junho a agosto de 2004 a 2008.**

Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção vetorial.	convenção vetorial																Total	Porc.	Di r. méd.
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0, 0- 5, 0	2	2	1	2	1	0	3	2	0	2	2	1	1	1	3	1	24	5,2	300
5, 0-10, 0	2	3	4	6	2	4	6	2	5	2	5	2	4	4	2	7	60	13,1	98
10, 0-15, 0	5	4	1	8	5	4	9	6	3	5	2	6	10	6	0	3	77	16,8	164
15, 0-20, 0	5	3	6	0	2	5	3	7	7	5	9	4	4	3	3	2	72	15,7	201
20, 0-25, 0	2	3	2	2	3	1	6	5	4	9	6	6	3	5	5	2	64	13,9	216
25, 0-30, 0	3	2	5	0	0	2	2	2	9	8	8	6	7	1	2	1	58	12,6	222
30, 0-35, 0	6	0	1	0	0	0	2	2	4	1	5	4	5	3	1	0	34	7,4	249
35, 0-40, 0	1	0	1	1	0	0	2	1	0	4	4	3	4	2	1	0	24	5,2	234
40, 0-45, 0	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	7	2	3	1	0	0	17	3,7	246
45, 0-50, 0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	3	3	2	0	0	0	11	2,4	237
50, 0-55, 0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	0	0	1	0	8	1,7	256
55, 0-60, 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	0	0	5	1,1	246
60, 0-65, 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0,2	231
65, 0-70, 0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	0	4	0,9	210
Total	30	17	21	19	13	17	34	27	36	42	56	43	43	27	18	16	459		
Porc.	6,5	3,7	4,6	4,1	2,8	3,7	7,4	5,9	7,8	9,2	12,2	9,4	9,4	5,9	3,9	3,5			
Vel. méd.	24,0	14,8	19,3	11,8	14,1	16,9	17,1	18,2	24,9	22,6	28,9	29,4	23,6	20,9	19,9	12,6			
Vel. Máx.	53,4	29,2	38,2	38,4	22,7	46,4	43,7	37,0	68,5	55,2	66,4	65,5	49,1	56,9	52,8	28,9			
Percts. (0, 9)	40,0	24,0	27,0	20,0	20,0	25,0	30,5	29,0	39,0	35,0	45,0	50,0	40,0	35,0	33,5	20,0			

Uma caracterização dos eventos extremos de corrente foi realizada para esse conjunto de dados, de forma análoga à análise de extremos realizada para o vento. Para caracterização de condições extremas foram considerados os maiores valores da velocidade da corrente. Dois critérios foram utilizados para selecionar os eventos extremos: 1º) valor médio mais um desvio padrão (representando aproximadamente o percentil de 85%); 2º) valor médio mais dois desvios padrão (representando aproximadamente o percentil de 95%). Foram selecionados 267 eventos de acordo com o primeiro critério e 81 eventos de acordo com o segundo critério. Na **Tabela II.5.1-24** pode ser observada a variação dos eventos extremos ao longo de todo o período analisado para os dois critérios. O número máximo de eventos extremos ocorreu em 2005 e o mínimo em 2007.

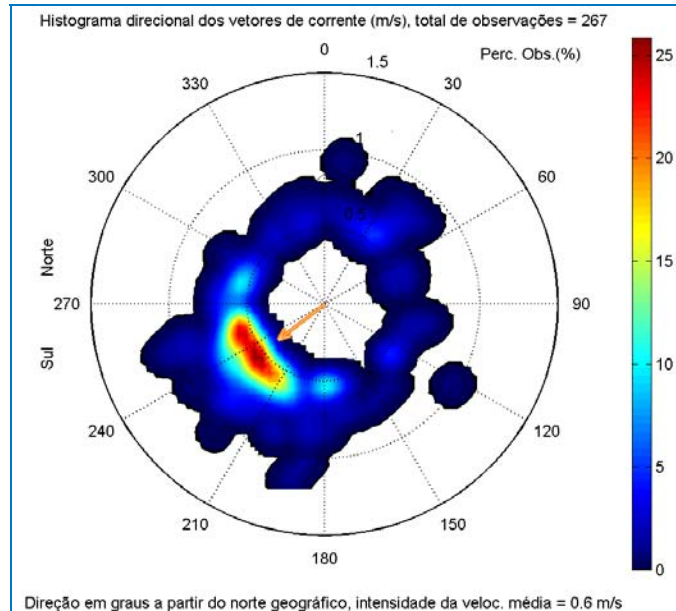
**Tabela II.5.1-24 - Número de eventos extremos de corrente por ano no período de 2004 a 2008.**

	1º Critério	2º Critério
	$\bar{V}_v + \sigma$	$\bar{V}_v + 2\sigma$
2004	63 (23,6%)	16 (19,7%)
2005	89 (33,3%)	31 (38,3%)
2006	56 (21,0%)	23 (28,4%)
2007	18 (6,8%)	3 (3,7%)
2008	41 (15,3%)	8 (9,9%)

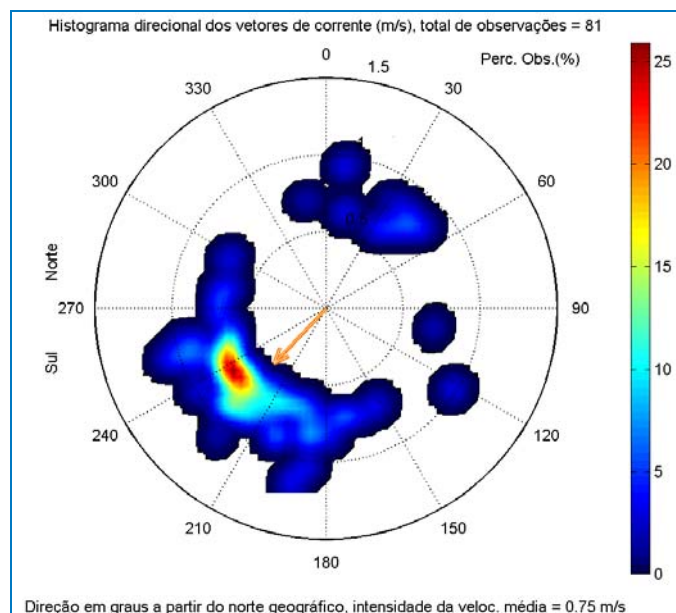
A **Figura II.5.1.2-35** e a **Figura II.5.1.2-36** apresentam os histogramas direcionais dos eventos extremos de corrente selecionados pelo primeiro e o segundo critério, respectivamente. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico. A intensidade é apresentada em (m/s) e a escala de cores representa a porcentagem de



observações. Nos dois critérios utilizados os eventos mais frequentes foram em direção a SW, indicando uma intensificação da Corrente do Brasil.



**Figura II.5.1.2-35** - Histograma direcional dos eventos extremos de corrente selecionados pelo primeiro critério para o período de 2004 a 2008.



**Figura II.5.1.2-36** - Histograma direcional dos eventos extremos de corrente selecionados pelo segundo critério para o período de 2004 a 2008.

A **Tabela II.5.1-25** apresenta a distribuição sazonal dos eventos extremos ocorridos entre 2004 e 2008. Os resultados indicam que o maior número de eventos extremos de vento ocorreram na primavera e o menor no inverno.

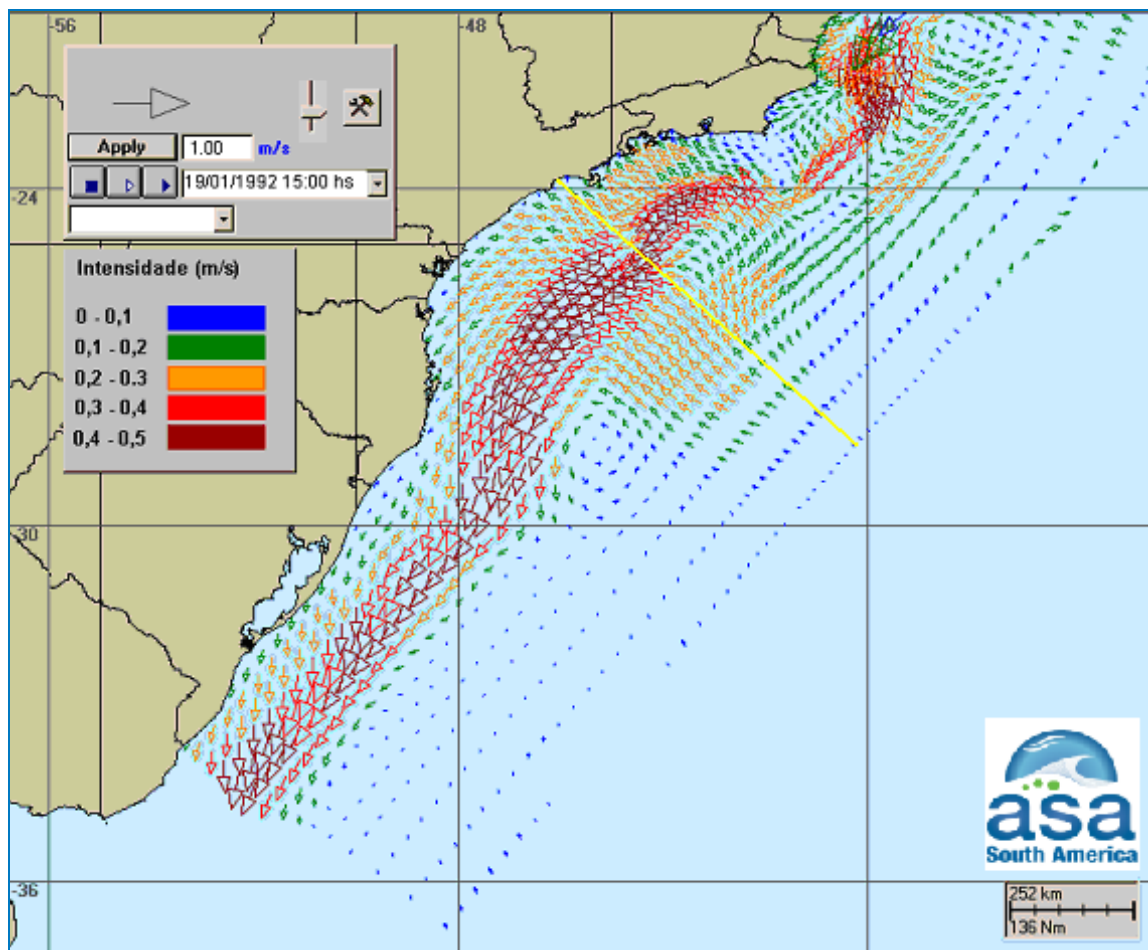
**Tabela II.5.1-25** - Número de eventos extremos de corrente no verão (janeiro a março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro).

	1º Critério	2º Critério
	$\bar{V}_v + \sigma$	$\bar{V}_v + 2\sigma$
Verão	81 (30,3%)	22 (27,2%)
Outono	59 (22,1%)	18 (22,2%)
Inverno	41 (15,4%)	13 (16,0%)
Primavera	86 (32,2%)	28 (34,6%)

## B - POM

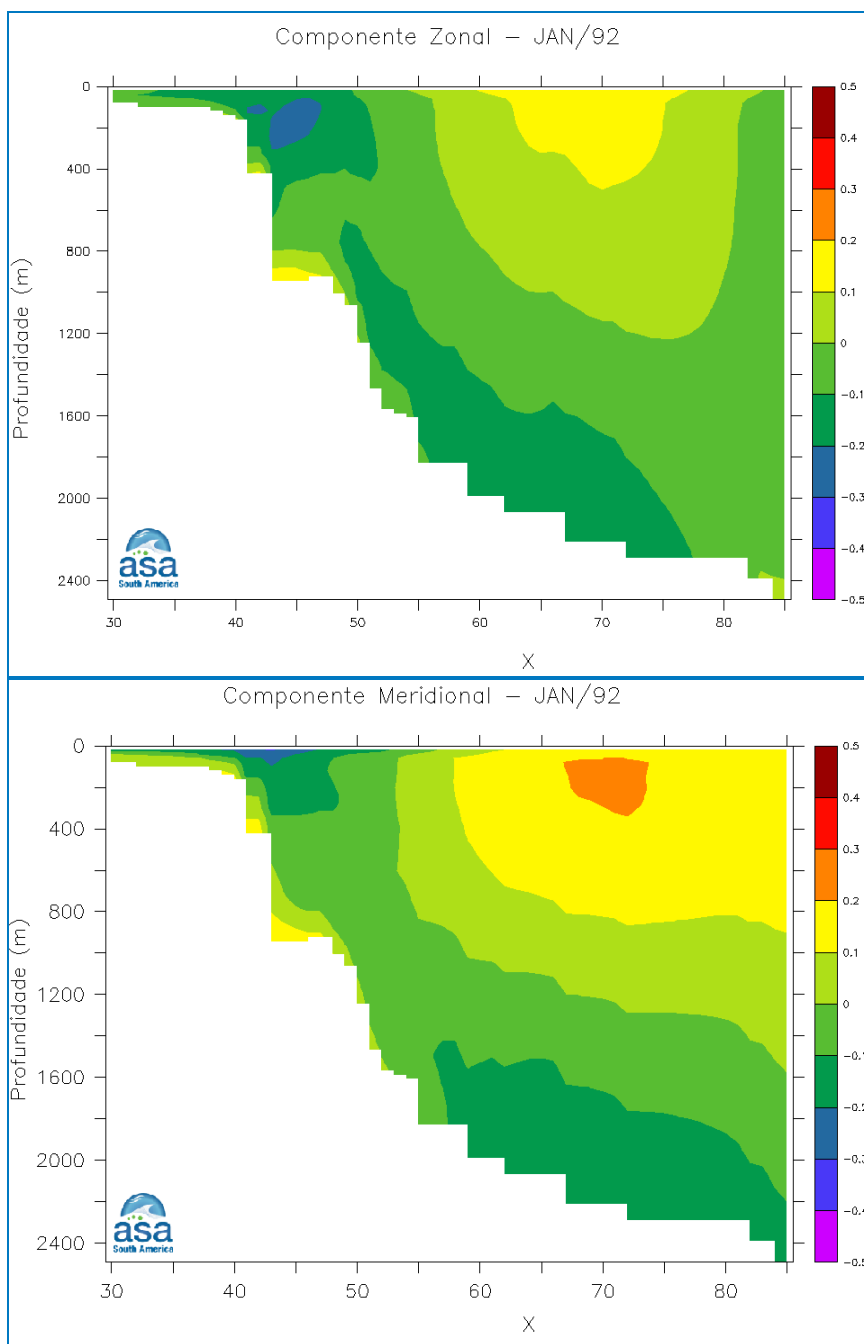
Os campos de correntes utilizados na modelagem do transporte e dispersão de óleo foram gerados a partir da modelagem hidrodinâmica, obtida a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no POM, adaptado e implementado pela **ASA South America** (ASA, 2009). Este modelo é tridimensional, baroclínico e prognóstico, estabilizado para variabilidades médias (climatológicas) nos campos de temperatura e salinidade. Na região da Bacia de Pelotas (não contida no domínio do POM), o campo foi complementado com base em resultados médios do OCCAM, somados às variabilidades de alta frequência simuladas pelo POM na porção sul da Bacia de Santos.

A **Figura II.5.1.2-37** apresenta um instantâneo do campo de superfície no verão, em situação de bom tempo (sob influência da AAS), mais comum no verão: um fluxo bem definido para sul-sudoeste sobre a plataforma e talude continental.



**Figura II.5.1.2-37** - Instantâneo do campo de correntes de superfície, obtido a partir de resultados do POM, complementados por resultados do OCCAM na região da Bacia de Pelotas. A linha amarela indica a posição da seção transversal apresentada na **Figura II.5.1.2-38**.

A **Figura II.5.1.2-38** mostra as seções de velocidade zonal e meridional (médias para janeiro de 1992) ao longo da linha amarela indicada na **Figura II.5.1.2-37**. Próximo à costa, o fluxo predominante é para sudoeste, com a Corrente do Brasil fluindo sobre a quebra do talude; em região oceânica, observa-se um fluxo para norte até cerca de 1.500 m de profundidade, e outro para sudeste próximo ao fundo.



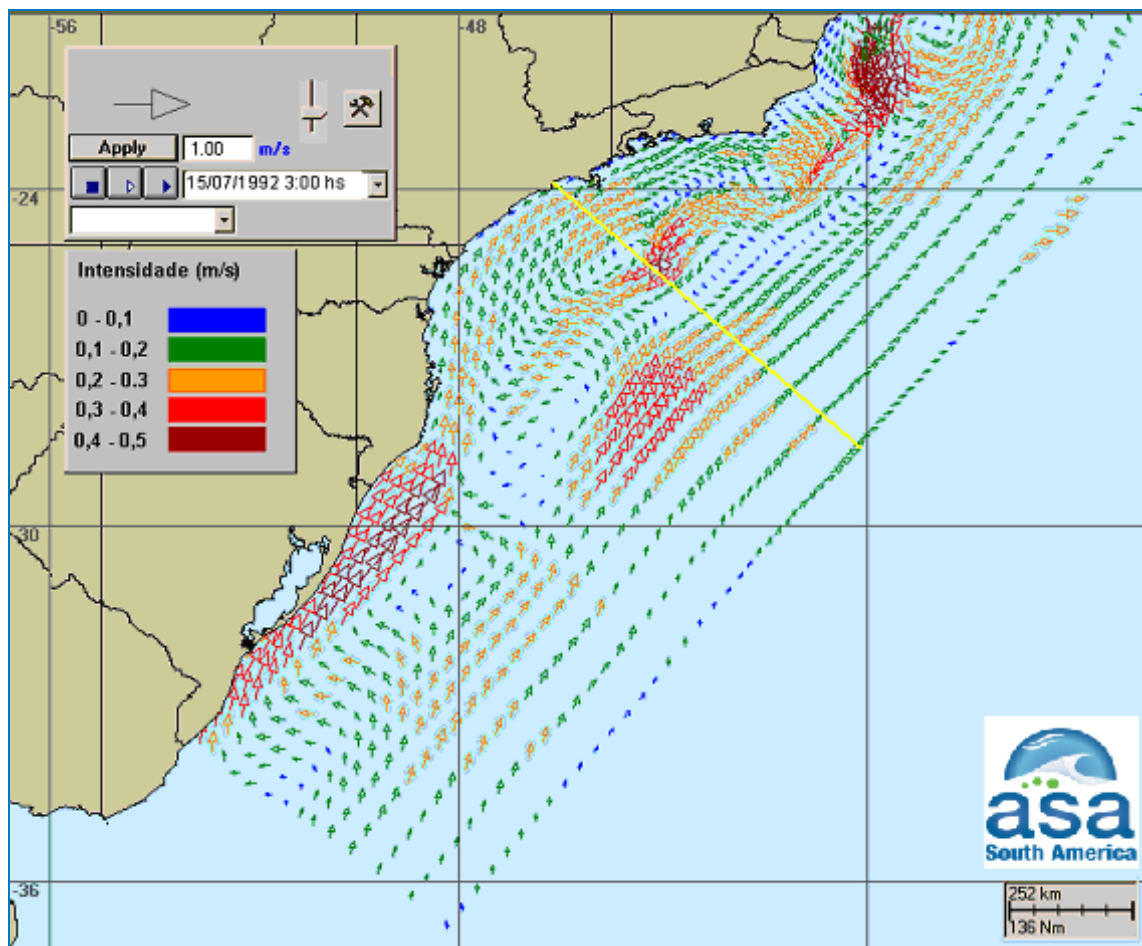
a)

b)

**Figura II.5.1.2-38** - Seções de velocidade (m/s) zonal (a) e meridional (b), médias para janeiro de 1992, extraídas ao longo da linha amarela indicada na **Figura II.5.1.2-37**.

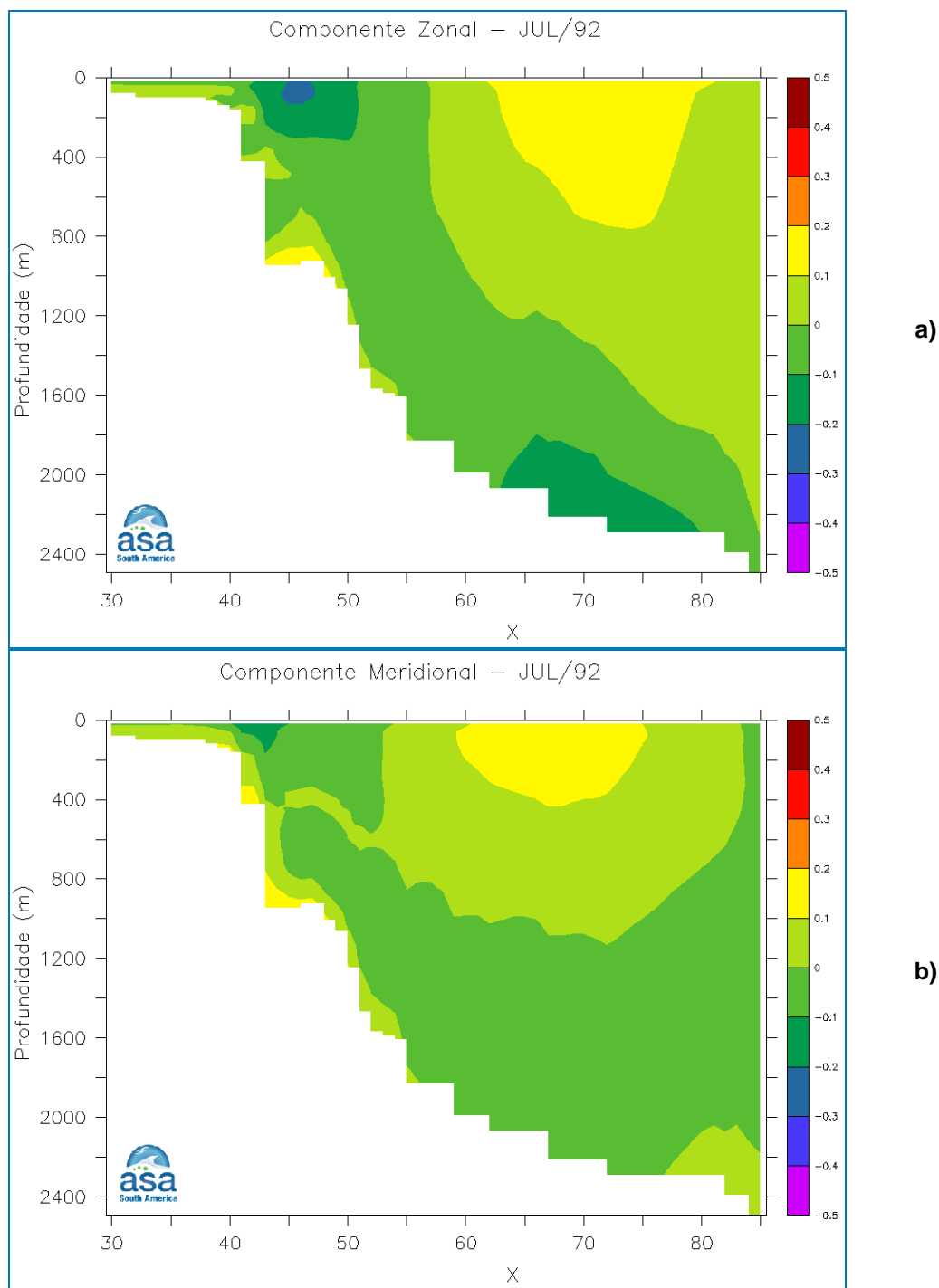
A **Figura II.5.1.2-39** apresenta um instantâneo do campo de superfície no inverno, ilustrando o padrão de correntes perturbado pelo deslocamento de um

sistema frontal, mais frequentes nesta época do ano; nestas ocasiões, é comum o campo de correntes inverter sobre a plataforma, apresentando direção norte-nordeste.



**Figura II.5.1.2-39** - Instantâneo do campo de correntes de superfície, obtido a partir de resultados do POM, complementados por resultados do OCCAM na região da Bacia de Pelotas. A linha amarela indica a posição da seção transversal apresentada na **Figura II.5.1.2-40**.

A **Figura II.5.1.2-40** mostra as seções de velocidade zonal e meridional (médias para julho de 1992) ao longo da linha amarela indicada na **Figura II.5.1.2-39**. Observa-se uma desintensificação do fluxo para sudoeste em região de plataforma, devido às inversões de fluxo, mais comuns nesta época.



**Figura II.5.1.2-40** - Seções de velocidade (m/s) zonal (a) e meridional (b), médias para julho de 1992, extraídas ao longo da linha amarela indicada na **Figura II.5.1.2-39**.



### **II.5.1.2.5 - Regime de Ondas**

As ondas superficiais de gravidade são a principal e mais constante forma de transporte da energia no mar, exercendo papel preponderante na determinação das feições costeiras. As ondas presentes em um determinado local, próximo à costa ou em mar aberto, podem ser classificadas em vagas e marulho (ou ondulações). Vagas são ondas que ainda estão na zona de geração, sendo capazes de receber energia do vento. O marulho é composto por ondas que ou se propagaram para fora da zona de geração original e/ou não são mais capazes de receber energia do vento. Os termos em inglês para vaga e marulho são *wind-sea* ou *sea* e *swell*, respectivamente, sendo amplamente conhecidos e utilizados.

As condições atmosféricas no Atlântico Sul, especialmente nas latitudes menores que 40° não são tão severas quanto no mar do Norte ou mesmo no Pacífico, onde ocorrem grandes tempestades e furacões. As maiores ondas que atingem a costa Sul-Sudeste Brasileira são do tipo marulho. As principais zonas de geração estão abaixo do paralelo 40° S e lá não são raras as tempestades com ventos de 60 nós (30 m/s) e ondas de 9 m, com períodos próximos a 20 segundos, como a descrita por Freire (1960). As principais ondas presentes no Atlântico Sul são geradas nas médias e altas latitudes, por tempestades originadas nos centros de baixa pressão que vêm da Antártica, associados às frentes frias (Candella, 1997).

As tempestades ocorridas entre os paralelos 35°S e 55°S são, tipicamente, as causadoras das maiores ondas no Atlântico Sul, e quando atingem o litoral Sul-Sudeste Brasileiro tais ondas têm direções entre SW, S e SE (Seixas, 1997; Candella, 1997). Porém, é possível que ocorram algumas ondas de amplitudes significativas vindas do quadrante NE. As ondas de NE, em geral, estão associadas à circulação induzida pelo centro de alta pressão semi-permanente do Atlântico e são predominantes em termos de permanência.

Alves (1991) mostrou que não há possibilidade das grandes ondas geradas no Pacífico atingirem o lado Oeste do Atlântico, como ocorre na costa Oeste do continente. Melo Filho *et al.* (1991) afirmam que embora a costa brasileira e, em

conseqüência, o lado Oeste do Atlântico, esteja totalmente exposta a ondas de Sudeste, a chegada de ondulações longínquas geradas no oceano Índico é pouco provável, pelas condições adversas de vento e corrente para a propagação.

No entanto, em algumas situações, ressacas de razoável atividade atingem o litoral brasileiro provocando estragos consideráveis, como no caso descrito por Innocentini & Pellegatti Franco (1992), Candella *et al.* (1993), Caetano Neto *et al.* (1996) e Innocentini & Caetano Neto (1996).

Os dados coletados entre os anos de 1964 e 1993 e armazenados no BNDO<sup>18</sup> da DHN<sup>19</sup> indicam que, embora o vento Leste possa ser até mais frequente em alguns casos que o Nordeste, a energia cinética deste último é predominante, tendo como ápice o mês de setembro. O total da energia devida ao vento Nordeste é superior, inclusive, à do vento Sudoeste, pelo menos localmente, devido à sua persistência. Conforme Oda (1997), a alteração da direção do vento para a direção Leste está relacionada com o efeito de brisa.

Com base em dados ambientais do SIMO (banco de dados da PETROBRAS, que possui informações meteorológicas e oceanográficas coletadas no período de 1991 a 1995 dentro do Projeto de Capacitação em Águas Profundas – PROCAP), Nunes *et al.* (2001) classificaram o regime de ondas na Bacia de Campos. Dependendo dos forçantes meteorológicos, podem ser geradas condições de mar bi-modais, tri-modais e tri-direcionais cada um dos modos com frequência e direção característica independente dos demais.

Pinho (2003), em um estudo mais elaborado, apresentou e quantificou as situações que cobrem todos os estados de mar que ocorrem na região da Bacia de Campos. Apesar de o referido estudo ser focado na Bacia de Campos, suas considerações podem ser estendidas para a parte norte da Bacia de Santos que apresenta um regime de ondas semelhante à região adjacente.

<sup>18</sup> Banco Nacional de Dados Oceanográficos.

<sup>19</sup> Diretoria de Hidrografia e Navegação.

De acordo com o sistema meteorológico dominante na região, o autor classificou quatro tipos de condições de mar: Situação de Bom Tempo, caracterizado por mares de N, NE e E (principalmente NE) que ocorre quando o sistema de alta pressão da Alta Subtropical do Atlântico Sul domina a circulação; situação de Bom Tempo com marulhos de Sul; situação de Mau Tempo de SW, caracterizado por mares de SW e S gerados sempre que há a passagem de uma frente fria seguida de um ciclone extratropical; e situação de Mau Tempo de SE, quando após a passagem de uma frente fria, um anticiclone polar domina a circulação na região.

Um importante componente na propagação das ondas sobre a plataforma é a refração. A refração ocorre quando existe variação transversal da celeridade. Sendo a velocidade de propagação da onda, por hipótese da teoria linear, função apenas da profundidade local da coluna d'água.

A propagação das ondas em águas intermediárias e rasas é basicamente governada pela geometria da plataforma continental e pelos ventos. Esta geometria produz refração em grandes extensões do campo de ondas.

A refração na propagação de ondas oceânicas ocorre em diversos locais da costa sudeste, inclusive sobre a plataforma média externa. De acordo com Guerra (1994) a refração governa a propagação dessas ondas sobre grande parte da plataforma continental.

### **A - Caracterização Sazonal**

Na ausência de dados medidos de ondas para a região da Bacia de Santos, utilizou-se para caracterização sazonal do clima de ondas na região resultados de quatro anos do modelo de ondas WAVEWATCH III (WW3). O modelo WW3 versão 2.22 (Tolman, 2002), é um modelo de terceira geração, desenvolvido pelo MMAB<sup>20</sup> do EMC<sup>21</sup> do NCEP. O WW3 é rodado em resolução global em uma

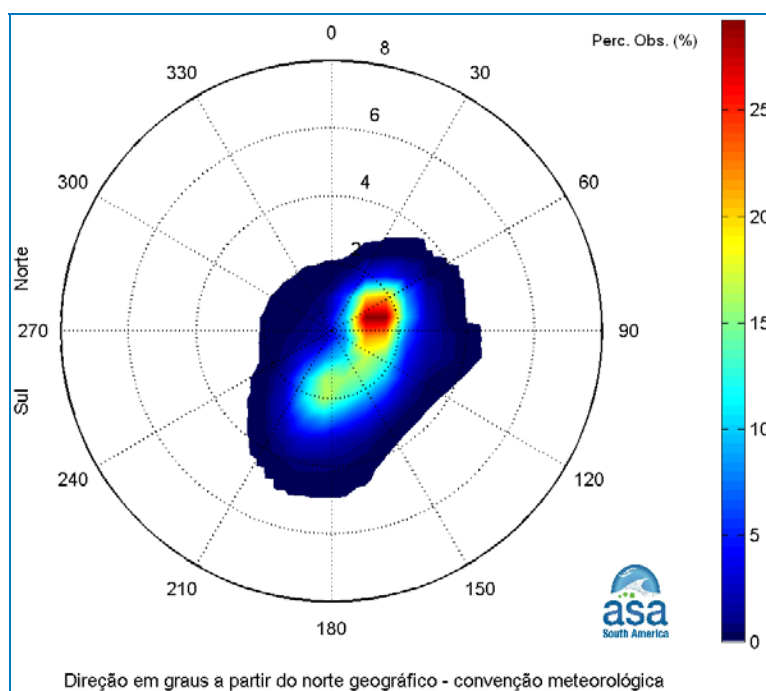
---

<sup>20</sup> Marine Modeling and Analysis Branch.

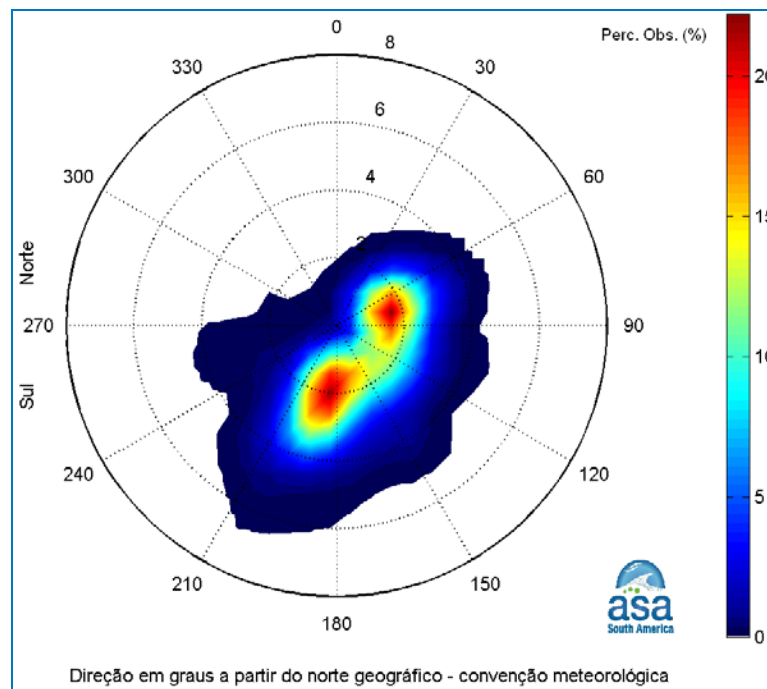
<sup>21</sup> Environmental Modeling Center.

grade de  $1^\circ \times 1^\circ$ . Aninhada a esta grade global, foi configurada uma grade de meso-escala englobando a costa sudeste do Brasil com resolução de  $0,25^\circ$ .

A **Figura II.5.1.2-41** e a **Figura II.5.1.2-42** apresentam os histogramas direcionais (para direção de propagação, período de pico e frequência de ocorrência) considerando as informações de ondas para os períodos de verão (janeiro, fevereiro, março) e inverno (julho, agosto, setembro), respectivamente durante os anos de 2002 a 2006. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. A escala de cores representa a porcentagem de observações, os círculos concêntricos referem-se ao período de pico ( $T_p$  – em segundos).



**Figura II.5.1.2-41** - Histograma direcional dos dados de período de pico de onda para o verão de 2002 a 2006.

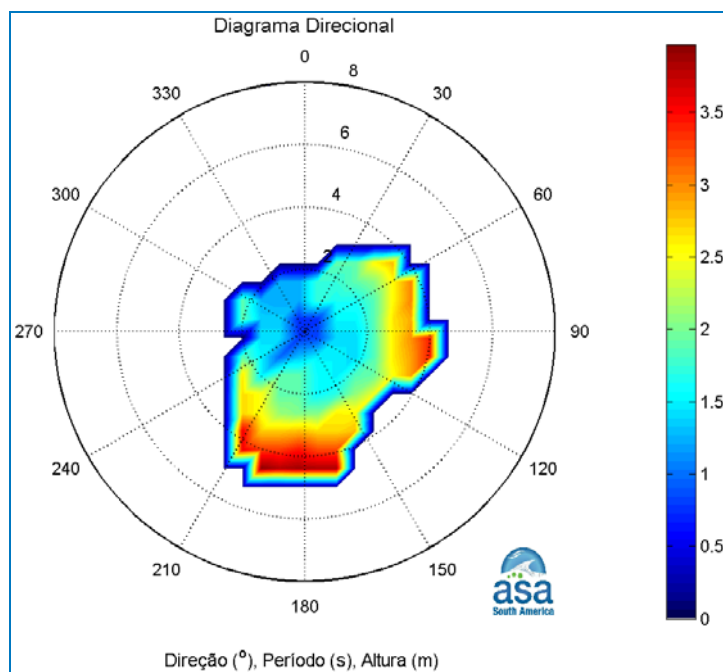


**Figura II.5.1.2-42** - Histograma direcional dos dados de período de pico de onda para o inverno de 2002 a 2006.

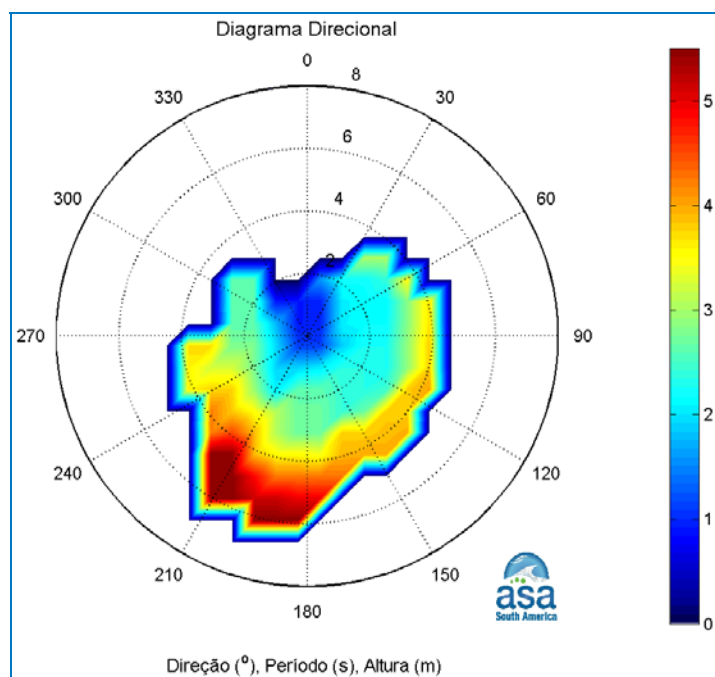
A **Figura II.5.1.2-43** e a **Figura II.5.1.2-44** apresentam os histogramas direcionais (para direção de propagação, período de pico e altura significativa) considerando as informações de ondas para os períodos de verão (janeiro, fevereiro, março) e inverno (julho, agosto, setembro), respectivamente. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. Neste diagrama a altura significativa ( $H_s$ ) das ondas está indicada em metros (barra lateral), os círculos concêntricos referem-se ao período de pico ( $T_p$  – em segundos), enquanto a direção de propagação ( $D_p$ ) é fornecida graus.

Estas análises mostram que no período de verão predomina situação de Bom Tempo, caracterizado por ondas provenientes de N, NE e E (principalmente NE) influenciadas pelo sistema de alta pressão da Alta Subtropical do Atlântico Sul e com altura significativa superior a 3 m e período de pico da ordem de 4 s, em mar aberto.

Durante o inverno predominam ondas de NE e S – SW, sendo estas últimas associadas a uma situação de Mau Tempo geradas por passagens de frentes frias, com períodos da ordem de 6 s e altura significativa superior a 6 m.



**Figura II.5.1.2-43** - Histograma direcional dos dados de período de pico e altura significativa da onda para o verão, no período 2002 a 2006.



**Figura II.5.1.2-44** - Histograma direcional dos dados de período de pico e altura significativa da onda para o inverno, no período 2002 a 2006.



A **Tabela II.5.1-26** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de altura significativa e direções das ondas para o período de verão de 2002 a 2006. Observa-se que as ondas mais frequentes são provenientes de ENE (29,4%) e S (16,2%). As ondas com altura significativa média máxima vieram de SSW (2,1 m) e SSE (1,9 m) e as ondas com alturas significativas mais altas observadas vieram de S e SSW (3,8 m).

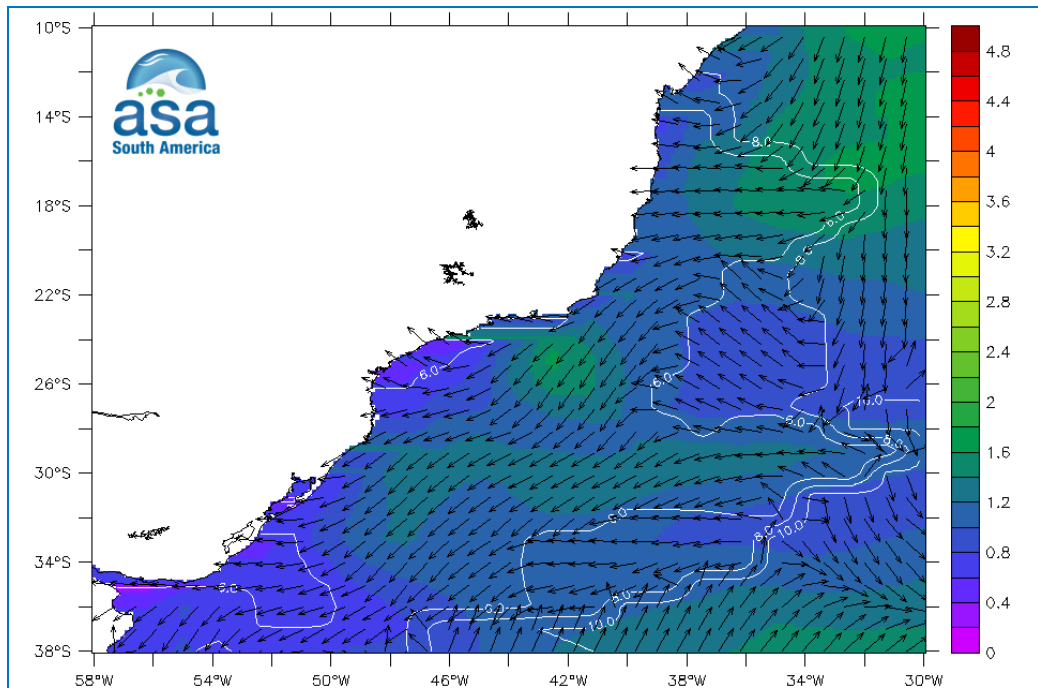
**Tabela II.5.1-26 - Diagrama de ocorrência conjunta de altura significativa e direção da onda para o período de verão, de 2002 a 2006.**

Ocorrência conjunta de altura significativa (m) e direção da onda.  
Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção meteorológica.

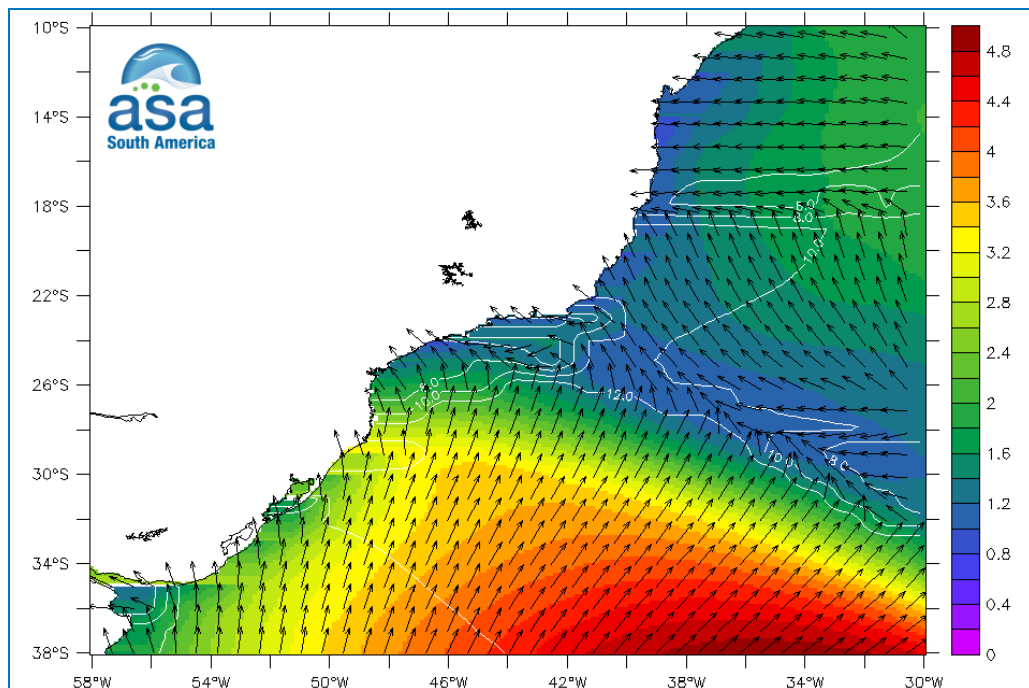
Hs (m)	D I R E Ç Ã O															Tot.	Perc.	Di r. Méd.	
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW				NNW
0,6- 0,8	0	0	9	81	54	1	23	2	4	0	5	2	3	4	0	0	188	1,7	84
0,8- 1,0	0	2	34	192	121	35	49	26	68	10	4	13	0	8	0	7	569	5,3	97
1,0- 1,2	2	0	65	457	214	138	68	86	182	57	7	3	10	14	0	0	1303	12,0	103
1,2- 1,4	5	1	97	649	191	280	90	57	198	82	17	0	2	6	1	6	1682	15,5	97
1,4- 1,6	0	8	54	643	235	208	231	97	246	81	0	2	0	0	0	0	1805	16,7	106
1,6- 1,8	0	1	73	491	82	146	230	114	258	112	7	0	0	0	0	0	1514	14,0	117
1,8- 2,0	0	3	24	262	68	55	158	104	170	187	4	0	0	1	0	0	1036	9,6	134
2,0- 2,2	0	0	18	250	43	28	90	134	116	174	0	0	0	0	0	0	853	7,9	134
2,2- 2,4	0	0	6	60	71	27	66	148	142	121	0	0	0	0	0	0	641	5,9	153
2,4- 2,6	0	0	2	36	22	7	75	67	161	107	3	0	0	0	0	0	480	4,4	165
2,6- 2,8	0	0	3	19	37	12	2	42	63	87	5	0	0	0	0	0	270	2,5	166
2,8- 3,0	0	0	5	18	13	9	0	24	43	61	0	0	0	0	0	0	173	1,6	167
3,0- 3,2	0	0	0	10	23	7	0	5	28	41	0	0	0	0	0	0	114	1,1	159
3,2- 3,4	0	0	0	0	6	14	0	0	20	28	0	0	0	0	0	0	68	0,6	165
3,4- 3,6	0	0	0	0	10	4	0	0	20	22	0	0	0	0	0	0	56	0,5	168
3,6- 3,8	0	0	0	0	0	0	0	0	23	9	0	0	0	0	0	0	32	0,3	186
Total		Total	7	15	390	3168	1190	971	1082	906	1742	1179	52	20	15	33		1	13 10784
Porc.	0.1	0.1	3.6	<b>29.4</b>	11.0	9.0	10.0	8.4	<b>16.2</b>	10.9	0.5	0.2	0.1	0.3	0.0	0.1			
Hs méd.	1.3	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	1.7	<b>1.9</b>	1.8	<b>2.1</b>	1.5	1.0	1.0	1.1	1.3	1.1			
Hs máx.	1.4	2.0	2.9	3.1	3.5	3.4	2.7	3.1	<b>3.8</b>	<b>3.8</b>	2.7	1.5	1.4	1.9	1.3	1.3			

A **Tabela II.5.1-27** apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de altura significativa e direções das ondas para o período de inverno de 2002 a 2006. Verifica-se que as ondas mais frequentes são provenientes de S (22,3%) e SSW (19,8%). As ondas com altura significativa média máxima vieram de SW (2,7 m) e SSW (2,6 m) e as ondas com alturas significativas mais altas observadas vieram de S e SSW (5,4 m).





**Figura II.5.1.2-45** - Ilustração do campo de ondas de meso escala em condições de “Bom Tempo”.



**Figura II.5.1.2-46** - Ilustração do campo de ondas de meso escala em condições de “Mau Tempo de SW”.

### II.5.1.2.6 - Marés

Da **Figura II.5.1.2-47** a **Figura II.5.1.2-49** são apresentadas as constantes harmônicas fornecidas pela FEMAR para localidades ao longo da Bacia de Santos, a fim de representar o comportamento das componentes da maré em toda a Bacia. A porção sul da Bacia é representada pela estação de Itajaí – SC (25°54,2'S; 48°34,6'W), a porção central pela estação de Cananéia – SP (25°01,0'S; 47°55,1'W) e a porção norte pela estação de Castelhanos – RJ (23°10,0'S; 44°05,6'W). Nas três localidades as duas principais componentes são a  $M_2$  (principal lunar) e a  $S_2$  (principal solar), com maiores amplitudes na estação de Cananéia e menores na estação de Itajaí. Seguida dessas componentes está a  $O_1$ , que apresenta amplitude semelhante nas três localidades.

A **Figura II.5.1.2-50** e a **Figura II.5.1.2-51** apresentam os mapas cotidais para as componentes  $M_2$  e  $S_2$ , obtidos através do conjunto de dados FES04<sup>22</sup>. (Lyard *et al.*, 2006), que possui resolução de 0,125° x 0,125°. Através destas figuras observa-se que as máximas amplitudes das duas componentes ocorrem no litoral de São Paulo e diminuem principalmente em direção ao sul da Bacia de Santos, onde são encontradas as menores amplitudes destas componentes. As fases destas componentes variam entre 150 e 180 nas duas componentes, com valores mínimos na porção sul da Bacia.

<sup>22</sup> Modelo global de maré disponível em: [http://www.astro.oma.be/ICET/Ocean\\_tides\\_models/](http://www.astro.oma.be/ICET/Ocean_tides_models/)

**FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR** *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

<b>Nome da Estação :</b>		<b>ITAJÁ (PORTO) – SC</b>			
<b>Localização :</b>		No trapiche de atracação do antigo Escritório do DNPRC			
<b>Organ. Responsável :</b>		INPH / DHN			
<b>Latitude :</b>		25° 54,2' S	<b>Longitude :</b>		48° 34,6' W
<b>Período Analisado :</b>		31/03/60 a 23/03/61	<b>Nº de Componentes :</b>		32
<b>Análise Harmônica :</b>		Método Tidal Liverpool Institute			
<b>Classificação :</b>		Maré de Desigualdades Diurnas			
<b>Estabelecimento do Porto:</b> (HWF&C)		II H 02 min	<b>Nível Médio</b> (Zo):		57 cm acima do NR.
<b>Média das Preamares Superiores (MHHW) :</b>		107 cm acima do NR.	<b>Média das Preamares Inferiores (MLHW) :</b>		85 cm acima do NR
<b>Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :</b>		21 cm acima do NR.	<b>Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) :</b>		15 cm acima do NR.
<b>CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS</b>					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	4,2	056	MU <sub>2</sub>	1,5	117
Ssa	5,2	092	N <sub>2</sub>	4,3	146
Mm	1,9	045	NU <sub>2</sub>	0,6	187
Mf	6,1	170	M <sub>2</sub>	23,2	069
MTM	-	-	L <sub>2</sub>	1,7	075
Msf	4,3	276	T <sub>2</sub>	0,4	234
Q <sub>1</sub>	3,2	053	S <sub>2</sub>	15,7	066
O <sub>1</sub>	10,4	077	K <sub>2</sub>	5,2	060
M <sub>1</sub>	0,5	242	MO <sub>3</sub>	2,8	336
P <sub>1</sub>	2,1	127	M <sub>3</sub>	4,2	176
K <sub>1</sub>	6,1	137	MK <sub>3</sub>	1,6	076
J <sub>1</sub>	0,2	137	MN <sub>4</sub>	2,4	067
OO <sub>1</sub>	0,3	073	M <sub>4</sub>	5,7	116
MNS <sub>2</sub>	0,4	091	SN <sub>4</sub>	0,5	141
2N <sub>2</sub>	1,4	132	MS <sub>4</sub>	3,9	205
<b>Referências de Nível:</b> RN-1 fixada no início do trapiche, na parte de cimento.					
<b>Obs:</b> Outros períodos : 01/01/29 a 05/01/30; 01/09/56 a 02/10/56; 01/04/91 a 01/05/91. Existem no INPH registros de 1922 até 1988 Consta das Tábuas das Marés					

Código BNDO: 60230

Figura II.5.1.2-47 - Constantes harmônicas fornecidas pela FEMAR para Cananéia.



<b>Nome da Estação :</b> CANANÉIA – SP					
<b>Localização :</b> Mar Pequeno – No trapiche da estação de pesquisa do IOUSP					
<b>Organ. Responsável :</b> DHN / IOUSP					
<b>Latitude :</b> 25° 01,0' S		<b>Longitude :</b> 47° 55,1' W			
<b>Período Analisado :</b> 01/01/56 a 23/12/56			<b>Nº de Componentes :</b> 60		
<b>Análise Harmônica :</b> Método Tidal Liverpool Institute					
<b>Classificação :</b> Maré de Desigualdades Diurnas					
<b>Estabelecimento do Porto:</b> (HWF&C)		II H 59 min		<b>Nível Médio</b> (Zo): 78 cm acima do NR.	
<b>Média das Preamares Superiores (MHHW) :</b>		136 cm acima do NR.		<b>Média das Preamares Inferiores (MLHW) :</b> 135 cm acima do NR	
<b>Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :</b>		32 cm acima do NR.		<b>Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) :</b> 8 cm acima do NR.	
<b>CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS</b>					
<b>Componentes</b>	<b>Semi-amplitude</b> (H) cm	<b>Fase (g)</b> graus (°)	<b>Componentes</b>	<b>Semi-amplitude</b> (H) cm	<b>Fase (g)</b> graus (°)
Sa	7,9	014	MU <sub>2</sub>	2,2	137
Ssa	4,4	168	N <sub>2</sub>	6,0	165
Mm	3,6	290	NU <sub>2</sub>	0,9	186
Mf	1,1	120	M <sub>2</sub>	35,6	094
MTM	-	-	L <sub>2</sub>	1,9	033
Msf	2,4	049	T <sub>2</sub>	0,6	100
Q <sub>1</sub>	2,5	059	S <sub>2</sub>	22,4	095
O <sub>1</sub>	11,1	084	K <sub>2</sub>	7,4	084
M <sub>1</sub>	0,5	111	MO <sub>3</sub>	1,3	074
P <sub>1</sub>	2,5	152	M <sub>3</sub>	6,6	242
K <sub>1</sub>	6,1	145	MK <sub>3</sub>	6,2	119
J <sub>1</sub>	0,6	223	MN <sub>4</sub>	6,8	155
OO <sub>1</sub>	0,2	096	M <sub>4</sub>	7,0	211
MNS <sub>2</sub>	0,3	111	SN <sub>4</sub>	0,1	101
2N <sub>2</sub>	2,0	152	MS <sub>4</sub>	3,6	320
<b>Referências de Nível:</b> RN-1 implantada na soleira da porta principal da Igreja de Cananéia.					
<b>Obs:</b> Outros Períodos: 01/07/82 a 31/08/82; 01/12/82 a 31/12/82; 01/01/88 a 29/12/89; 26/02/54 a 31/12/89. O IOUSP tem dados desde 1954. Estação do Projeto GLOSS.					

Código BNDO: 50250

Figura II.5.1.2-48 - Constantes harmônicas fornecidas pela FEMAR para Cananéia.

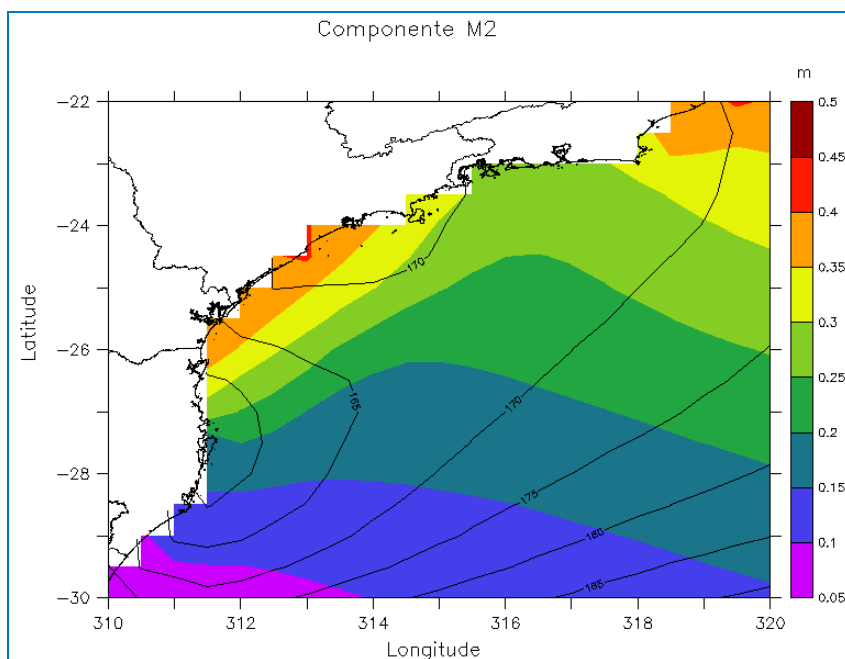


**FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR** *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

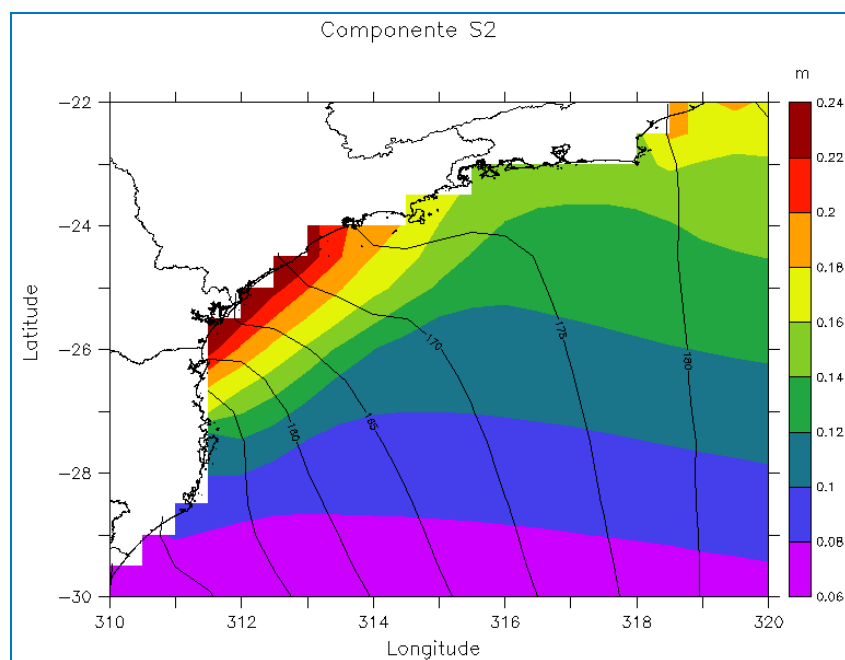
<b>Nome da Estação :</b>		<b>CASTELHANOS – RJ</b>			
<b>Localização :</b>		Ponta Leste da Ilha Grande, no trapiche de desembarque para o farol			
<b>Organ. Responsável :</b>		DHN			
<b>Latitude :</b>		23° 10,0' S	<b>Longitude :</b>		44° 05,6' W
<b>Período Analisado :</b>		28/03/92 a 28/04/92		<b>Nº de Componentes :</b> 25	
<b>Análise Harmônica :</b>		Método Almirante Santos Franco			
<b>Classificação :</b>		Maré de Desigualdades Diurnas.			
<b>Estabelecimento do Porto: (HWF&amp;C)</b>		II H 41 min	<b>Nível Médio (Zo):</b>		67 cm acima do NR.
<b>Média das Preamares Superiores (MHHW) :</b>		127 cm acima do NR.	<b>Média das Preamares Inferiores (MLHW) :</b>		106 cm acima do NR
<b>Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :</b>		22 cm acima do NR.	<b>Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) :</b>		13 cm acima do NR.
<b>CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS</b>					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU <sub>2</sub>	-	-
Ssa	-	-	N <sub>2</sub>	4,6	131
Mm	9,2	018	NU <sub>2</sub>	0,9	121
Mf	-	-	M <sub>2</sub>	31,6	077
MTM	-	-	L <sub>2</sub>	-	-
Msf	-	-	T <sub>2</sub>	1,0	080
Q <sub>1</sub>	3,3	052	S <sub>2</sub>	17,8	078
O <sub>1</sub>	10,9	082	K <sub>2</sub>	4,8	080
M <sub>1</sub>	-	-	MO <sub>3</sub>	0,6	091
P <sub>1</sub>	1,7	131	M <sub>3</sub>	0,8	210
K <sub>1</sub>	5,3	134	MK <sub>3</sub>	0,9	105
J <sub>1</sub>	-	-	MN <sub>4</sub>	2,1	344
OO <sub>1</sub>	-	-	M <sub>4</sub>	5,6	038
MNS <sub>2</sub>	-	-	SN <sub>4</sub>	0,7	120
2N <sub>2</sub>	0,6	225	MS <sub>4</sub>	2,9	119
<b>Referências de Nível:</b> RN-1 implantada no Paiol de Materiais junto ao trapiche. RN-2 implantada em pedra em frente ao guincho.					
<b>Obs:</b> Outros Períodos : 12/04/97 a 13/06/97					

Código BNDO: 50167

Figura II.5.1.2-49 - Constantes harmônicas fornecidas pela FEMAR para Cananéia.



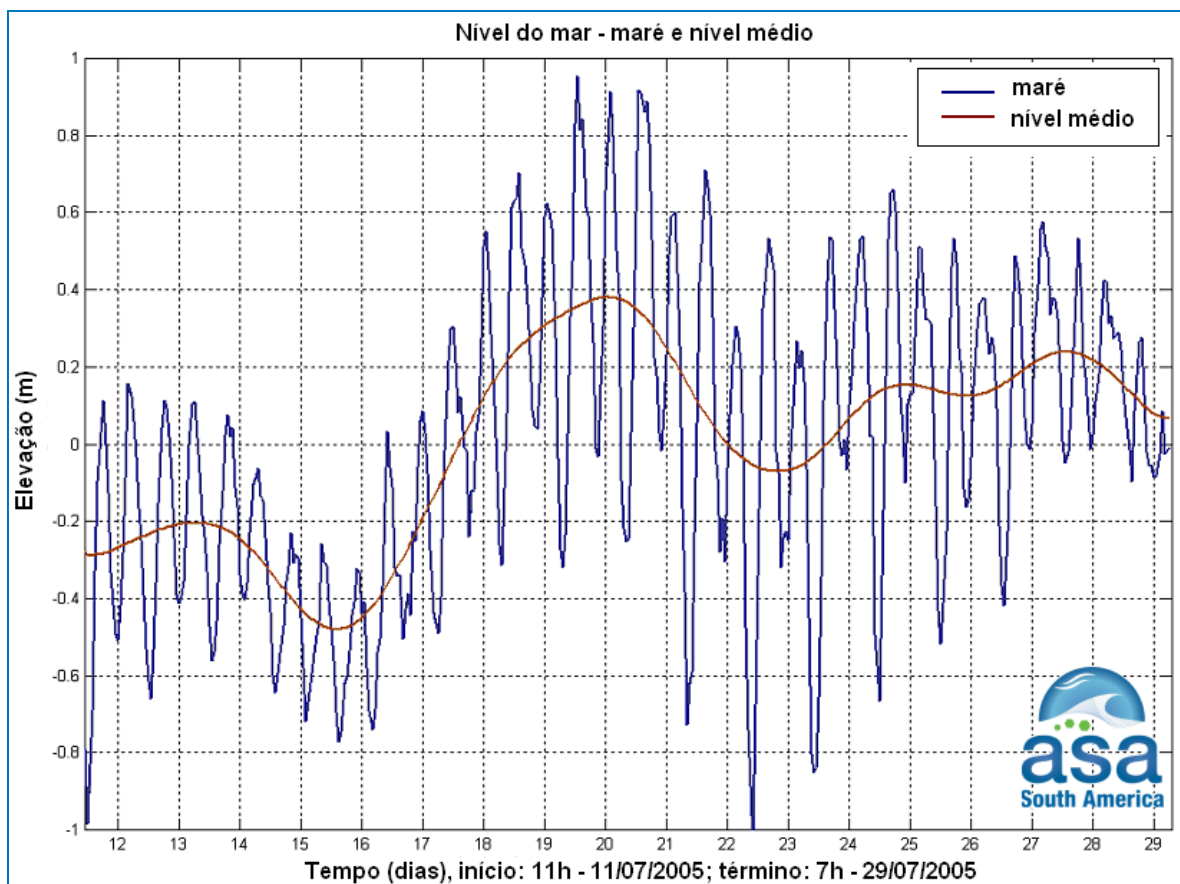
**Figura II.5.1.2-50** - Mapas cotidianos de amplitude e fase para a componente de maré  $M_2$ .



**Figura II.5.1.2-51** - Mapas cotidianos de amplitude e fase para a componente de maré  $S_2$ .

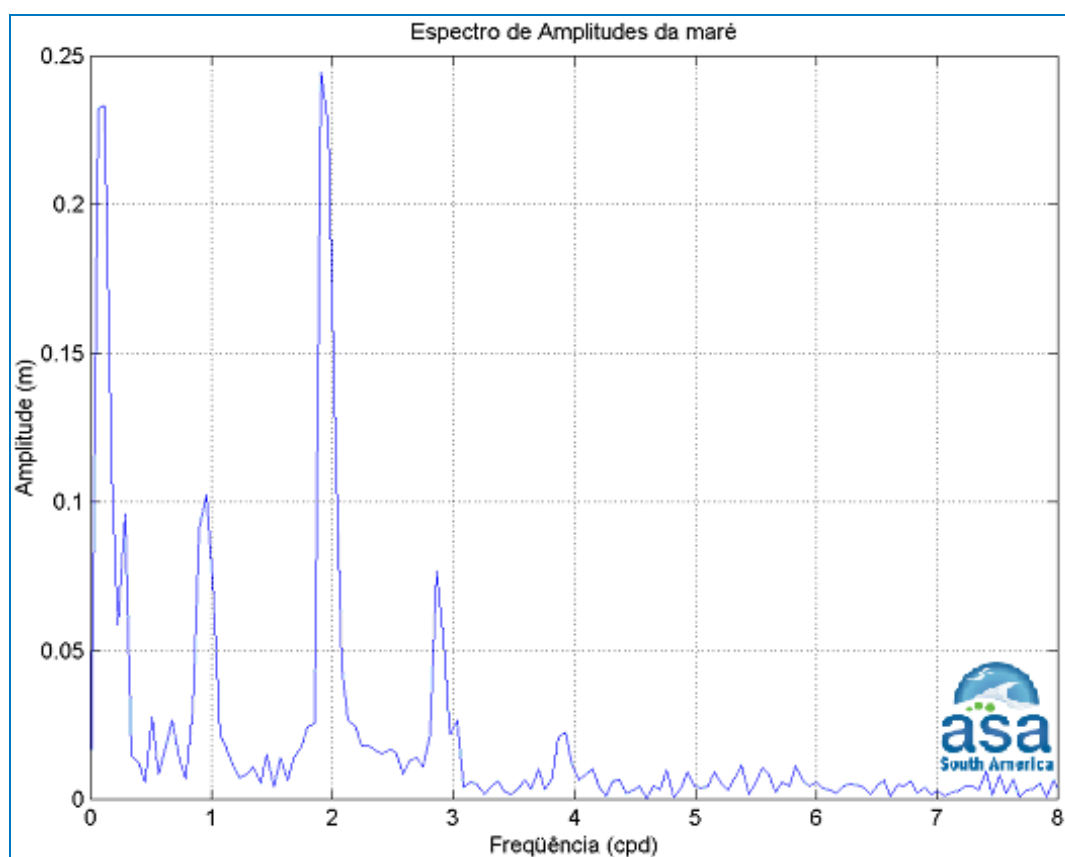
Para complementar a análise de maré, foi selecionada uma localidade na porção central da Bacia de Santos, a fim de verificar o comportamento dos dados coletados. Os dados de elevação do nível do mar, analisados neste relatório,

foram coletados através de amostragens com sensor de pressão na posição 24,048765°S; 46,44134°W (Praia Grande), em um local com profundidade de aproximadamente 10 metros. Os dados são referentes ao período de 11 a 29 de julho de 2005. A **Figura II.5.1.2-52** apresenta a série temporal destes dados, com variação de -1 a 1. A curva em vermelho indica a variação do nível médio do mar, estimado a partir da aplicação de um filtro para marés (Godin, 1972) e é possível observar uma variação de -0,5 a 0.4 m. Nesta série além da influência da maré no nível do mar, também há a influência das condições atmosféricas e oceânicas.



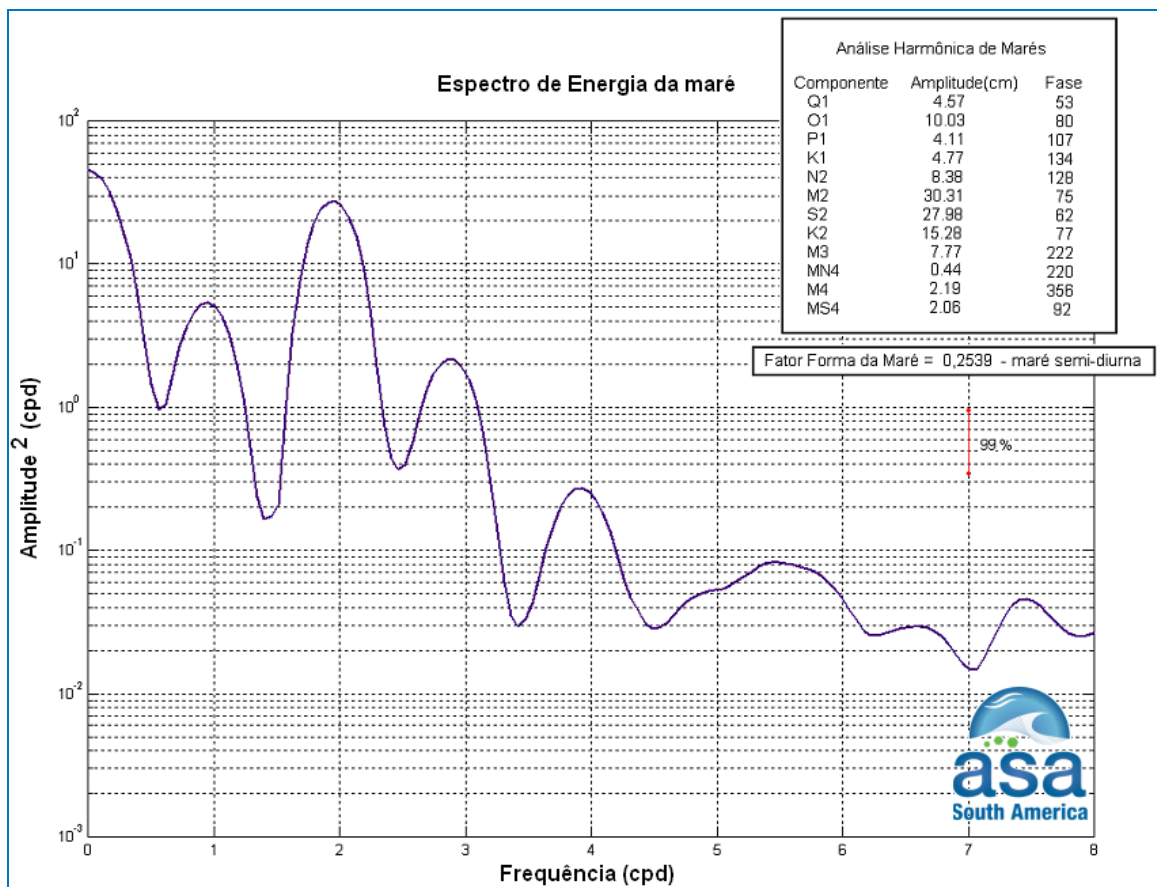
**Figura II.5.1.2-52** - Elevação do nível do mar para a região da Praia Grande no período de 11 a 29 de julho de 2005.

O espectro de amplitude de maré calculado a partir dessa série é apresentado na **Figura II.5.1.2-53**. Observa-se que nesta posição a componente semidiurna da maré (2 cpd) tem uma amplitude da ordem de magnitude da variação de nível associada à passagem de sistemas frontais (frequências menores do que 0,2 cpd).



**Figura II.5.1.2-53** - Espectro de amplitude da série temporal de elevação de nível do mar obtida na Praia Grande no período de 11 a 29 de julho de 2005.

A **Figura II.5.1.2-54** apresenta o espectro de energia calculado a partir dos dados descritos acima, pode-se observar que os picos espectrais significativos ocorrem principalmente nas frequências: semidiurna e menores do que 0,2 cpd. Nesta figura é apresentada, também, a análise harmônica de maré realizada para este conjunto de dados. As principais componentes harmônicas de maré astronômica são a  $M_2$  e a  $S_2$  com amplitudes de 30,31 cm e 27,98 cm, respectivamente. Em seguida as componentes  $K_2$  e  $O_1$ , com amplitudes de 15,28 cm e 10,03 cm, também são significativas e correspondem às componentes Luni-solar semi-diurna e Principal lunar diurna, respectivamente.



**Figura II.5.1.2-54** - Espectro de energia da série temporal de elevação de nível do mar obtida na Praia Grande no período de 11 a 29 de julho de 2005.

### II.5.1.2.7 - Considerações Finais

Na região da Bacia de Santos, pode-se resumir o padrão de circulação oceânica como “Sistema Corrente do Brasil” (Godoi, 2005), sistema de correntes de contorno formado pela Corrente do Brasil, fluindo para sudoeste, e pela Corrente de Contorno Intermediária, fluindo para nordeste. A Corrente do Brasil tem espessura característica de 500 m ao largo do sudeste brasileiro e transporta Água Tropical e Água Central do Atlântico Sul. A Corrente de Contorno Intermediária ocupa porções intermediárias do talude continental, com extensão vertical de pelo menos 700 m (Böebel *et al.*, 1999 *apud* Silveira *et al.*, 2000; Stramma & England, 1999), e transporta Água Intermediária Antártica. Abaixo da Corrente de Contorno Intermediária, ocupando por vezes cerca de dois

quilômetros de coluna de água e com uma estrutura vertical complexa, a Corrente de Contorno Profunda flui para o sudoeste, transportando Água Profunda do Atlântico Norte (Stramma & England, 1999).

Com relação ao regime de ondas, na situação de Bom Tempo observam-se ondas provenientes de NE e E, com período de 6 s e alturas inferiores a 1 m. Na situação de Mau Tempo as ondas vêm predominantemente de SW as ondas possuem períodos da ordem de 12 s e alturas em torno de 3 m.

Na região da plataforma continental, há amplificação natural do sinal de maré e intensificação dos padrões meteorológicos locais, *i.e.*, brisa marinha. Sobreposto a estes sinais, existe a presença energética da passagem de sistemas frontais, com pronunciada causalidade remota. Em região oceânica a composição da passagem de frentes e do fluxo determinado pela Corrente do Brasil (CB) é a feição preponderante.

### **II.5.1.3 - Qualidade da Água e Sedimento**

#### **II.5.1.3.1 - Qualidade da Água**

A caracterização da qualidade da água da região dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11, BM-S-21 e BM-S-24, Área do Pólo Pré-Sal, localizados na Bacia de Santos, embasou-se na compilação de dados provenientes do Relatório da Campanha *offshore* de Caracterização Ambiental dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 gerado pela PETROBRAS/HABTEC em 2003 e no Relatório de Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002). Sendo estes dois as fontes disponíveis de estudos mais recentes e abrangentes realizados na região.

As descrições pretéritas realizadas para a Bacia de Santos definem a presença das massa d'águas com limites bem definidos, sendo somente a camada superficial a apresentar variações significativas devido sua dinâmica (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Tal fato corroborou para a evolução e interpretação de alguns parâmetros físico-químicos citados neste estudo, que



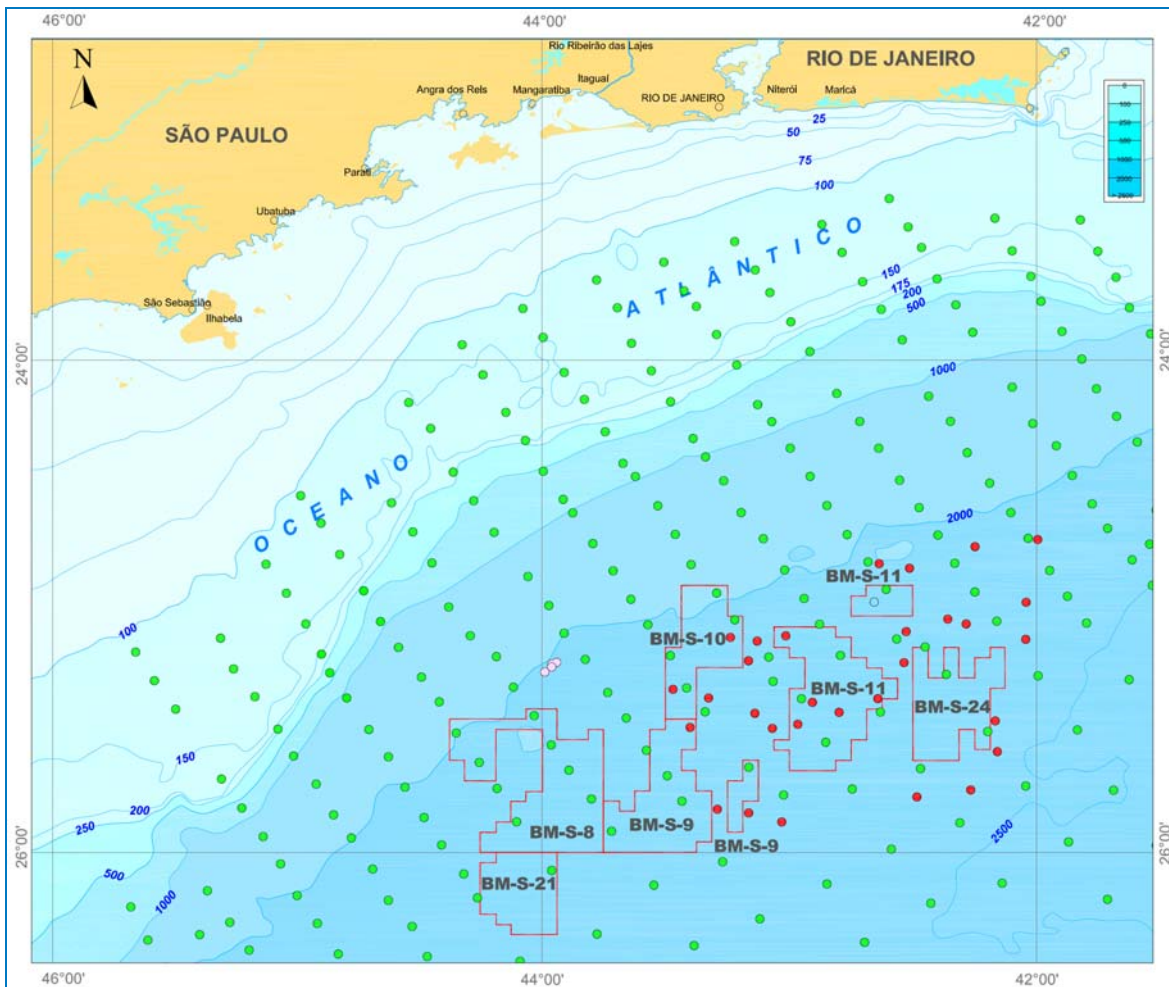
foram fundamentado nos níveis característicos de cada massa d'água encontrada. O **Quadro II.5.1.3-1** a seguir define as profundidades dos limites entre as massas d'água presentes na região.

**Quadro II.5.1.3-1** - Profundidades médias do fim da camada de mistura e início da termoclina, limites entre as massas d'água e núcleo da AIA.

Massa d' Água	Profundidade Média (m)
Camada de Mistura	41,3
Termoclina	85,8
AT/ACAS	231,29
ACAS/AIA	669,81
AIA/APAN	1357,16
Núcleo da AIA	920,63

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2003

Os dados provenientes do Relatório da Campanha *offshore* de Caracterização Ambiental dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 (PETROBRAS/HABTEC, 2003) referem-se a 20 estações, amostradas em sete profundidades: (1) superfície, (2) acima da termoclina, (3) termoclina, (4) abaixo da termoclina, (5) 200 m, (6) núcleo da Água Intermediária do Atlântico (AIA) e (7) fundo. Enquanto o Relatório de Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) engloba uma densa malha amostral composta por 227 estações de coletas, distribuídas por linhas radiais abrangendo toda a bacia, e amostradas em sua maioria em três profundidades, 10 m , termoclina e 200 m. A **Figura II.5.1.3-1** apresenta os pontos de amostragens utilizados em cada estudo.



**Figura II.5.1.3-1 - Estações de coleta das amostras de água e sedimento.**

- PETROBRAS/HABTEC (2003).
- MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002);

Os métodos de amostragem e os métodos analíticos utilizados segundo as referências utilizadas como fonte de dados deste diagnóstico são apresentados, respectivamente, no **Quadro II.5.1.3-2** e no **Quadro II.5.1.3-3**. Para determinação dos parâmetros físico-químicos e dos nutrientes foram utilizadas metodologias segundo Grasshoff *et al.* (1983) e Clesceri *et al.* (1998).

**Quadro II.5.1.3-2 - Métodos de amostragem dos projetos utilizados como fonte de dados.**

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

**Quadro II.5.1.3-3 - Método analítico dos parâmetros analisados nos projetos e utilizados como fonte de dados.**

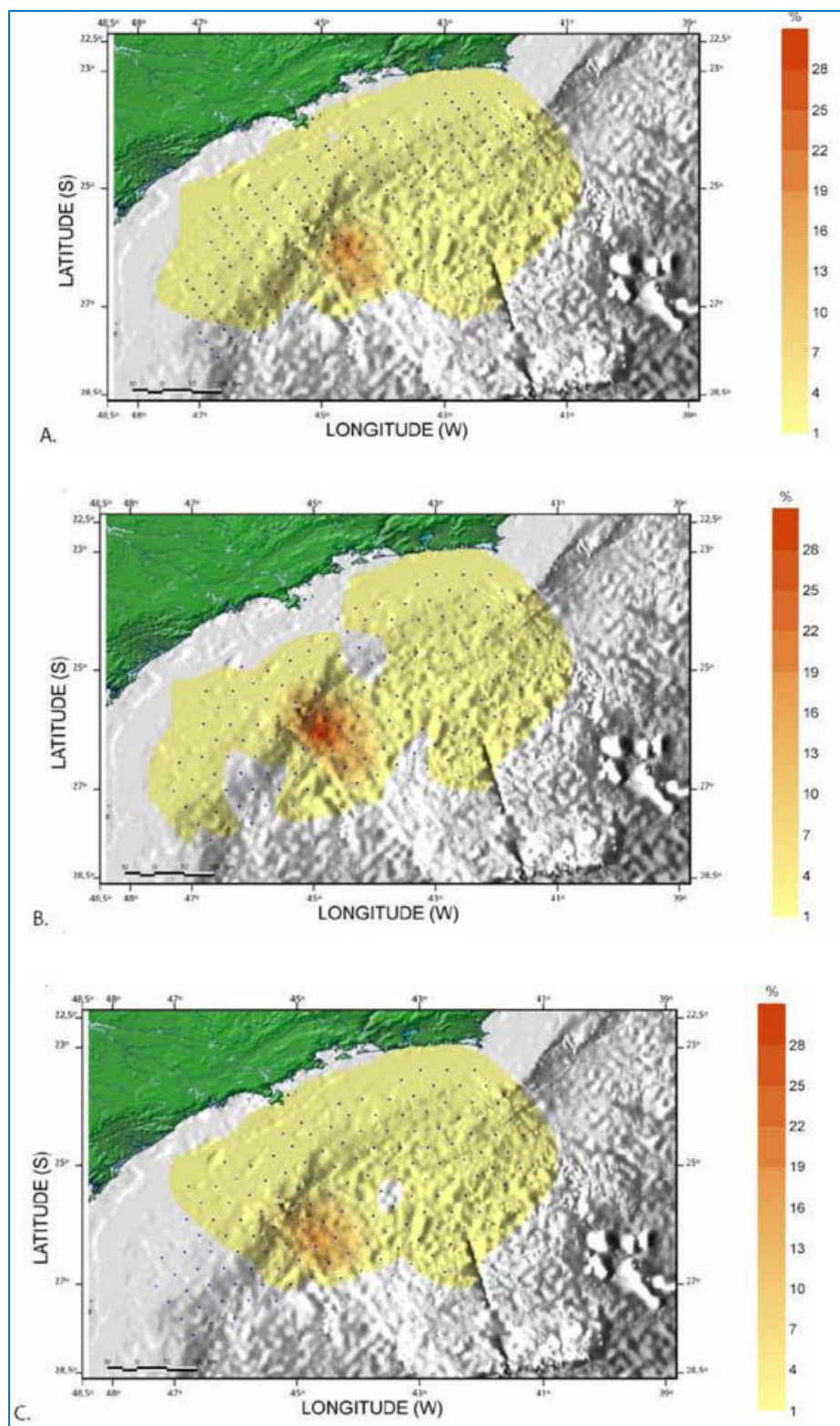
Parâmetro	Relatório	Método Analítico	Observações
Carbono Orgânico Total (COT.)	HABTEC	Titulometria	-
	AS/PEG	Combustão catalítica à alta temperatura seguida de quantificação do CO <sub>2</sub> em um detector de infravermelho não disperso	Aparelho da marca LÉCO
Fenóis	AS/PEG	EPA 8270C	Extração com diclorometano (EPA 3510c)
Hidrocarbonetos Totais (HTP)	HABTEC	Cromatografia Gasosa	-
	AS/PEG	Cromatografia gasosa com detector de chama CG-FID (HP modelo 6890) (EPA 8015C)	Extração com diclorometano (EPA 3510c)
Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)	AS/PEG	EPA 8270C	Extração com diclorometano (EPA 3510c)
	HABTEC	EPA 8270C	-
Amônia	AS/PEG	Derivado do Método Koroleff, 1969	Substituição de hipoclorito por TRIONE (Grasshoff & Johannsen, 1972) Limite de detecção 0,005mg.l <sup>-1</sup> (cubeta de 5cm)
	HABTEC		
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 <sup>-1</sup> (cubeta de 10cm)
Nitrato	AS/PEG	Método de redução com coluna de Cd e Cu segundo Aminot e Chaussepied, 1983	Limite de detecção= 0,0026mg.l <sup>-1</sup> bem cubetas de 10 cm
Fosfato	AS/PEG	Aminot e Chaussepied, 1983	Limite de detecção= 0,0019mg.l <sup>-1</sup> em cubetas de 10 cm
Oxigênio Dissolvido	AS/PEG	Oxímetro	-
	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)
	HABTEC	Potenciômetro	-
	HABTEC	Titulometria	-
Sulfetos	HABTEC	Colorimetria	-
Clorofila-A	AS/PEG	-Espectrofluorimétrico	-
	HABTEC	Método tricromático	-

**B - Carbono Orgânico Total (COT)**

Define-se por Carbono Orgânico Total a soma entre os parâmetros de Carbono Orgânico Dissolvido e Carbono Orgânico Particulado. A magnitude de COT assim como sua dinâmica no oceano estão diretamente relacionadas às características biológicas e hidrográficas inerentes a este sistema (HANSELL & PELTZER, 1998).

O carbono pode ser classificado como um dos elementos primordiais à produtividade primária oceânica (ZERI *et al.*, 2009). Entre as suas formas presentes no meio, uma das mais importantes é o dióxido de carbono, o qual subsidia a atividade fotossintética (EPPLEY & PETERSON, 1979). Em áreas oceânicas com alta concentração de nutrientes a alta produtividade primária acaba por determinar a exportação de carbono para áreas mais profundas (HANSELL & PELTZER, 1998; BOYD *et al.*, 2005). Em contraste com estas regiões, em áreas oceânicas oligotróficas, como é o caso da Bacia de Santos (MACHADO *et al.*, 1998), este material orgânico acaba sendo reciclado ao longo da coluna d'água superficial (HANSELL E PELTZER, *op. cit.*).

A Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) apresentou os valores estendendo-se abaixo do limite de detecção do método (<0,5 mg/L) que representou 1% até um máximo de 33.5%, sendo que os maiores valores foram encontrados ao sul do Campo de Merluza (**Figura II.5.1.3-2**).



**Figura II.5.1.3-2 - Variação Espacial das Concentrações de Carbono Orgânico Total na Bacia de Santos. A) Superfície, B) Termocline e C) Fundo.**

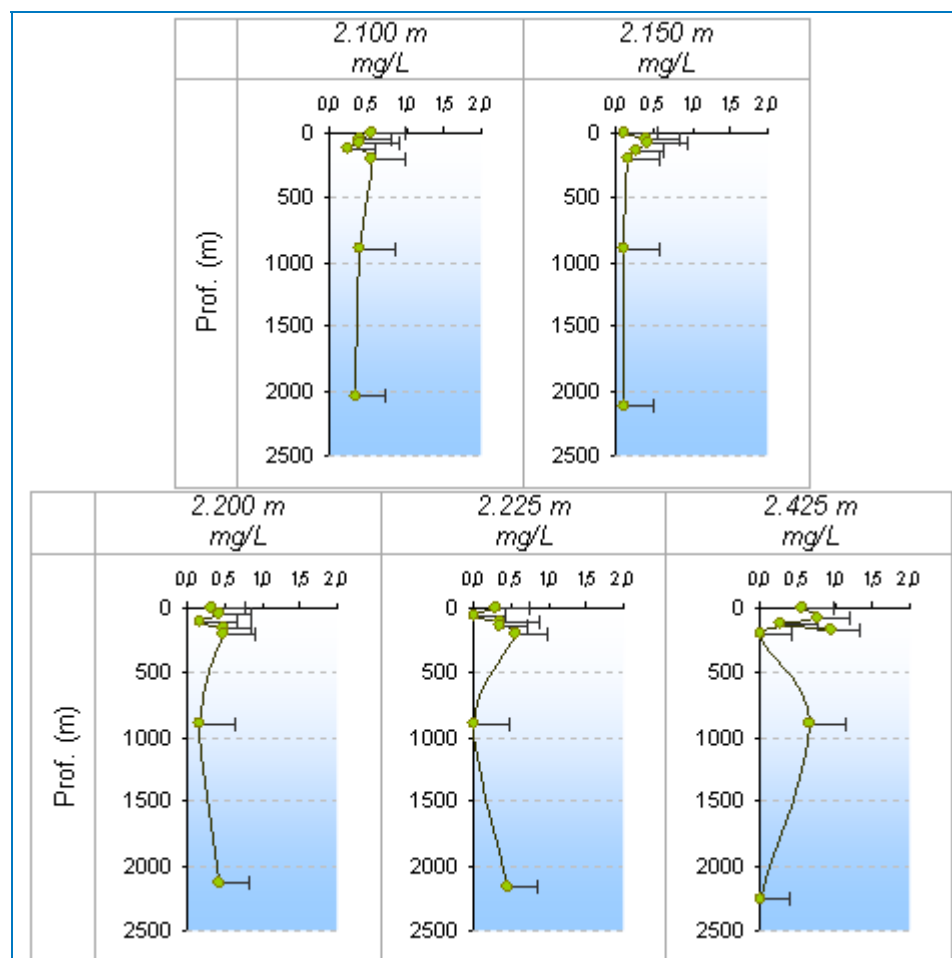
Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002..



Em levantamento realizado pela PETROBRAS/HABTEC (2003), o carbono orgânico total (COT) apresentou-se abaixo do limite de detecção ( $<0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ ) em grande parte dos pontos e profundidades amostradas. As análises deste parâmetro foram realizadas em profundidades acima da termoclina, na termoclina e abaixo da termoclina. Observou-se as maiores variações entre as amostras da profundidade acima e as amostras da profundidade abaixo da termoclina. Tal observação pode ser explicada por esta feição se comportar como uma barreira física para a sedimentação de partículas, gerando a retenção de matéria orgânica (MANN & LAZIER, 1994). Em algumas das estações amostradas as concentrações detectáveis de COT no fundo mostravam-se díspares e poderiam refletir uma ressuspensão do sedimento.

Na **Figura II.5.1.3-3** observa-se a distribuição vertical do COT nas isóbatas amostradas no estudo de PETROBRAS/HABTEC (2003).





**Figura II.5.1.3-3 - Valores médios de COT ( $mg.L^{-1}$ ) encontrados na Bacia de Santos**

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2003.

Como já explicitado anteriormente, considerando que o teor de Carbono Orgânico Total (COT) é a soma do Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e do Carbono Orgânico Particulado (COP) e visto que em águas oceânicas encontram-se 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 à COD (ZERI *et al.*, 2009).

O carbono orgânico dissolvido tem origem nos próprios oceanos (picoplâncton e compostos orgânicos dissolvidos) ou a partir de aporte continental (BROWN *et al.*, 1989). Em regiões *offshore* as concentrações de COD são normalmente baixas, devido a distância em relação às principais fontes provenientes das descargas continentais e à rápida assimilação deste composto

pelas bactérias (EPPLEY & PETERSON, 1979, HANSELL E PELTZER, 1998). As concentrações médias de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) situam-se em torno de  $0,5 \text{ mg. L}^{-1}$  (CUPELO, 2000).

Estudo realizado por Cupelo (2000) com amostragens na costa central Brasileira entre a Baía de Todos os Santos (BA) e o Cabo de São Tomé (RJ) apresentou valores de COD entre  $0,37$  a  $2,50 \text{ mg.L}^{-1}$ . Os valores encontrados pelo estudo de caracterização da Bacia de Santos apresentaram médias inferiores aos encontrados para a plataforma continental central Brasileira (média de  $0,75 \pm 0,22 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Este resultado era esperado visto que a maior fonte material particulado são os aportes continentais, e 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).

### **C - Fenóis**

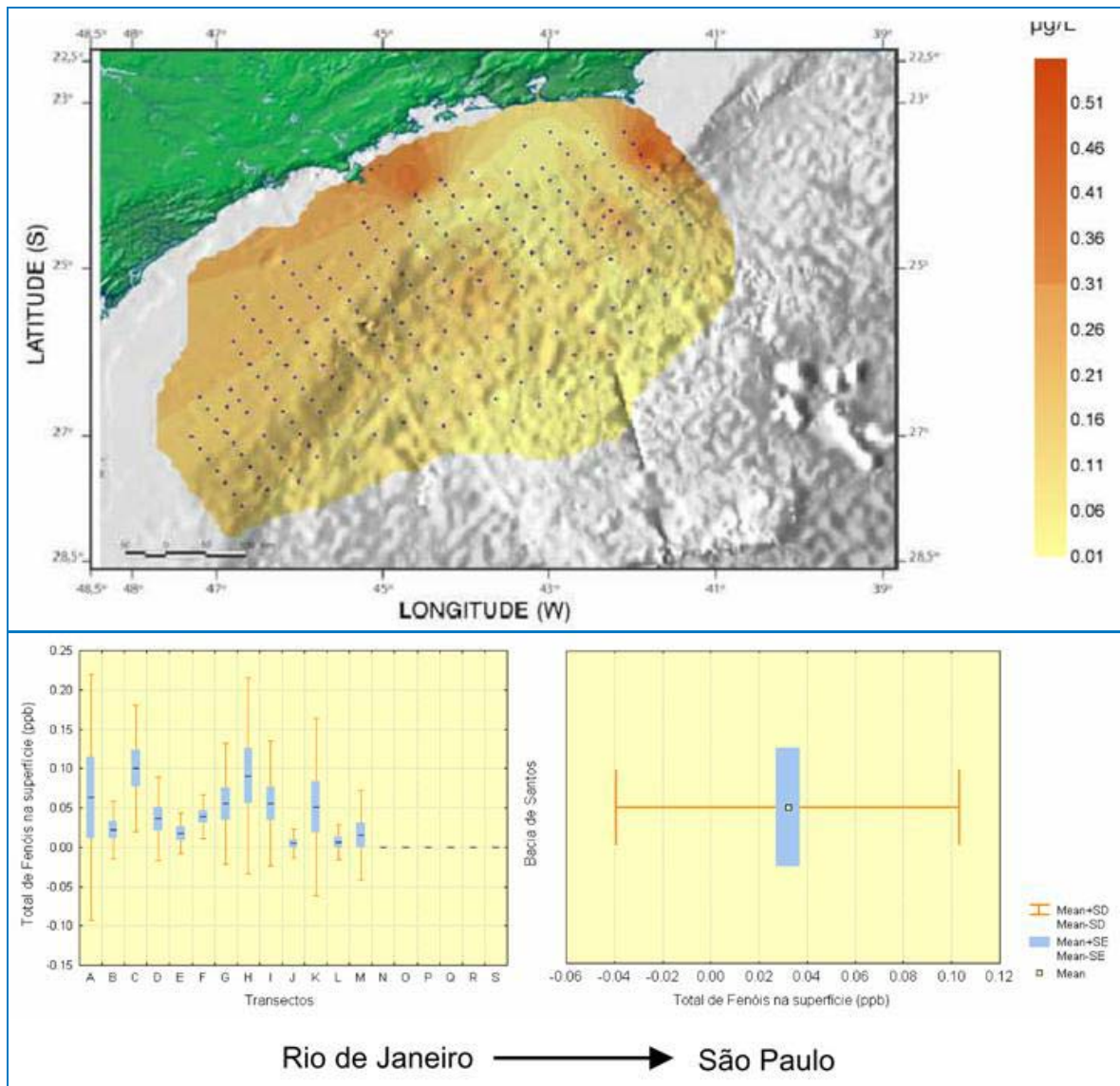
Os Fenóis são moléculas polares e muito solúveis na água, basicamente formadas por átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio. Estes compostos são definidos como derivados hidroxílicos de benzeno e podem ser encontrados em efluentes domésticos e industriais (LAWS, 1992).

As atividades e dejetos provenientes dos processos de produção, transporte e consumo de hidrocarbonetos, como por exemplo, a água produzida 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). Estes podem ser tóxicos aos organismos aquáticos mesmo em baixas concentrações (PATIN, 1999).

A Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) encontrou teores de Fenóis nas amostras de água de superfície, termoclina e fundo, bastante semelhantes e com tendências similares, porém as amostras de fundo apresentam valores máximos moderadamente maiores. Nas três profundidades amostradas, mostrou-se uma tendência espacial de maiores

concentrações ao norte da Bacia de Santos, em águas que recebem influência da Bacia de Campos.

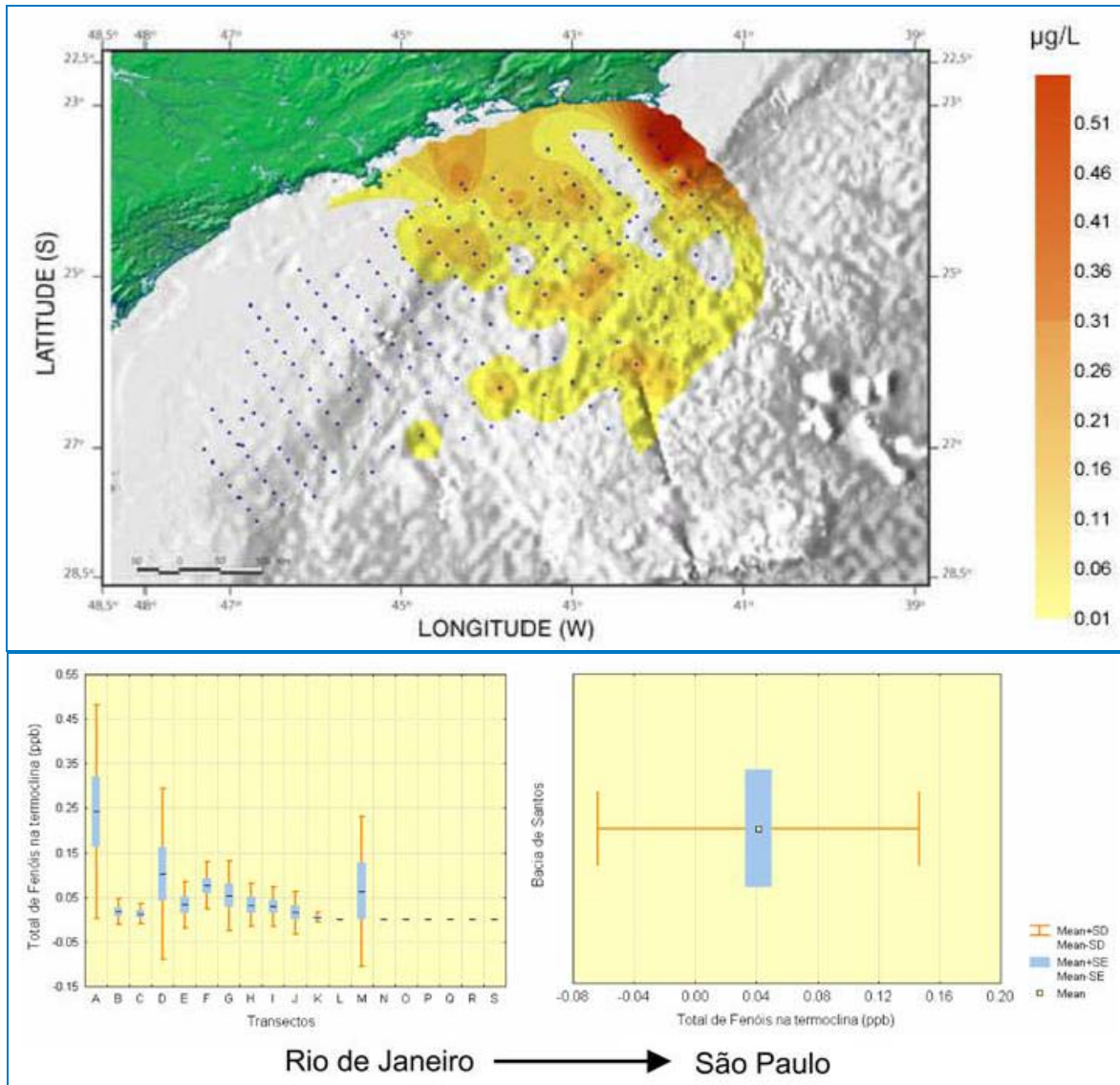
As amostras de superfície apresentaram concentração máxima de fenóis de  $0,47 \mu\text{g.L}^{-1}$  com média de  $0,03 \mu\text{g.L}^{-1}$  e desvio padrão de  $0,07 \mu\text{g.L}^{-1}$  (**Figura II.5.1.3-4**).



**Figura II.5.1.3-4 - Variação Espacial das Concentrações de Fenóis na Bacia de Santos-Superfície.**

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

Na termoclina, foram observados teores de Fenóis de até  $0,63 \mu\text{g.L}^{-1}$  com uma média de  $0,04 \mu\text{g.L}^{-1}$  e desvio padrão de  $0,11 \mu\text{g.L}^{-1}$  (**Figura II.5.1.3-5**).

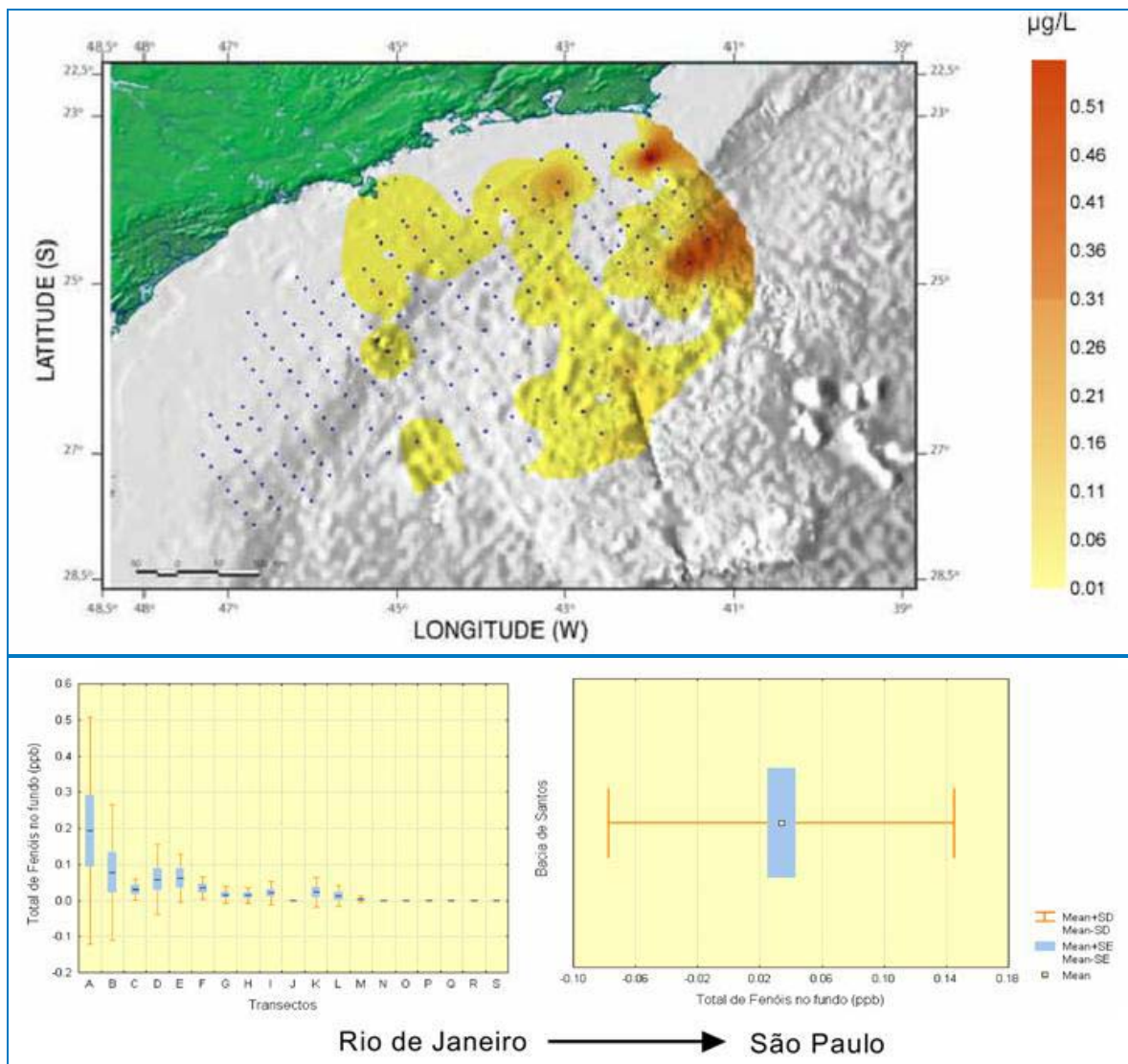


**Figura II.5.1.3-5 - Variação Espacial das Concentrações de Fenóis na Bacia de Santos-Termoclina.**

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

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.5.1.3-6**).





**Figura II.5.1.3-6 - Variação Espacial das Concentrações de Fenóis na Bacia de Santos-Fundo ou 200m.**

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

Na Campanha elaborada pela PETROBRAS/HABTEC (2003), a concentração média de fenóis em todas as amostras analisadas foi de  $0,003 \pm 0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ .

#### **D - Hidrocarbonetos Totais (HTP)**

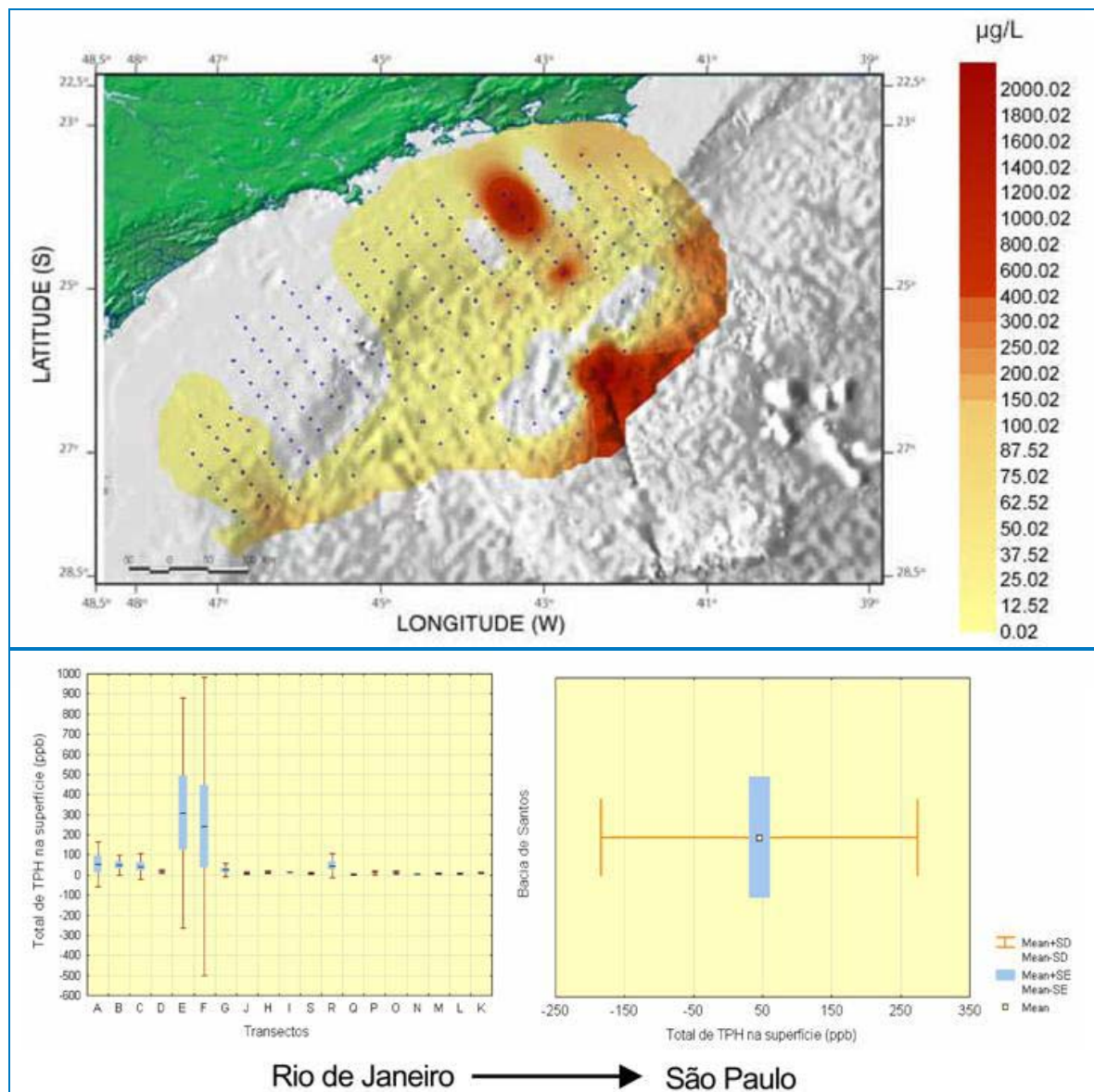
Os hidrocarbonetos presentes no ambiente marinho possuem origem natural ou são provenientes de processos antropogênicos (VENTURINI & TOMMASI, 2004). As fontes naturais incluem as queimadas florestais, exudação natural de petróleo de rochas fontes e deposição seguida de transformação de moléculas

biogênicas (PATIN, 1999). A drenagem urbana, esgoto, efluentes industriais, atividades de produção, transporte e consumo de óleo são importantes fontes antrópicas de hidrocarbonetos (NRC, 2002).

A poluição crônica no meio, devido a presença de hidrocarbonetos, apresenta diversos efeitos nos ambientes e organismos marinhos (VENTURINI & TOMMASI, *op. cit.*). Diversos estudos são aplicados e efetuados globalmente para a determinação e quantificação das conseqüências da exposição a estes contaminantes em diversos grupos biológicos e ecossistemas diferenciados (IKÄVALKO ET AL., 2004; JOHANSSON, et al., 1980; SANBORN, 1977 TOPPING et al., 1995; VARELA *et al.*, 2006)

Os dados produzidos pela Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) indicaram baixas concentrações de Hidrocarbonetos Totais (HTP) na Bacia de Santos. A concentração máxima de HTP registrada na superfície foi de 2706  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , com média de 64  $\mu\text{g.L}^{-1}$  (desvio padrão de 284  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) (**Figura II.5.1.3-7**).

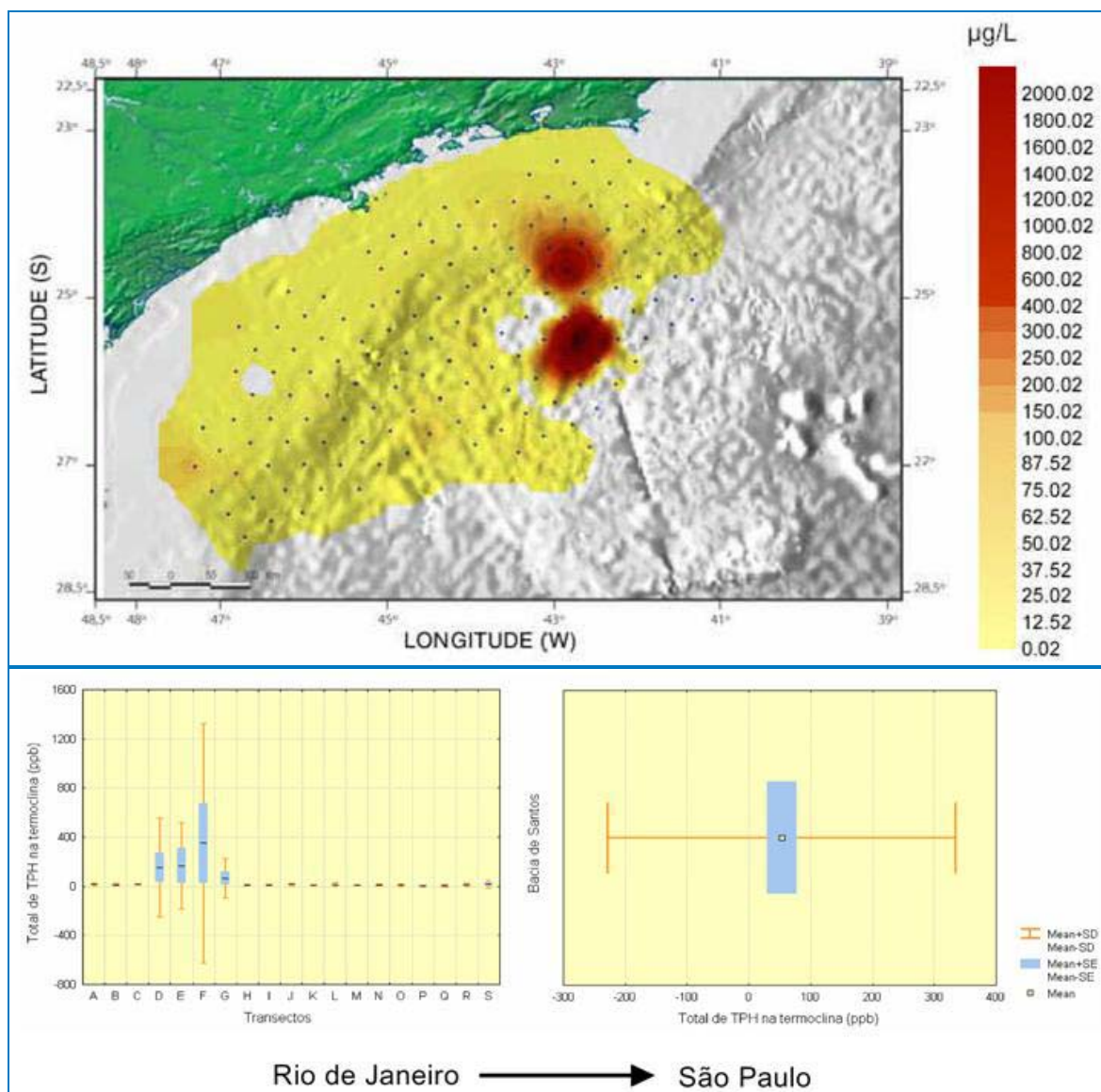




**Figura II.5.1.3-7 - Variação Espacial das Concentrações de Hidrocarbonetos Totais na Bacia de Santos- Superfície**

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

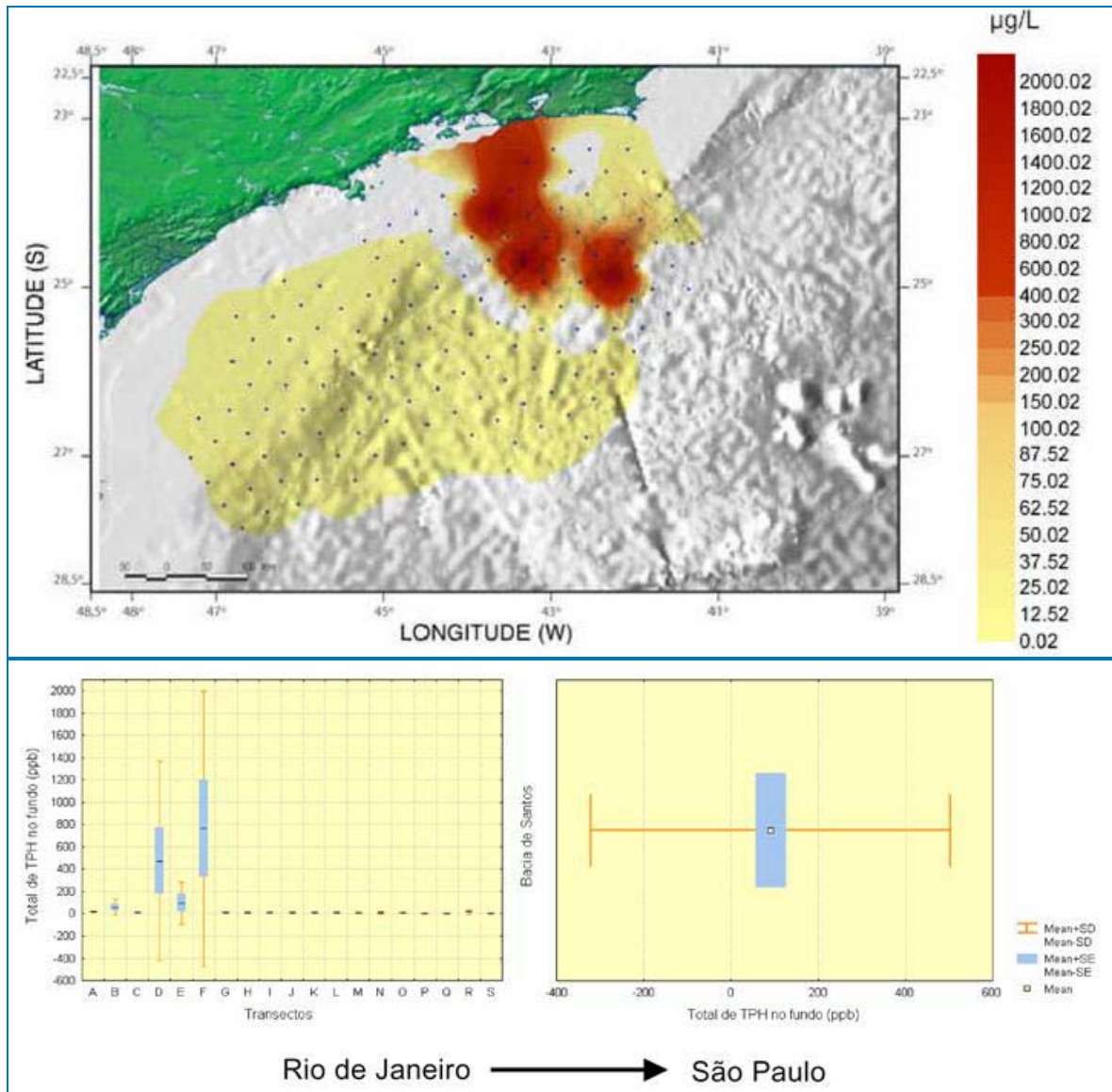
Já nas amostragens efetuadas na termoclina (**Figura II.5.1.3-8**), observou-se um aumento no valor máximo ( $2959 \mu\text{g.L}^{-1}$ ), porém houve uma diminuição da média,  $52 \mu\text{g.L}^{-1}$  (desvio padrão de  $285 \mu\text{g.L}^{-1}$ ).



**Figura II.5.1.3-8 - Variação Espacial das Concentrações de Hidrocarbonetos Totais na Bacia de Santos- Termoclina**

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

As amostras de fundo, representadas na **Figura II.5.1.3-9**, apresentaram valor máximo de  $2836 \mu\text{g.L}^{-1}$  com média de  $91 \mu\text{g.L}^{-1}$  (desvio padrão de  $410 \mu\text{g.L}^{-1}$ ).



**Figura II.5.1.3-9 - Variação Espacial das Concentrações de Hidrocarbonetos Totais na Bacia de Santos- Fundo ou 200m.**

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

Nenhuma concentração de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) foi detectada na área ultraprofunda da Bacia de Santos durante 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).

### ***E - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA)***

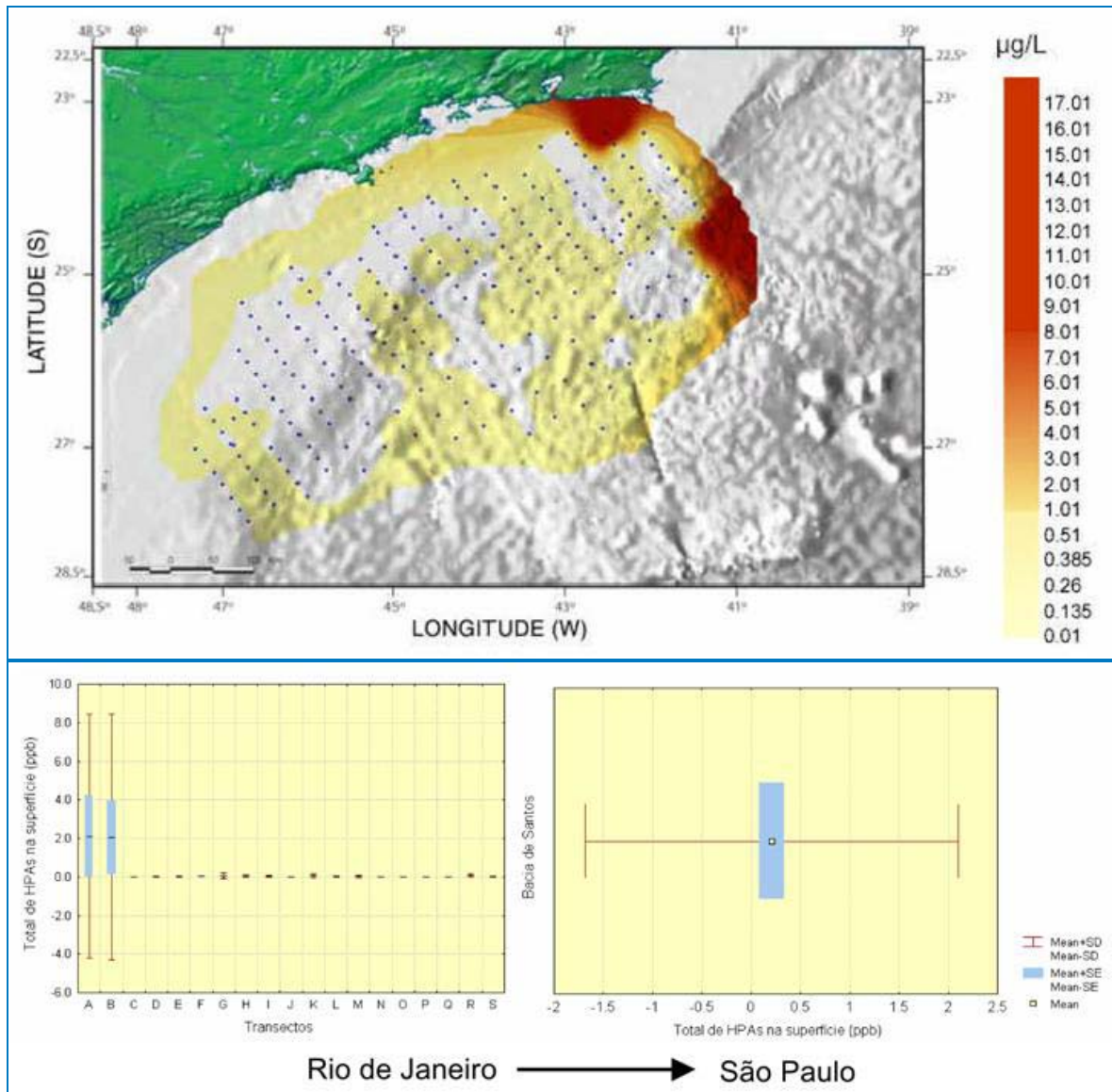
O Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos derivam, basicamente, de fontes antropogênicas, como a combustão de combustíveis fósseis e diretamente do descarte no ambiente de óleo e seus derivados (LAWS, 2000). Uma pequena parcela dos HPA's presentes no meio derivam de processos naturais, como queimadas de florestas e processos de agricultura (LAW & BISCAVA, 1994 *apud* VENTURINI & TOMMASI, 2004). Estes hidrocarbonetos são os que apresentam uma das maiores solubilidades, então, uma vez no meio, apresentam-se disponíveis à biota, o que se torna uma problemática, pois apresentam alta toxicidade aos organismos marinhos, evidenciando principalmente sua propriedade carcinogênica e mutagênica (PATIN, 1999; NRC, 2002; KINGSTON 2002; EVERS, 2004).

A Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) observou concentrações relativamente baixas de HPA. 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).

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 (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002). Este fato é perfeitamente compreensível se considerarmos que a Bacia de Santos é uma área ainda preservada com relação à produção petrolífera.

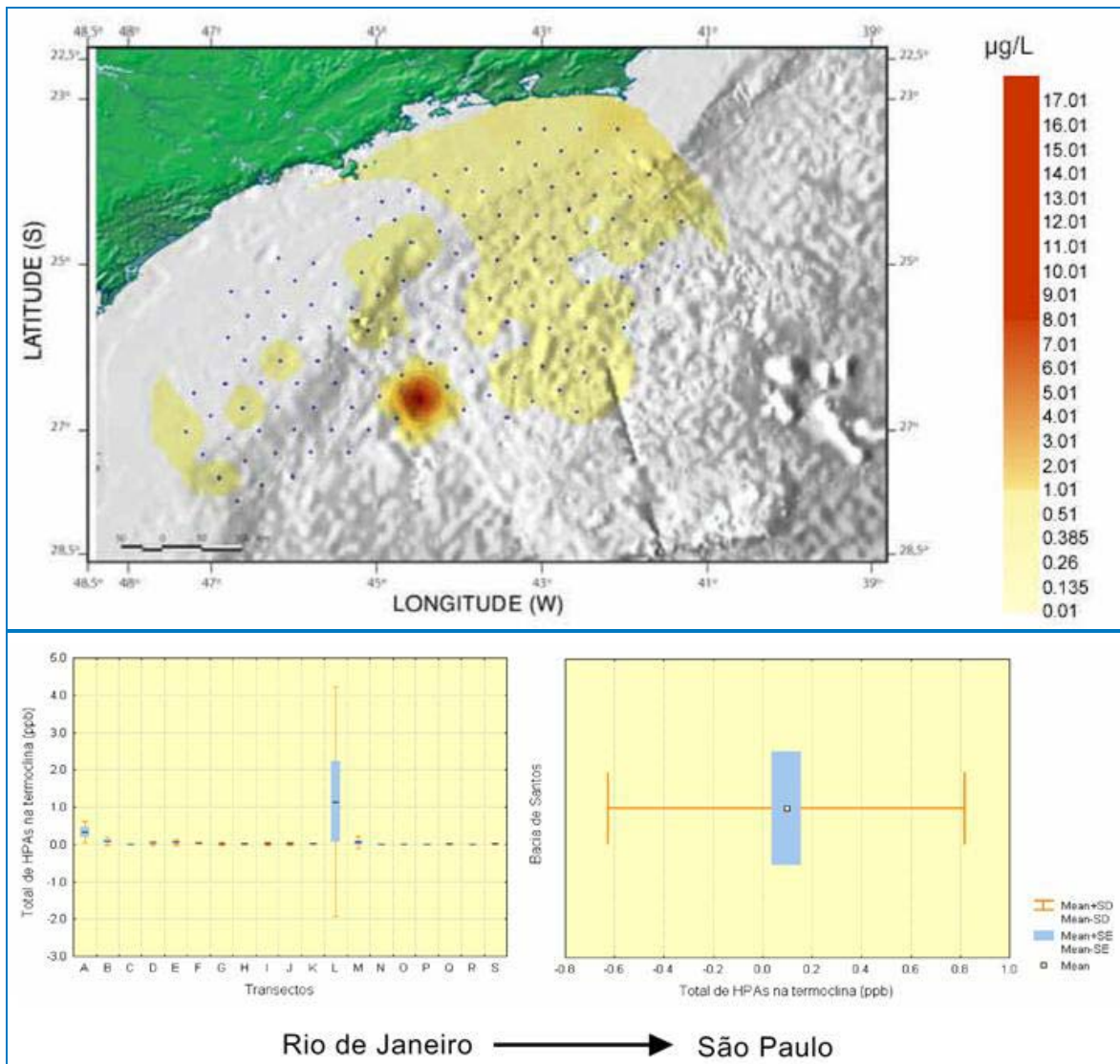
A **Figura II.5.1.3-10**, **Figura II.5.1.3-11** e **Figura II.5.1.3-12** apresentam a distribuição geográfica do total de HPAs na área estudada. Como esperado, para as amostras de superfície, foram observados teores mais elevados na área próxima à costa, onde a influência antrópica é geralmente mais elevada. Porém de uma forma mais ampla, analisando os três estratos de profundidade amostrados, superfície, termoclina, fundo ou 200m, fica evidente que a área com maior concentração está situada na região ao norte da Bacia de Santos.





**Figura II.5.1.3-10 - Variação Espacial do HPA na Bacia de Santos – Superfície.**

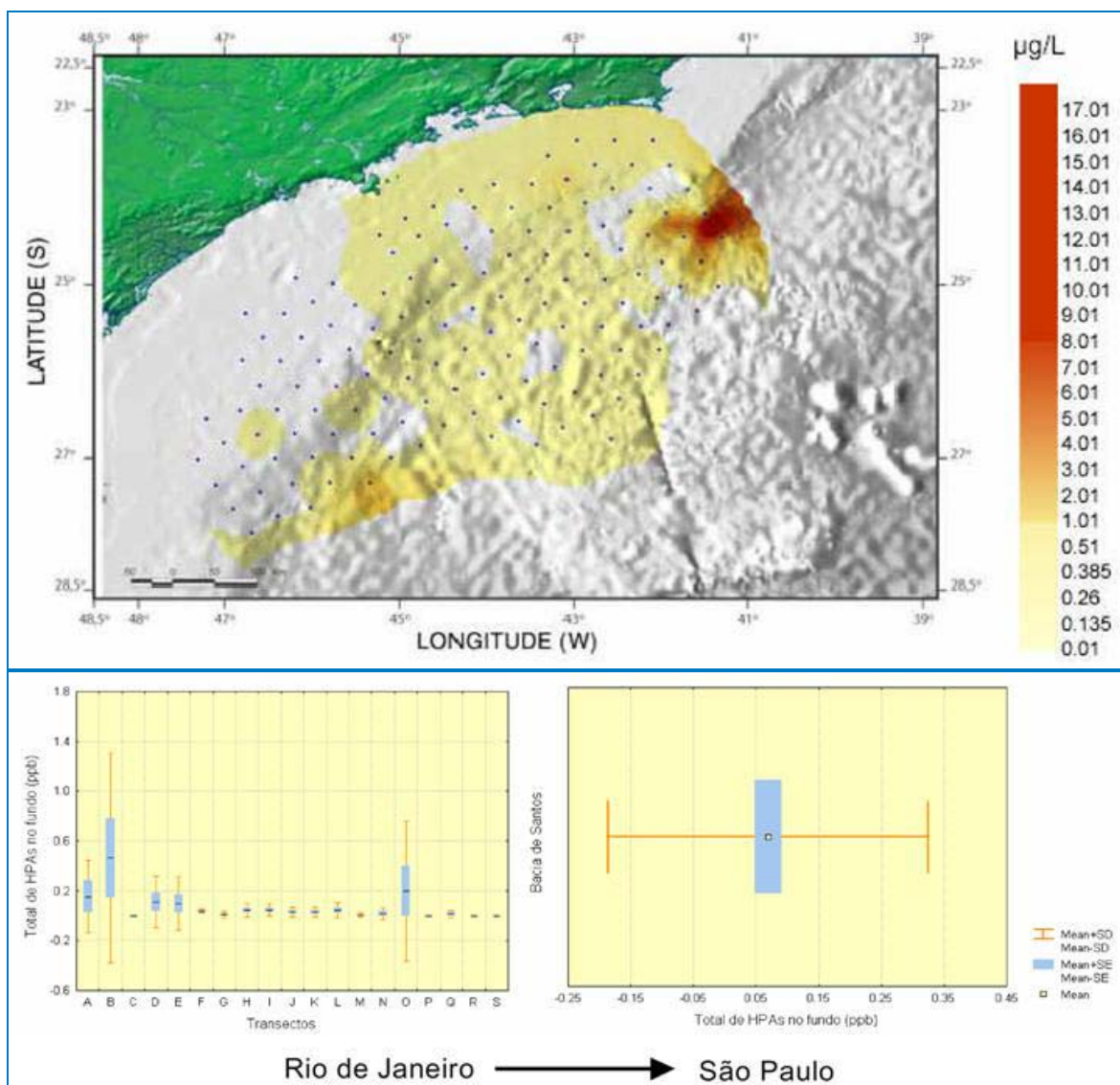
Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002.



**Figura II.5.1.3-11 - Variação Espacial do HPA na Bacia de Santos –Termoclina.**

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





**Figura II.5.1.3-12 - Variação Espacial do HPA na Bacia de Santos – Fundo ou 200m.**

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

Estudos realizados na região costeira da Bacia de Santos indicaram valores semelhantes aos encontrados: Bicego (1988) encontrou valores de 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.

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

### **F - Nutrientes**

A distribuição e dinâmica dos elementos nutrientes, nos oceanos globais e nas zonas costeiras, é afetada por uma diversidade de processos biogeoquímicos e físicos. Entre os primeiros citam-se produção primária marinha, respiração e oxidação de matéria orgânica. Já entre os interferentes físicos situam-se a renovação das massas d'água, a turbulência e mistura (LIBES, 1992; VALIELA, 1996; GARCIA *et al.*, 2006a)

Os principais macronutrientes presentes na água do mar são as formas dissolvidas reativas de nitrogênio - amônia ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (CAMARGO E ALONSO, 2006) - e o fosfato e silicato (GARCIA *et al.*, *op.cit.*). Apesar destes nutrientes serem extremamente importantes, são apenas constituintes menores da água do mar, apresentando pequenas concentrações dissolvidas (LAWS, 2000). Os nitratos, por exemplo, apresentam na maioria das áreas oceânicas do mundo concentrações abaixo de 5  $\mu\text{M}$  e os silicatos, 10  $\mu\text{M}$  (KAMYKOWAKI & ZENTARA, 1985).

Em geral, em um ambiente oceânico fechado não impactado ou poluído, a distribuição vertical de concentração de elementos nutrientes apresenta um certo padrão esperado. Dessa forma, encontra-se um gradiente de maiores concentrações vinculado ao aumento da profundidade (PARSONS *et al.*, 1984). As menores concentrações superficiais e subsuperficiais são assim esperadas por se posicionarem ao longo da zona fótica, onde os elementos nutrientes são amplamente e rapidamente incorporados na cadeia trófica pelo fitoplâncton (BUSKEY, 2008). As maiores concentrações são esperadas em águas profundas, devido a remineralização da matéria orgânica e excretas depositadas e também a eventual ressuspensão de sedimento. Porém, maiores valores também podem ocorrer em águas intermediárias vinculado a presença de massas d'água não superficiais, mais ricas em elementos nutrientes, fato que corrobora com a identificação das massas d'água pelos diagramas T-S.

A elevada concentração combinada de nutrientes, como íons inorgânicos de nitrogênio, fósforo e carbono, configura uma mudança na característica química do meio. A nível de comunidade este incremento geralmente estimula ou inicia o desenvolvimento e a manutenção de produtores primários favorecendo assim a eutrofização artificial do ambiente (EPPELY & PETERSON, 1979; CAMARGO & ALONSO, 2006).

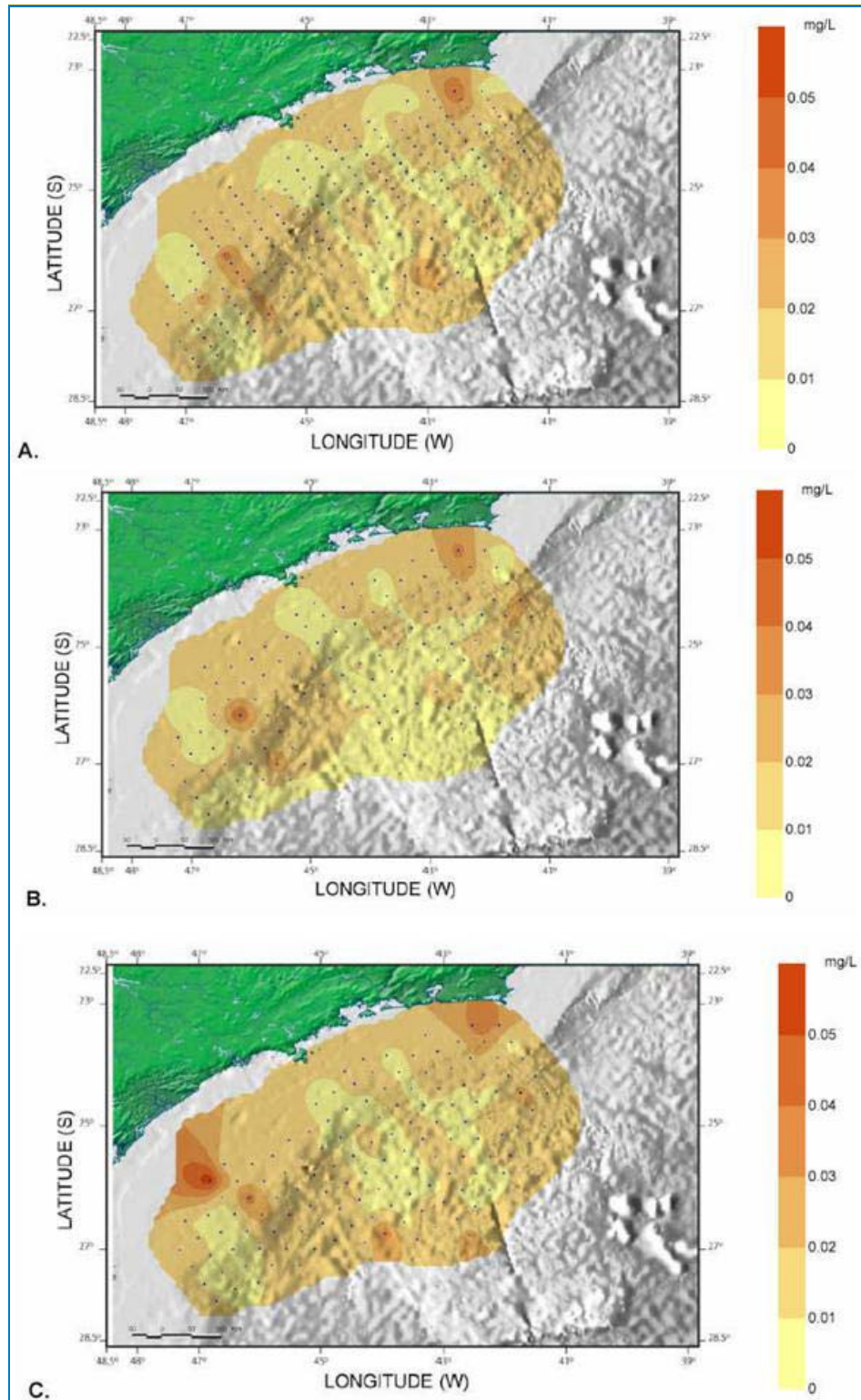
O incremento de nutrientes irá ocasionar a proliferação de microalgas, que pode afetar os organismos por: obstrução das áreas de troca gasosa por efeito mecânico; produção de toxinas relacionadas a metabólitos secundários de alguns grupos como no caso de espécies de cianobactérias capazes de produzir neurotoxinas; e depleção do oxigênio dissolvido na coluna d'água pelo aumento do fluxo de carbono orgânico (CO) tanto particulado quanto dissolvido e uma conseqüente maior taxa de acumulação de CO nos sedimentos. A remineralização da matéria orgânica mediada termomicrobiologicamente contribui para a depleção de oxigênio dissolvido nas águas (THIBODEAU *et al.*, 2006) levando a hipoxia ou anoxia no ambiente.

### **Amônia**

Concentrações de compostos inorgânicos de nitrogênio em águas superficiais e de fundo estão crescendo em todo o mundo ocasionando efeitos deletérios aos organismos, corroborando para a degradação de ambientes de água doce, estuarinos e marinhos (CAMARGO & ALONSO, 2006).

O nitrogênio amoniacal é uma forma reduzida, e em sistemas aeróbicos tende a se oxidar a nitrito e em seguida a nitrato, através do ciclo do Nitrogênio, principalmente nas camadas superiores (LIBES, 1992). Concentrações mais elevadas podem ser observadas na camada mais profunda, indicando o processo de degradação da matéria orgânica e da excreção, que favorecem o aumento da concentração dessa forma nitrogenada no meio e em regiões mais próximas do continente, pela proximidade das fontes continentais como rios e atividades poluentes como o descarte de esgotos (ISLAM & TANAKA, 2004).

O estudo realizado para a Caracterização da Bacia de Santos encontrou concentrações de Amônia relativamente baixas na maior parte das estações analisadas, variando de  $0,003 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $0,060 \text{ mg.L}^{-1}$  (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) (**Figura II.5.1.3-13**). Concentrações mais elevadas podem ser observadas: na camada mais profunda devido à ressuspensão dos sedimentos e a degradação da matéria orgânica presente nestes ambientes; e em pontos mais próximos do continente. Entretanto, de uma forma geral, não parece haver uma tendência de aumento ou diminuição das concentrações espacialmente.

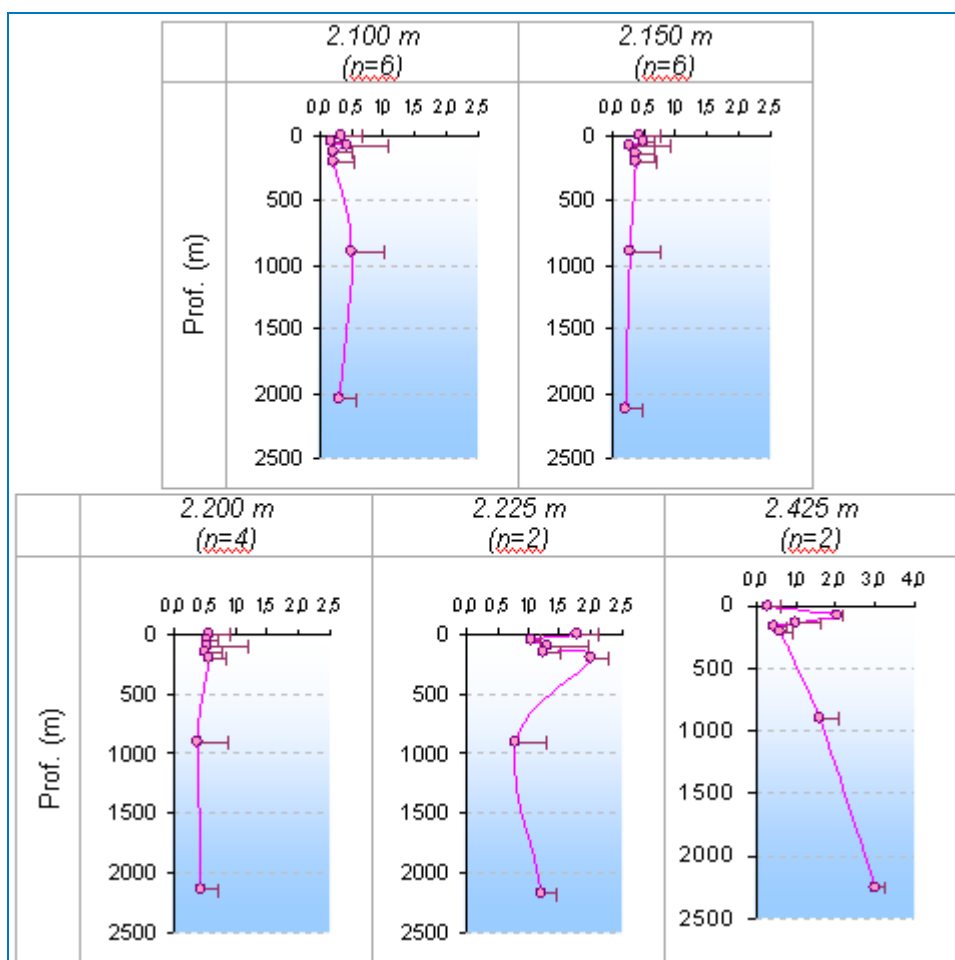


**Figura II.5.1.3-13 - Variação espacial do teor de Amônia ( $mg.L^{-1}$ ) na Bacia de Santos. A) Superfície (10m); B) Meia água (termoclina); C) Fundo ou 200 m de profundidade**

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



A mesma distribuição horizontal, com a ausência de um gradiente de distribuição da concentração de amônia, também foi observada no estudo realizado pela PETROBRAS/HABTEC (2003). Neste, as concentrações encontradas variaram de  $<0,01$  a  $5,05 \mu\text{mol.L}^{-1}$  ( $<0,001 \times 10^{-3}$  mg.  $\text{L}^{-1}$  a  $0,086 \times 10^{-3}$  mg. $\text{L}^{-1}$ ) e observou-se um aumento da concentração deste elemento nutriente junto ao fundo, provavelmente relacionada a eventuais ressuspensões, como pode ser observado em alguns perfis da **Figura II.5.1.3-14**.



**Figura II.5.1.3-14** - Valores médios de amônia ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) encontrados na Bacia de Santos.

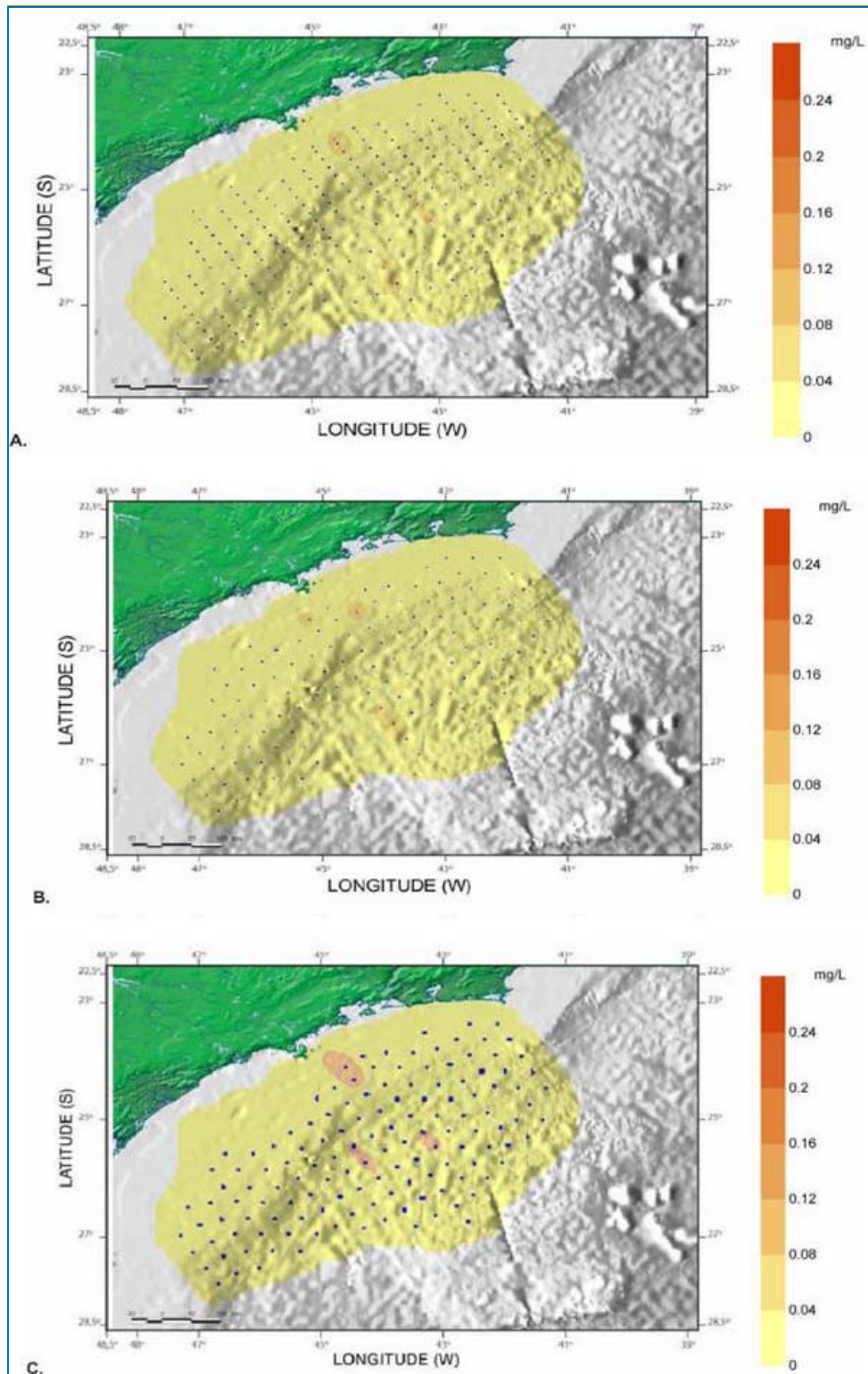
Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2003.

### Nitrito

O Nitrito é uma forma intermediária entre a amônia e o nitrato no ciclo do Nitrogênio, e em ambientes aeróbicos, tende a se oxidar gerando nitrato



(CAMARGO & ALONSO, 2006). No oceano aberto, as concentrações de nitrito geralmente são muito baixas, havendo um pequeno aumento nas águas mais próximas à costa (AMINOT e CHAUSSEPIED, 1983). Sendo assim, os resultados obtidos durante a Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002.) mostram-se coerentes, visto as ínfimas concentrações deste nutriente, variando de  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$  como pode ser observado na **Figura II.5.1.3-15**.

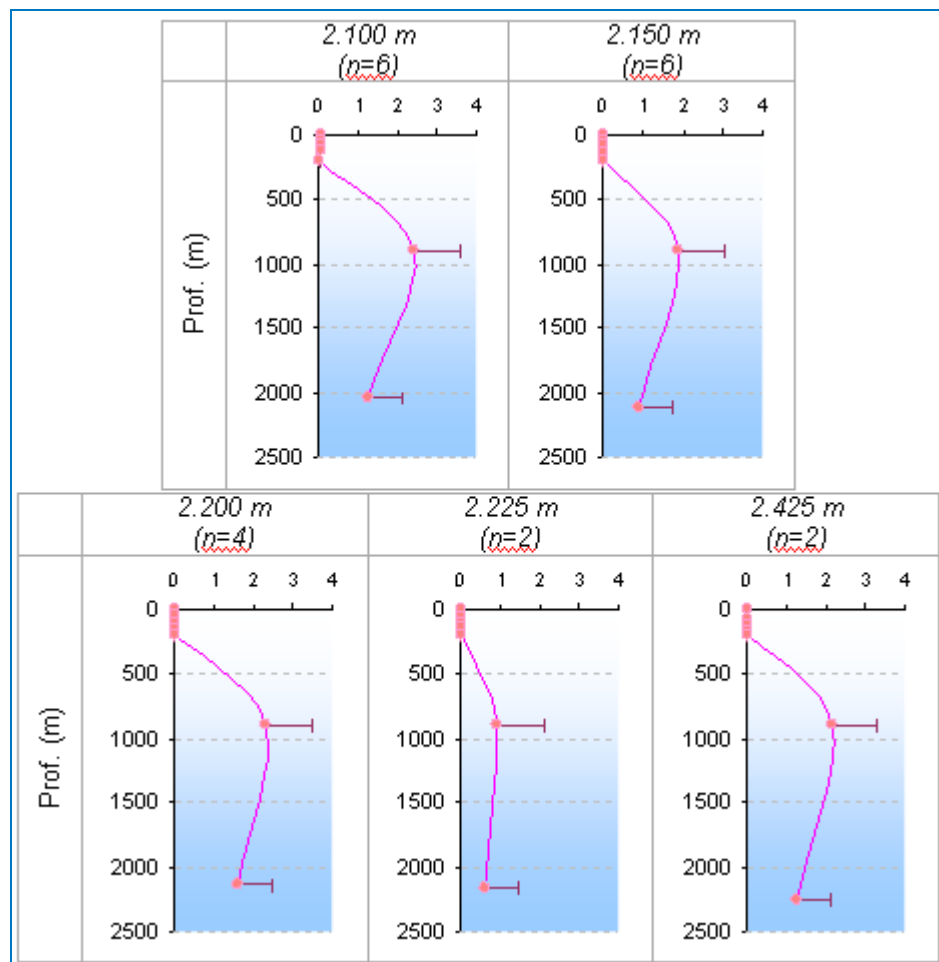


**Figura II.5.1.3-15 - Variação espacial do teor de Nitrito ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) na Bacia de Santos. A) Superfície (10m); B) Meia água (termoclina); C) Fundo ou 200 m de profundidade**

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

Baseando-se nos estudos de Brandini(1990), Aidar et al.(1993), Metzler *et al.*(1997) e Moser (1997) estes valores são coerentes aos encontrados para a região sul-sudeste do Brasil, alcançando no máximo valores de  $2 \mu\text{M.L}^{-1}$  ( $0,092 \times 10^{-3} \text{ mg.L}^{-1}$ ).

No relatório gerado para 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), os valores de nitrito variaram entre  $<0,01$  a  $4,09 \mu\text{mol.L}^{-1}$  ( $<0,001 \times 10^{-3} \text{ mg.L}^{-1}$  a  $0,188 \times 10^{-3} \text{ mg.L}^{-1}$ ). A **Figura II.5.1.3-16** apresenta a distribuição vertical dos valores médios de nitrito em cada isóbata.



**Figura II.5.1.3-16** - Valores médios de nitrito ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) encontrados na Bacia de Santos.

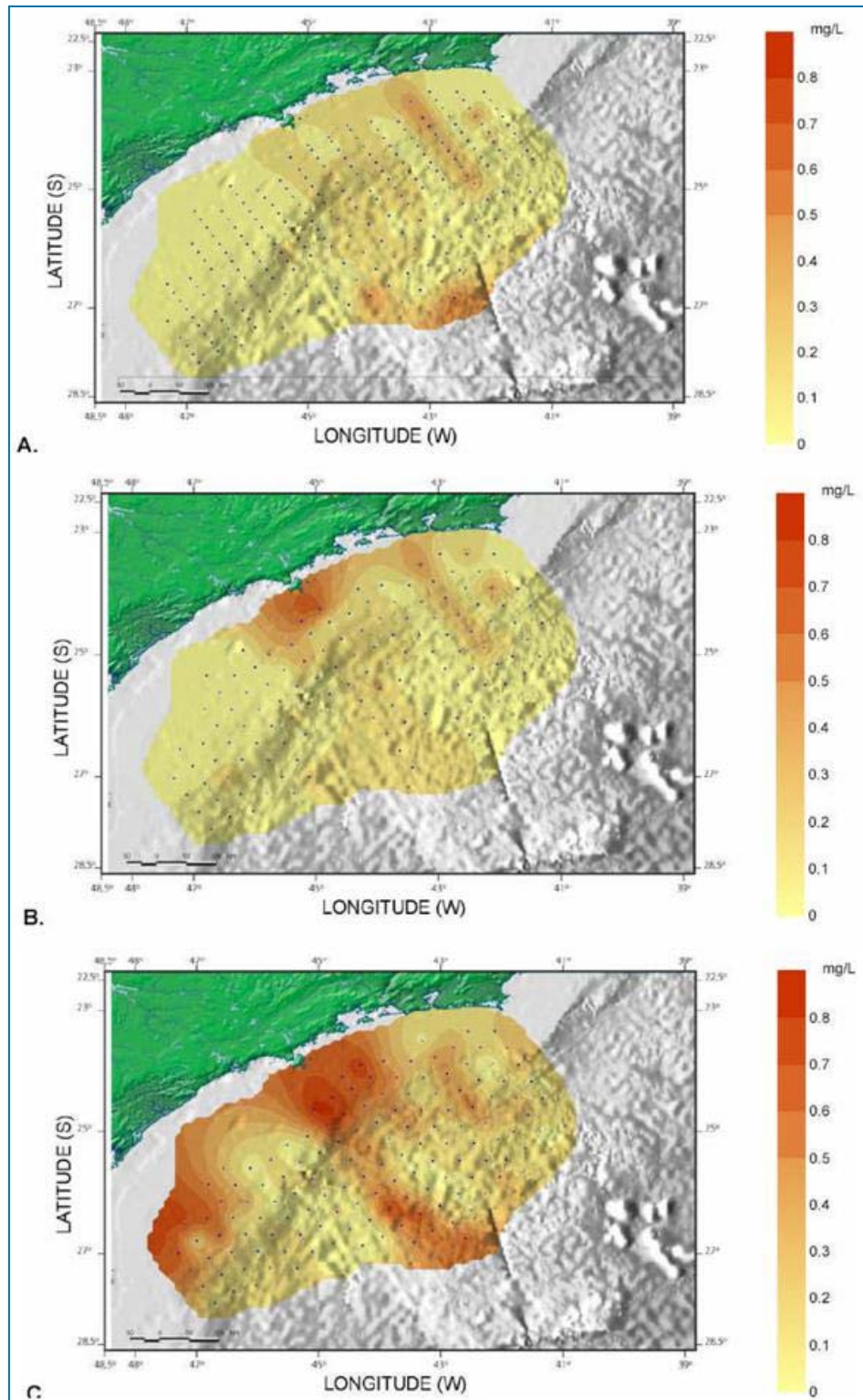
Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2003.

Grande parte das estações (70%) apresentaram um padrão de estratificação similar, com valores muito baixos nas camadas superficiais até 200 m, um máximo na camada de 900m (núcleo da AIA) e redução da concentração próximo ao fundo (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Este alto valor de nitrito pode ser explicado pela presença da Água Intermediária Antártica.

### **Nitrato**

O nitrato é o produto final de oxidação dos compostos nitrogenados na água do mar e é considerada a forma de oxidação mais estável na presença de oxigênio (GRASSHOFF *et al.*, 1983). Este nutriente está presente na água do mar desde concentrações traços a  $50 \mu\text{mol.L}^{-1}$  ( $3,1 \times 10^{-3} \text{mg.L}^{-1}$ ), encontrado em águas profundas. Em águas oceânicas, geralmente exibe maior concentração do que a amônia, o que é resultado da oxidação desta a nitrito, composto intermediário da redução microbiana do nitrato ou da oxidação da amônia. Os níveis de nitrato raramente excedem  $5 \mu\text{mol.L}^{-1}$  ( $0,31 \times 10^{-3} \text{mg.L}^{-1}$ ). A ocorrência concomitante destas três formas nitrogenadas pode indicar alta produtividade primária, ressurgência ou aporte e mistura de águas poluídas (GRASSHOFF *et al.*, 1983).

O Projeto de Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) encontrou valores de Nitrato variando de  $0,066 \text{mg.L}^{-1}$  a  $0,835 \text{mg.L}^{-1}$  (**Figura II.5.1.3-17**). As concentrações mais elevadas encontram-se em regiões mais próximas à costa, principalmente na região de São Paulo, fato que pode ter correlação com a entrada de águas continentais ricas em nitratos ou eutrofização pelo despejo de esgotos.

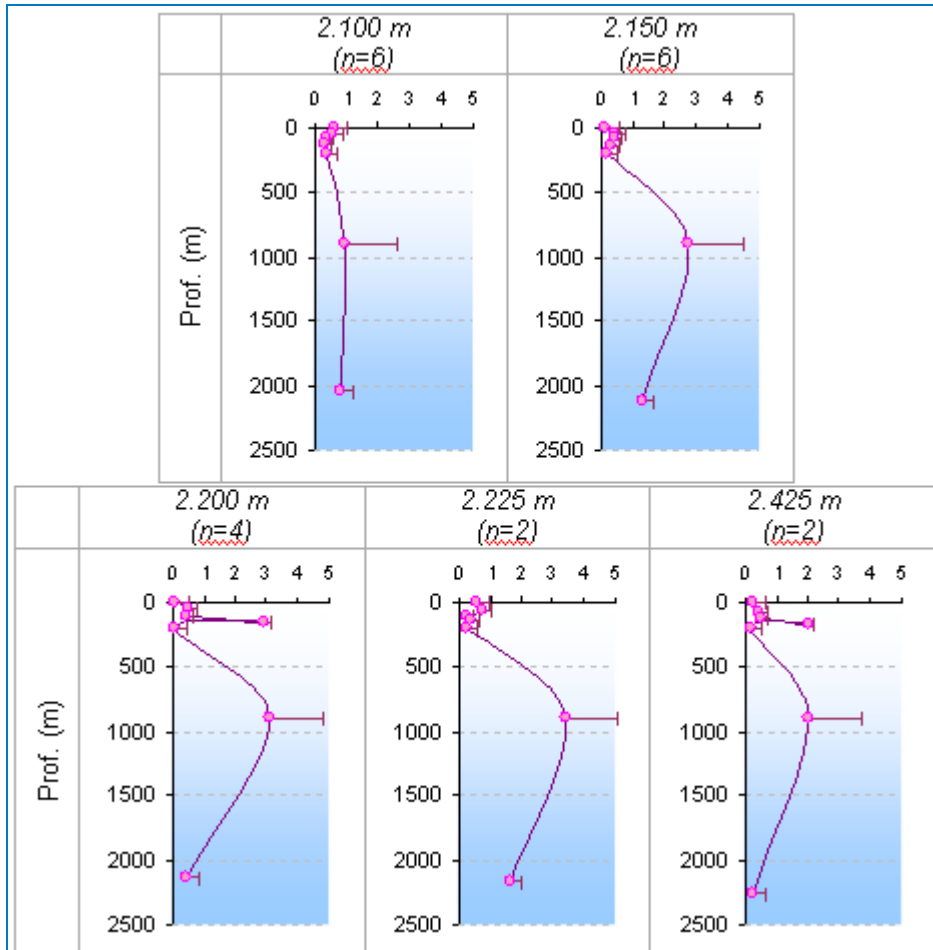


**Figura II.5.1.3-17 -** Variação espacial do teor de Nitrato ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) na Bacia de Santos. A) Superfície (10m); B) Meia água (termoclina); C) Fundo ou 200 m de profundidade

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



No estudo realizado pela PETROBRAS/HABTEC (2003), os valores de nitrato variaram entre  $<0,01$  e  $6,36 \mu\text{mol.L}^{-1}$  ( $<0,001 \times 10^{-3} \text{ mg.L}^{-1}$  a  $0,394 \times 10^{-3} \text{ mg.L}^{-1}$ ). A **Figura II.5.1.3-18** retrata a distribuição vertical das concentrações de nitrato ao longo de cada isóbata.



**Figura II.5.1.3-18** - Valores médios de nitrato ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) encontrados na Bacia de Santos.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2003.

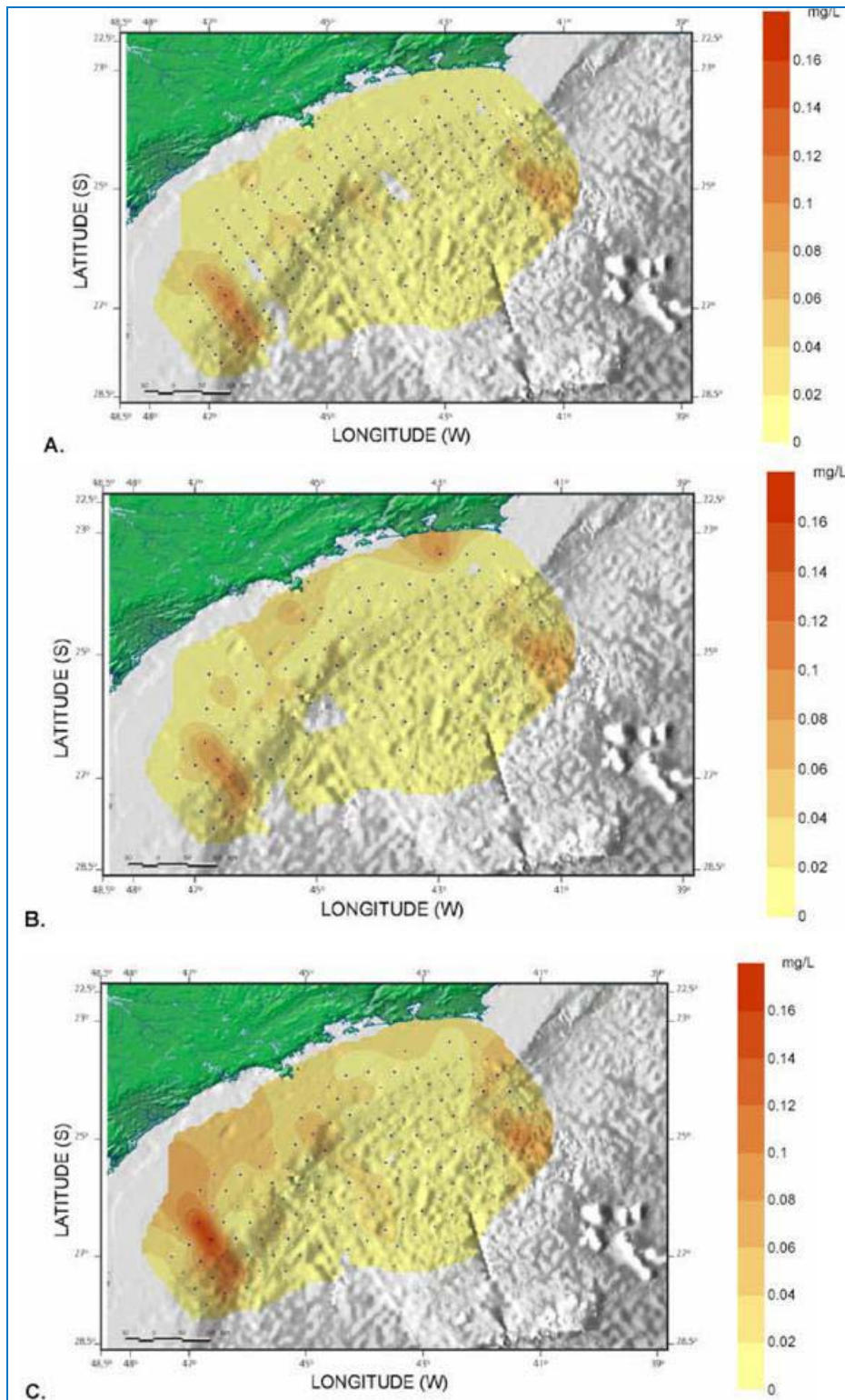
Na maioria das estações (55%) observou-se um pico de nitrato na profundidade do núcleo da AIA (cerca de 900 m). No geral, a distribuição do nitrato apresentou maiores concentrações nas camadas mais profundas, como a distribuição típica da maioria dos nutrientes como relatado no início do item **F - Nutrientes**.



## **Fosfato**

O Fosfato é um elemento nutriente cujas principais fontes são de origem continental, devido ao intemperismo de rochas e solos (VALIELA, 1996). Sua rápida absorção pelos produtores primários quase sempre resulta em baixas concentrações deste íon em águas superficiais oceânicas. Este elemento é tido como limitante para a produtividade primária ao longo de rios, lagos e no oceano devido a sua baixa concentração dissolvida na coluna d'água visto que, em ambientes aquáticos continentais, tende a sedimentar como material particulado e ficar retido nos estuários (VALIEIA, *op. cit.*).

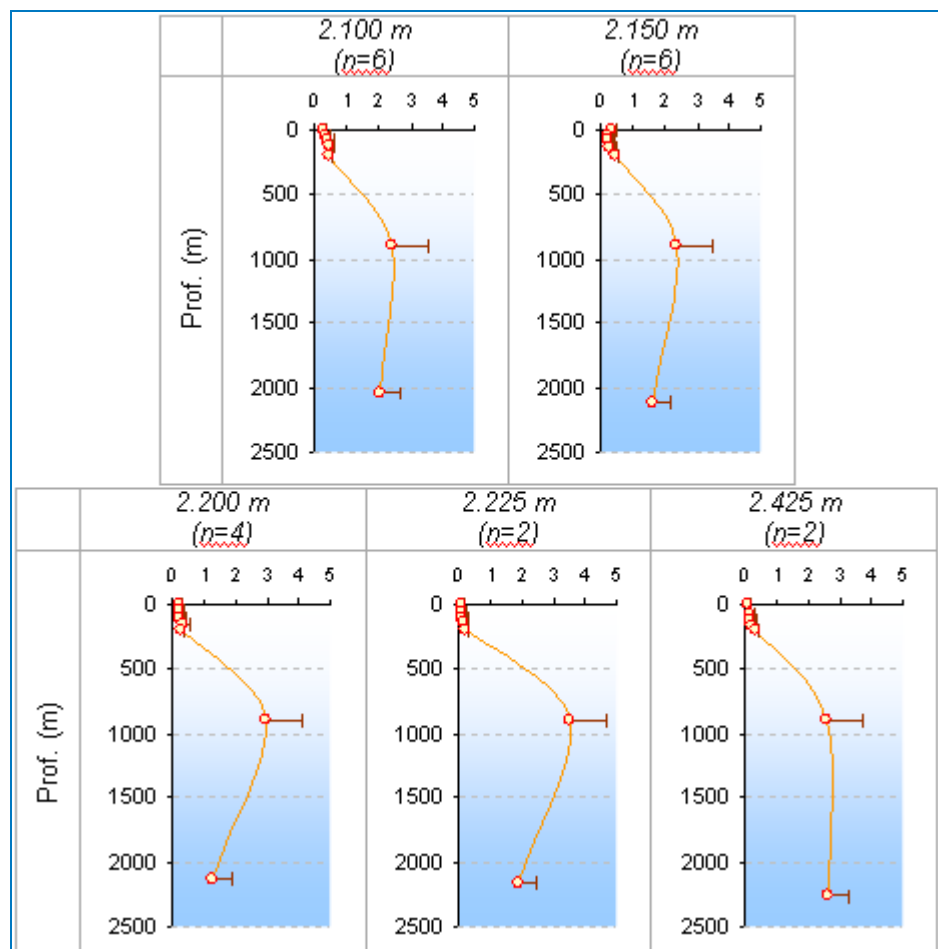
O Projeto de Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) observou concentrações de Fosfato relativamente baixas, variando de não detectado a  $0,165 \text{ mg.L}^{-1}$ , apresentando geralmente valores em torno de  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  (**Figura II.5.1.3-20**).



**Figura II.5.1.3-19 - Variação espacial do teor de Fósforo ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) na Bacia de Santos. A) Superfície (10m); B) Meia água (termoclina); C) Fundo ou 200 m de profundidade**

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

Já na 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), as concentrações de fosfato observadas oscilaram entre  $0,07$  e  $4,31 \mu\text{mol.L}^{-1}$ . ( $<0,001 \times 10^{-3} \text{ mg.L}^{-1}$  a  $0,409 \times 10^{-3} \text{ mg.L}^{-1}$ ) A distribuição vertical das concentrações médias de fosfato nesta campanha ao longo das isóbatas amostradas está ilustrada na **Figura II.5.1.3-20**.



**Figura II.5.1.3-20** - Valores médios de fosfato ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) encontrados na Bacia de Santos.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2003.

No geral, as maiores concentrações foram encontradas nas camadas mais profundas, com valor máximo a aproximadamente 900m (núcleo da AIA) em praticamente todas as estações (90%), a tendência no aumento dos teores desse nutriente inorgânico na camada de fundo pode ser proveniente dos processos respiratórios na própria coluna de água indicando o aumento devido à liberação

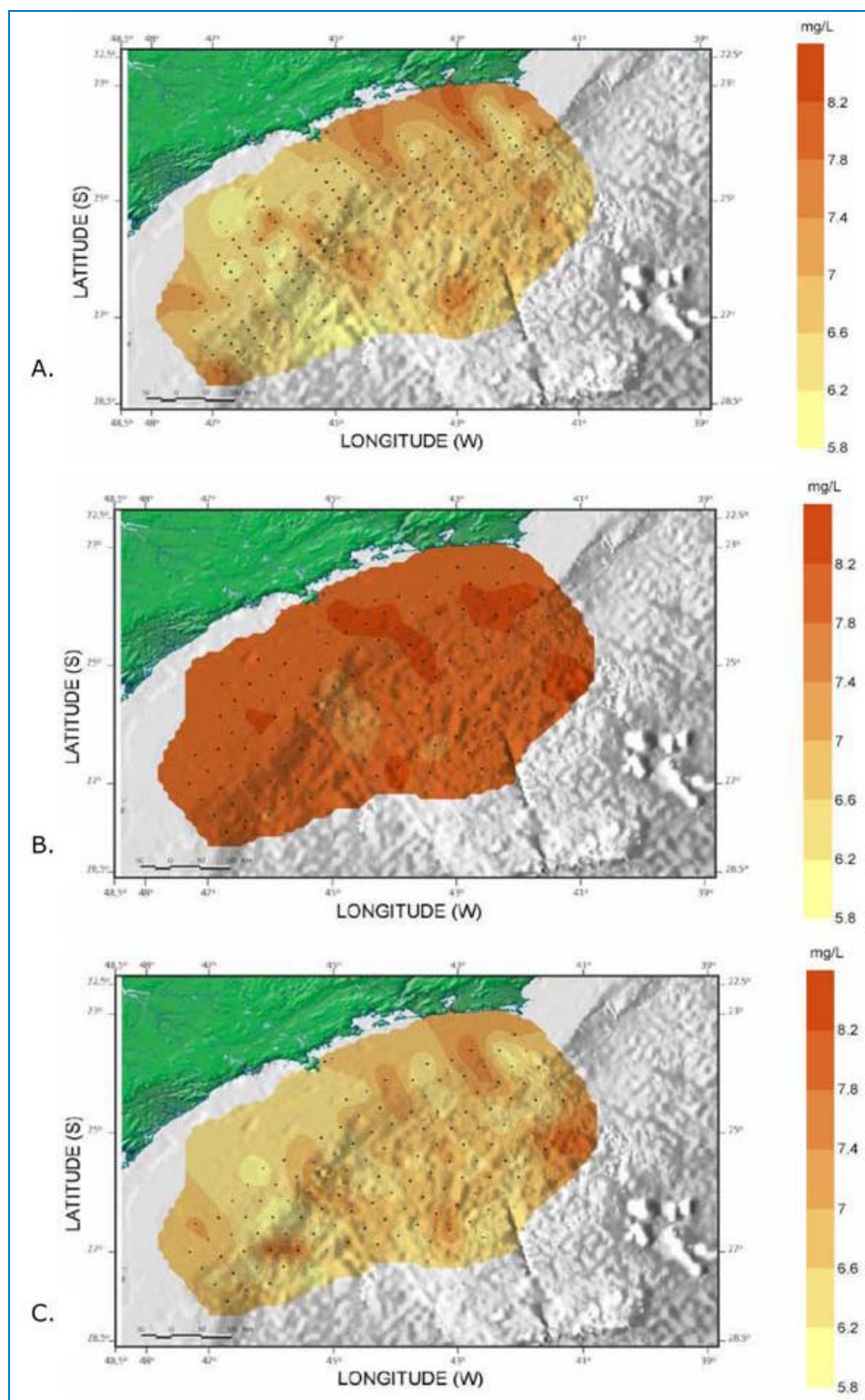
desse nutriente através da degradação da matéria orgânica (LIBES, 1992). Quanto a camada superficial percebe-se menores concentrações, isto provavelmente deve-se a esta se posicionar no interior da camada fótica, o que indica o consumo ou rápida modificação dessa forma dentro do ciclo do fósforo no ambiente marinho devido a atividade de microorganismos fotossintéticos e bactérias (EPPLEY & PETERSON, 1979).

### **G - Oxigênio Dissolvido (OD)**

A concentração de Oxigênio Dissolvido presente nos ambientes costeiros e oceânicos é altamente influenciada por processos bioquímicos e físicos (GARCIA *et al.*, 2006b). O balanço deste gás está intimamente relacionado a atividades fotossintetizantes, à respiração dos organismos e à oxidação de matéria orgânica (LIBES, 1992; AIDAR, *et al.*, 1993). Processos físicos também interferem na dinâmica do  $O_2$ , pela ação de renovação de águas, difusão entre atmosfera-oceano, temperatura influenciando diretamente na solubilidade do gás e a turbulência (GARCIA *et al.*, 2006b)

As camadas superficiais dos oceanos e aquíferos são altamente influenciadas pelo contato com a atmosfera, basicamente pela difusão do gás por entre a interface destes dois meios (REDFIELD, 1963). Assim, variações de pressão atmosférica e temperatura podem acarretar em variações nos teores de oxigênio dissolvido (HAYWARD & MANTYLA, 1990). Outras características físicas também devem ser consideradas, tais como, velocidade do vento, movimentando e formando ondas, mistura das camadas de água, intempéries e precipitação pluviométrica.

De acordo com Projeto de Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) as concentrações de Oxigênio Dissolvido na Bacia de Santos, não mostraram nenhuma tendência horizontal bem definida, em nenhuma das profundidades amostradas (superfície (10 m); meia água (termoclina) e fundo ou 200 m). No entanto, de um modo geral, os valores mais elevados foram encontrados na Plataforma Continental, em frente ao estado do Rio de Janeiro (**Figura II.5.1.3-21**).



**Figura II.5.1.3-21 - Variação espacial do teor de Oxigênio Dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) na Bacia de Santos. A) Superfície (10m); B) Meia água (termoclina); C) Fundo ou 200 m de profundidade**

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



Os perfis apresentaram elevação dos valores na termoclina, e um perfil clássico de diminuição com a profundidade. Estes valores, variaram entre 5,8 e 8,4 mg.L<sup>-1</sup>. Os resultados foram, em geral, 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.

Em um estudo realizado por Niencheski *et al.* (1999) são apresentadas as distribuições espaço-temporal de OD em âmbito nacional e pode ser considerado como referência para este parâmetro. As amostras de água foram coletadas sazonalmente nas profundidades de 0 m, 50 m, 100 m e 200 m em estações oceanográficas distribuídas desde águas rasas até regiões de águas profundas e distantes da costa, as coletas ocorreram dentro do escopo do Programa REVIZEE, numa faixa de até 300 milhas náuticas.

A **Quadro II.5.1.3-4**, a seguir, apresenta os valores máximos e mínimos de oxigênio dissolvido compilados por Niencheski *et al.* (*op. cit.*). Os resultados apresentam valores máximos de oxigênio dissolvido de 6,40 mg.L<sup>-1</sup>, durante o verão; e 5,50 mg.L<sup>-1</sup>, durante a primavera, sendo típico o decréscimo ao longo do perfil após a profundidade de 100 m.

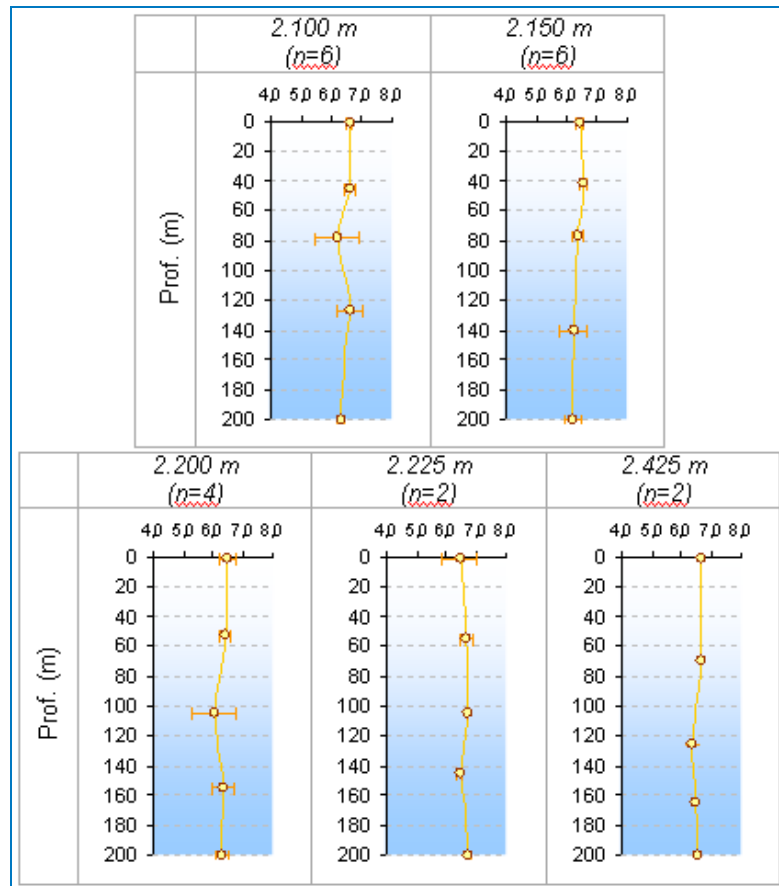
**Quadro II.5.1.3-4 - Valores máximos e mínimos de oxigênio dissolvido na costa brasileira.**

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 <sup>-1</sup> )	Máx	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
	Mín	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.5.1.3-22**) 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.5.1.3-22** - Valores médios de oxigênio dissolvido encontrados na Bacia de Santos até 200m.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2003.

Na superfície as concentrações de Oxigênio Dissolvido variaram entre 6,05 e 6,86 mg L<sup>-1</sup>, 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 no **Quadro II.5.1.3-5**.

**Quadro II.5.1.3-5** - Dados de Oxigênio Dissolvido encontrados na Bacia de Santos segundo PETROBRAS/HABTEC, 2003.

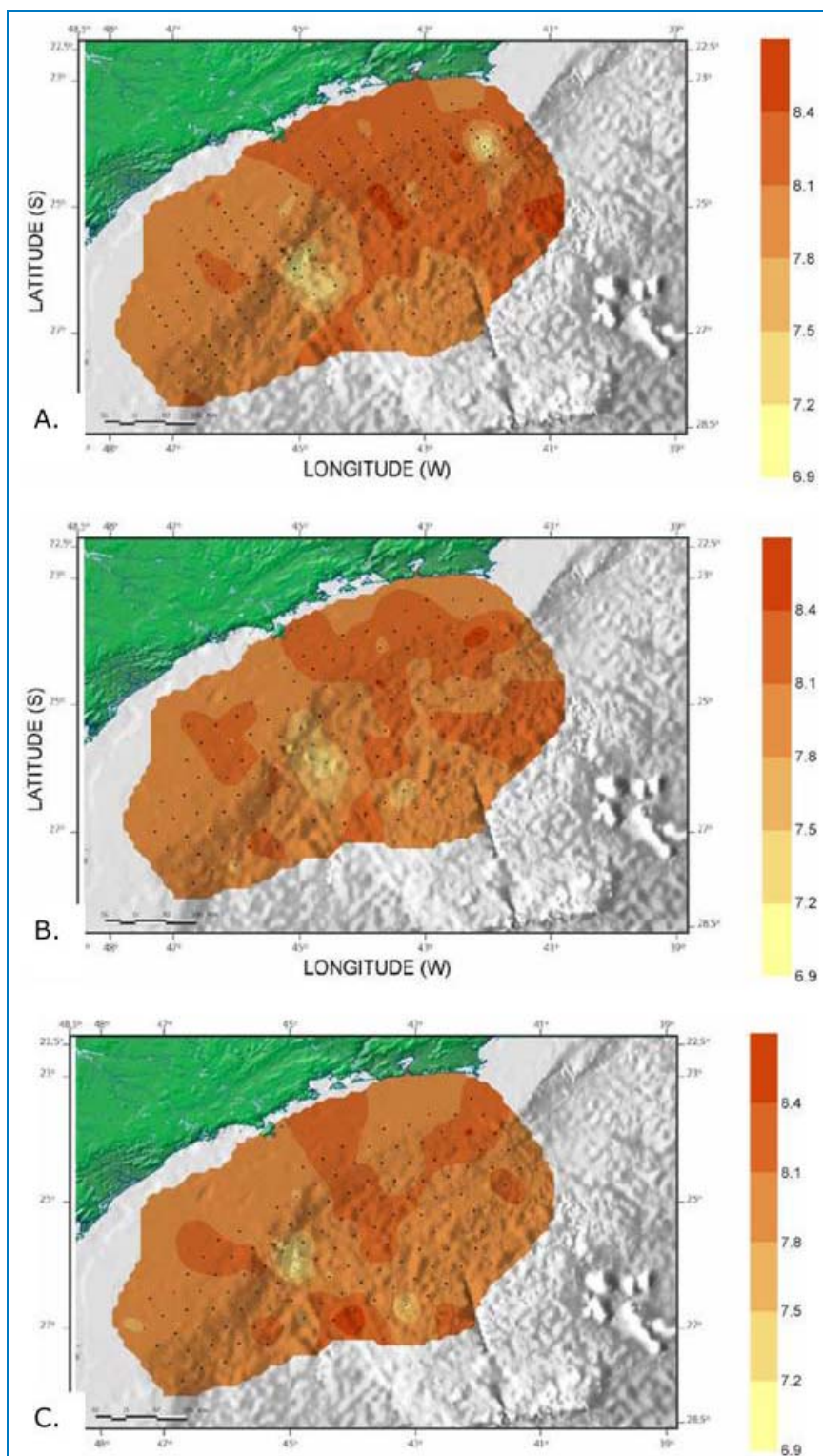
	OD (mg.L <sup>-1</sup> )		
	MIN	MAX	MD ± SD
Superfície	6,05	6,86	6,54 ± 0,20
Acima Termoclina	6,29	6,86	6,57 ± 0,17
Termoclina	4,76	6,74	6,30 ± 0,51
Abaixo da Termoclina	5,75	7,43	6,44 ± 0,38
200 m	5,81	6,8	6,36 ± 0,24
Núcleo da AIA	5,06	7,13	6,50 ± 0,52
Fundo	6,56	7,97	7,31 ± 0,36

MIN= Valor Mínimo; MAX= Valor Máximo, MD± SD = Média ± Desvio Padrão

## ***H - Potencial Hidrogeniônico (pH)***

A água do mar apresenta pH em torno de 8,2. O potencial Hidrogeniônico da água do mar é determinado, principalmente, pelo equilíbrio entre os íons  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ , e também a existência de  $\text{CO}_2$  na água. Os valores de pH podem sofrer alterações de acordo com a concentração de  $\text{CO}_2$ , as quais sofrem influência da respiração, fotossíntese e trocas entre a atmosfera e o oceano (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983).

Os dados referentes ao Projeto de Caracterização da Bacia de Santos indicaram poucas variações significativas nos pH aferidos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002). Os valores variaram entre 7,43 a 8,61 (**Figura II.5.1.3-23**). Esta variação está dentro da faixa considerada aceitável para as águas salinas da classe 1 – águas 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).



**Figura II.5.1.3-23 - Variação Espacial do pH na Bacia de Santos. A) Superfície (10m); B) Meia água (termoclina); C) Fundo ou 200 m de profundidade**

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

Estes resultados estão 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 (*et al.*, 1999).

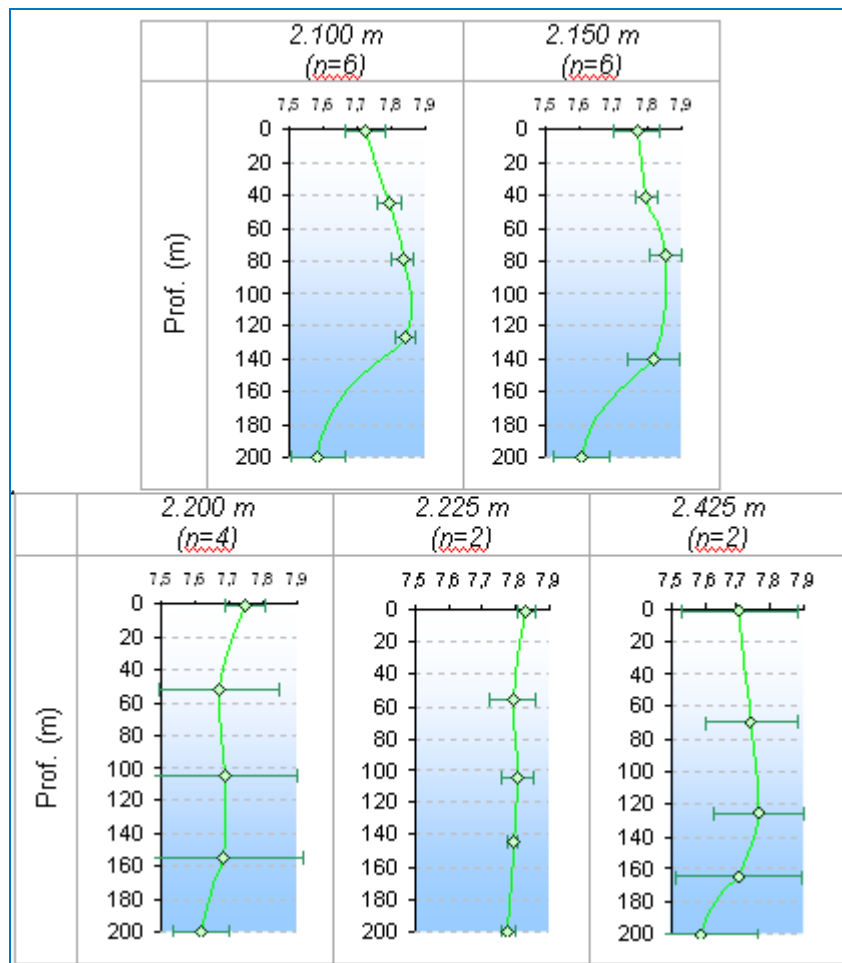
Os resultados obtidos por Niencheski (*op cit.*) podem ser observados no **Quadro II.5.1.3-6**. Estes indicam uma homogeneidade da distribuição dos valores de pH, tanto em termos de profundidade (variação vertical) quanto em termos sazonais.

**Quadro II.5.1.3-6 - Valores máximos e mínimos de pH na costa brasileira.**

Estação do Ano		Verão				Outono				Primavera				Inverno			
Profundidade (m)		0	50	100	200	0	50	100	200	0	50	100	200	0	50	100	200
pH	Máx	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
	Mín	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.5.1.3-24**) 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.* Apresentando os valores superficiais oscilando entre 7,58 e 7,85.



**Figura II.5.1.3-24 - Valores médios de pH encontrados na Bacia de Santos até 200m.**

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2003.

### I - Sulfeto

O íon sulfeto é proveniente das reações de redução dos íons sulfato, sendo estes últimos componentes maiores da água do mar. O sulfeto é o produto das reações de degradação da matéria orgânica em ambientes com baixas concentrações de oxigênio dissolvido (BRUCHERT et al., 2003). Este íon apresenta, em ambientes aquáticos equilíbrio com o ácido sulfídrico ( $H_2S$ ), o qual mostra-se tóxico a muitos organismos marinhos (RIPLEY e FORAN, 2007)

O Estudo realizado pela PETROBRAS/HABTEC (2003) apresentou concentrações de sulfetos variando entre  $<0,01$  e  $0,93 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , as concentrações mais altas foram encontradas nas camadas mais profundas, com o pico de concentração a cerca de 900 m de profundidade, no núcleo da AIA (Água

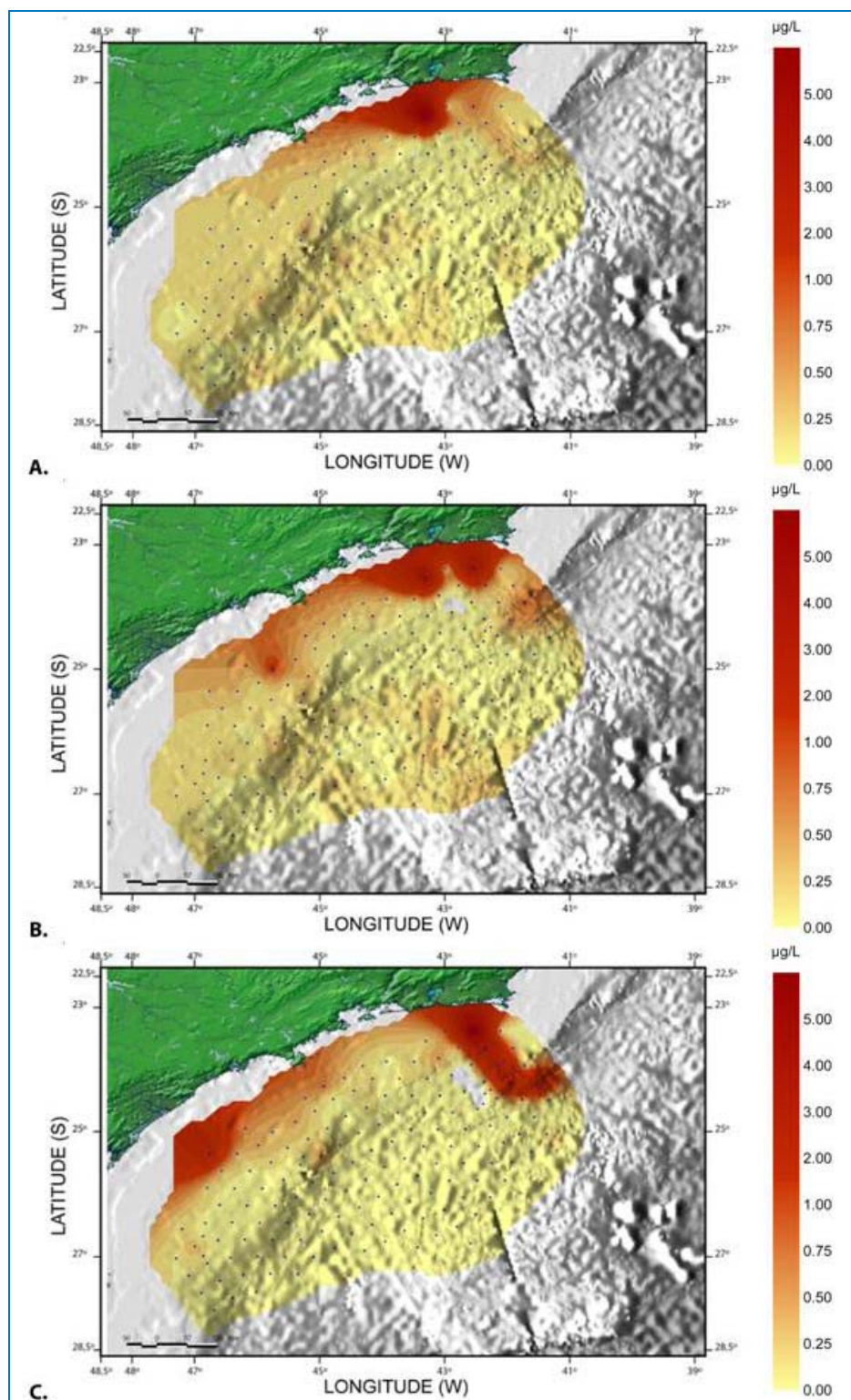
Intermediária Atlântica). Concentrações mais altas são características de massa d'águas profundas, ricas em nutrientes e pobre em oxigênio. Visto que nestas há predominância de reações anaeróbicas de degradação da matéria orgânica.

### **J - Clorofila -a**

A Clorofila *a* é comumente utilizada como um fator indicador da biomassa fitoplanctônica (JEFFREY & MANTOURA, 1997). Esta molécula é o pigmento fotossintetizante primário deste grupo de produtores primários dos oceanos, assim, portanto, sua medida pode ser convertida em valores de produção e produtividade primária (O'REILLY *et al.*, 1998).

O estudo realizado para a Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) apresentou concentrações de Clorofila *a* variando 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.5.1.3-25**). A região mostrou-se bastante homogênea, raramente atingindo concentrações superiores a 5  $\mu\text{g. L}^{-1}$ .





**Figura II.5.1.3-25** - 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.

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).

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 µg. L<sup>-1</sup>.

### II.5.1.3.2 - Qualidade do Sedimento

A caracterização da qualidade do sedimento na região dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11, BM-S-21 e BM-S-24, localizados na Bacia de Santos, foi realizada utilizando os dados do Relatório de Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) e 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).

Os métodos de amostragem adotados pelos estudos supracitados são apresentados no **Quadro II.5.1.3-7** e no **Quadro II.5.1.3-8**, os métodos analíticos dos parâmetros de qualidade do sedimento comentados nesse diagnóstico.

#### Quadro II.5.1.3-7 - Métodos de amostragem dos estudos utilizados como fonte de dados.

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

#### Quadro II.5.1.3-8 - Método analítico dos parâmetros de qualidade do sedimento.

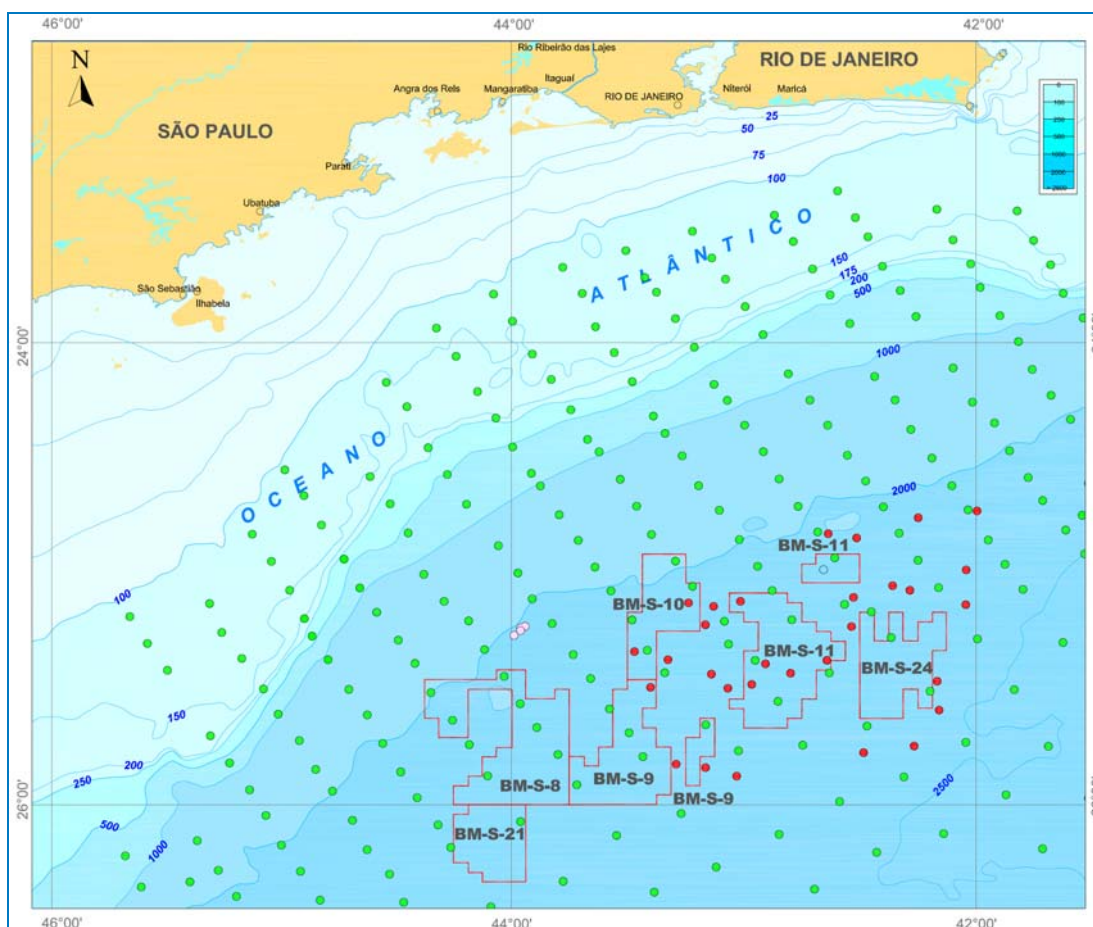
Parâmetro	Relatório	Método	Observações
Carbono Orgânico Total	HABTEC	Digestão com Diromato de Potássio	-
Nitrogênio Total	HABTEC	Método de Kjeldal	-
Fósforo Total	HABTEC	Digestão com Ácido Sulfúrio	-
Teor de Carbonato	HABTEC	Acidificação com HCl	-
	PEG/AS	Acidificação com HCl	-
Teor de Matéria Orgânica	HABTEC	Queima com H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-
Granulometria	PEG/AS	Holme & MCinyre (1984) e Suguio (1973)	-
	HABTEC	Peneiramento e pipetagem	-
Fe, Mg, Ba, Cr, Cu, Ni, Pb, V e Ni	PEG/AS	Espectrofotometria de emissão de plasma e Espectrofotometria de Absorção Atômica	-
	HABTEC	Espectrofotometria de emissão de plasma	-

Continua

Quadro II.5.1.3-7 (conclusão)

Parâmetro	Relatório	Método	Observações
Hg	PEG/AS	Espectrofotometria de Absorção Atômica	Geração de hidretos/vapor frio
	HABTEC	Espectrofotometria de emissão de plasma	-
Hidrocarbonetos Totais - HTP	PEG/AS	Cromatografia gasosa com detector de chama CG-FID (EPA 8015C)	Extração com diclorometano (EPA 3510c)
	HABTEC		-
Hidrocarbonetos Poliaromáticos - HPA	PEG/AS	EPA 8270C	Extração com diclorometano (EPA 3510c)
	HABTEC	Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (GC/MS)	-

As estações oceanográficas para coleta de sedimento utilizadas no Relatório de Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) e na 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.5.1.3-26**.



**Figura II.5.1.3-26 - Estações de coleta de sedimento na Bacia de Santos.**

● PETROBRAS/HABTEC (2003). ● MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002);

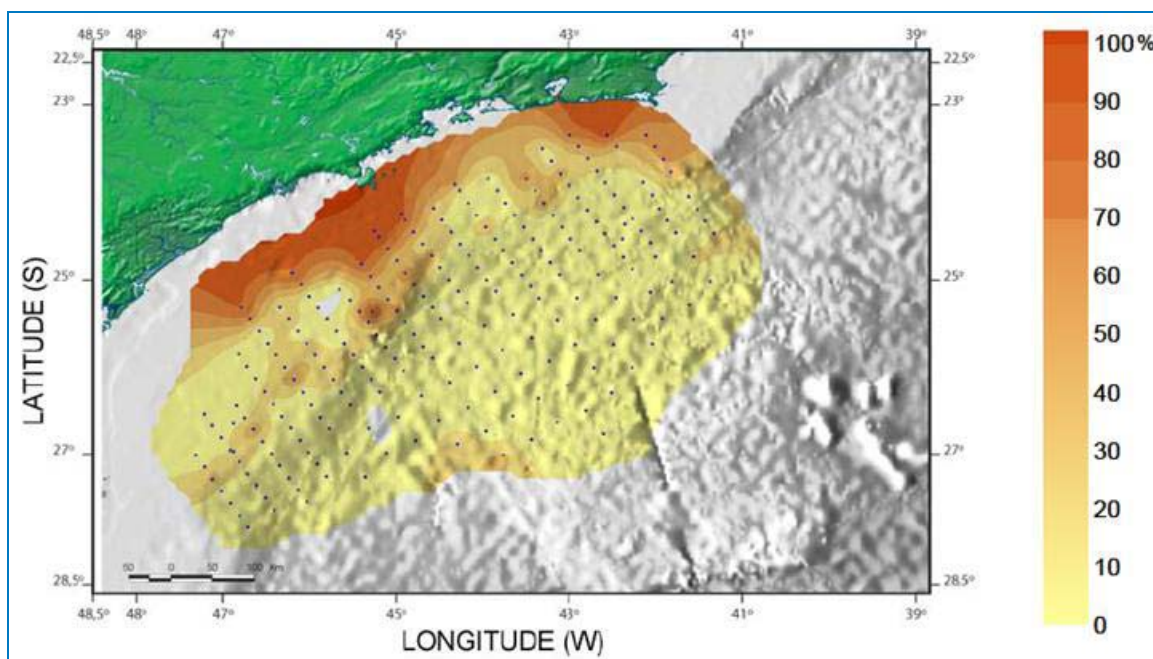
## **K - Granulometria**

As variações dos sedimentos que compõem o fundo marinho é produto de processos geológicos e físicos, químicos e biológicos (CORRÊA *et al.*, 2009). 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 (DIAS, 2004).

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%.

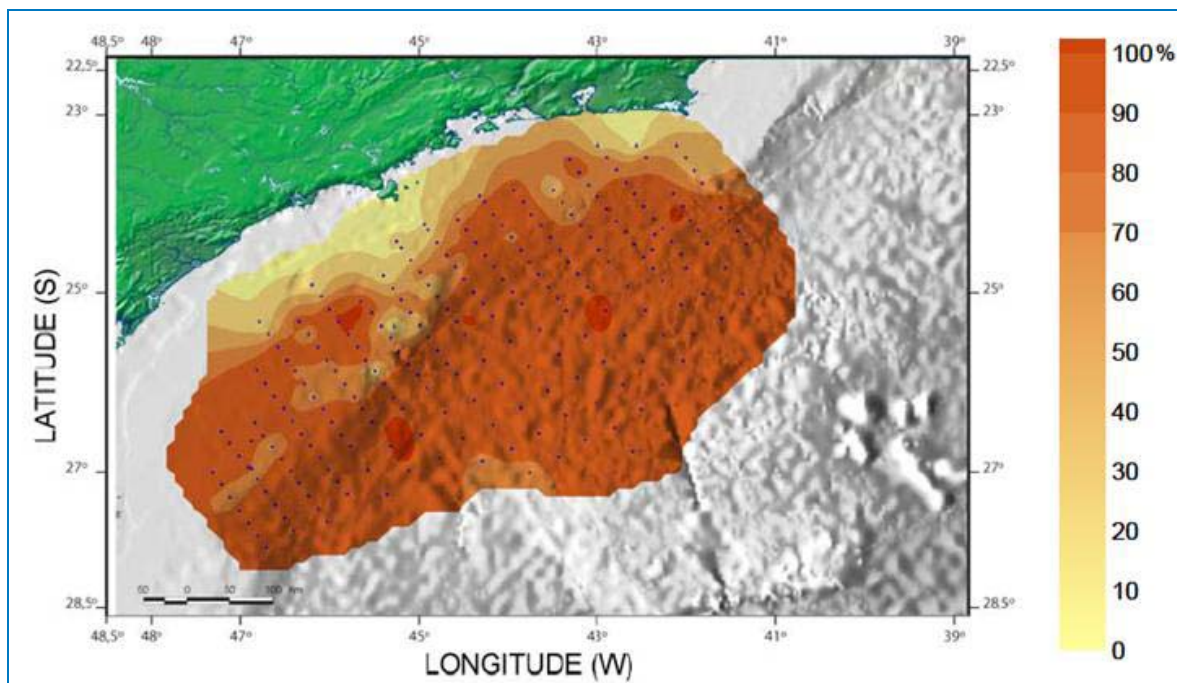
Como pode ser observado, através das análises da contribuição de sedimentos arenosos e lamosos nas estações de coleta na Bacia de Santos, **Figura II.5.1.3-27** e **Figura II.5.1.3-28**, respectivamente, há predomínio da fração grosseira nas áreas adjacentes ao continente com diminuição da granulometria em direção a *offshore* e concomitante com o aumento de profundidade. O observado ratifica alguns estudos pré-existentes na região como Mahiques & Furtado (1989) e Furtado & Mahiques(1990).





**Figura II.5.1.3-27** - Distribuição da fração arenosa entre as estações de coleta na Bacia de Santos.

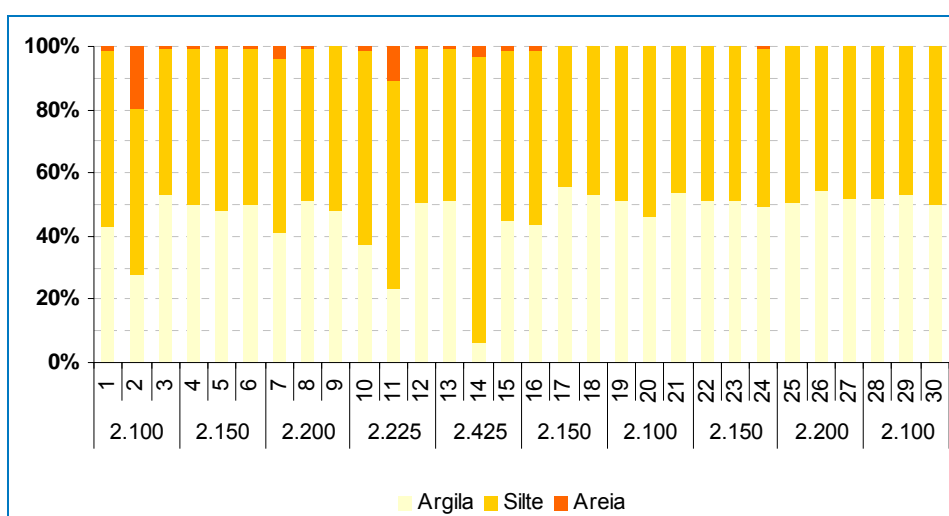
Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002.



**Figura II.5.1.3-28** - Distribuição da fração lamosa entre as estações de coleta na Bacia de Santos.

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

De forma geral, a área da Bacia de Santos é caracterizada pela presença de sedimentos finos, com a fração lamosa associada diretamente ao aumento da batimetria. A plataforma interna apresenta uma tendência a presença de sedimentos mais grosseiros. As análises realizadas na região da Bacia de Santos em águas ultraprofundas (PETROBRAS/HABTEC, 2003) revelaram 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.5.1.3-29**).



**Figura II.5.1.3-29** - Granulometria (frequência simples) encontrada na região ultraprofunda da Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2003.

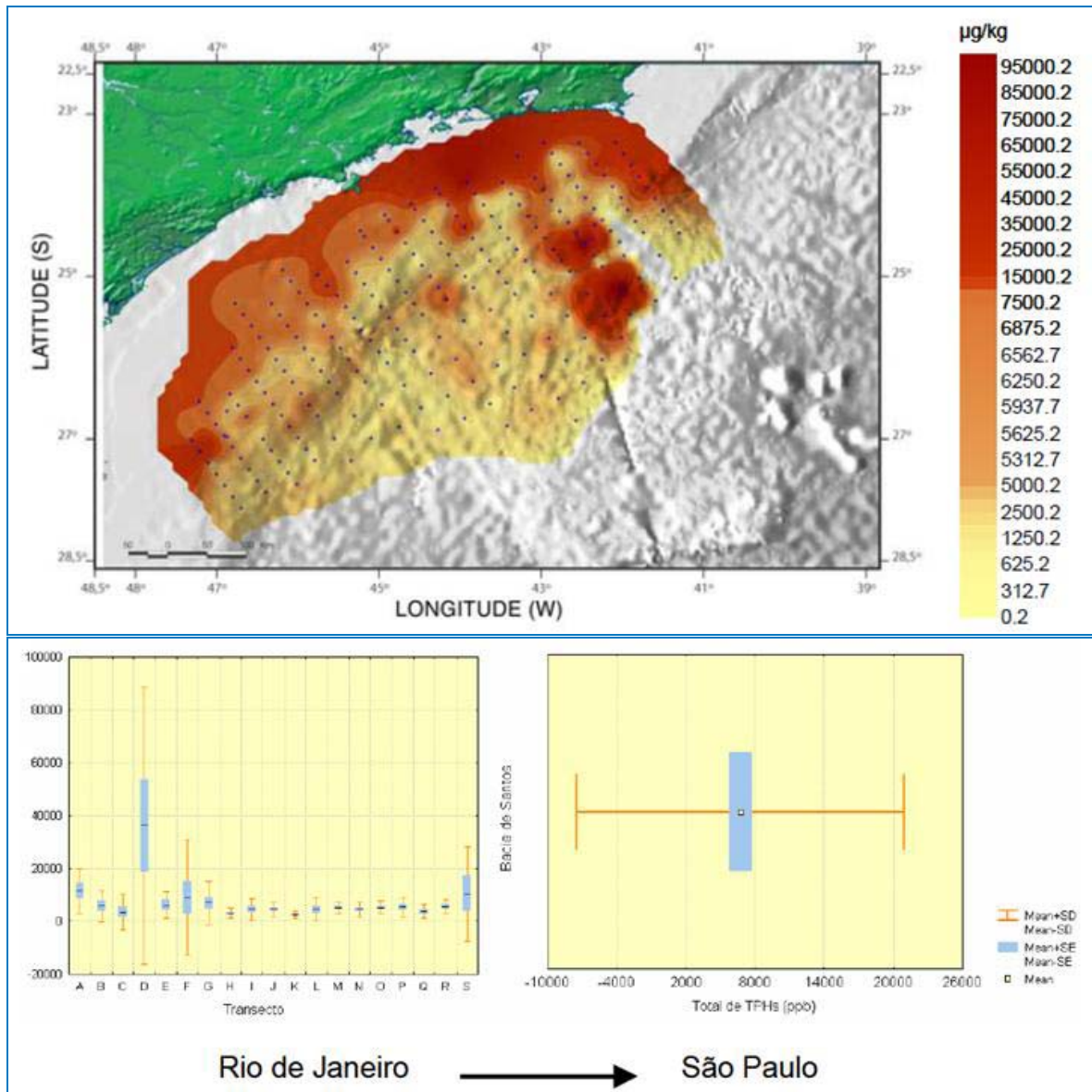
### L - Hidrocarbonetos Totais (HTP)

O ambiente aquático é o receptáculo final de muitos poluentes gerados por comunidades urbanas e por atividades industriais. O sedimento é o compartimento de estoque de muitos contaminantes orgânicos, os quais alcançam este ambiente devido a circulação atmosférica, oceânica e processos físicos-químicos ocorrentes na coluna d'água (OOST *et. al.*, 2003).

A caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) indicou maiores concentrações de HTP próximo a costa. As concentrações variaram de 403 a 127.598  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  com uma média de 6.760  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  (desvio padrão = 14.162  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ ).



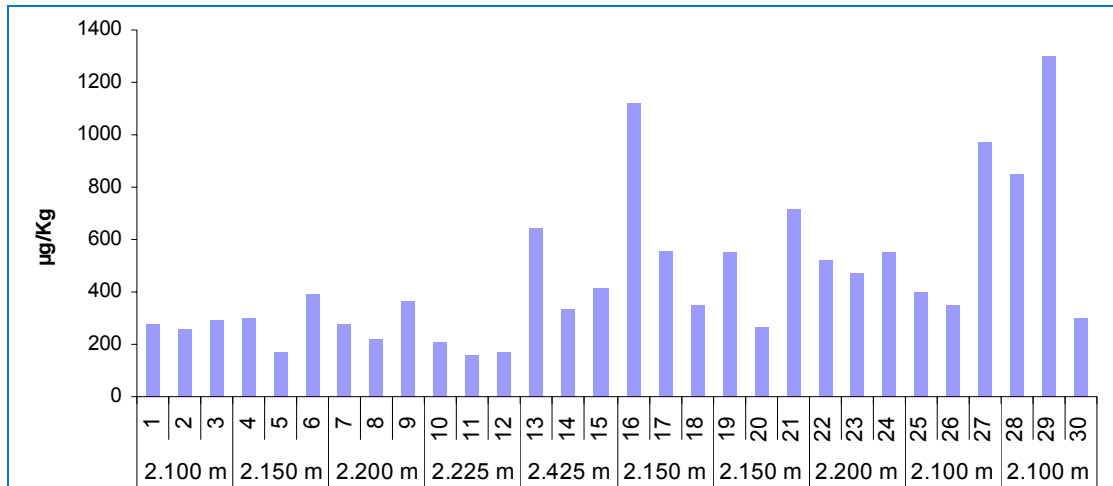
Os níveis mais altos foram registrados ao norte da Bacia, na região compreendida entre a desembocadura das Baías de Sepetiba e de Guanabara. De forma geral, os teores de HTP encontrados estão muito baixos e inferiores aos teores encontrados em sedimentos de áreas de exploração de petróleo (**Figura II.5.1.3-30**).



**Figura II.5.1.3-30 - Distribuição espacial dos teores de Hidrocarbonetos(ppb) na Bacia de Santos.**

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

Na região ultraprofunda da Bacia de Santos (PETROBRAS/HABTEC, 2003), as concentrações de HTP variaram de 159  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  a 1.303  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  (**Figura II.5.1.3-31**).



**Figura II.5.1.3-31** - Distribuição das concentrações de THP encontrada no sedimento da Bacia de Santos.

Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2003.

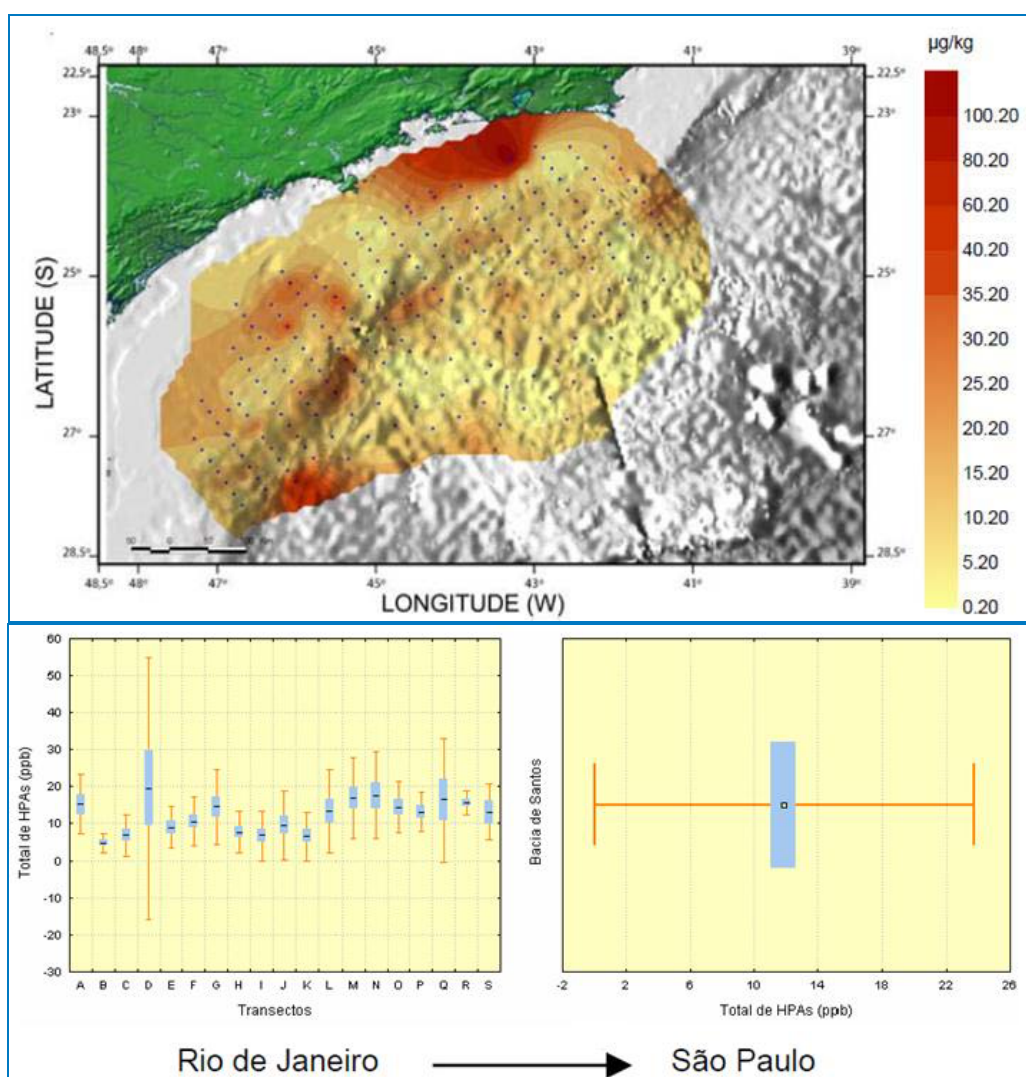
Apesar das concentrações inexpressivas encontradas, o conhecimento do nível de *background* (concentrações típicas e naturais da área) é muito importante para se avaliar e monitorar os impactos que as atividades antrópicas exercem no meio ambiente.

### **M - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA)**

Os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos estão entre os poluentes orgânicos de maior destaque devido a sua característica lipofílica e seu efeito de bioconcentração (HAITZER *et al.*, 1998). O ecossistema aquático é um dos maiores sumidouros de contaminação de HPAs (TAO *et al.*, 2003; MASKAOUI *et al.*, 2002), que podem entrar no ambiente através da poluição atmosférica, industrial e residencial, descarga de águas residuais, ou urbanas e de enxurradas, além de eventos acidentais envolvendo navios petroleiros (HEEMKEN *et al.*, 2000).

A introdução crônica ou pontual dos HPAs no ambiente aquático pode acarretar à deterioração da qualidade da água e do ecossistema. Muitos destes compostos são comprovadamente carcinogênicos e mutagênicos à biota. Principalmente os compostos que apresentam de quatro a nove anéis aromáticos, entre estes, como o mais letal, destaca-se o benzo (a) pireno (GRIMMER, *et al.*, 1981).

O levantamento realizado para a caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) indicou que as concentrações de HPA nos sedimentos 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  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  (Figura II.5.1.3-32). Os teores obtidos na área podem auxiliar na estimativa de um nível mínimo de *background* da Bacia de Santos, o que é de extrema importância visto que campos de produção *offshore* de petróleo e gás podem, também, contribuir para a elevação da concentração de HPAs no ambiente marinho, seja por via atmosférica ou por descarte de material contendo resíduo oleoso.



**Figura II.5.1.3-32** - Distribuição espacial dos teores de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos na Bacia de Santos.

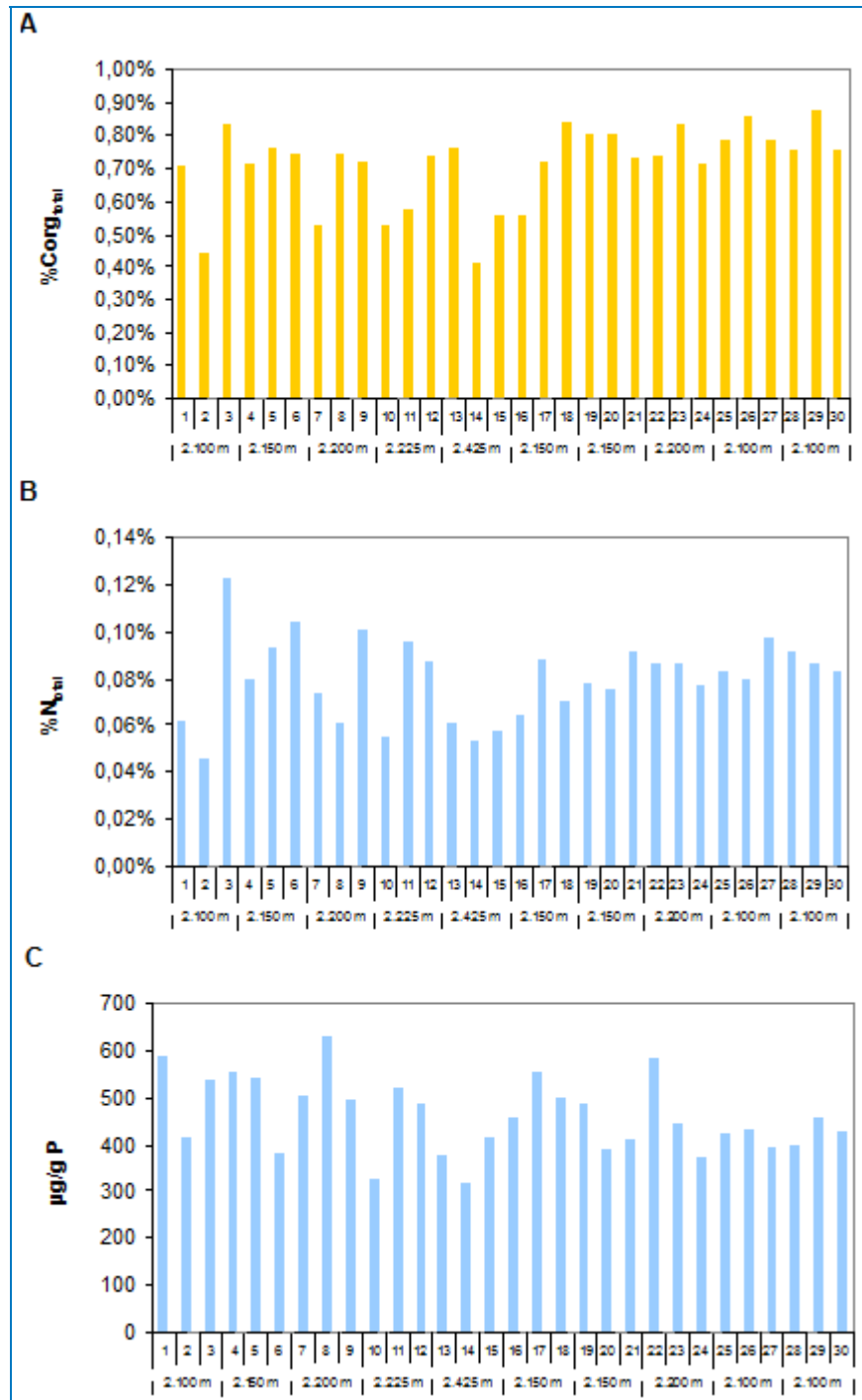
Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002.

### ***N - Carbono Orgânico, Nitrogênio total e Fósforo total (C:N:P)***

De acordo com Mahiques *et al.* (2002) os teores de Carbono Orgânico no sedimento superficial da plataforma continental externa da Bacia de Santos variaram entre 2 e 18 mg.g<sup>-1</sup>, com valor máximo próximo à isóbata de 100 m, em frente ao litoral de Cabo Frio e os teores de Nitrogênio obtidos foram, no máximo de 3 mg.g<sup>-1</sup>.

Lima (2000) registrou uma maior contribuição de Carbono Orgânico proveniente do ambiente marinho, originada, basicamente, dos produtos gerados a partir da cadeia trófica baseada na produtividade primária. Os valores de Fósforo tenderão, de maneira geral, a aumentar em direção às regiões mais profundas da plataforma, com exceção da área próxima à Ilha de São Sebastião, que apresentou um padrão mais complexo de distribuição.

O estudo realizado por PETROBRAS/HABTEC, (2003) em águas ultraprofundas da Bacia de Santos indicou que a distribuição de carbono orgânico nos sedimentos é muito homogênea, apresentando variações de concentrações de 0,41 a 0,88%. O nitrogênio total (N<sub>total</sub>) encontrado possui variação de 0,046% (465 µg.g<sup>-1</sup>) a 0,123% (1.226 µg.g<sup>-1</sup>) 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 µg.g<sup>-1</sup>) e 0,06% (628 µg.g<sup>-1</sup>) (PETROBRAS/HABTEC, *op.cit.*). A **Figura II.5.1.3-33** possui os valores de Carbono Orgânico, Nitrogênio e Fósforo.



**Figura II.5.1.3-33 - Carbono orgânico total (A), nitrogênio total (B) e Fósforo total (C) encontrados no sedimento da Bacia de Santos.**

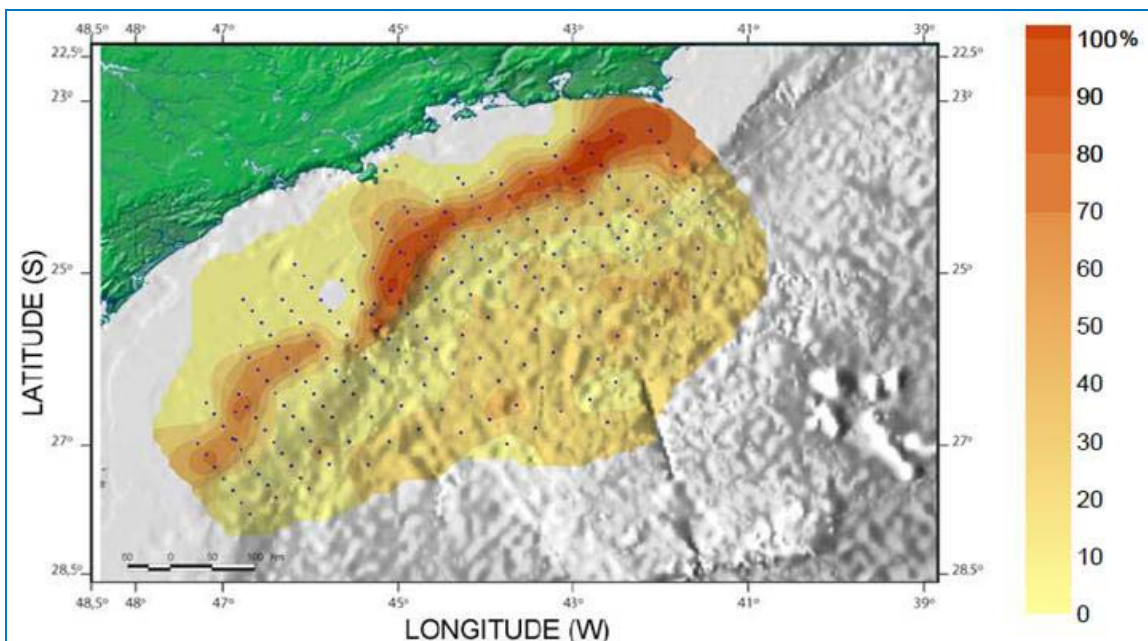
Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2003.



### O - Teor de Carbonatos e Matéria Orgânica Total

No estudo de caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002), ficou evidenciado que entre as batimetrias de 100 e 150 m de profundidade ocorre uma faixa carbonática como pode ser observado na **Figura II.5.1.3-34**.

A existência desta faixa recoberta por sedimentos biogênicos carbonáticos na plataforma externa que se estendendo ao talude também foi notada em Mahiques & Furtado (1989), Furtado & Mahiques (1990) e Gonçalves & Lana (1991). Os teores de carbonato nas amostras variaram de 0,08% a 96,8% e estiveram presentes em 98,6% das amostras (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002).



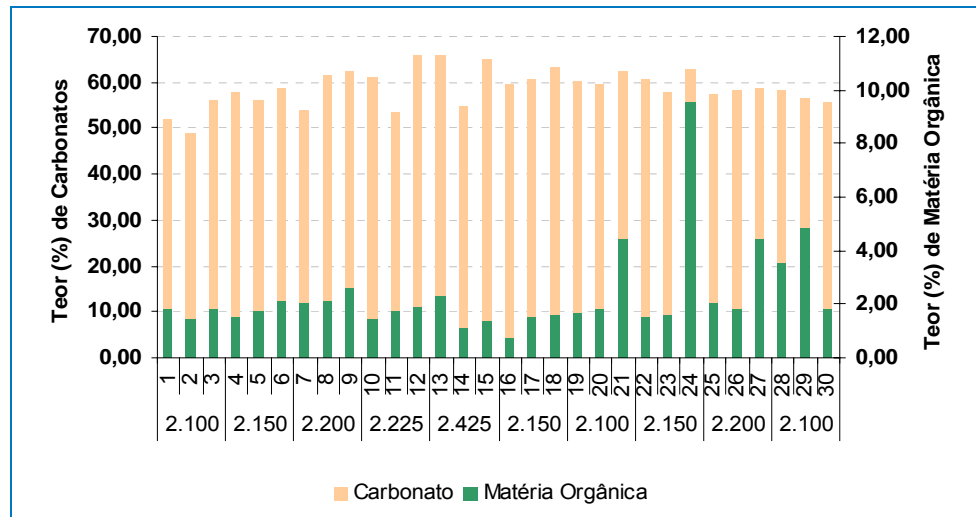
**Figura II.5.1.3-34** - Distribuição de carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ) entre as estações amostradas na bacia de Santos.

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

O estudo realizado da região ultraprofunda da Bacia de Santos (PETROBRAS/HABTEC, 2003) indicou que 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.5.1.3-35**), evidenciando o fato do sedimento ser rico em carbonato, podendo formar vazas de organismos, o que já é esperado para o Atlântico, segundo Libes (1992).



A relação entre a distribuição do carbono orgânico e a análise textural dos sedimentos mostra que as maiores concentrações do carbono orgânico estão associadas às frações lamosas, como é o caso dos Blocos BM-S-9, BM-S-1 e BM-S-11, o que pode ser explicado pela conhecida relação entre sedimentos mais finos e retenção de substâncias e material (OVALLE *et al*, 2000).



**Figura II.5.1.3-35** - Teor de carbonato e matéria orgânica encontrado no sedimento da Bacia de Santos.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2003.

## P - Metais

Nos ambientes aquáticos os compostos metálicos geralmente ocorrem em baixas concentrações, normalmente em nanogramas a microgramas por litro (ESPINOZA-QUIÑONES *et al.*, 2005). Metais pesados têm proveniência de fontes naturais, como a partir do intemperismo de rochas e solos, ou por aportes antropogênicos. Dependendo da solubilidade de cada elemento metal estes podem estar dissolvidos ou associados a elementos particulados, os quais podem decantar e acumular-se nos sedimentos (ESPINOZA-QUIÑONES, *op cit.*). A alta concentração de metais nos sedimentos e, em geral, no ambiente aquático, possui efeito deletério em sua biota, devido a ingestão destes elementos (NEFF *et al.*, 2000).

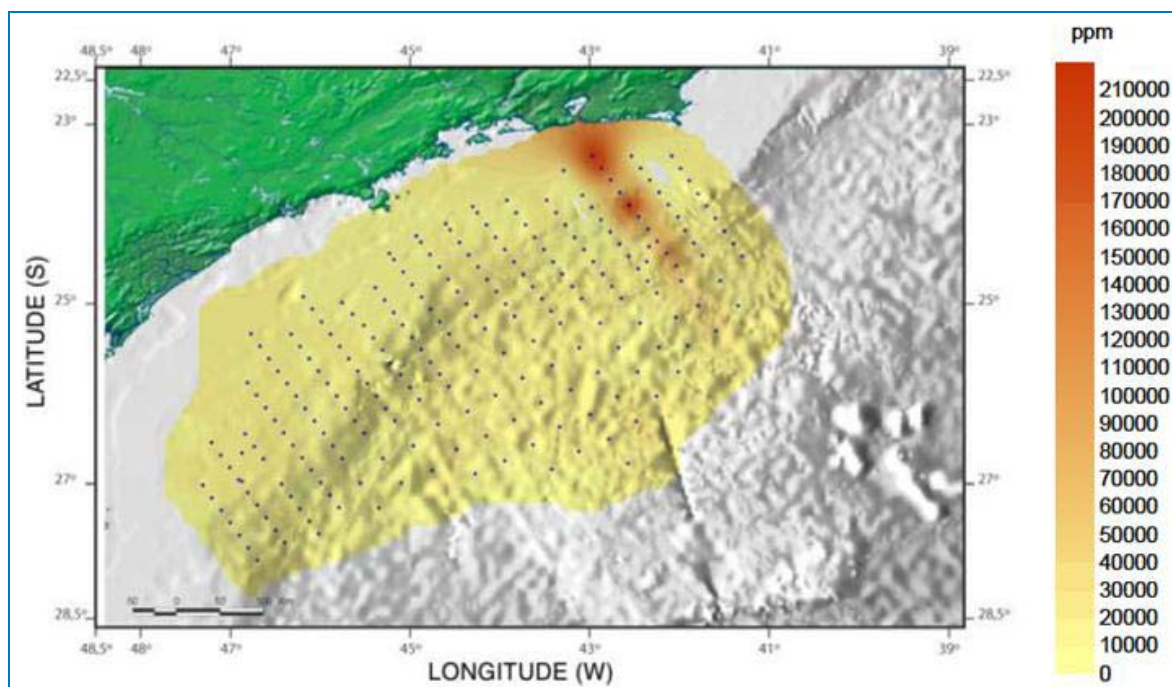
A análise de metais pesados se torna imprescindível para a caracterização ambiental de campos destinados a produção de petróleo, visto que estes elementos são encontrados como constituintes da maioria dos fluídos de

perfuração utilizados (PATIN, 1999). Tais substâncias, comumente, são descartadas no ambiente marinho como fluido aderido a cascalhos residuais alcançando os sedimentos devido a deposição destas partículas ao longo da coluna d'água (PATIN, *op. cit.*; NRC, 2002; ABÍLIO, 2006).

### Ferro

A caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002), indicou que os teores de metais foram altos em toda Bacia de Santos, com variações não ordenada por toda área amostrada. O teor médio de ferro no conjunto amostrado foi de  $16.427,02 \mu\text{g.g}^{-1}$  (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.5.1.3-36**).



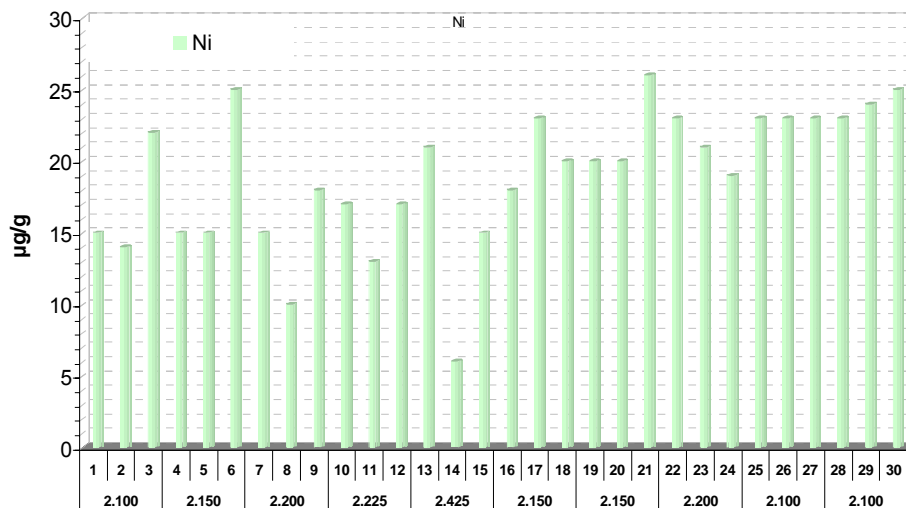
**Figura II.5.1.3-36** - Variação Espacial do Ferro na Bacia de Santos.

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

## Níquel

O níquel, do mesmo modo que o vanádio, é adotado como indicador de descartes de óleos em ambiente marinho. A fixação deste metal em sedimentos superficiais é determinada, sobretudo, pela presença de óxidos/hidróxidos, carbonatos e silicatos de Fe e Mn (FORSTNER e WITTMANN, 1983; MOORE e RAMAMOORTHY, 1984).

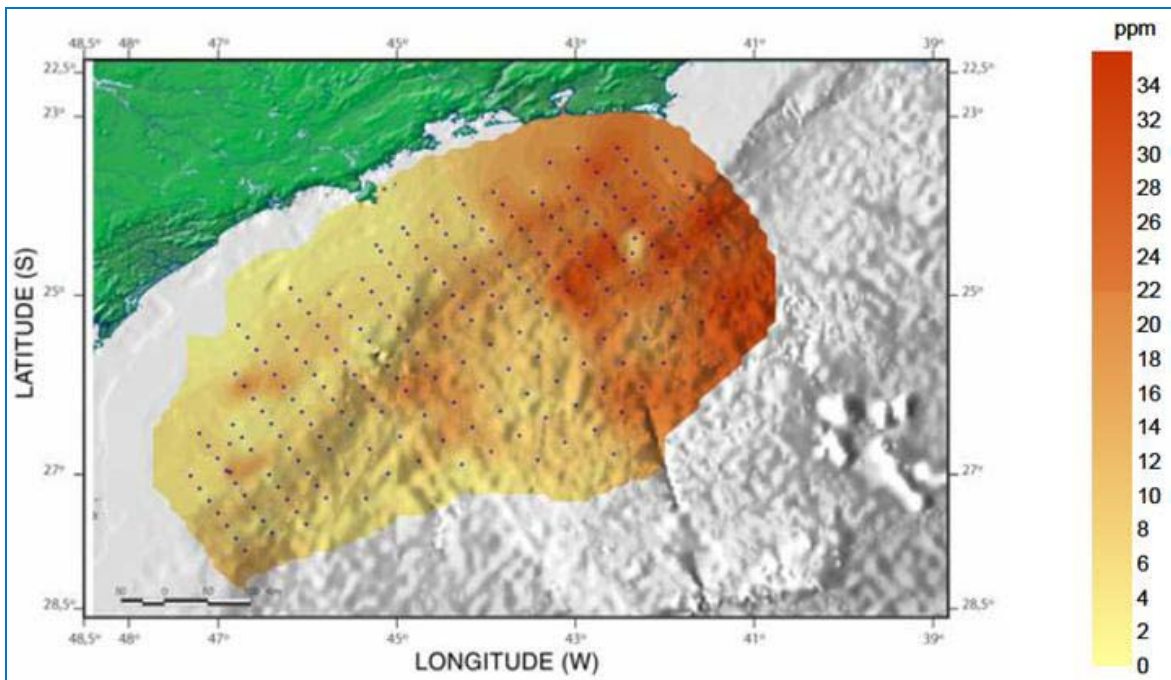
O estudo realizado pela PETROBRAS/Habtec (2003) encontrou concentrações médias de níquel em torno de  $19 \pm 2 \mu\text{g.g}^{-1}$  (**Figura II.5.1.3-37**).



**Figura II.5.1.3-37** - Concentrações de Níquel ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) encontradas no sedimento da região ultraprofunda da Bacia de Santos

Fonte: Petrobras/Habtec, 2003.

De acordo com a caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002), em toda Bacia de Santos foi obtido um valor médio níquel de  $13,30 \mu\text{g.g}^{-1}$  com desvio padrão de  $8,32 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Como pode ser observado na **Figura II.5.1.3-38** as concentrações de níquel tendem a ser menores em direção ao sul da Bacia de Santos.



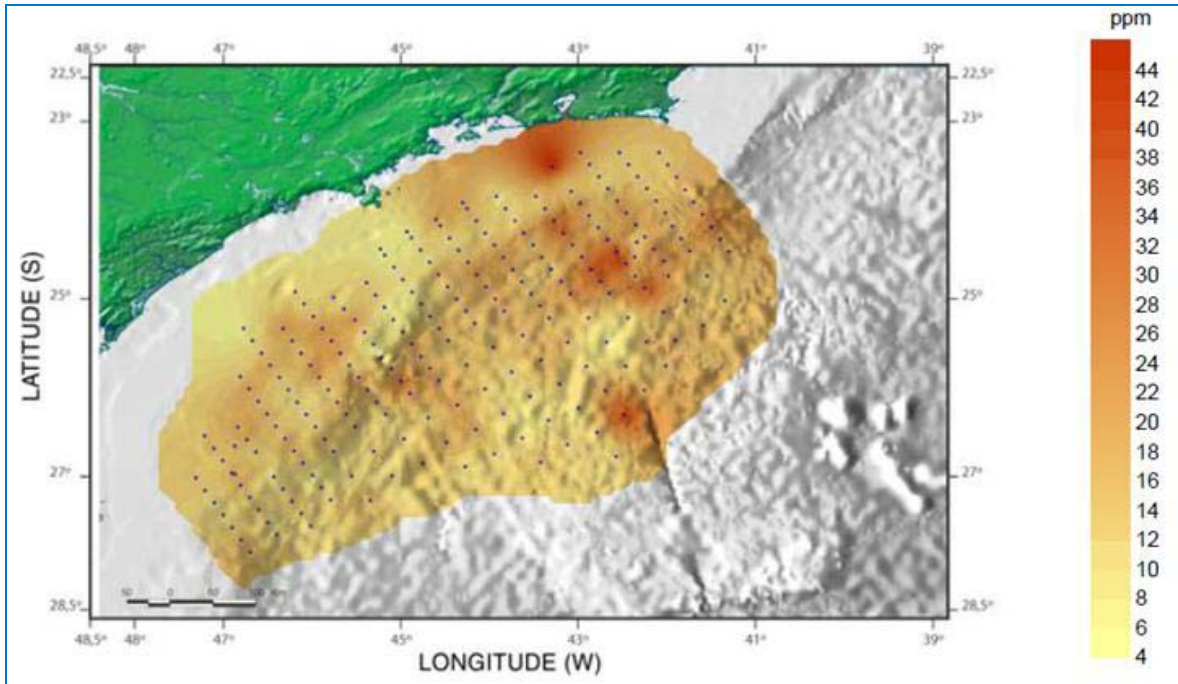
**Figura II.5.1.3-38 - Variação Espacial do Níquel na Bacia de Santos.**

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

O aumento nos teores deste metal pode estar relacionado à influência de águas provenientes de locais impactados consideravelmente por atividades antrópicas, incluindo descartes e eventuais acidentes envolvendo óleo bruto ou refinado, como é o caso da Baía de Guanabara (FILHO *et al.*, 2003).

### **Cromo**

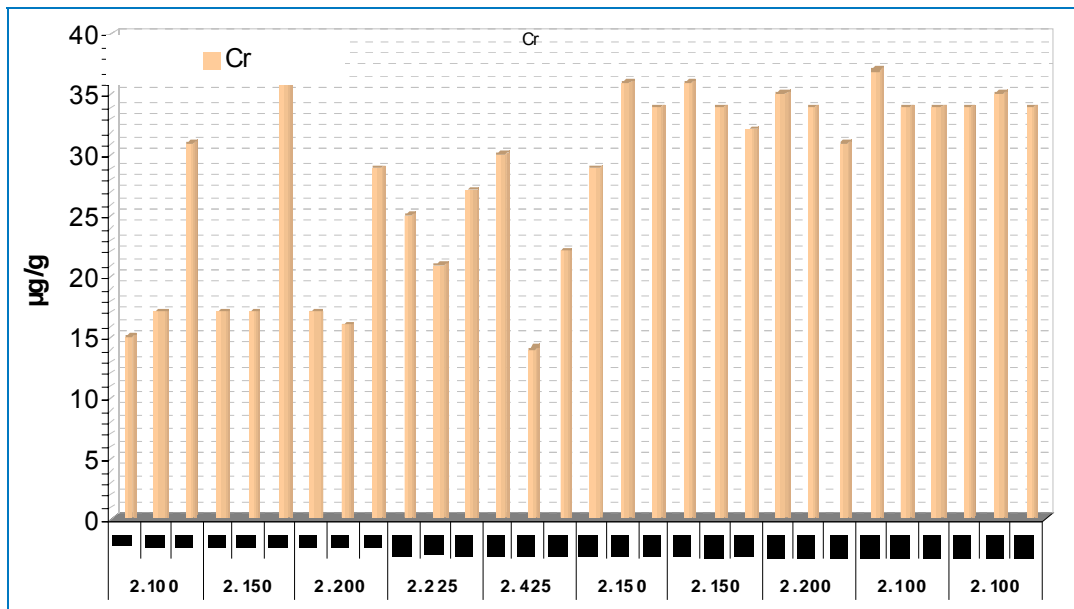
A caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) encontrou uma tendência à maiores concentrações de cromo em direção ao norte da Bacia de Santos, com valor médio de  $15,41 \pm 6,84 \mu\text{g.g}^{-1}$ , sendo observado um aumento das concentrações na região da plataforma continental próxima à Baía de Guanabara (**Figura II.5.1.3-39**).



**Figura II.5.1.3-39 - Variação Espacial do Cromo na Bacia de Santos.**

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

Na região ultraprofunda, a concentração média de Cromo foi de  $28 \pm 3 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Figura II.5.1.3-43) (Petrobras/ HABTEC, 2003).



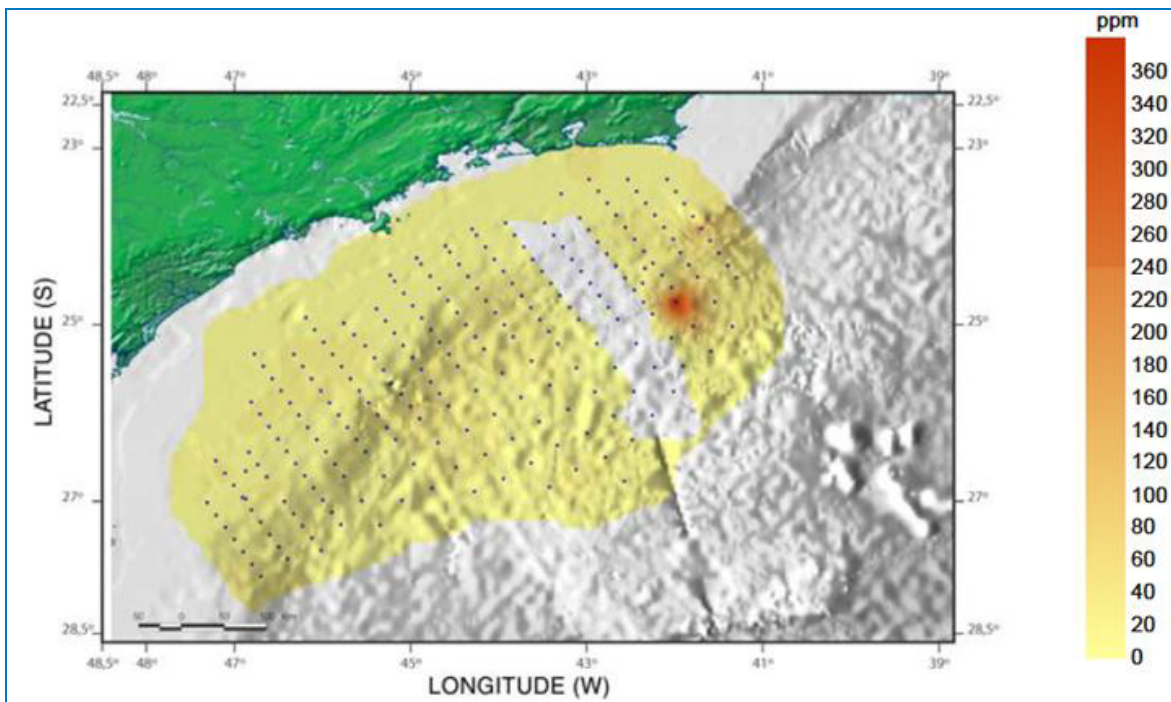
**Figura II.5.1.3-40 - Concentrações de Cromo ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) encontradas no sedimento da região ultraprofunda da Bacia de Santos.**

Fonte: Petrobras/Habtec, 2003.



## Zinco

Os dados da caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) apresentaram um valor médio de zinco de  $19,13 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Estes valores não apresentaram grandes variações, com exceção de um ponto de amostragem (**Figura II.5.1.3-41**).

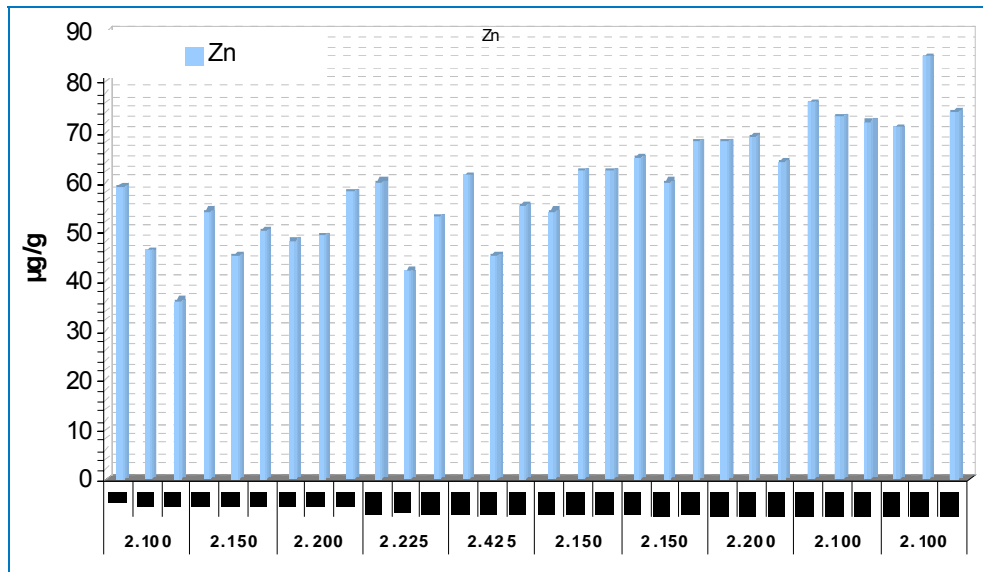


**Figura II.5.1.3-41** - Variação Espacial do Zinco na Bacia de Santos.

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

A concentração média de Zinco para a região ultraprofunda da Bacia de Santos foi de  $59 \pm 4 \mu\text{g.g}^{-1}$  (**Figura II.5.1.3-45**) (Petrobras/HABTEC, 2003).



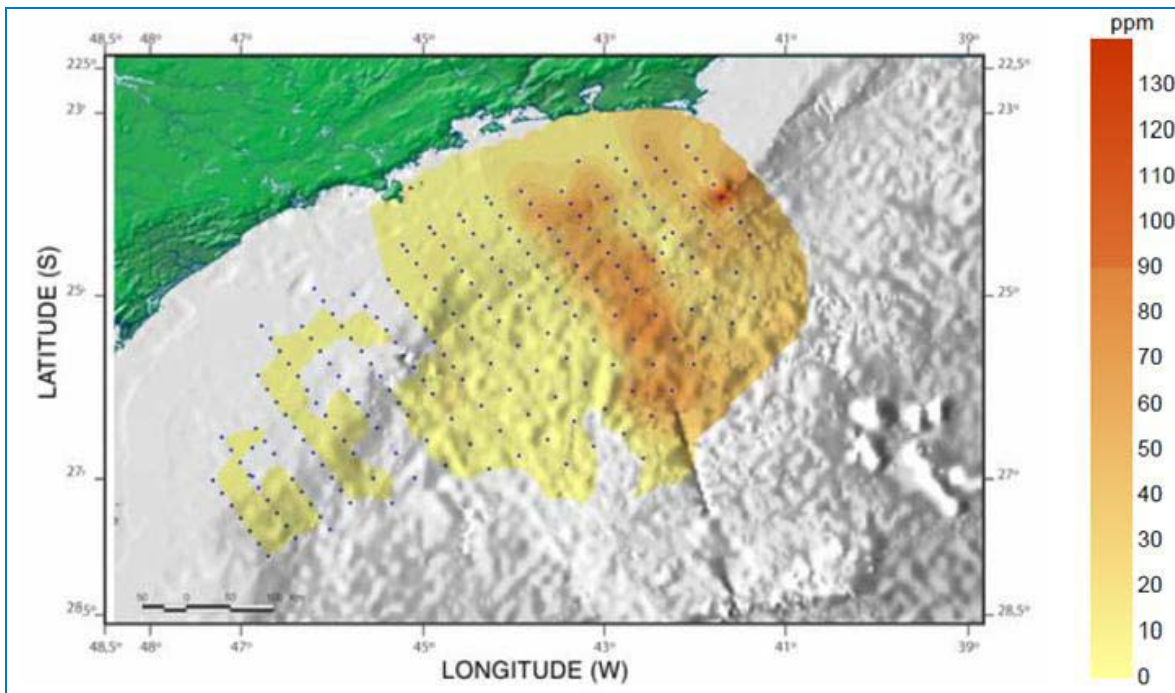


**Figura II.5.1.3-42** - Concentrações de Zinco ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) encontradas no sedimento da região ultraprofunda da Bacia de Santos.

Fonte: Petrobras/HABTEC, 2003

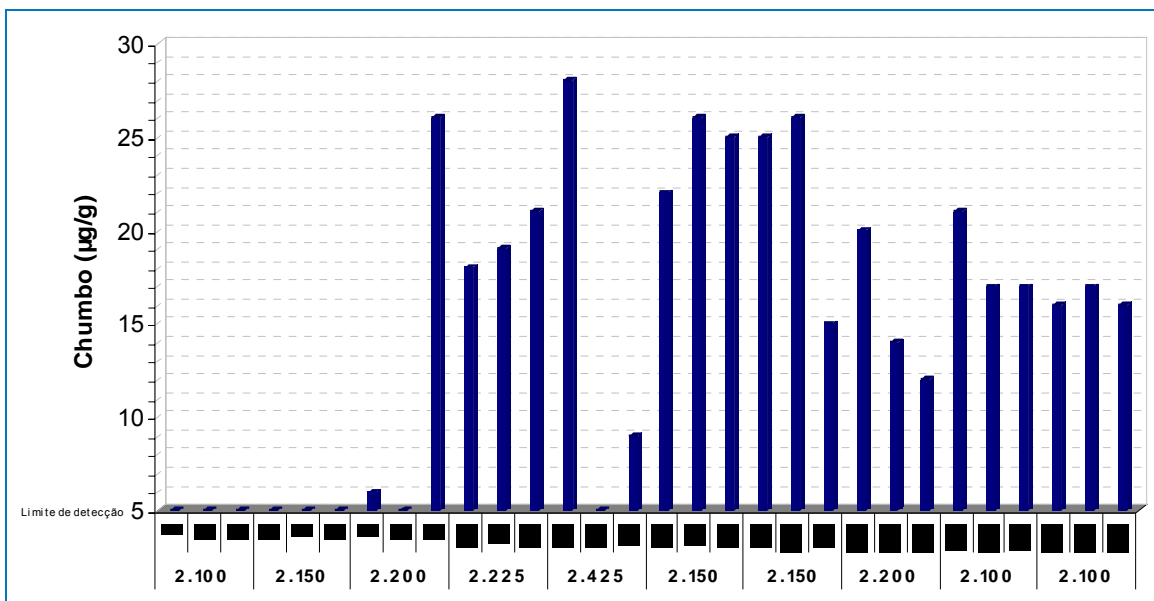
### Chumbo

Os resultados do estudo de caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) indicaram que as maiores concentrações de chumbo na região estão localizadas na parte norte da bacia (**Figura II.5.1.3-43**). O valor médio foi de  $14,26 \pm 21,90 \mu\text{g.g}^{-1}$ . A concentração média de chumbo na região ultraprofunda da Bacia de Santos foi de  $19 \pm 6 \mu\text{g.g}^{-1}$  (PETROBRAS/HABTEC, 2003) (**Figura II.5.1.3-44**).



**Figura II.5.1.3-43** - Variação Espacial do Chumbo na Bacia de Santos.

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



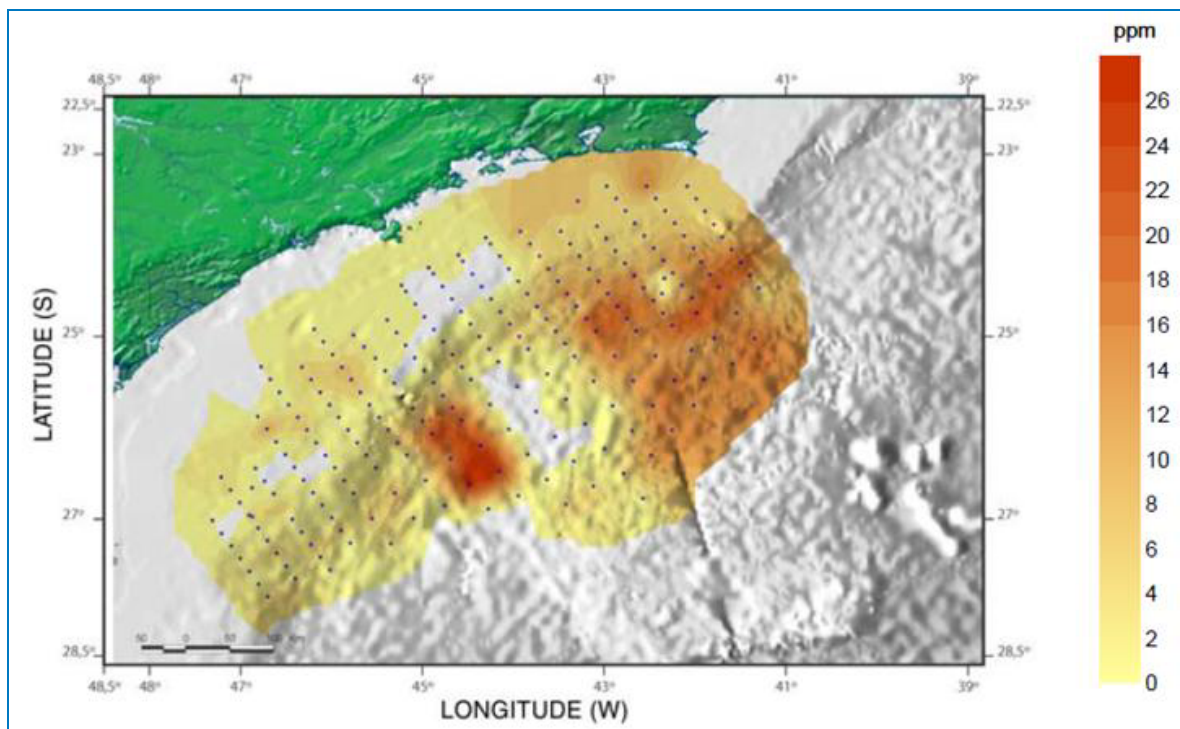
**Figura II.5.1.3-44** - Concentrações de chumbo ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) encontradas no sedimento da Bacia de Santos.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2003.

## Cobre

O cobre apresenta uma dinâmica influenciada por outros fatores do meio, segundo Lima *et al.* (2006), o Cu possui menor solubilidade em ambientes redutores do que em ambientes oxidantes, desta maneira uma pequena variação no pH e a presença de sulfato permitem com que esse metal traço seja depositado no sedimento de fundo.

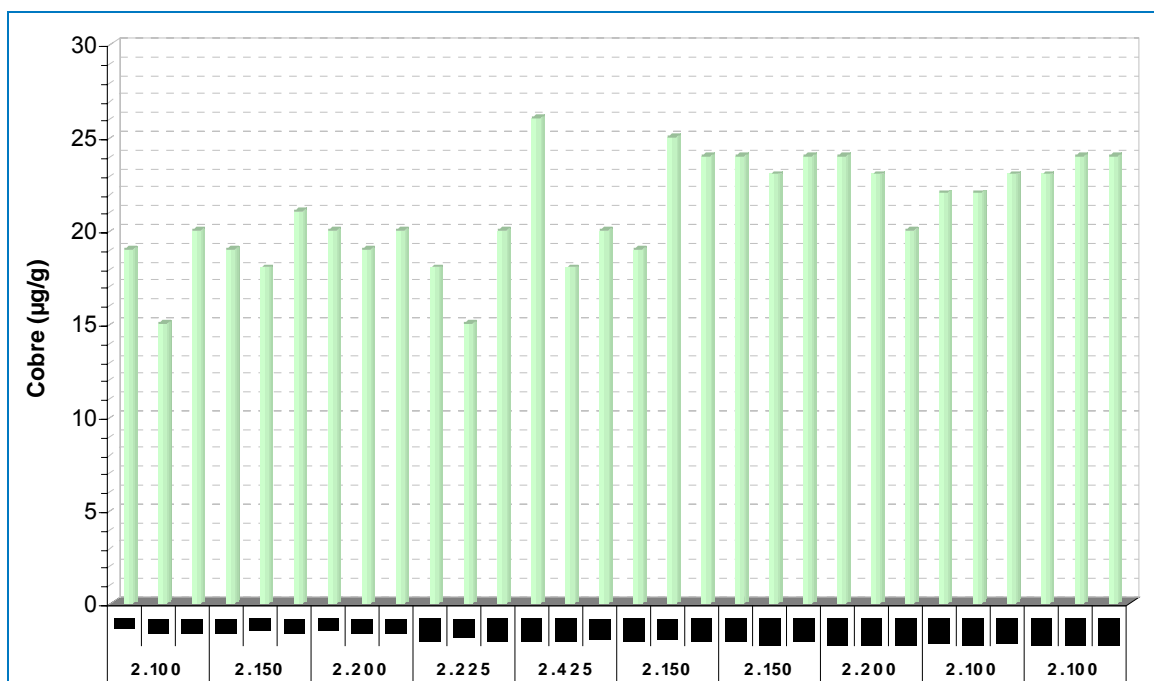
A concentração média de cobre na caracterização da Bacia de Santos foi de  $5,7 \pm 6,90 \mu\text{g.g}^{-1}$ , com uma tendência a maiores valores nas partes norte e central da bacia (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) (**Figura II.5.1.3-45**).



**Figura II.5.1.3-45 - Variação Espacial do Cobre na Bacia de Santos.**

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

Na região ultraprofunda a média foi de  $21 \pm 1 \mu\text{g.g}^{-1}$  (**Figura II.5.1.3-46**), com distribuição relativamente homogênea entre as estações (PETROBRAS/HABTEC, 2003).



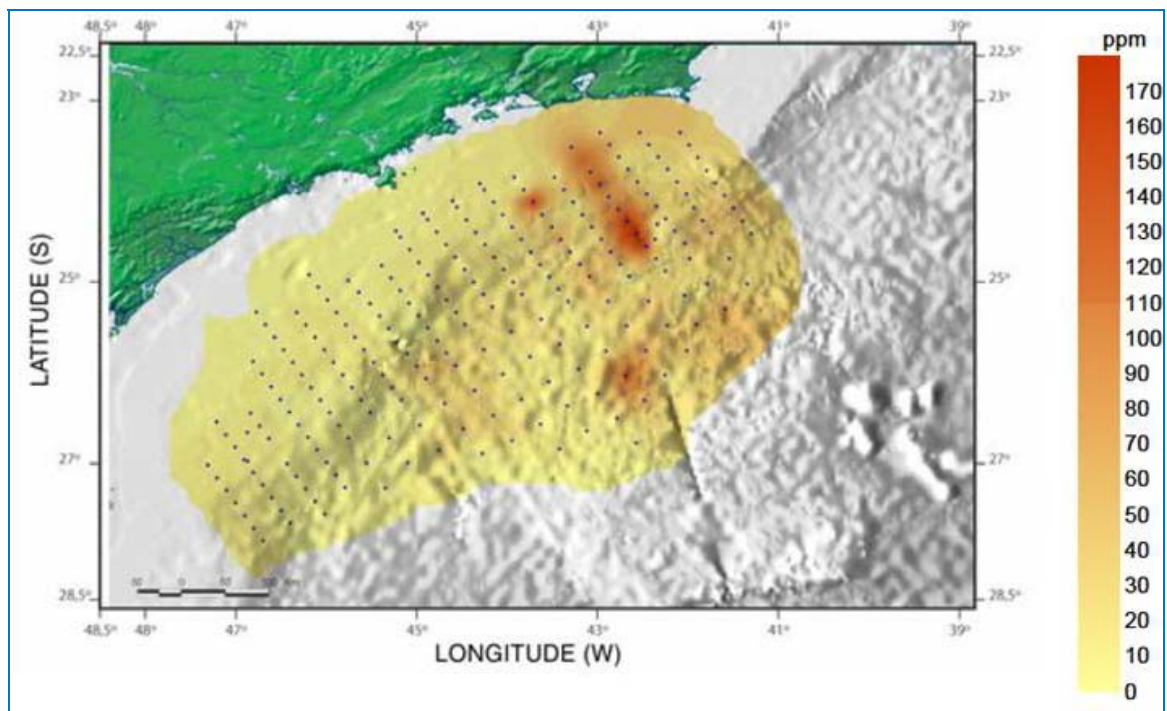
**Figura II.5.1.3-46** - Concentrações Cobre ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) encontradas no sedimento da Bacia de Santos.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2003.

### Vanádio

O vanádio, do mesmo modo que o níquel, é adotado como indicador de descartes de óleos em ambientes marinhos. A fixação deste metal em sedimentos superficiais é determinada, sobretudo, pela presença de óxidos/hidróxidos, carbonatos e silicatos de Ferro e Manganês (FORSTNER e WITTMANN, 1983; MOORE e RAMAMOORTHY, 1984).

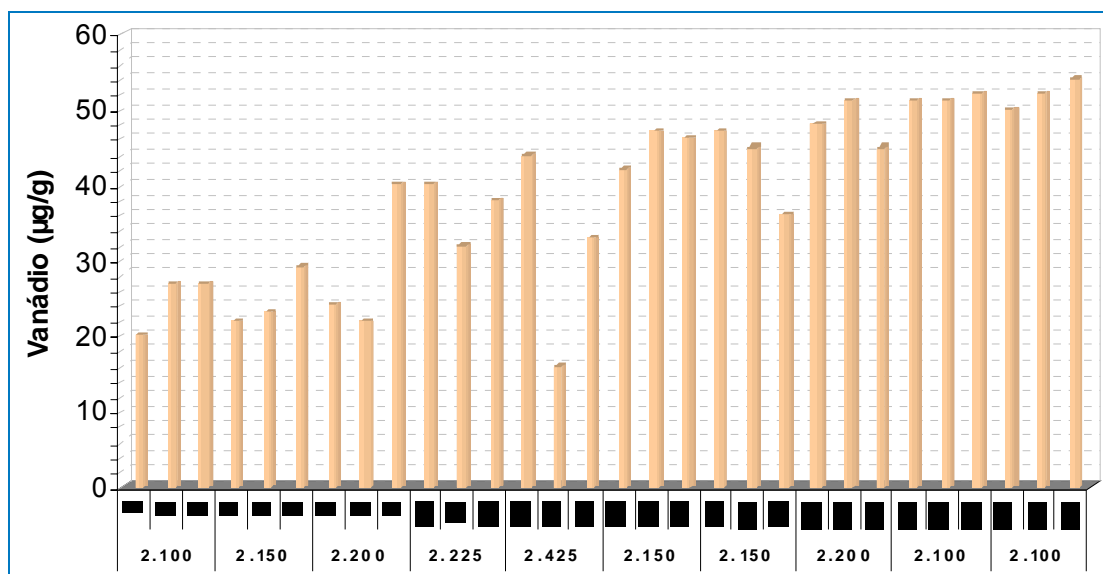
Os dados da caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) apresentam concentrações de vanádio em torno de  $26,01 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Ocorreram concentrações máximas da ordem de  $160 \mu\text{g.g}^{-1}$ , na região da plataforma continental em frente à Baía de Guanabara (**Figura II.5.1.3-47**).



**Figura II.5.1.3-47 - Variação Espacial do Vanádio na Bacia de Santos.**

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

A distribuição deste elemento se mostra coincidente com a do Níquel, observação de extrema importância, visto que a presença concomitante destes dois elementos está relacionada a impactos de descartes de óleo. No estudo realizado pela PETROBRAS/HABTEC (2003), também foi observada esta sobreposição e concordância entre a distribuição do Vanádio, cuja a concentração média foi de  $38 \pm 4 \mu\text{g.g}^{-1}$  (**Figura II.5.1.3-48**).



**Figura II.5.1.3-48** - Concentrações Vanádio ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) encontradas no sedimento da Bacia de Santos.

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

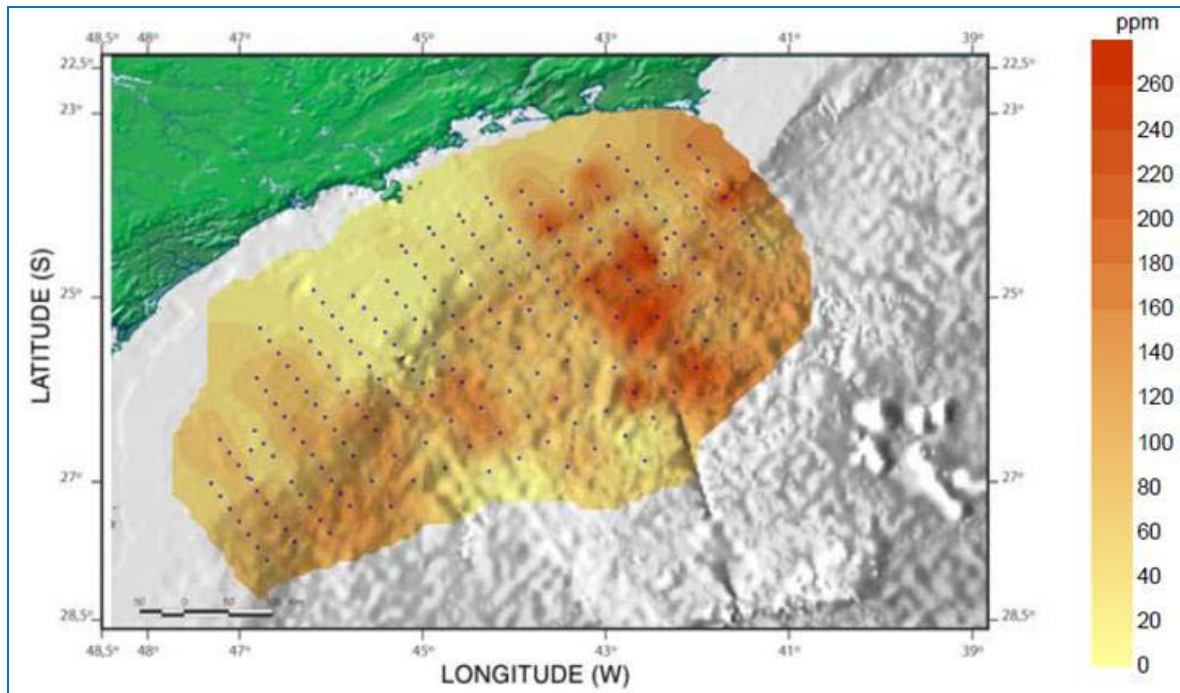
### Cádmio

As amostras analisada para a caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) em sua maioria apresentaram concentrações de Cádmio abaixo do limite de detecção do método, os resultados oscilaram entre 0,2 a 0,5  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . O mesmo ocorreu no estudo PETROBRAS/HABTEC (2003), nas amostras utraprofundas da Bacia de Santos, as concentrações de cádmio estiveram abaixo do limite de detecção do método (0,2  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ).

### Bário

O levantamento realizado na região ultraprofunda da Bacia de Santos indicou concentração média de Bário de  $124 \pm 18 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Enquanto que na Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002)- **Figura II.5.1.3-49** - o teor médio deste elemento no conjunto amostrado foi de  $88,87 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  com um enorme desvio padrão de  $59,11 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Percebe-se que os valores apresentaram grande variação por toda área.





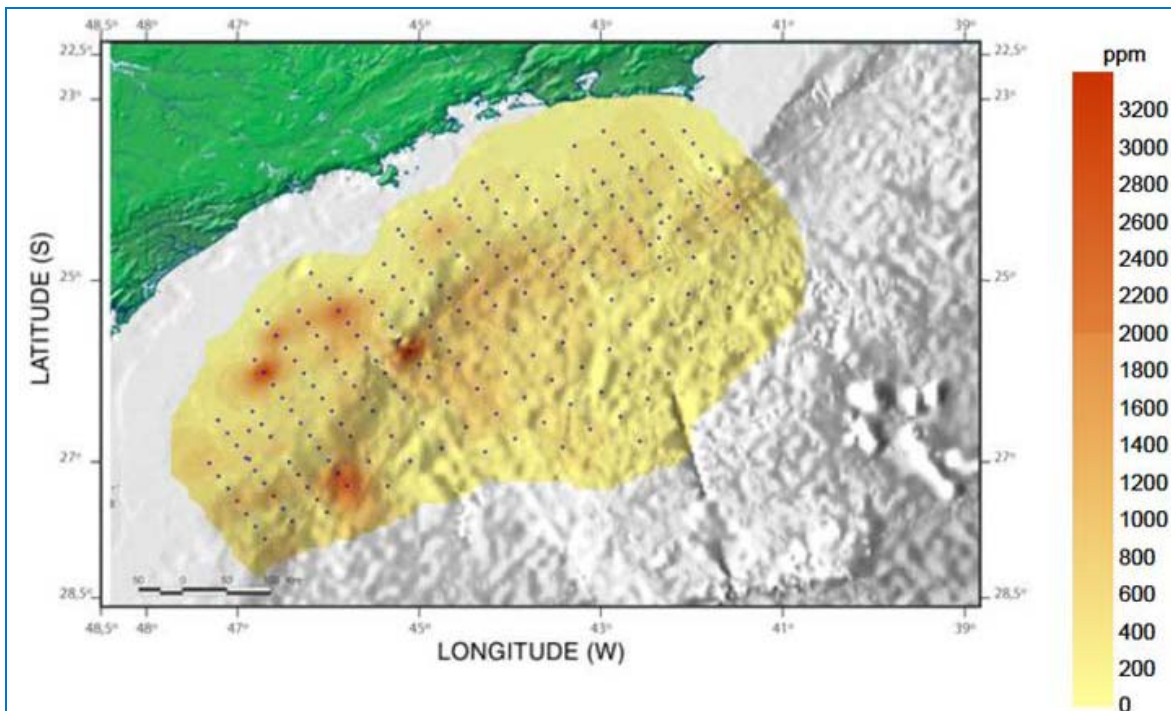
**Figura II.5.1.3-49 - Variação Espacial do Bário na Bacia de Santos.**

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

A apuração das concentrações naturais de Bário é de grande importância visto que o Bário é um bom indicador da presença de metais dissolvidos na água de produção (PATIN, 1999), porém, a interpretação dos resultados há de ser cautelosa visto que este metal faz parte da composição da argila do sedimento marinho (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002).

### **Manganês**

A concentração média de Manganês na região ultraprofunda da Bacia de Santos foi de  $602 \pm 30 \mu\text{g.g}^{-1}$  (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Na caracterização de toda a Bacia (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) este elemento apresentou teor médio de  $540,75 \mu\text{g.g}^{-1}$  e não foi possível notar relação entre as profundidades de amostragem (**Figura II.5.1.3-50**). Assim como o ferro, o manganês é um elemento muito associado ao tipo de sedimento presente na região, e a sua variação está fortemente relacionada com a granulometria da área.



**Figura II.5.1.3-50** - Variação Espacial do Manganês na Bacia de Santos.

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

#### **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**

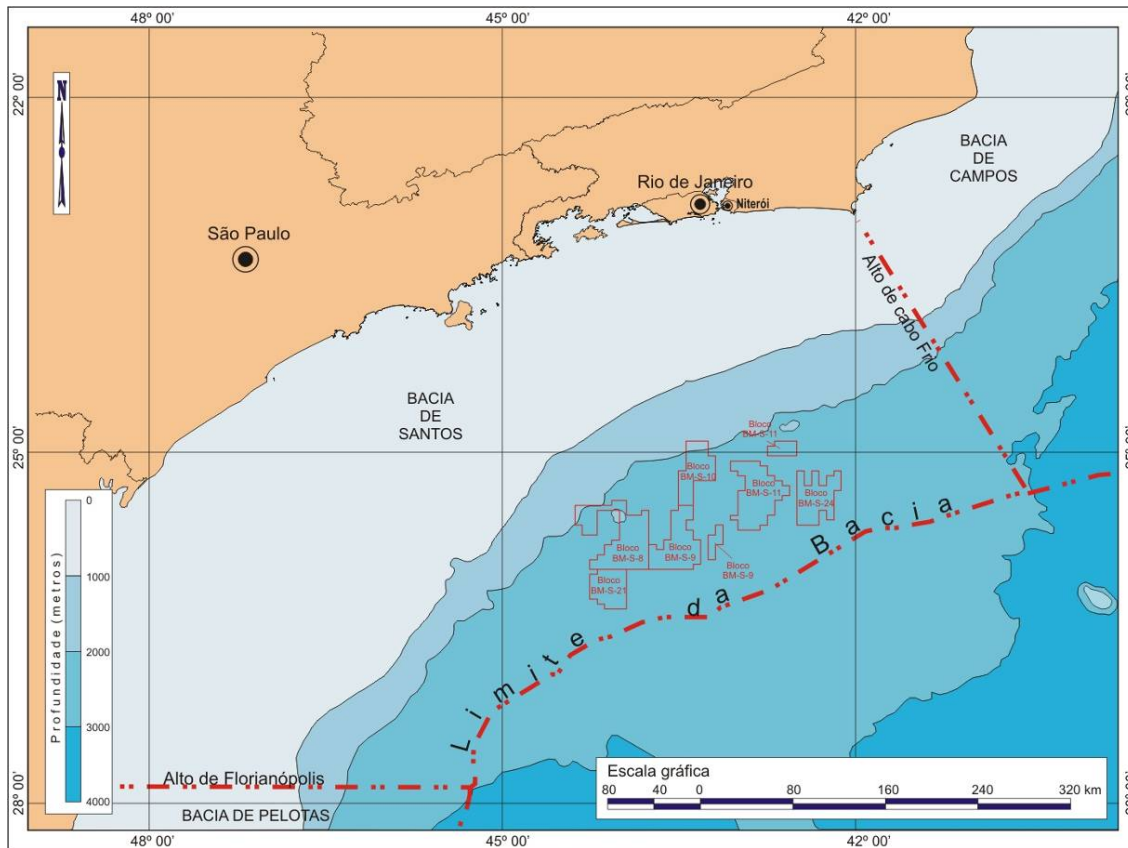
A Bacia de Santos situa-se na porção sudeste da margem continental brasileira, em frente aos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina (**Figura II.5.1.4-1**), abrangendo uma área de aproximadamente 352.260 km<sup>2</sup> (ANP, 2002). Seu limite norte é o Arco de Cabo Frio, que a 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 200.000 km<sup>2</sup> (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.



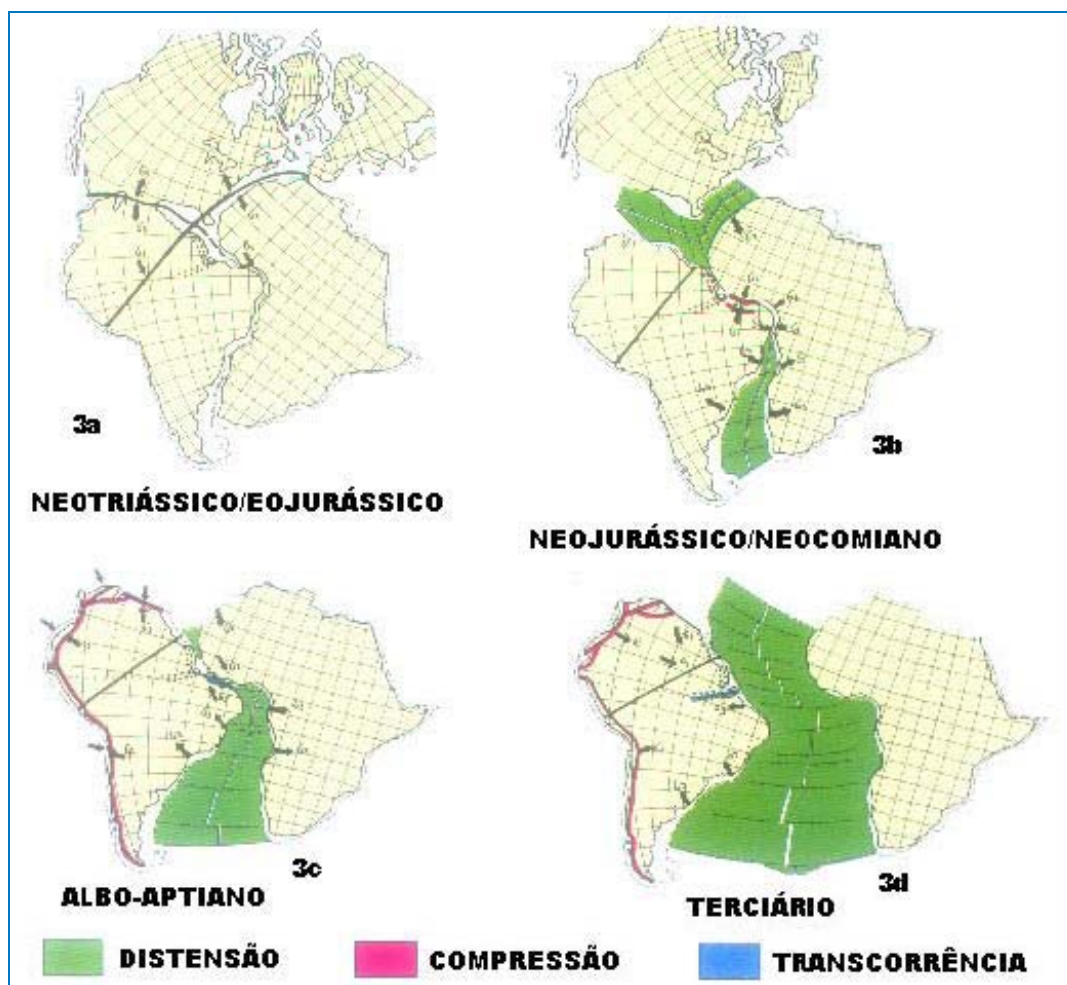
**Figura II.5.1.4-1** - Área abrangida pela Bacia de Santos.

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.5.1.4-2**).

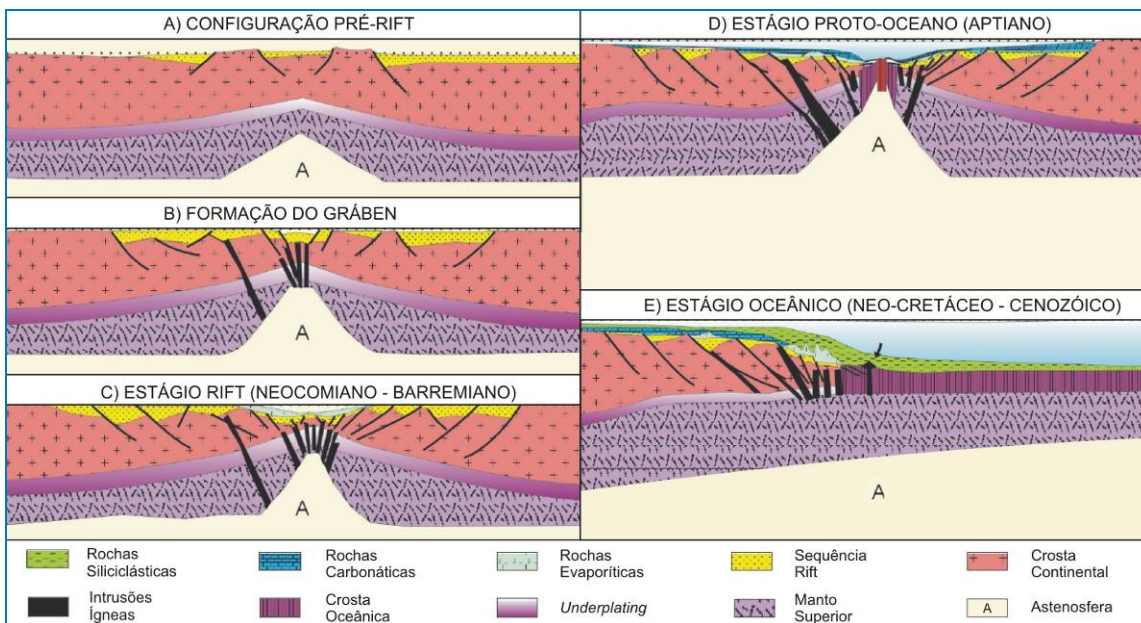




**Figura II.5.1.4-2 - Evolução do processo de abertura do Atlântico Sul.**

Fonte: Modificado de Viro (1985).

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.5.1.4-3**), 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.5.1.4-3 - 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 soergimento crustal com idade Neopermiana, prolongando sua evolução até o Neojurássico. O modelo conceitual para esta fase admite um pequeno soergimento 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 *riffts*, 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 *riffts* locais por movimentação do embasamento (ASMUS & PORTO, *op. cit.*; MOHRIAK & MAGALHÃES, 1993).

Na passagem do Cretáceo para o Terciário, o fluxo 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. 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 lítrica.

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.

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).

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.

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-SW, 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).

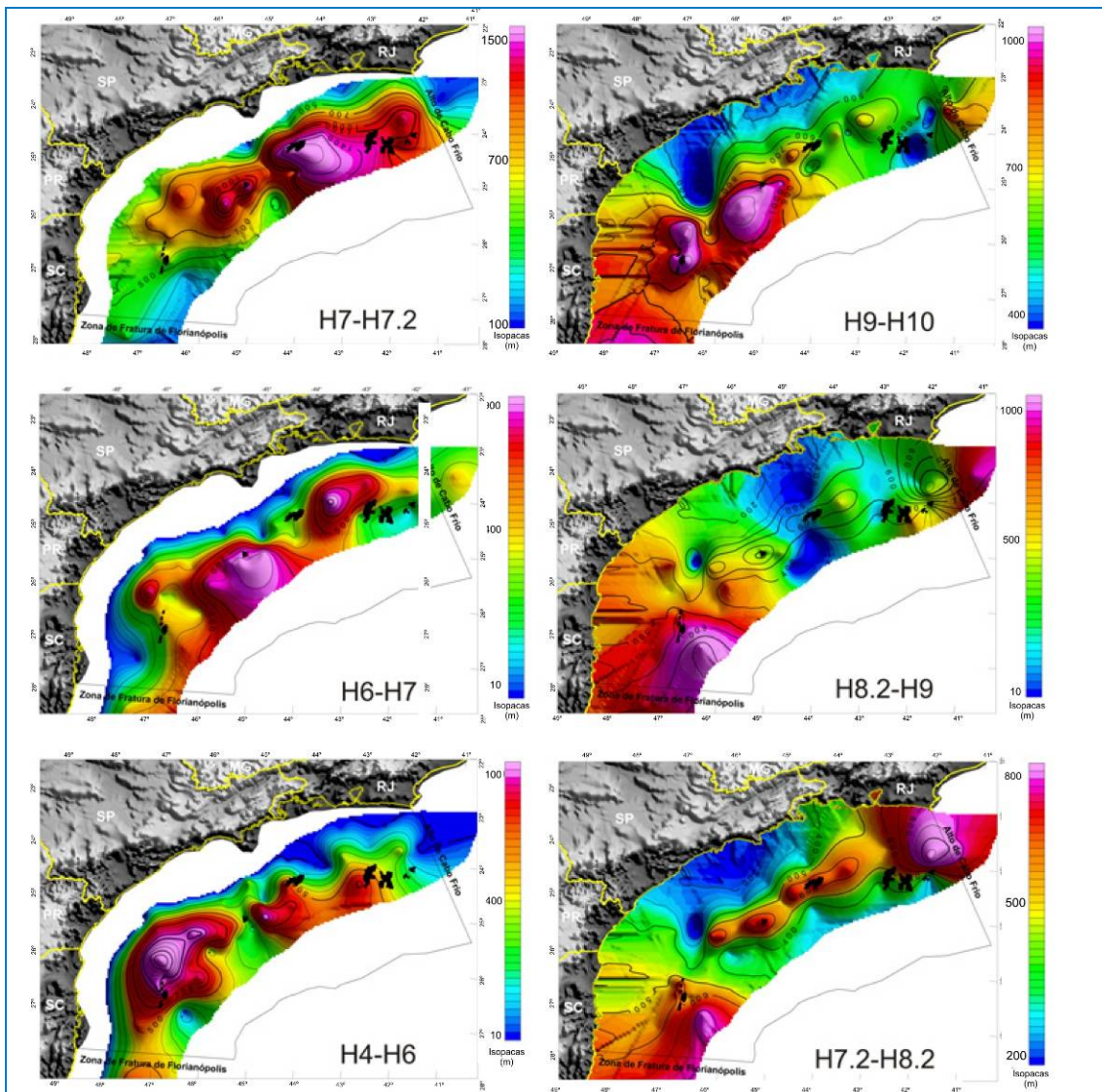
Já o platô de São Paulo é uma feição resultante de uma deformação da crosta e do manto superior (GUIMARÃES *et al.*; 1982; KOWSMANN *et al.*, 1982; GORINI & CARVALHO, 1984; MACEDO, 1990; ALVES *et al.* 1997). Esta feição é bastante ampla, se estendendo desde a base do talude continental, numa profundidade 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.*).

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).

ASSINE *et al* (2008) com base nos mapas de isópacas e perfil de poços, mostraram claramente migração dos depocentros para nordeste no Neo-Cretáceo, em direção a Bacia de Campos, onde a seção terciária é melhor desenvolvida. Na parte norte da Bacia de Santos, a seção terciária inferior é caracterizada pela existência de proeminentes progradações deltaicas associadas a sistemas turbidíticos.

Na parte sul da bacia foi identificado outro importante depocentro terciário, onde sistemas de águas profundas foram reconhecidos em seções sísmicas, ainda não perfurados. O reconhecimento do caminho da migração dos depocentros é um importante guia geológico para a exploração de óleo e gás, porque permite interpretações acerca da idade da formação de rochas reservatório e do tempo de migração dos hidrocarbonetos (**Figura II.5.1.4-4**).





**Figura II.5.1.4-4** - Mapas de isópacas de diferentes seqüências da Bacia de Santos, mostrando: a) migração dos depocentros para nordeste no Cretáceo superior (H4 – H7.2); b) definição de um depocentro alongado NE/SW na parte central da bacia, que se torna proeminente na porção norte da bacia, no intervalo Paleoceno /Oligoceno inferior H7.2 – H8.2); c) implantação de importante depocentro terciário na porção sul da bacia (H7.2 – H10).

Fonte: Modificado de ASSINE et al (2008).

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

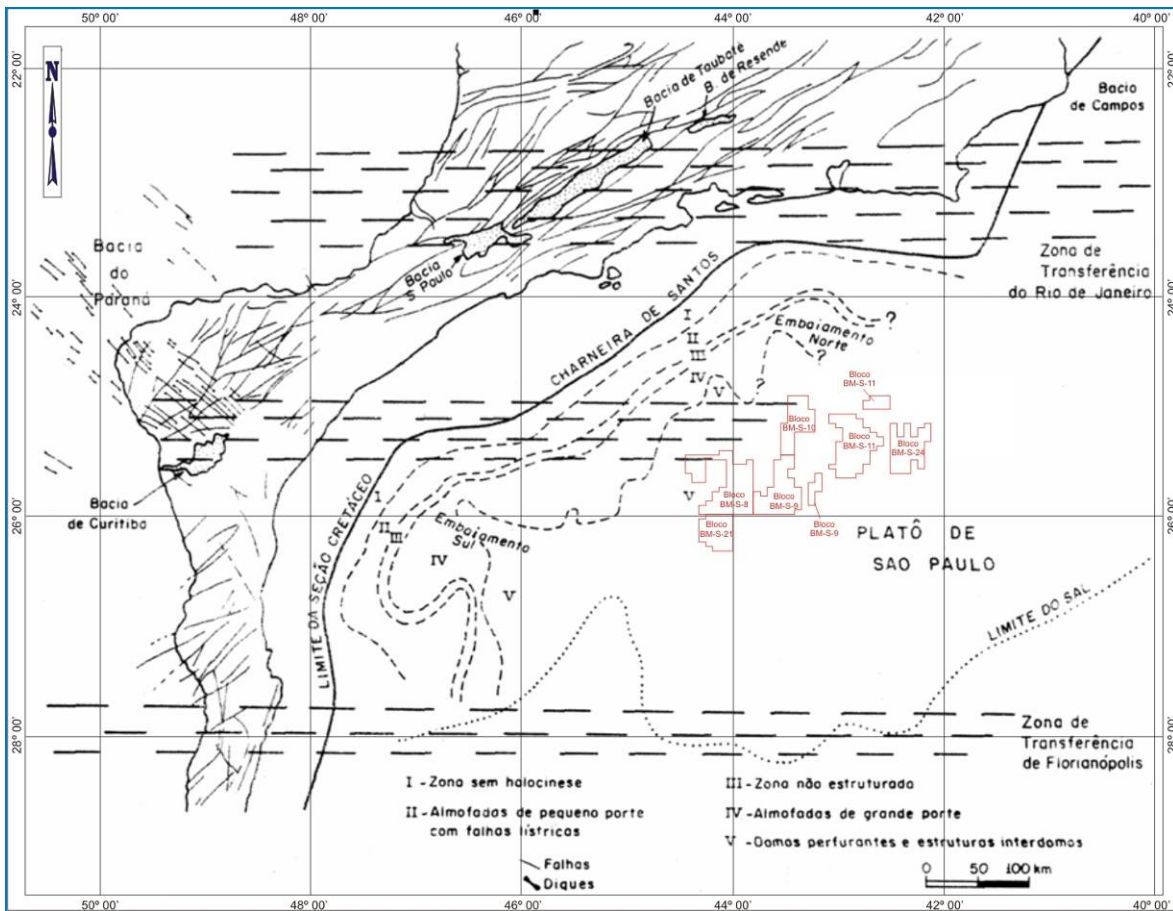


cabo Frio a norte e Alto de Florianópolis a sul, são caracterizados pela ocorrência de rochas ígneas intrusivas e extrusivas (Fm. Cabo Frio e Fm. Camboriú).

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 progradantes 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.5.1.4-5**.



**Figura II.5.1.4-5 - Zonas Salíferas na Bacia de Santos.**

Fonte: Modificado de PEREIRA & MACEDO (1990).

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 km<sup>2</sup>, que possuem forma assimétrica e, em geral, a presença de falhas lístricas associadas a um dos flancos (*salt rollers*).

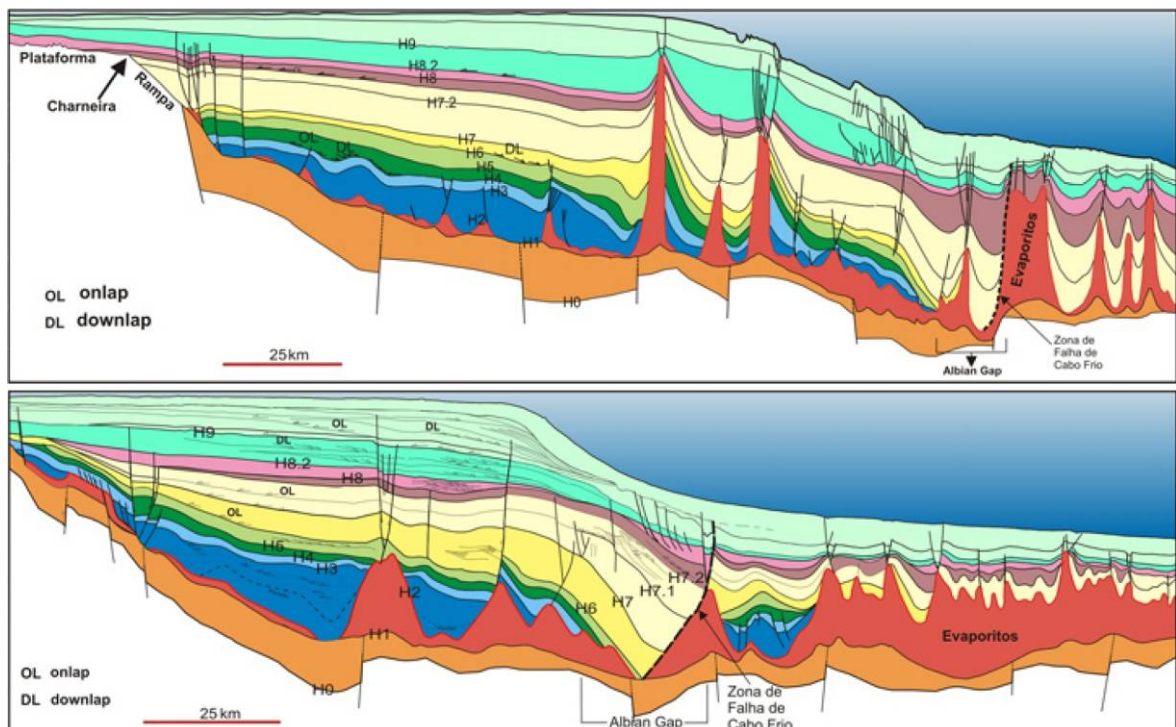
A Província III apresenta situação semelhante à Província I, onde é comum a ausência de evaporitos, principalmente nas porções central e sul da bacia.

A Província IV apresenta almofadas de grande porte com dimensões que variam entre 20 e 50 km<sup>2</sup>. É rara a presença de falhas associadas a estas estruturas.

A Província V apresenta domos e muralhas perforantes, 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.*).

A área prevista para implementação dos Projetos Integrados de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural no Pólo Pré-Sal, Bacia de Santos está inteiramente situado na província V, apresentando notável continuidade lateral conforme pode ser observado nas seções estratigráficas a seguir (**Figura II.5.1.4-6**).



**Figura II.5.1.4-6** - Seções sísmicas da Bacia de Santo na região do Pólo do Pré-Sal..

Fonte: Modificado de ASSINE *et al* (2008).

## **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.

Moreira *et al* (2007), 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 Moreira *et al* (2007) pode ser visualizada na **Figura II.5.1.4-7** e na **Figura II.5.1.4-8**, com seus elementos litoestratigráficos, bioestratigráficos e geocronológicos.

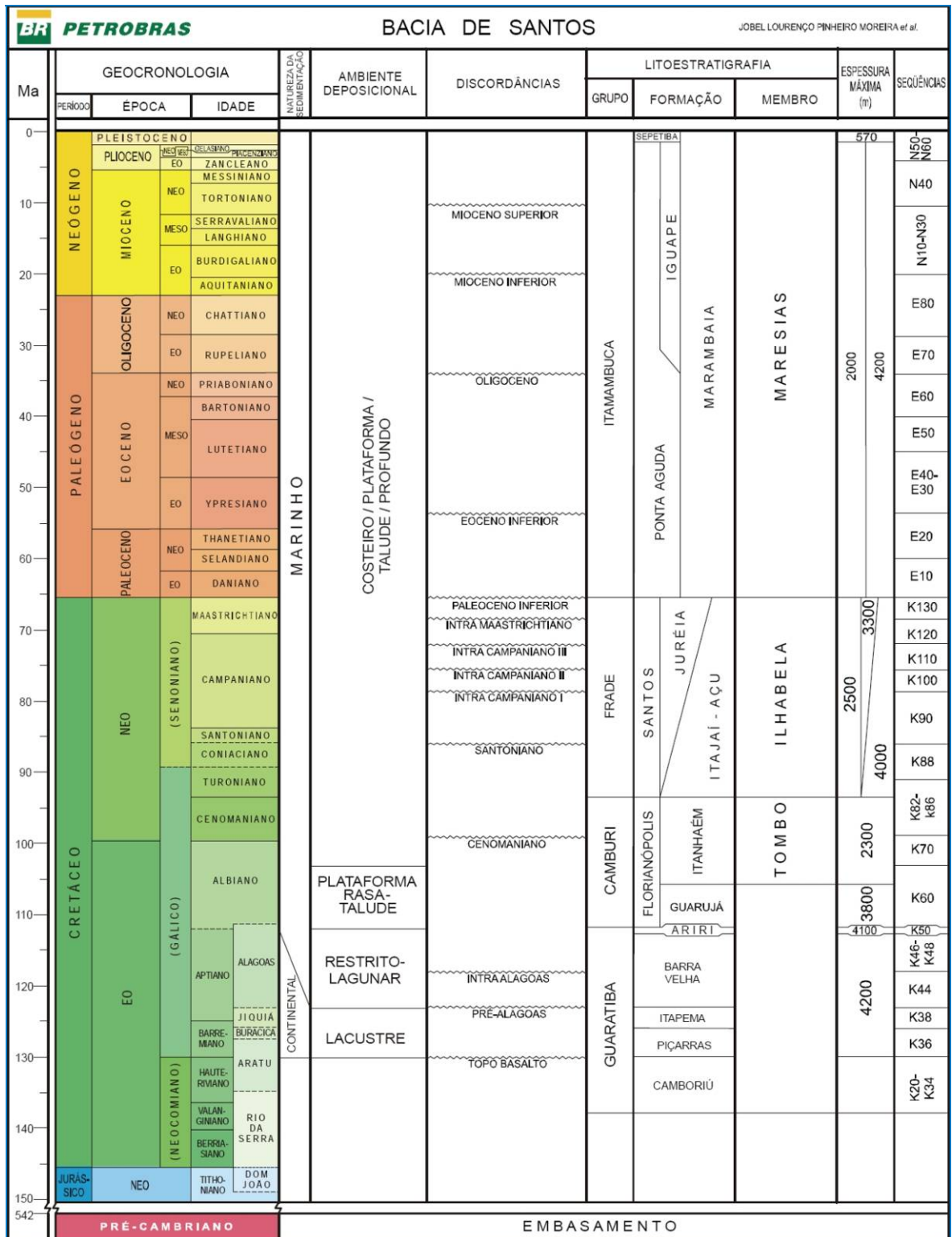


Figura II.5.1.4-7 - Coluna estratigráfica esquemática da Bacia de Santos.

Fonte: Moreira et al (2007).



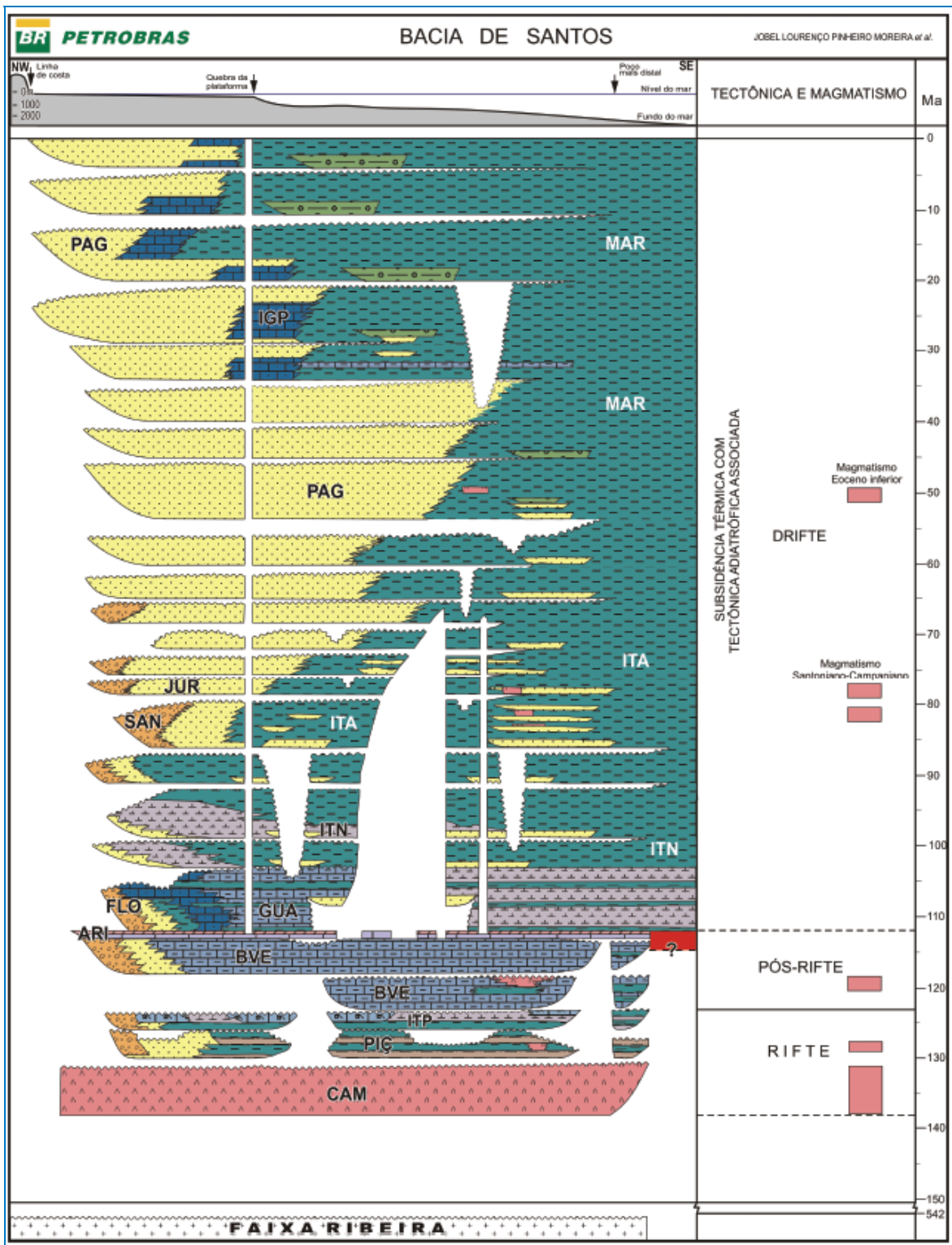


Figura II.5.1.4-8 - Coluna estratigráfica esquemática da Bacia de Santos.

Fonte: Moreira et al (2007).



De acordo com os referidos autores, a primeira seqüência mapeada da *Seqüência Rift*, equivale à porção basal do Grupo Guaratiba que é composta pelos derrames basálticos neocomianos da Formação Camboriú, seguidos pelos leques aluvionais continentais barremianos das Formações Piçarras e Itapema.

A transição 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. Recobrimdo 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

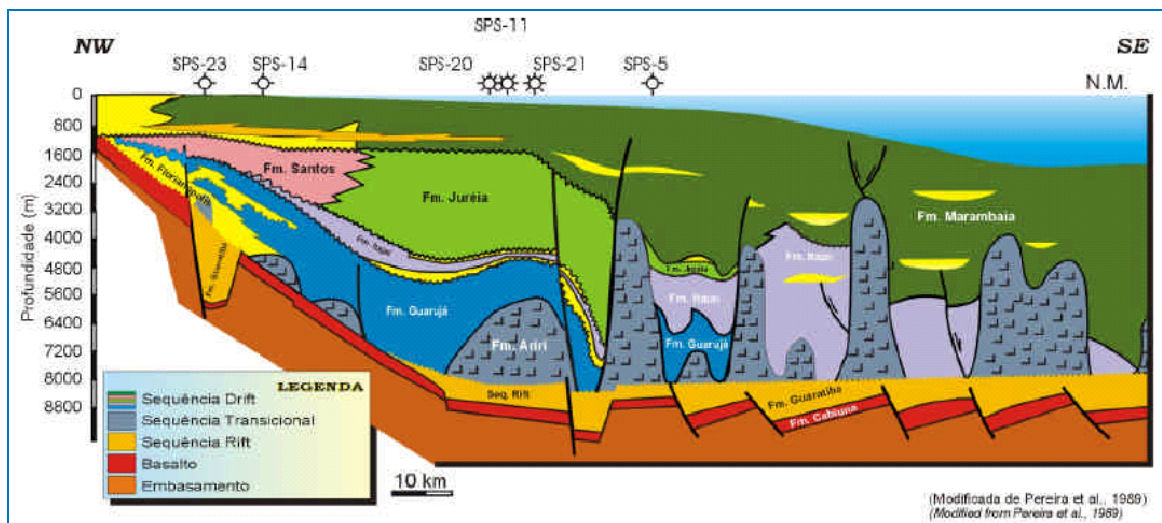
variação faciológica, do proximal para o distal, em uma bacia costeira de mar aberto subordinada a um regime de transgressão marinha. Diferentemente das demais bacias brasileiras, essa fase essencialmente transgressiva da Bacia de Santos foi interrompida no Albiano, com a ocorrência de quatro episódios 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.5.1.4-9**.



**Figura II.5.1.4-9 - 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.

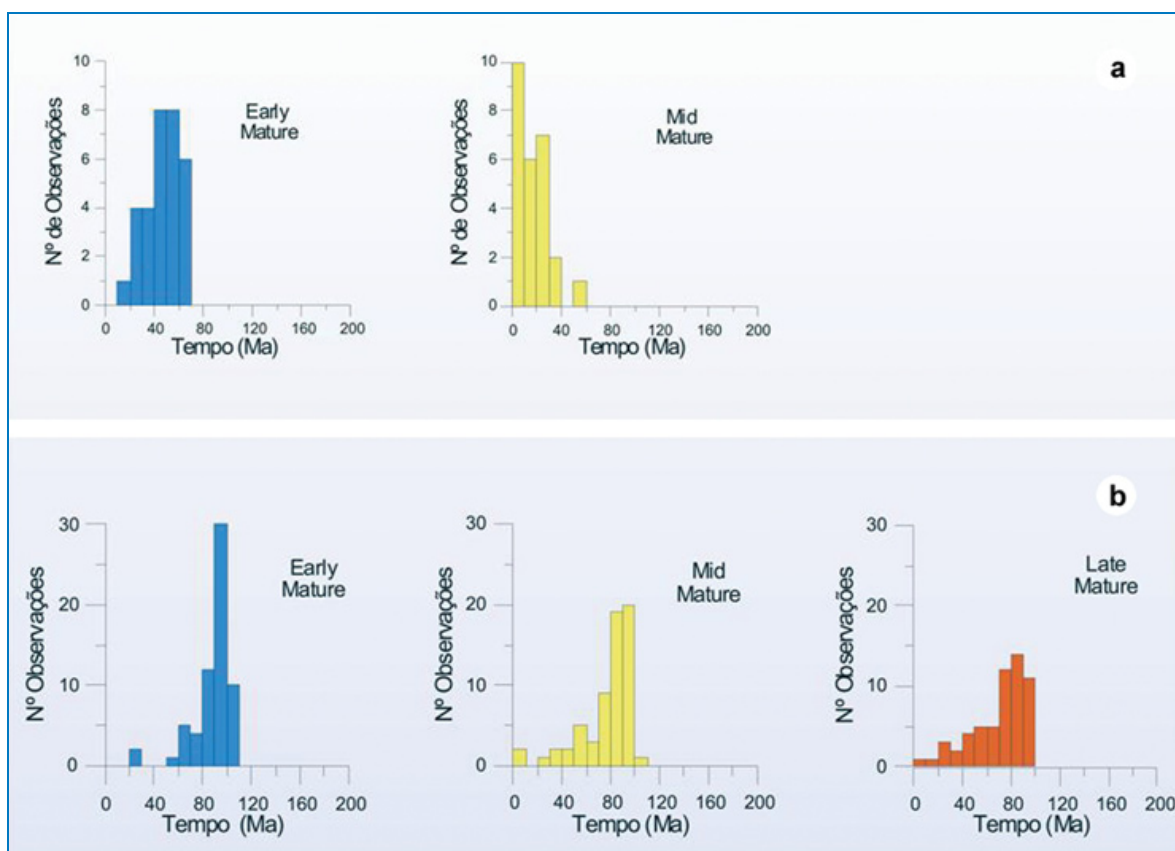
### **Sistema Petrolífero**

Segundo CHANG et al, 2008, na Bacia de Santos a acumulação de sedimentos ocorreu inicialmente em condições flúvio-lacustres, passando posteriormente por estágio de bacia evaporítica posteriormente evoluindo para uma bacia de margem passiva. A análise do potencial do sistema petrolífero da bacia possibilitou identificar dois sistemas petrolíferos: Guaratiba-Guarujá e Itajaí-Açu-Ilhabela.

A Formação Guaratiba, se apresenta como a principal geradora, ainda que pouco conhecida na bacia devido à existência de poucos poços. Por analogia à congênere e vizinha Bacia de Campos, os óleos de origem salina foram gerados a partir de rochas depositadas em ambiente lacustre salino durante o Aptiano.

Sendo esta analogia confirmada pelas análises de amostras de óleo de alguns poços. Nestas análises também foi identificada a contribuição de óleo de origem marinha, indicando que a rocha geradora Itajaí-Açu (Cenomaniano-Turoniano) está na janela de geração, especialmente nos baixos estruturais gerados pela halocinese.

Com base em modelagens numéricas multidimensionais da maturidade termal da Bacia de Santos, CHANG et al (2008) apontam o intervalo de 70 a 90 Ma como o pico máximo da geração e expulsão de hidrocarbonetos provindos da Formação Guaratiba (fase sin-rifte III). Porém as rochas da Formação Guaratiba não entraram na janela de geração de óleo de maneira uniforme, devido a sua grande extensão geográfica, podendo a geração ter-se estendido até o Paleoceno (Figura II.5.1.4-10).



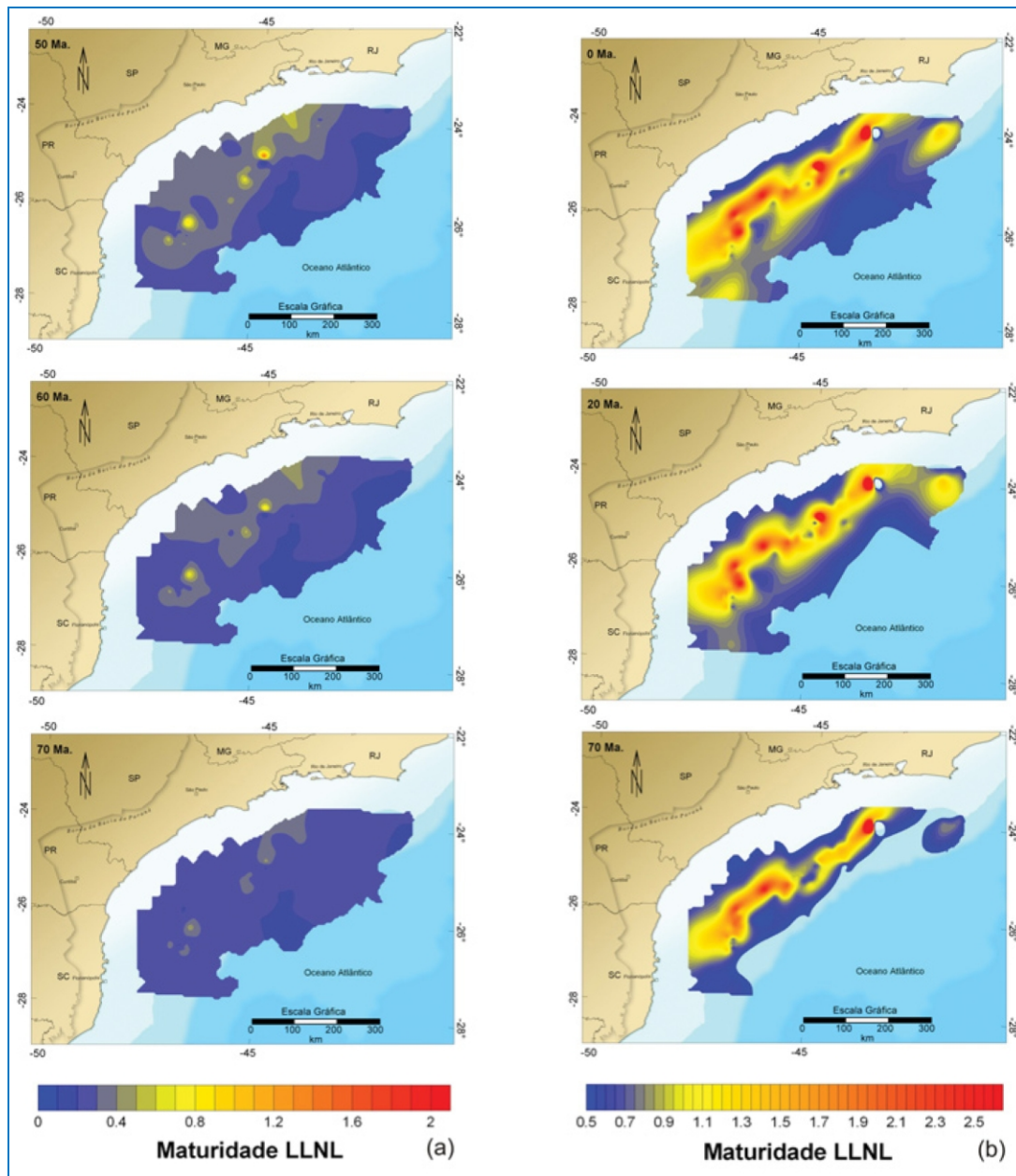
**Figura II.5.1.4-10 - Distribuição temporal da maturação. a) gerador Itajaí-Açu. b) gerador Guaratiba. Early Mature corresponde ao estágio inicial de maturação ( $0.5 < Ro\% < 0.7$ ). Mid Mature corresponde ao pico de maturação ( $0.7 < Ro\% < 1.0$ ). Late Mature corresponde à fase final de geração ( $1.0 < Ro\% < 1.3$ ).**

Fonte: CHANG et al (2008).

Os mapas de maturação para a seção rift indicam que a geração teve início no Neo-Albiano/Eo-Cenomaniano, em calha alongada de direção NE, que com o passar do tempo foi se estendendo tanto em sentido às águas rasas como às



águas profundas (Figura II.5.1.4.A-10). Já ao final do Cretáceo, a área com potencial de geração de hidrocarbonetos ocupava uma parte significativa da bacia, sendo coincidente com as maiores espessuras da seqüência pós-rifte.



**Figura II.5.1.4-11** - Mapas temporais de maturidade da rocha geradora obtidos a partir de modelagens numéricas. (a) Mapas de maturidade da Formação Itajaí-Açu. (b) Mapas de maturidade da Formação Guaratiba.

Fonte: CHANG et al (2008).



Os modelos de acumulação consideram Formação. Guaratiba como o principal gerador de hidrocarbonetos para reservatórios calcareníticos plataformais da Formação Guarujá e turbiditos (desde Albiano Superior até o Mioceno), bem como siliciclásticos e carbonáticos da fase rifte. A migração ocorre através de falhas, janelas de sal e *carrierbeds*.

O selo é formado por folhelhos e calcilitos intraformacionais, além da espessa camada de evaporitos que pode contribuir como selo para a seção rifte, especialmente em águas profundas. A grande espessura das seções do Cretáceo Médio e Superior é responsável pela sobrecarga, contribuindo significativamente para a geração e expulsão de hidrocarbonetos neste período. As trapas são do tipo estruturais (rollovers e casca-de-tartaruga), estratigráficas (pinch-outs de corpos arenosos) e mistas (pinch-outs de turbiditos contra a parede de domos salinos).

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.

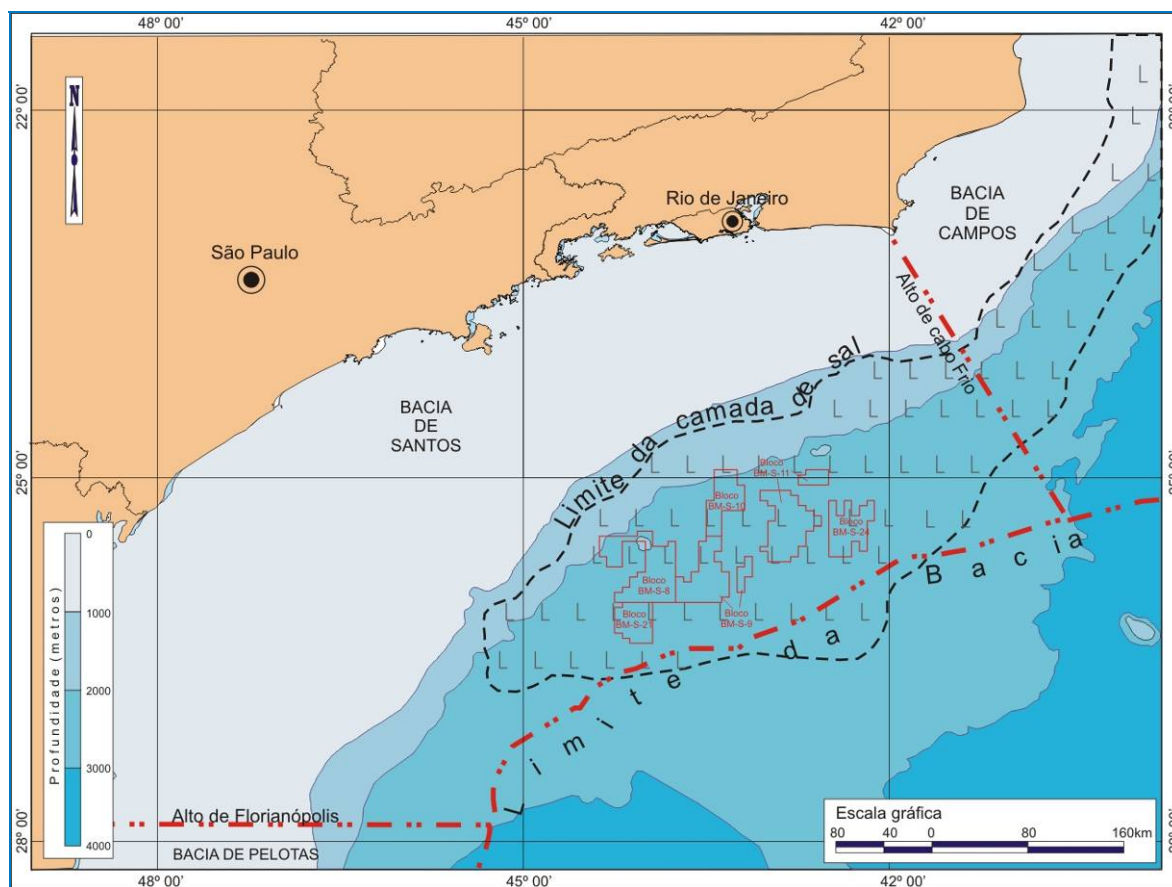
- Campo de Caravela - 17 km ao sul de Estrela do Mar - Óleo leve (40,2° API) e gás natural.
- Campo de Caravela Sul - 16 km ao sul de Caravela - Óleo leve (43° API) e gás.
- Campo de Mexilhão que se encontra a 165 km do litoral de Caraguatatuba (SP), possuindo profundidades d'água com cerca de 500 m. – gás natural e condensado.
- Campo de Merluzza 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.

### **Reservatórios do Pré-Sal**

Os reservatórios denominados de Pré-Sal na Bacia de Santos estendem-se por uma área com cerca de 480 km de extensão e 200 km de largura, desde o litoral de Santa Catarina até o limite com a Bacia de Campos (**Figura II.5.1.4-12**).

Esses reservatórios foram formados durante o estágio rift da bacia. Neste estágio, iniciado no Cretáceo inferior (Neocomiano), ocorreu a formação de abatimentos e conseqüentemente o surgimento de fossas tectônicas propiciando a deposição de sedimentos flúvio-deltáicos e lacustres da Formação Guaratiba, que constituem os depósitos do Pré-Sal.



**Figura II.5.1.4-12 - Localização dos reservatórios do Pré-Sal.**

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). Nesta etapa ocorreu na Bacia de Santos expressiva sedimentação evaporítica, condicionada pela presença de altos vulcânicos que causaram restrição à circulação de águas do oceano provindas de sul, e pelo clima seco e quente vigente à época. Condicionada às elevadas taxas de evaporação em relação ao influxo de água, ocorreu a deposição de espessos pacotes de sal que podem atingir espessuras de 2000 a 2500 m (Chang *et al.* 1990, Pereira & Macedo 1990).

O sistema petrolífero relacionado aos depósitos do Pré-Sal na Bacia de Santos apresenta como rochas geradoras, a porção superior da Formação Guaratiba. CHANG *et al.* (2008) correlacionam essas rochas com a Formação Lagoa Feia (Bacia de Campos), especulando que a unidade seja formada por

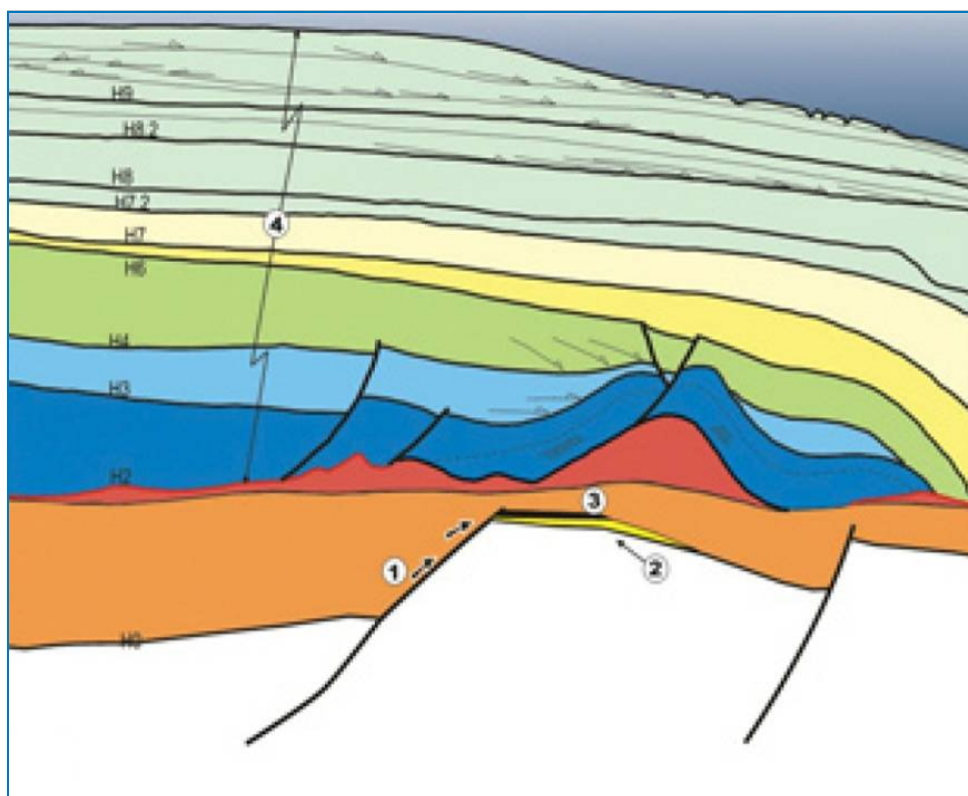
folhelhos negros laminados, intercalados com carbonatos, com espessura variando de 100 a 300 metros.

As rochas-reservatório da seção rift que constituem os depósitos do Pré-Sal do são constituídas principalmente por coquinas. Para essas rochas, a seqüência evaporítica (Formação Ariri), bem como a variação litológica das unidades da própria seção rift, que contêm intercalações de sedimentos pelíticos, constituem os principal selantes do Sistema Pré-Sal.

Os processos de migração e acumulação de hidrocarbonetos na Bacia de Santos encontram-se intimamente ligados à dinâmica da seqüência evaporítica que, por sua baixíssima permeabilidade, atuou e atua como importante condicionante ao fluxo dos hidrocarbonetos gerados na seção rift. A geometria da base do sal direcionou o fluxo criando várias redes de drenagem e vias preferenciais até áreas onde existissem “janelas” na seqüência evaporítica, permitindo que os hidrocarbonetos migrassem para cima, em sentido à seqüência pós-evaporítica (Depósitos do Pós-Sal), que constituem os depósitos atualmente explorados pela Petrobras.

O trapecamento de petróleo é predominantemente de natureza estrutural. O selo é dado por uma espessa camada de sais evaporíticos, com cerca de 2.000 metros de espessura.

Informações obtidas de interpretações de seções sísmicas indicam modelos de acumulação de hidrocarbonetos controlados por altos estruturais do embasamento (CHANG *et al*, 2008). As acumulações ocorrem em altos estruturais da seção rift (depósitos do Pré-Sal) em reservatórios predominantemente carbonáticos. As rochas geradoras estão situadas nos baixos estruturais da seção rift. A migração para as rochas reservatórios no ápice das estruturas ocorre através de camadas carreadoras (*carrier-bed*), como mostra a **Figura II.5.1.4-13**.



**Figura II.5.1.4-13** - Seção geológica esquemática mostrando o modelo de acumulação da seção rift. 1-Gerador: Folhelhos da Formação Guaratiba; 2-Reservatório: Coquinas da Formação Guaratiba; 3-Selo: Pelitos intraformacionais; 4-Soterramento.

Fonte: Chang *et al*, 2008.

### **Características Fisiográficas**

Na Área da Bacia de Santos são identificadas cinco Unidades Fisiográficas (**Mapa II.5.1.4-1**). 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.

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°. 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 350 m de largura, estando alinhados com os planos de falhas, sugerindo possivelmente um caminho preferencial para a expulsão de fluidos. 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 km<sup>2</sup>. Nesta porção as características relativas à feição de platô 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 quatros cânions que o atravessam (ZEMBRUSCKI, 1979).

Na porção sul, o platô apresenta-se bem delineado, com forma irregular, ocupando uma área de 212.350 km<sup>2</sup>, 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 (ZEMBRUSKI, *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 750 km 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 lamias 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 lamias ainda mantenham o caráter de unidade faciológica destacada.

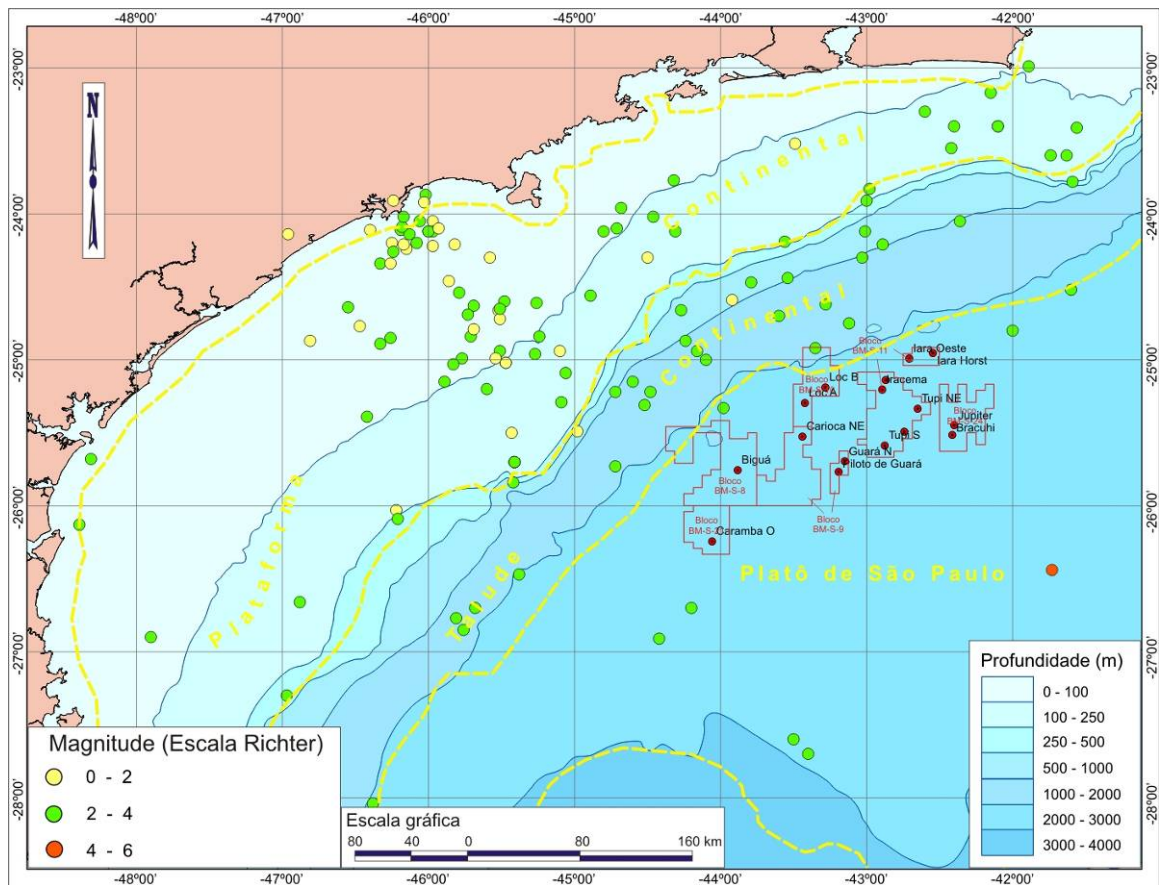
O teor de lama nos sedimentos aumenta, significativamente, à medida que se afasta da costa em direção a zonas mais profundas. Ao longo da isóbata de 70m, o teor de lama dos sedimentos de fundo já é maior do que 50%. Do mesmo modo, amostras coletadas na plataforma ao longo do estado do Paraná, apesar de poucas, sugerem um aumento gradativo no teor de CaCO<sub>3</sub> 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.

## Sismicidade

O padrão de sismicidade observado na Bacia de Santos, de acordo com os registros históricos apurados, é o padrão característico para região de intraplacas tectônicas (áreas tectonicamente pouco ativas). São de pequenas magnitudes (< 6.0), com foco (hipocentro) ocorrendo comumente a baixas profundidades (< 30 km – são considerados rasos, terremotos com focos situados entre 0 e 70 km), sendo sentidos, em função disto, apenas a poucos quilômetros do epicentro.

O mapa sismicidade (**Figura II.5.1.4-14**) apresenta a distribuição epicentral da Bacia de Santos. Nessa figura, apresentado um conjunto de eventos sísmicos com magnitudes variando entre 2,0 e 5,2 (escala Richter), pode ser observado que a maior concentração de focos epicentrais ocorre nos domínios da Plataforma Continental e Talude.





**Figura II.5.1.4-14 - Mapa de Sismicidade da Bacia de Santos.**

Fonte: IAG - USP

Considerando a imprecisão das determinações epicentrais da maioria dos sismos ocorridos, não é possível efetuar correlações seguras entre a distribuição espacial da atividade sísmica e as feições tectônicas potencialmente sísmicas existentes nessa região. Na realidade, a distribuição epicentral da sismicidade como se observa na **Figura II.5.1.4-14**, pode ser qualificada como uma atividade difusa, não permitindo qualificar as falhas e outras feições tectônicas existentes como fontes tectônicas ativas, embora se admita que os sismos de origem tectônica possam estar associados à reativação de falhas antigas.

Sismos com magnitudes elevadas têm um intervalo de recorrência bastante grande, que pode ser inferido através da distribuição temporal frequência/magnitude  $\text{Log } \Sigma N$ , com os resultados mostrados na Tabela 1:

$$\text{Log } \Sigma N = 4.40 (\pm 0.03) - 1.29 (\pm 0.04) mb$$

Onde  $\Sigma N$  é a somatória do número de sismos ocorridos anualmente na Província Sismotectônica do Sudeste com magnitudes iguais ou maiores que um determinado valor de magnitude  $m_b$ . Essa curva permite determinar o intervalo de recorrência de sismos com magnitude acumulativa (**Tabela II.5.1-28**).

**Tabela II.5.1-28** - *Frequência anual e intervalo de recorrência para sismos com magnitudes acumulativas na Província Sismotectônica do Sudeste.*

Magnitude	$M_b \geq 3,0$	$M_b \geq 3,5$	$M_b \geq 4,0$	$M_b \geq 4,5$	$M_b \geq 5,0$	$M_b \geq 6,0$	$M_b \geq 7,0$
Frequência anual	3,3884	0,7674	0,1738	0,0394	0,0089	0,0004	0,00002
Intervalo de recorrência	0,3 anos	1,3 anos	5,8 anos	25 anos	100 anos	2.000 anos	10.000 anos

O nível de atividade nas Bacias Marginais do Sudeste Brasileiro (Campos, Santos e Espírito Santo) apesar de significativo não atinge magnitudes tão elevadas, não tendo sido identificado até o presente, qualquer movimento gravitacional relacionado a sismicidade nas bacias do sudeste brasileiro ou qualquer acidente envolvendo instalações da Petrobras dispostas no solo oceânico.

### **B - Mapa Batimétrico/faciológico**

O Mapa Batimétrico/faciológico regional referente à Área do Pólo Pré-Sal, bem como as feições geomorfológicas estão apresentadas no **Mapa II.5.1.4-2** ao final dessa seção. Os mapas Batimétricos dos gasodutos Guará–Tupi, Tupi NE–Tupi e Iracema–Tupi NE, estão apresentados nos mapas **II.5.1.4-3A**, **II.5.1.4-3B** e **II.5.1.4-3C** ao final dessa seção. Os mapas Faciológicos dos gasodutos Guará–Tupi, Tupi NE–Tupi e Iracema–Tupi NE, estão apresentados nos mapas **II.5.1.4-4A**, **II.5.1.4-4B** e **II.5.1.4-4C** ao final dessa seção.

### **C - Caracterização Geológica e Geomorfológica da Região do Pólo Pré-Sal**

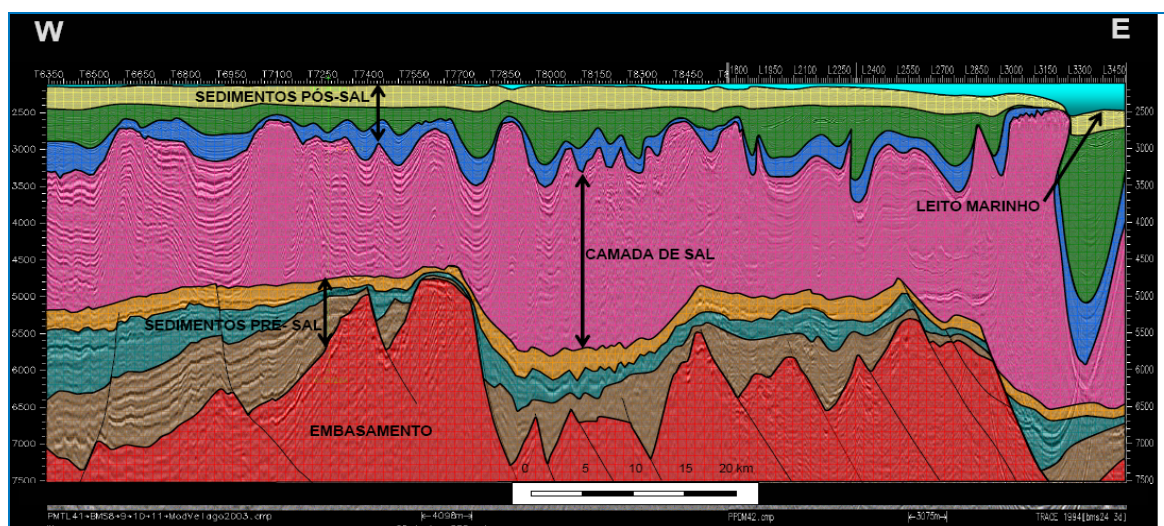
#### **Geologia Estrutural**

A região do Pólo Pré-Sal, está localizada na porção centro-norte do Platô de São Paulo próximo ao limite com o talude continental, no limite das sub-bacias denominadas de Embaiamento Norte e Embaiamento Sul, estando situada na Zona de Transferência de Curitiba (**Mapa II.5.1.4-1 e II.5.1.4-2**).

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).

O trapeamento de petróleo é predominantemente de natureza estrutural. O selo é dado por uma espessa camada de sais evaporíticos, com cerca de 2000 metros de espessura. No alto estrutural correspondente a acumulação de hidrocarbonetos da área de Tupi não são visualizadas discontinuidades da camada de sal, que poderia constituir-se em zonas de escape de hidrocarbonetos para os reservatórios superiores.

Com relação à tectônica salífera, a área está posicionada 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 (**Figura II.5.1.4-15**).



**Figura II.5.1.4-15** - Seções estratigráfica típica da área do Pólo Pré-Sal, 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 Pólo Pré-Sal, 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 calcilitos de ambiente distal (Fácies Itanhaém e Guarujá).
- Seqüência Evaporítica Aptiana (Formação Ariri).
- Calcilitos 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.

## **Descrição dos Sedimentos de Fundo**

Com base no mapa batimétrico/faciológico (**Mapa II.5.1.4-2**) e nas amostras descritas e interpretadas na literatura dessa região, pode-se observar que a região do Pólo Pré-Sal, encontra-se predominantemente no Domínio de Oceano Profundo, onde o terreno é predominantemente composto por uma sedimentação lamosa hemipelágica\*. Entende-se por lama neste estudo fração argila + silte. Esta lama tem composição variando entre rica a muito rica em carbonato (marga).

Na Área de lara (Bloco BM-S-11) o solo é composto por uma sedimentação lamosa hemipelágica (fração argila+silte). Estando os poços, lara Oeste e lara Horst inseridos nessa faciologia (**Figura II.5.1.4-16**).

Na Áreas de Tupi e Iracema (Bloco BM-S-11) o solo é composto por uma sedimentação lamosa hemipelágica (fração argila+silte). Estando os poços, Tupi Sul, Tupi Norte, Tupi Central, Tupi Alto Careca, Piloto de Tupi Nordeste, Iracema Norte e Desenvolvimento de Produção de Iracema inseridos nessa faciologia (**Figura II.5.1.4-17**).

Na área de Biguá (Bloco BM-S-8) o solo é composto por uma sedimentação lamosa hemipelágica (fração argila+silte). Estando o poço inseridos nessa faciologia (**Figura II.5.1.4-18**).

Na área de Guará (Bloco BM-S-9) o solo é composto por uma sedimentação lamosa hemipelágica (fração argila+silte). Estando os poços, Piloto Guará e Guará Norte inseridos nessa faciologia (**Figura II.5.1.4-19**).

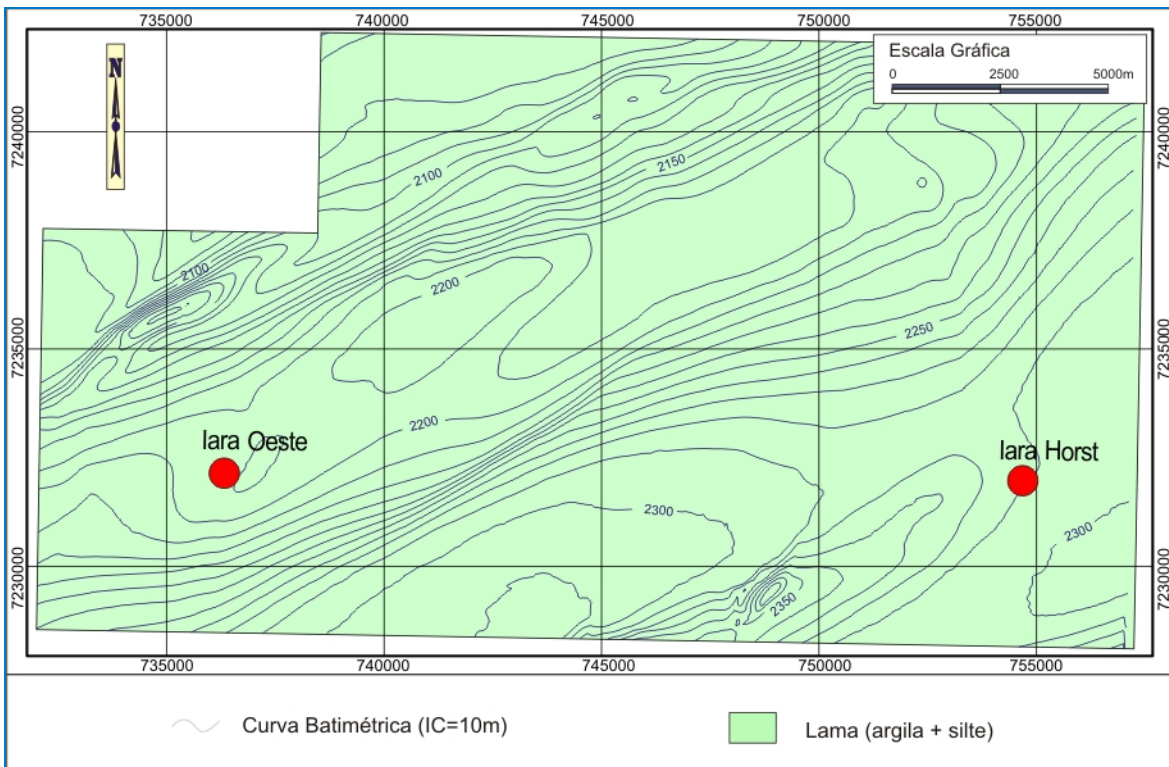
Na área do Carioca Nordeste (Bloco BM-S-9) o solo é composto por uma sedimentação lamosa hemipelágica (fração argila+silte). Estando o poço inserido nessa faciologia (**Figura II.5.1.4-20**).

Na Área de Parati- Locação A e B (Bloco BM-S-10) o solo é composto por uma sedimentação lamosa hemipelágica (fração argila+silte). Estando os poços, Locação A e B inseridos nessa faciologia (**Figura II.5.1.4-21**).

Na Área do Bloco BM-S-21 o solo é composto por uma sedimentação lamosa hemipelágica (fração argila+silte). A área do poço Carambá Oeste está inserida nessa faciologia (**Figura II.5.1.4-22**).

Na Área do Bloco BM-S-24 o solo é composto por uma sedimentação lamosa hemipelágica (fração argila+silte). As áreas dos poços Bracuhi e Júpiter estão totalmente inseridas nessa faciologia (**Figura II.5.1.4-23**).

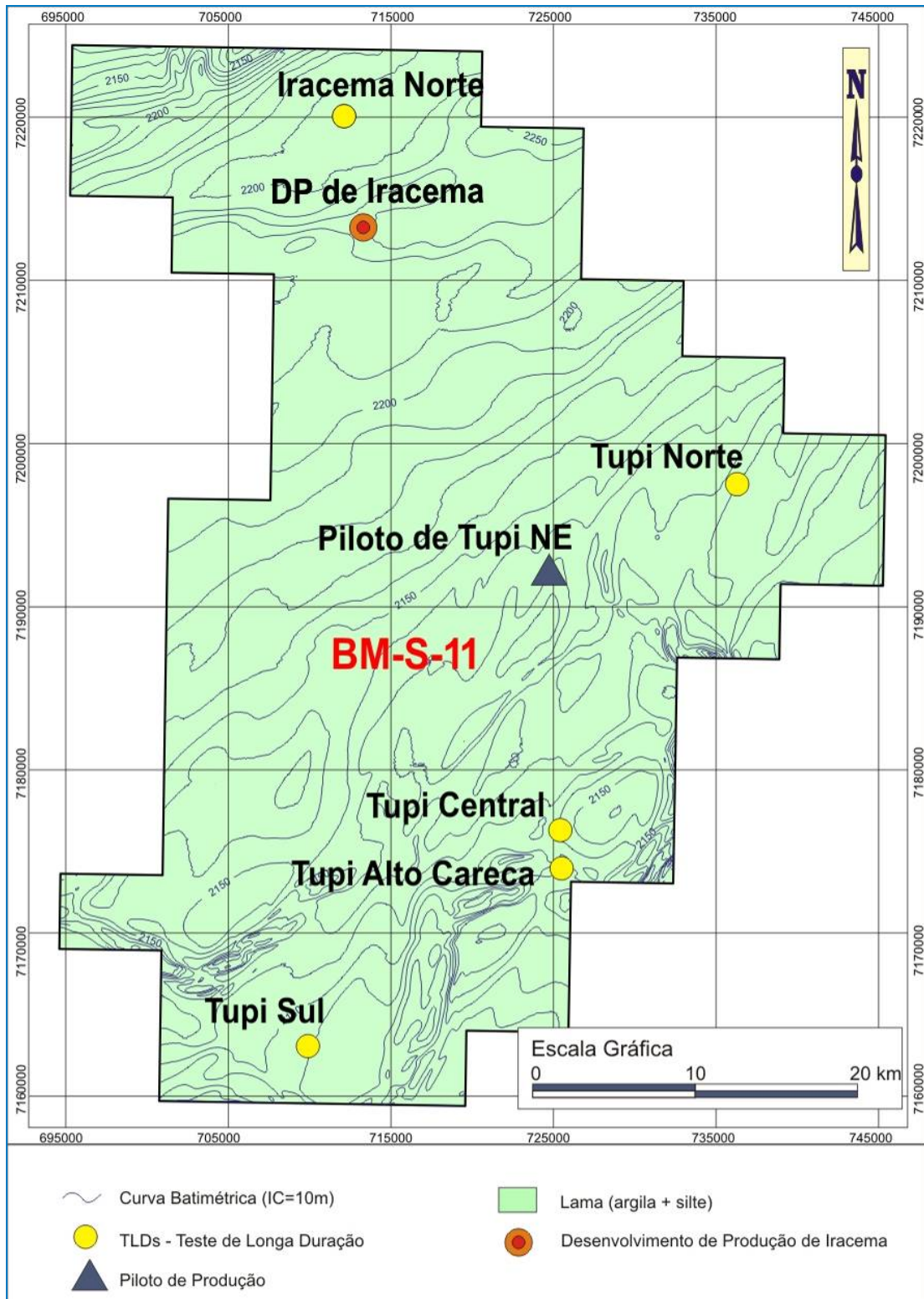




**Figura II.5.1.4-16 - Mapa faciológico local – Área de lara (Bloco BM-S-11).**

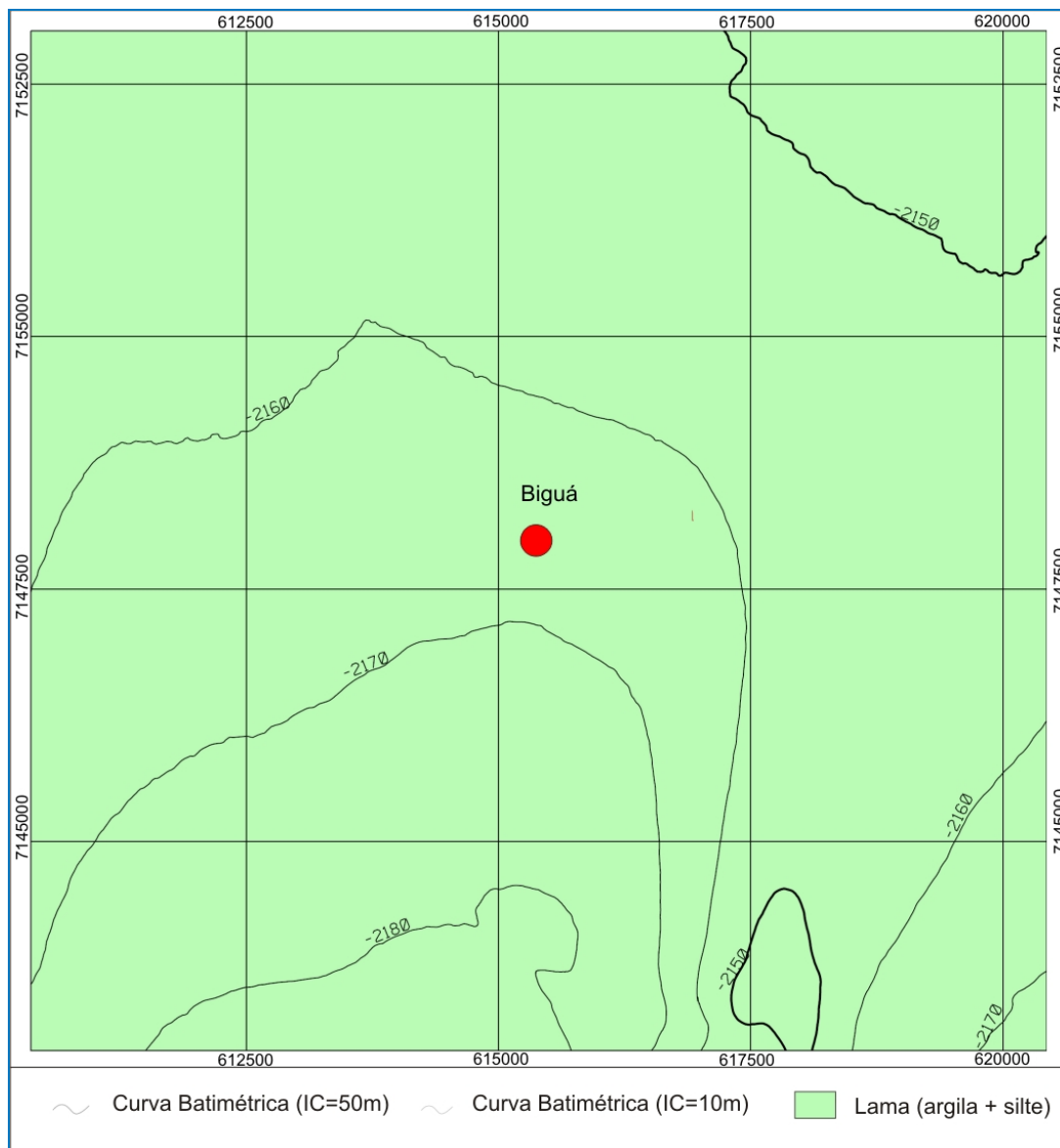
Fonte: Petrobras 2009





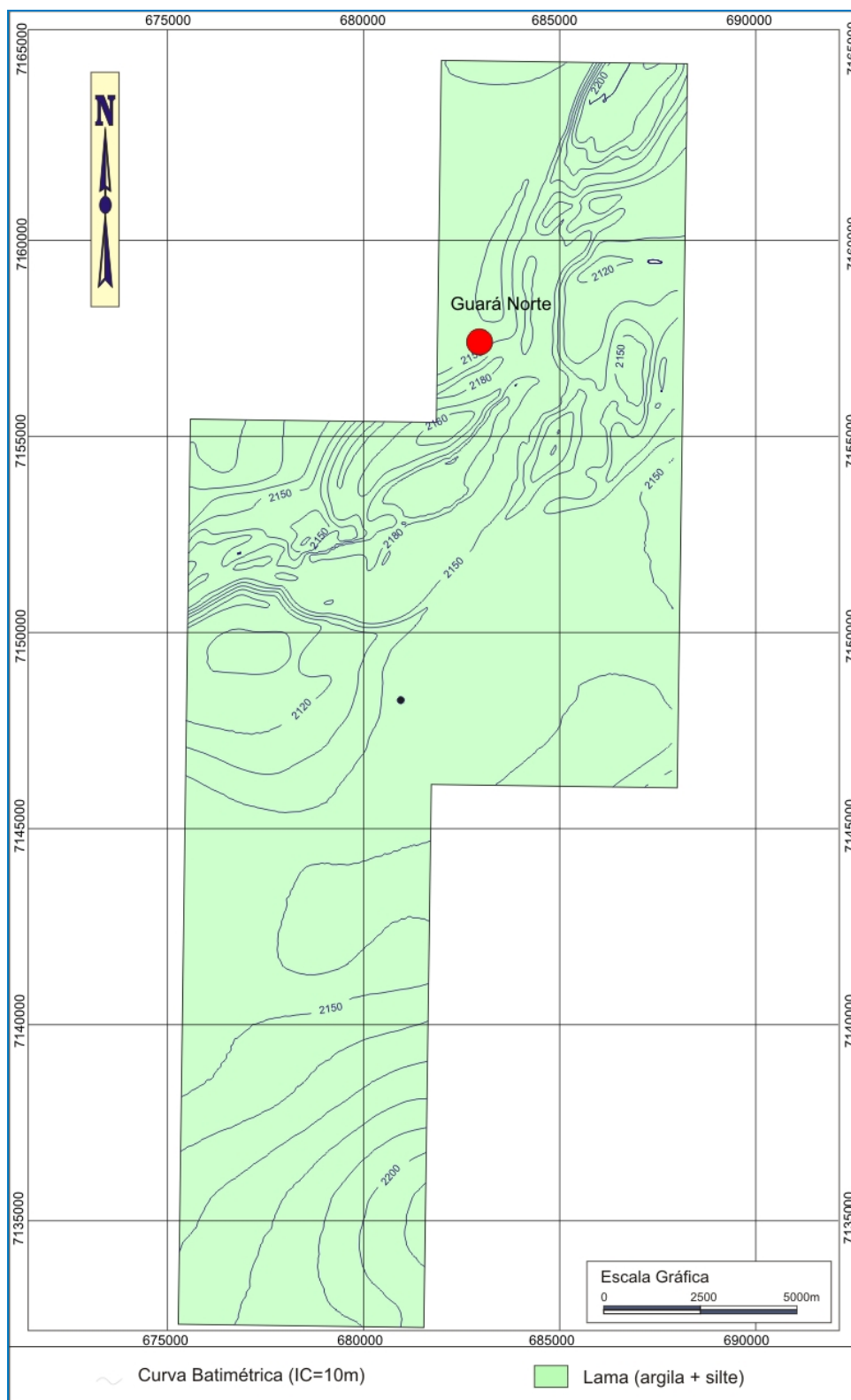
**Figura II.5.1.4-17 - Mapa faciológico local – Área de Tupi e Iracema (Bloco BM-S-11).**

Fonte: Petrobras 2009



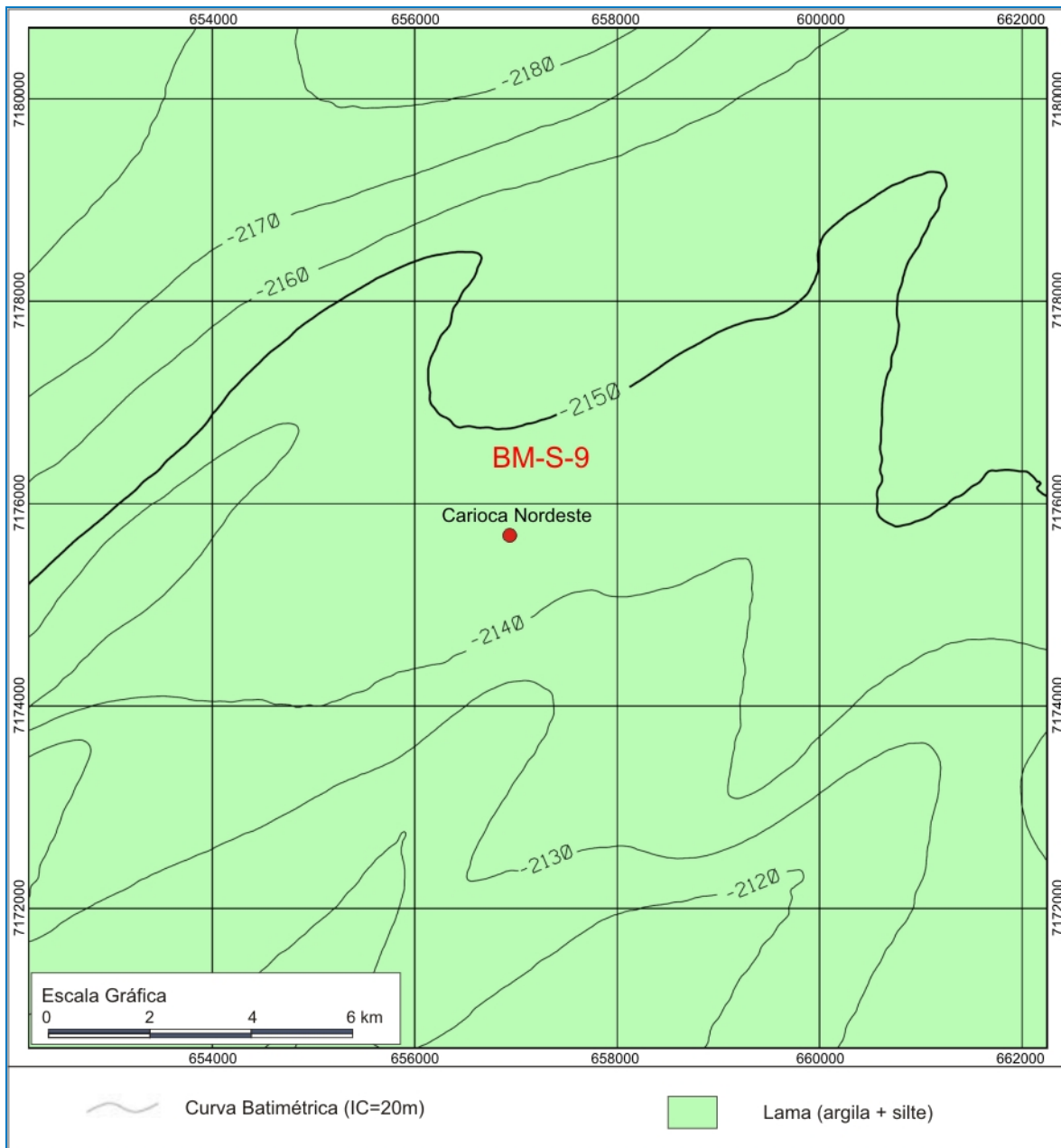
**Figura II.5.1.4-18** - Mapa faciológico local – Área de Biguá (Bloco BM-S-8).

Fonte: Petrobras 2009



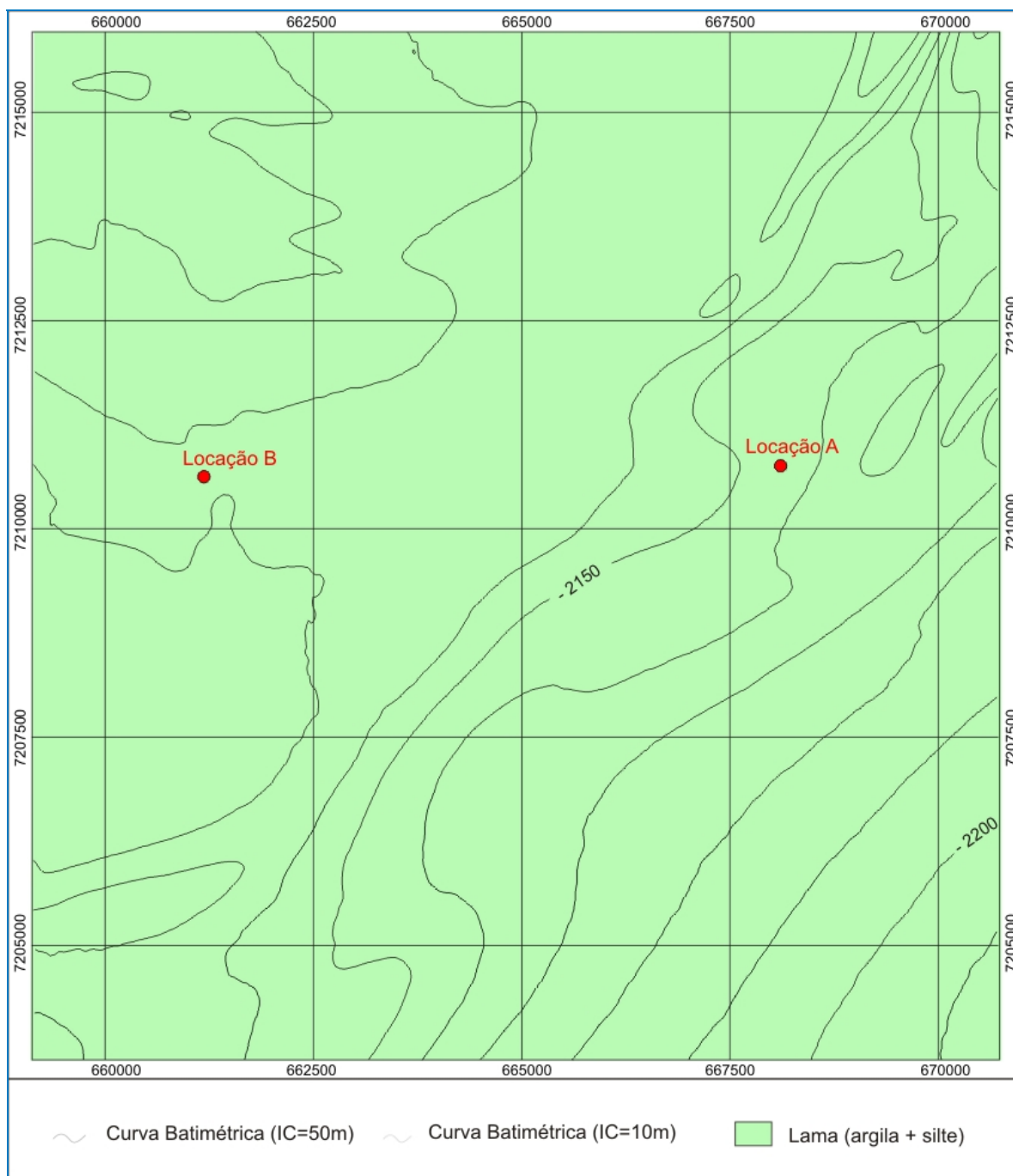
**Figura II.5.1.4-19 - Mapa faciológico local – Área de Guarará (Bloco BM-S-9).**

Fonte: Petrobras 2009



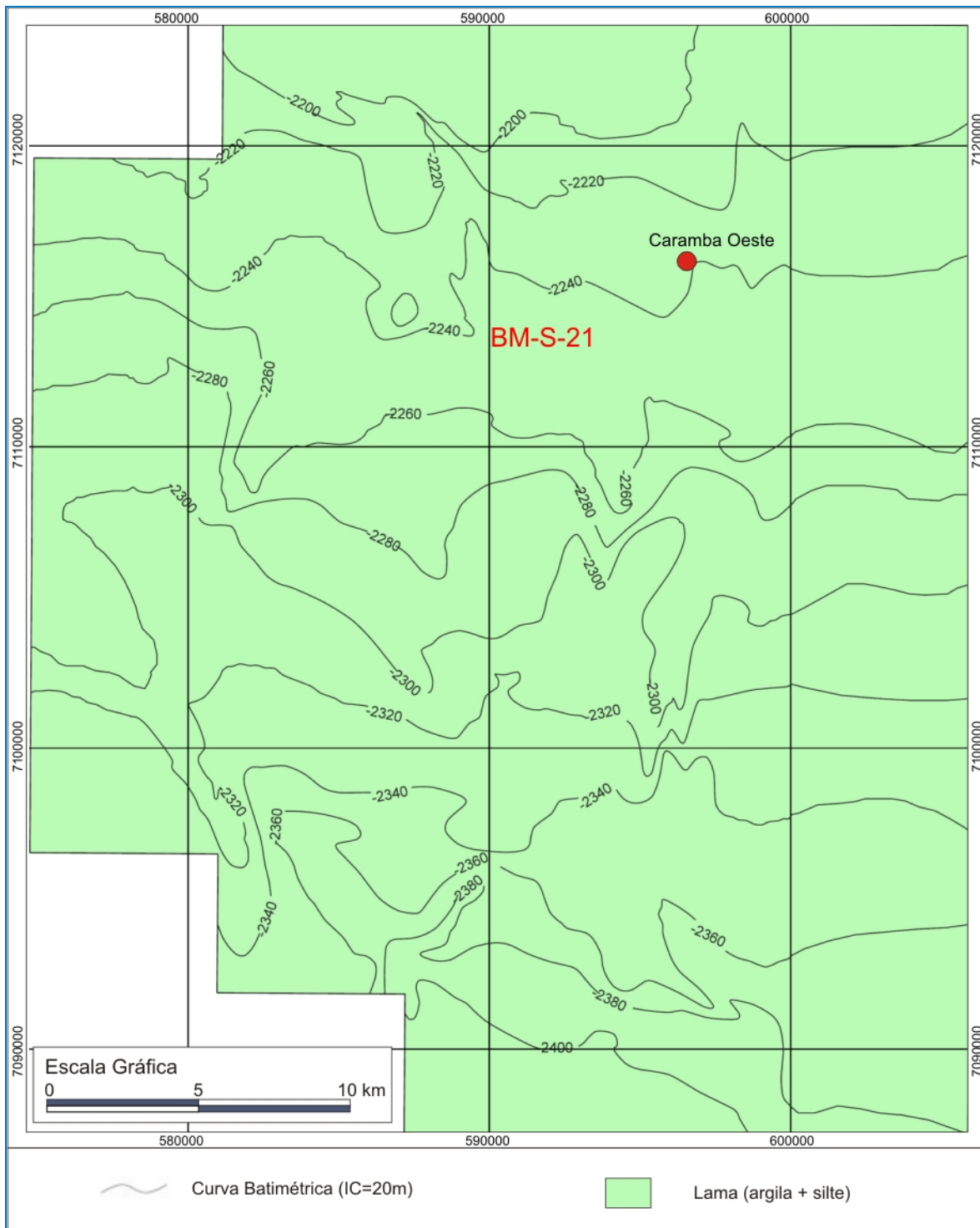
**Figura II.5.1.4-20** - Mapa faciológico local – Área do Carioca Nordeste (Bloco BM-S-9).

Fonte: Petrobras 2009



**Figura II.5.1.4-21 - Mapa faciológico local – Área de Parati (Bloco BM-S-10).**

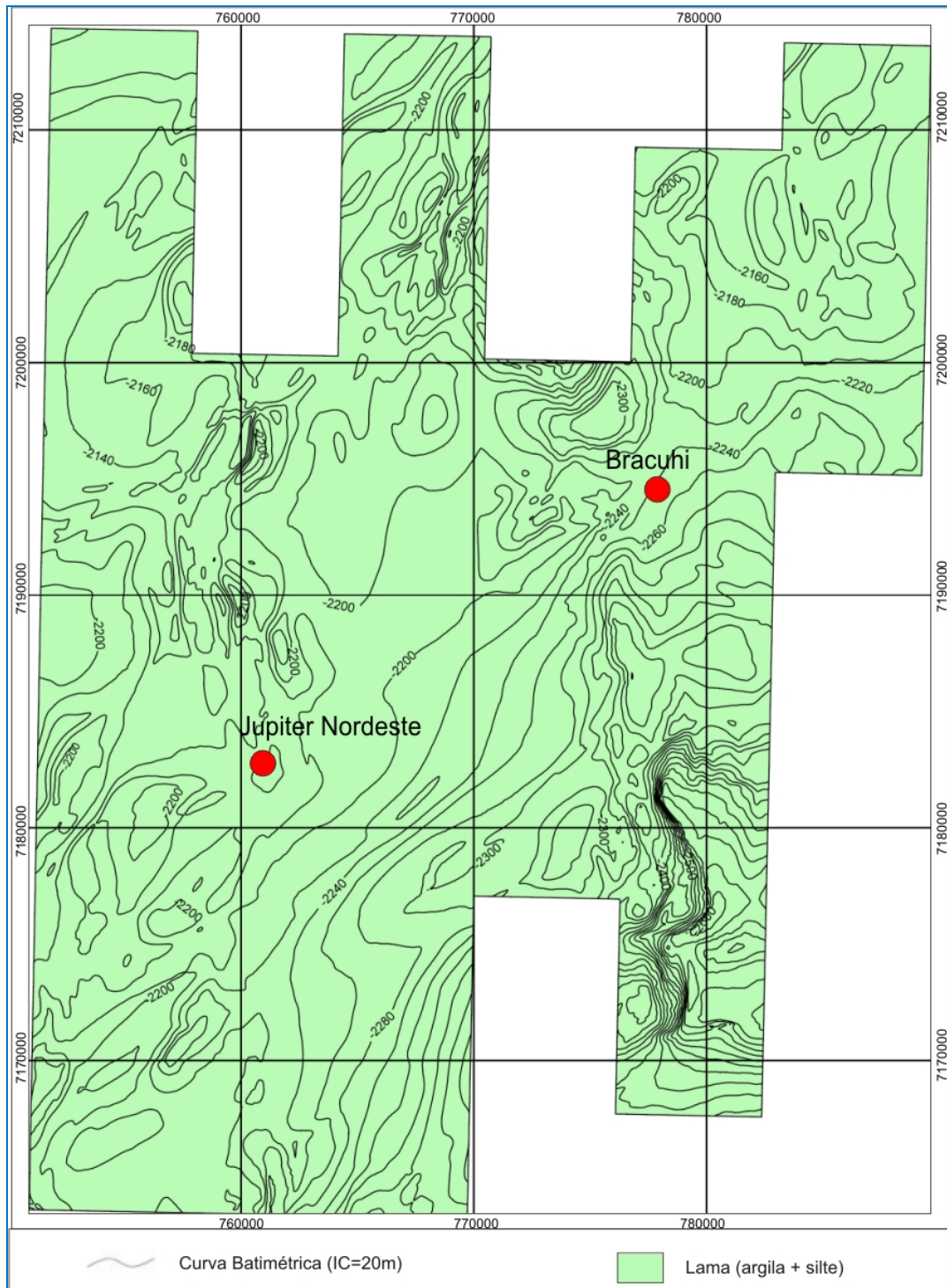
Fonte: Petrobras 2009



**Figura II.5.1.4-22 - Mapa faciológico local – Área de Carambá Oeste (Bloco BM-S-21).**

Fonte: Petrobras 2009.





**Figura II.5.1.4-23 - Mapa faciológico local – Área de Júpiter e Bracuhi (Bloco BM-S-24).**

Fonte: Petrobras 2009..

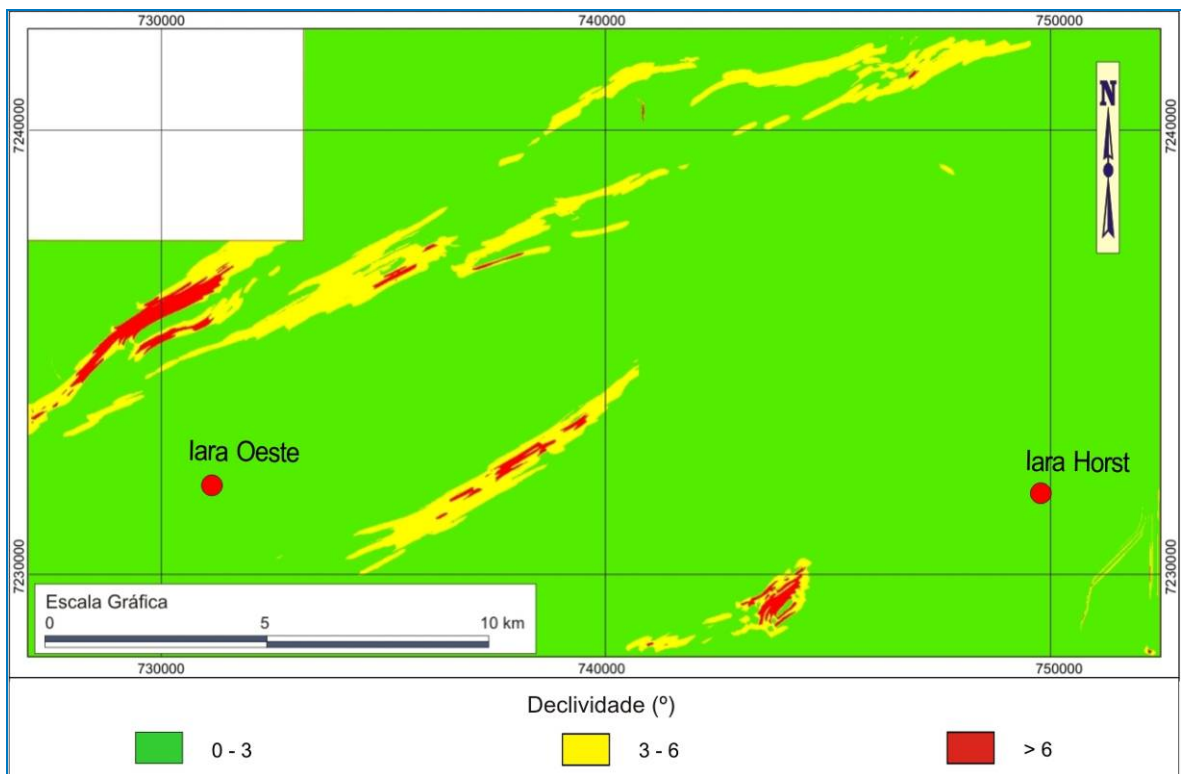
### **Unidades Fisiográficas do Assoalho Marinho**

Para a caracterização da Fisiografia local com mais detalhe foi elaborado mapas de declividade através do software ArcGis, utilizando os mapa batimétricos locais. Foi gerados um modelos digitais de terreno (MDT) para a cada área do Pólo pré-Sal, sendo elaborado a partir deste MDT, os mapa de declividade locais.

A área do Pólo Pré-Sal está quase totalmente inserida no Platô de São Paulo, em área de relevo predominantemente plano com declividade média em geral variando de 0 a 3%.

A movimentação ascendente do sal que acarretou uma serie de pequenas falhas sobre as cristas dos domos salinos, afeta a fisiografia do fundo oceânico, formando extenso lineamentos de direção NE-SW e NW-SE (Bloco BM-S-21), acarretando um aumento nos gradientes de declividade.

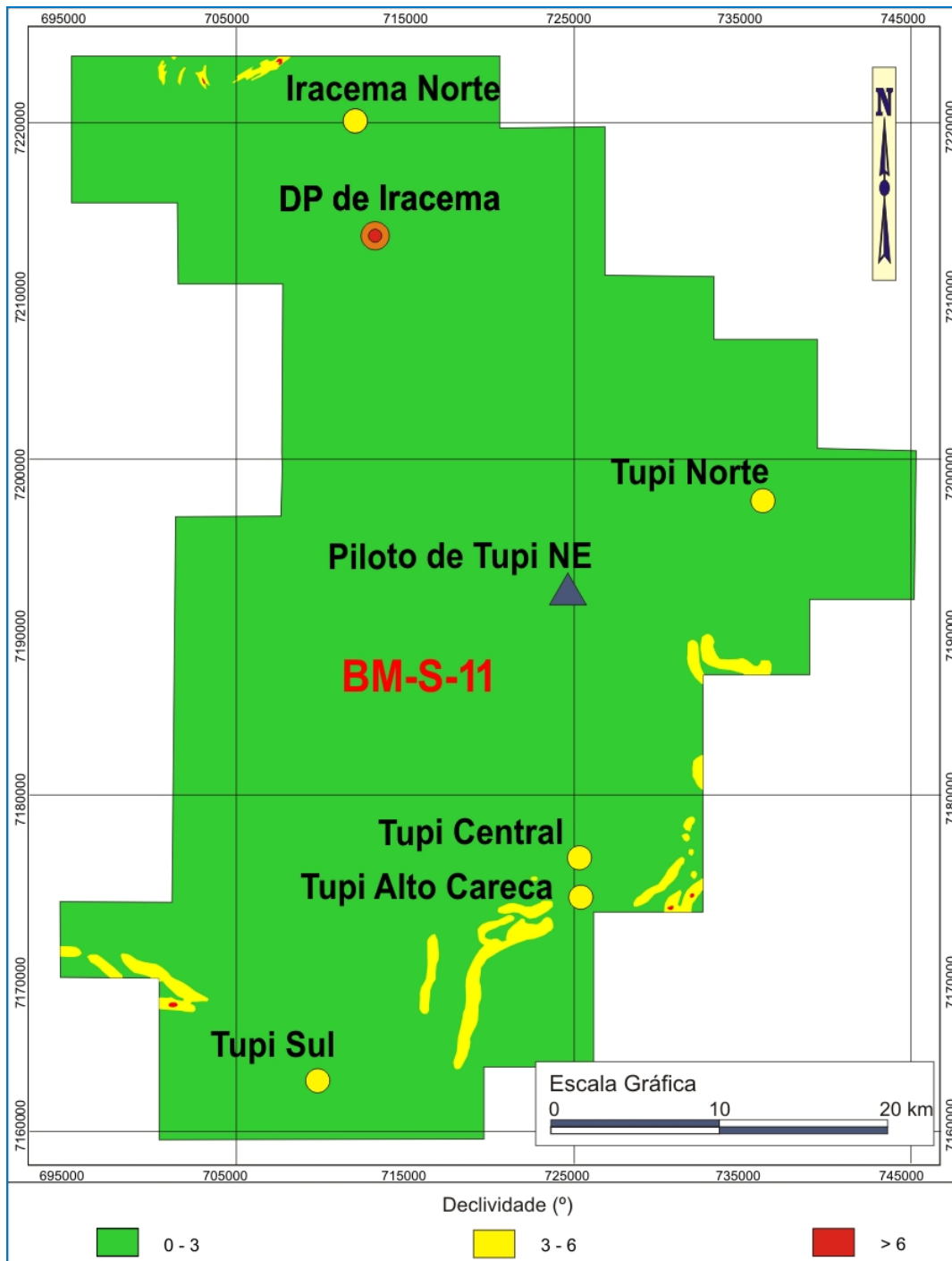
Na Área de Iara (Bloco BM-S-11) o relevo é suave com gradientes de declividade inferiores à 3°. Os maiores gradientes ocorrem na porção NW e centro-sul do Bloco associado à presença de 3 lineamentos de direção NE-SW sendo registrados gradientes de declividades superiores a 6° (**Figura II.5.1.4-24**).



**Figura II.5.1.4-24** - Mapa de declividade – Área de Iara (Bloco BM-S-11).

Fonte: ICF 2010.

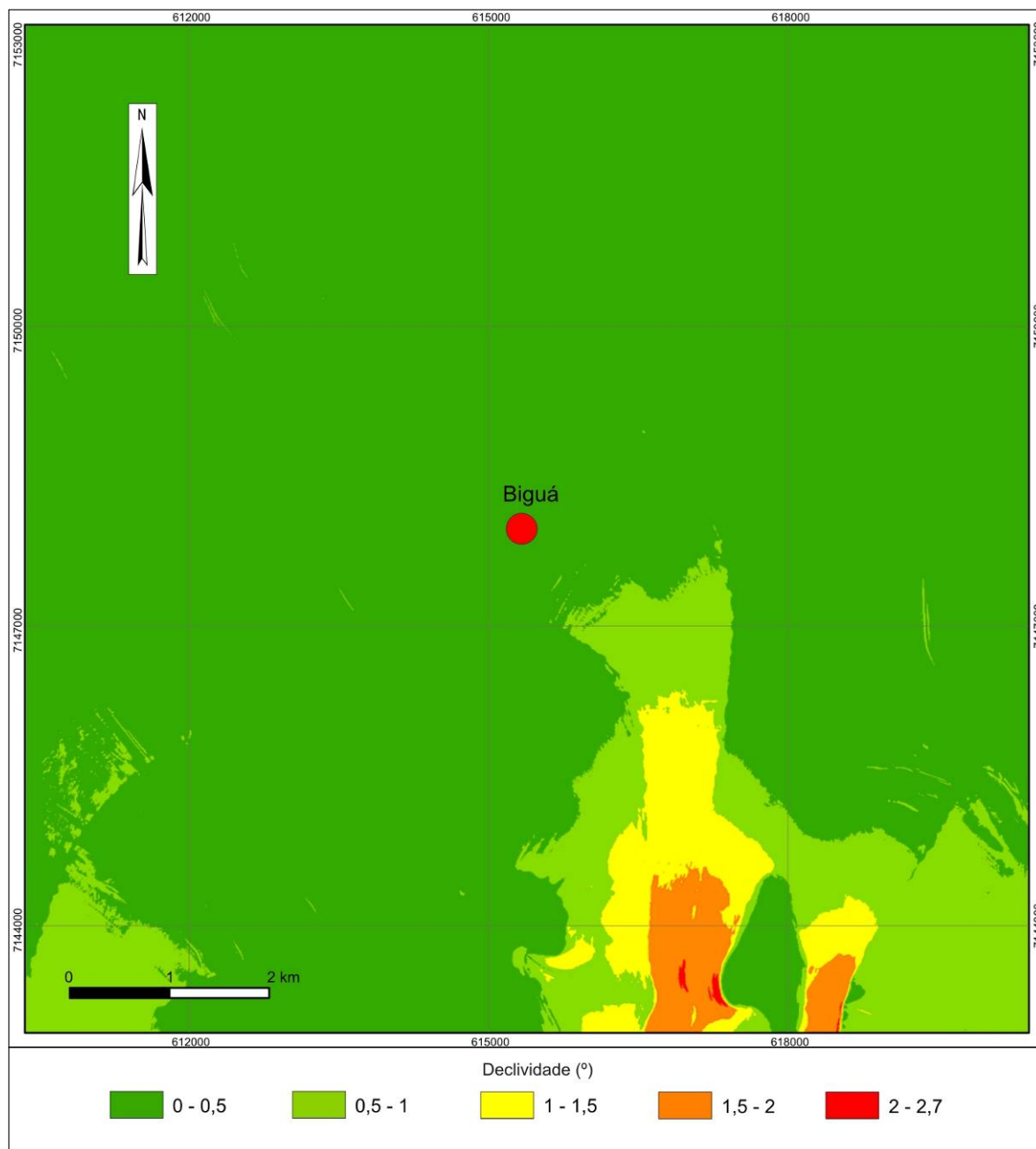
Na Área de Tupi e Iracema (Bloco BM-S-11) o relevo é suave com gradientes de declividade inferiores a 3°. Os maiores gradientes ocorrem na porção NW e SE do Bloco associado à presença de lineamento sendo registrados gradientes de declividades superiores a 6° (**Figura II.5.1.4-25**).



**Figura II.5.1.4-25** - Mapa de declividade – Área de Tupi e Iracema (Bloco BM-S-11).

Fonte: ICF 2010.

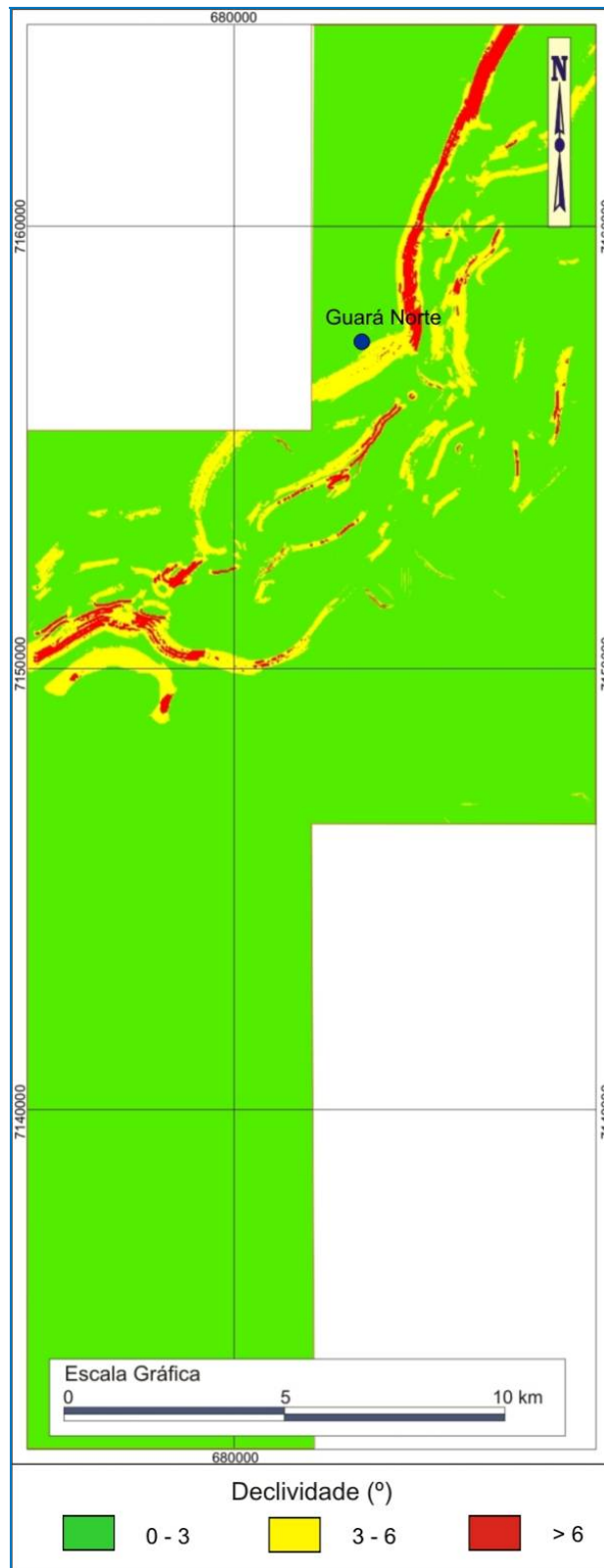
Na área de Biguá (Bloco BM-S-8) o relevo é suave apresentando em cerca 70% da área gradientes de declividade inferiores à 0,5°. Os maiores gradientes ocorrem na porção SE da área onde porem com valores inferior à 3° (**Figura II.5.1.4-26**).



**Figura II.5.1.4-26 - Mapa de declividade – Área de Biguá (Bloco BM-S-8).**

Fonte: ICF 2010.

Na área do Bloco BM-S-9 apresenta um relevo mais movimentado Na porção centro-norte onde a presença de um lineamento de direção NE-SW acarreta um aumento da declividade a SE da área de locação do Guarú Norte onde ocorrem gradientes com valores acima de 6° (**Figura II.5.1.4-27**).

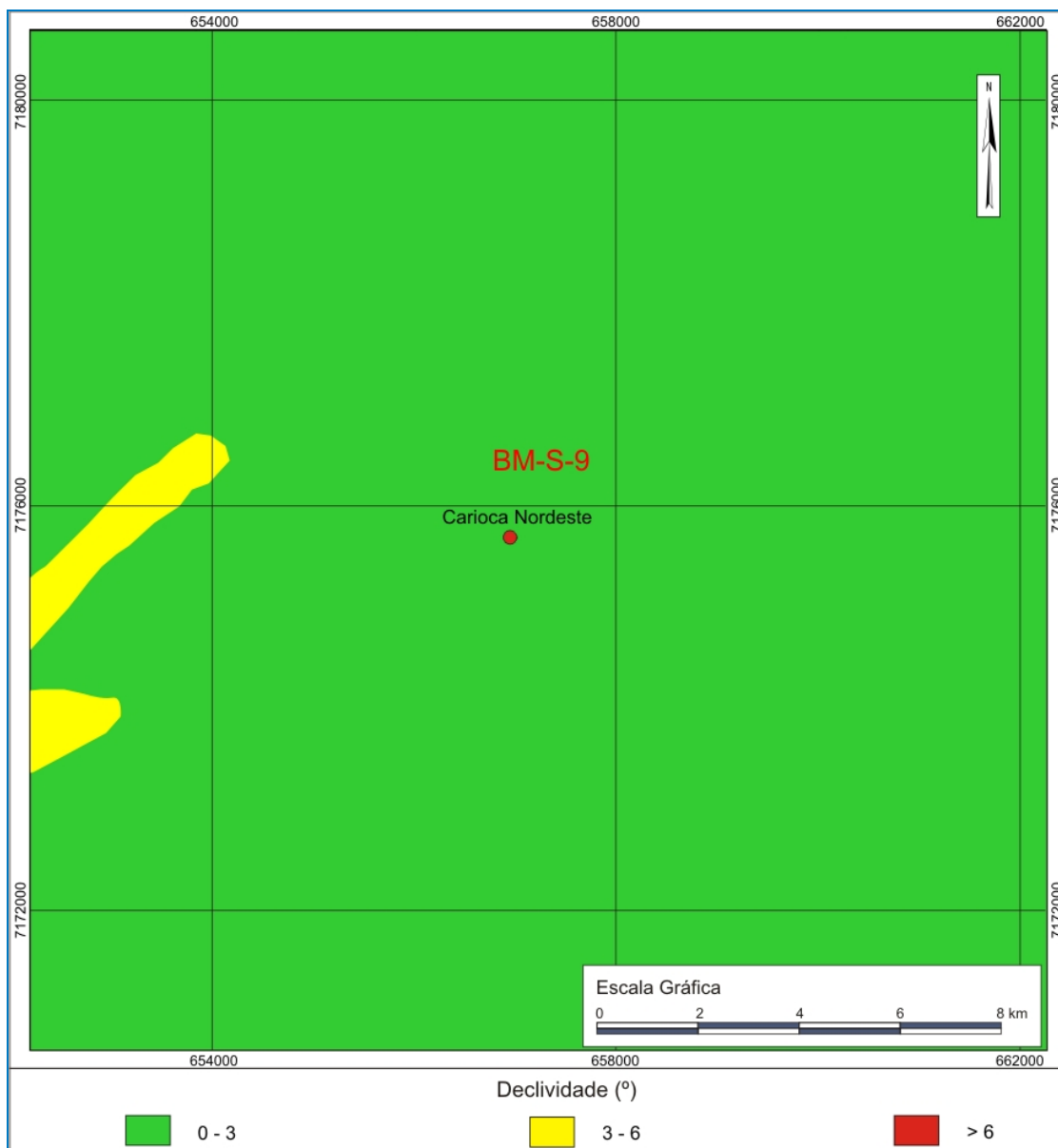


**Figura II.5.1.4-27 - Mapa de declividade – Área de Guará (Bloco BM-S-9).**

Fonte: ICF 2010.



Na área do Carioca Nordeste (Bloco BM-S-9) o relevo é suave com gradientes de declividade inferiores a 3°. Os maiores gradientes ocorrem na porção NE da área onde a presença de lineamento provocam um aumento dos gradientes de declividades registrando valores superiores a 6° (**Figura II.5.1.4-28**).

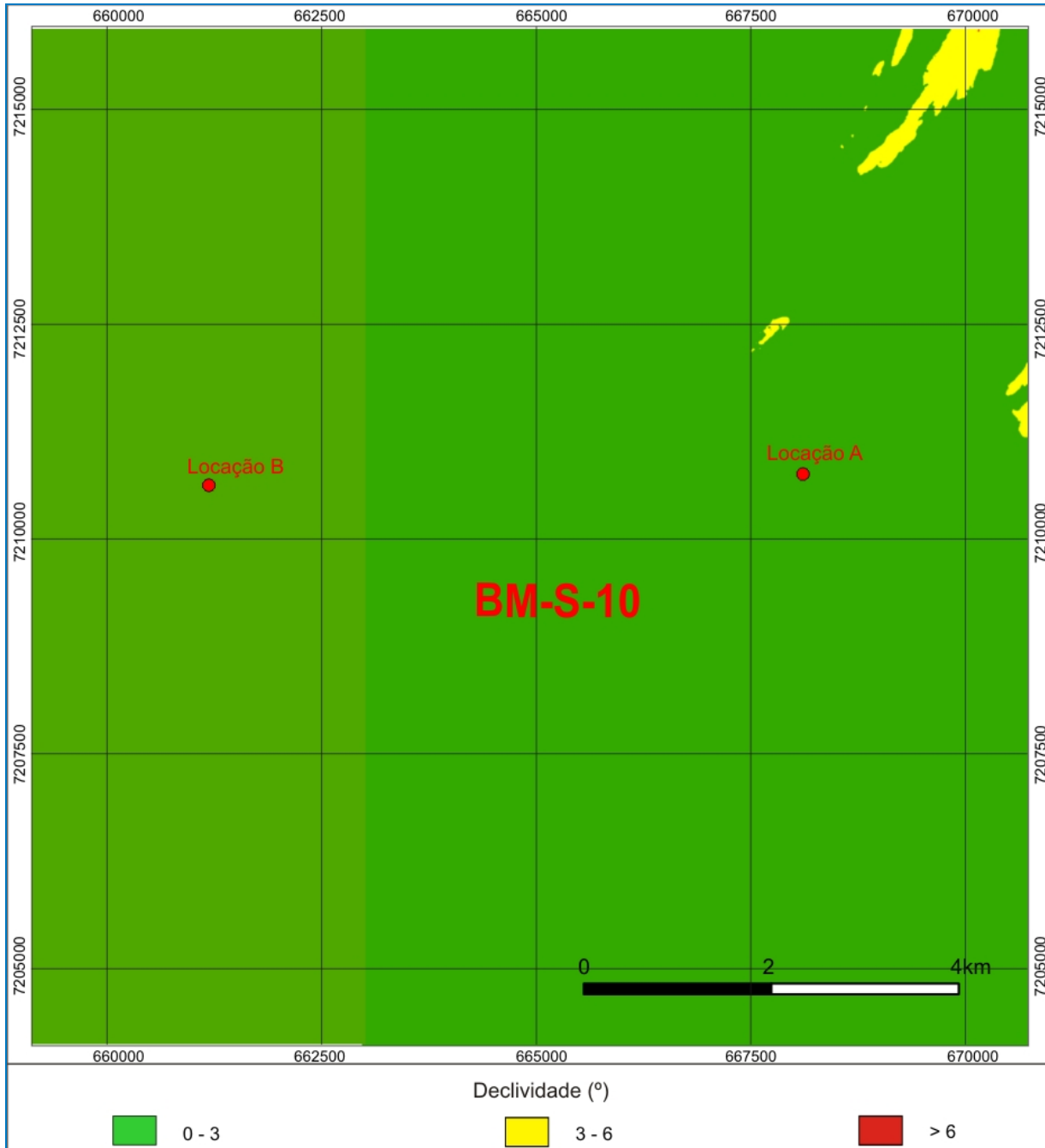


**Figura II.5.1.4-28** - Mapa de declividade – Área do Carioca Nordeste (Bloco BM-S-9).

Fonte: Petrobras 2009

Na Área de Parati- Locação A e B (Bloco BM-S-10) o relevo é suave com gradientes de declividade inferiores a 3°. Os maiores gradientes ocorrem na porção

NE da área onde a presença de lineamento provocam um aumento dos gradientes de declividades registrando valores superiores a 6° (Figura II.5.1.4-29).

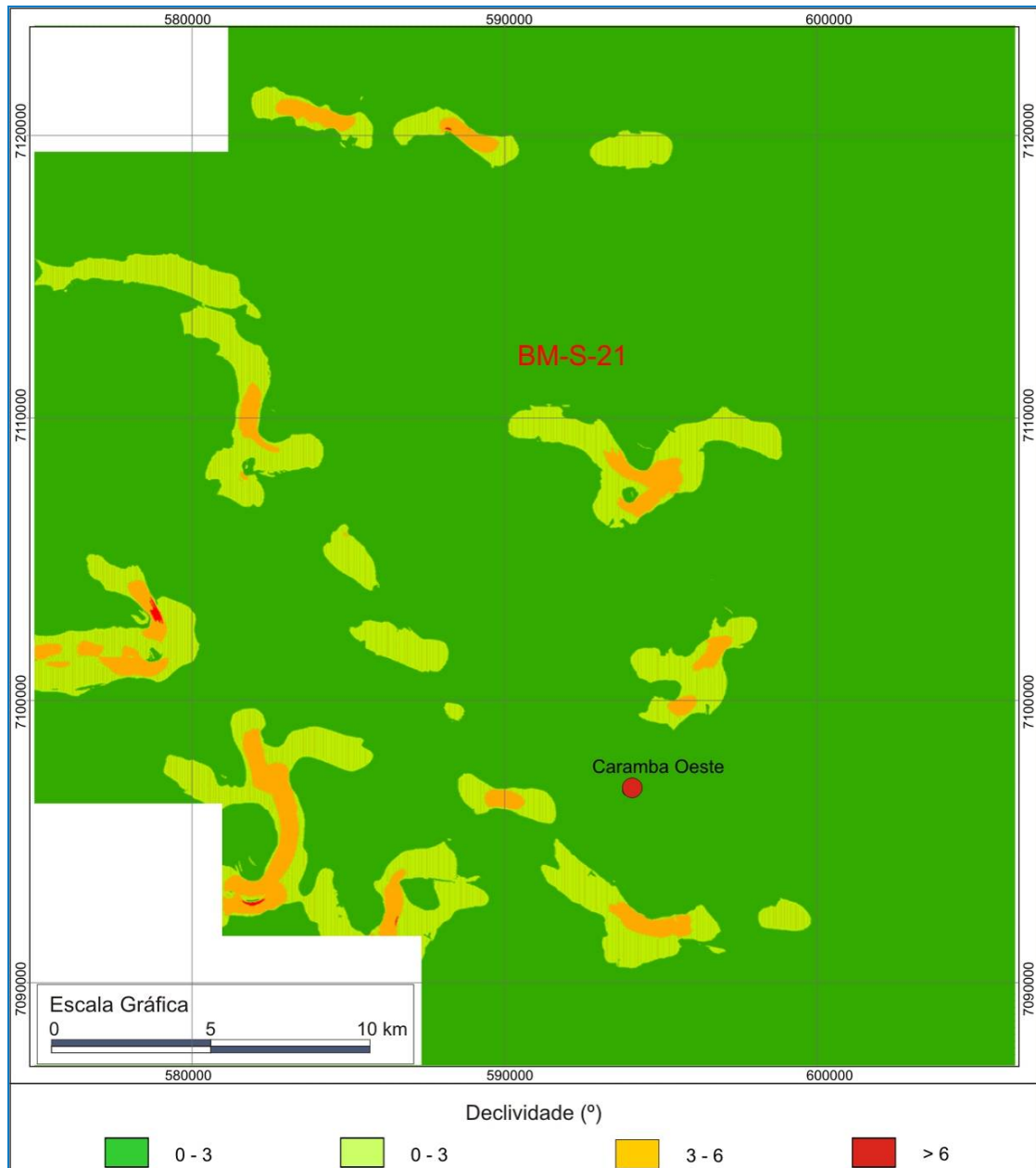


**Figura II.5.1.4-29** - Mapa de declividade – Área de Parati (Bloco BM-S-10).

Fonte: ICF 2010.

Na Área do Bloco BM-S-21 o relevo é suave com gradientes de declividade na área de Carambá Oeste inferiores à 3°. Os maiores gradientes ocorrem na

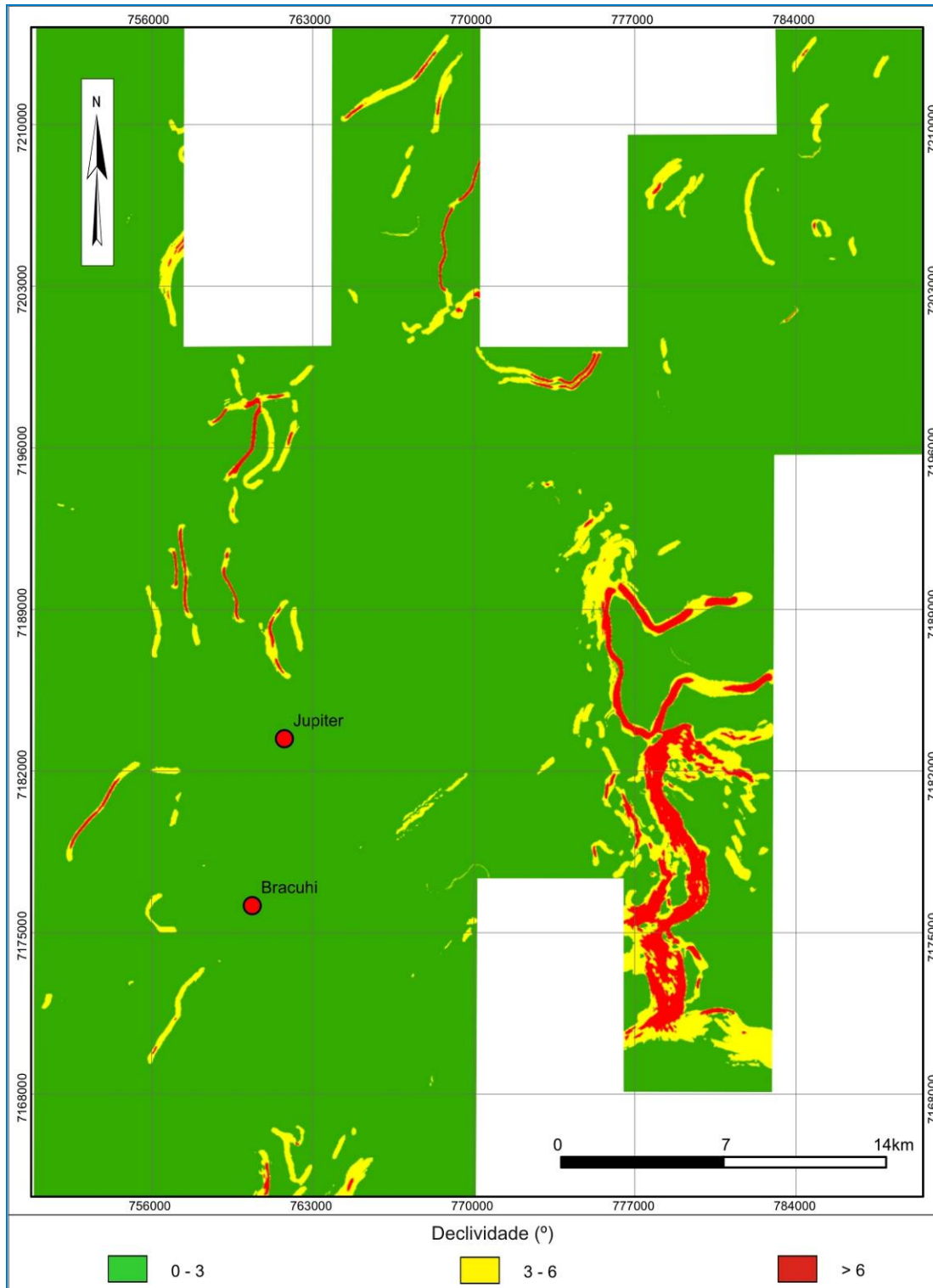
porção SW do Bloco sendo registrados gradientes de declividades superiores a 6° (Figura II.5.1.4-30).



**Figura II.5.1.4-30 - Mapa de declividade – Área de Carambá Oeste (Bloco BM-S-24).**

Fonte: ICF 2010.

Na Área do Bloco BM-S-24 o relevo é bem suave com gradientes de declividade nas áreas de Brachu e Jupiter inferiores à 3°. Os maiores gradientes ocorrem nas porção NNW e SE do Bloco associado à presença de lineamentos de direção N-S, sendo registrados gradientes de declividades superiores a 6° (Figura II.5.1.4-31)



**Figura II.5.1.4-31 - Mapa de declividade – Área de Júpiter e Bracuhi (Bloco BM-S-24).**

Fonte: ICF 2010.

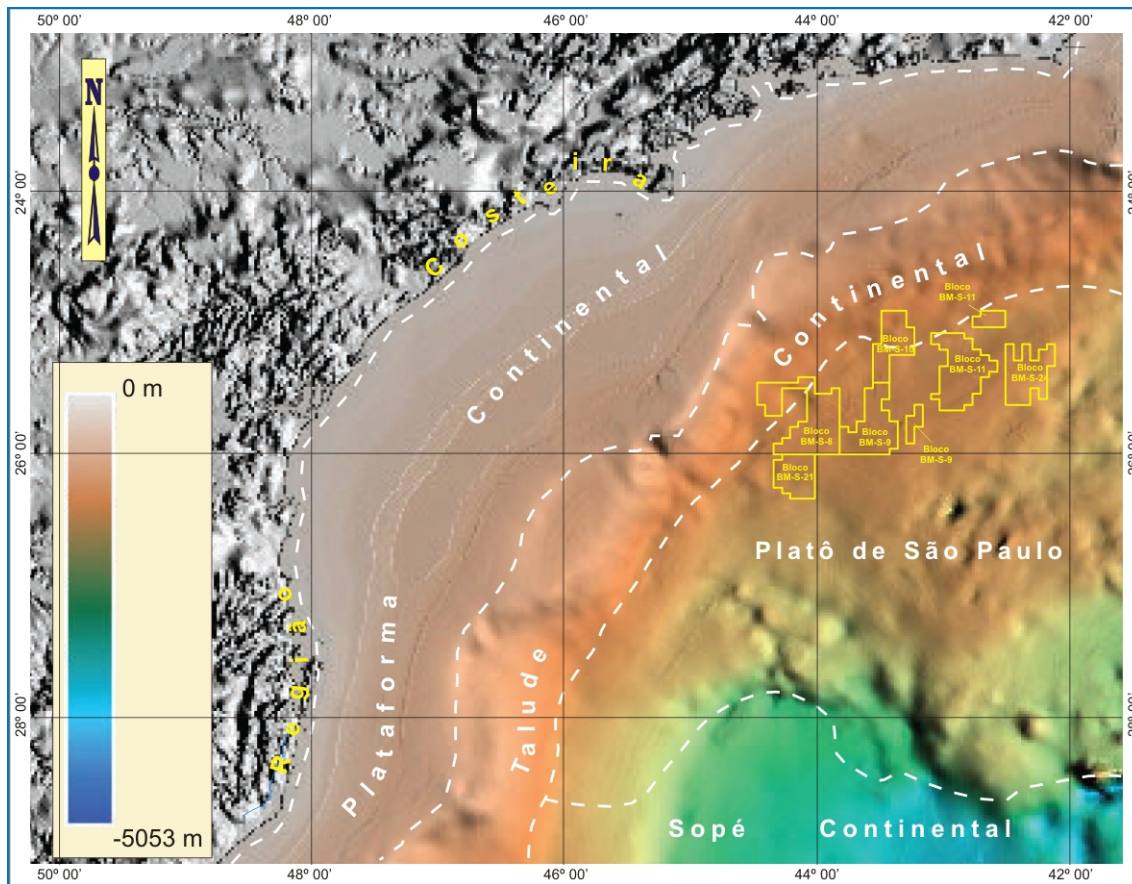
## **Caracterização Geotécnica**

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 áreas de maior declividade como nas 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 da Área do Pólo Pré-Sal, apenas a porção norte do Bloco BM-S-10 e a porção noroeste do Bloco BM-S-8, estão situadas neste Domínio, estando a maior parte inserida no Domínio do Platô de São Paulo (**Figura II.5.1.4-32**).



**Figura II.5.1.4-32** - Unidades Fisiográficas principais da Bacia de Santos.

Fonte: Modificado de CPRM, 2003.

Os mapas de declividade gerados com base nos mapas batimétrico-faciológicos locais (**Figura II.5.1.4-16** – **Figura II.5.1.4-23**) indicam gradientes de declividades inferiores à 3° na área do Pólo do Pré-Sal.

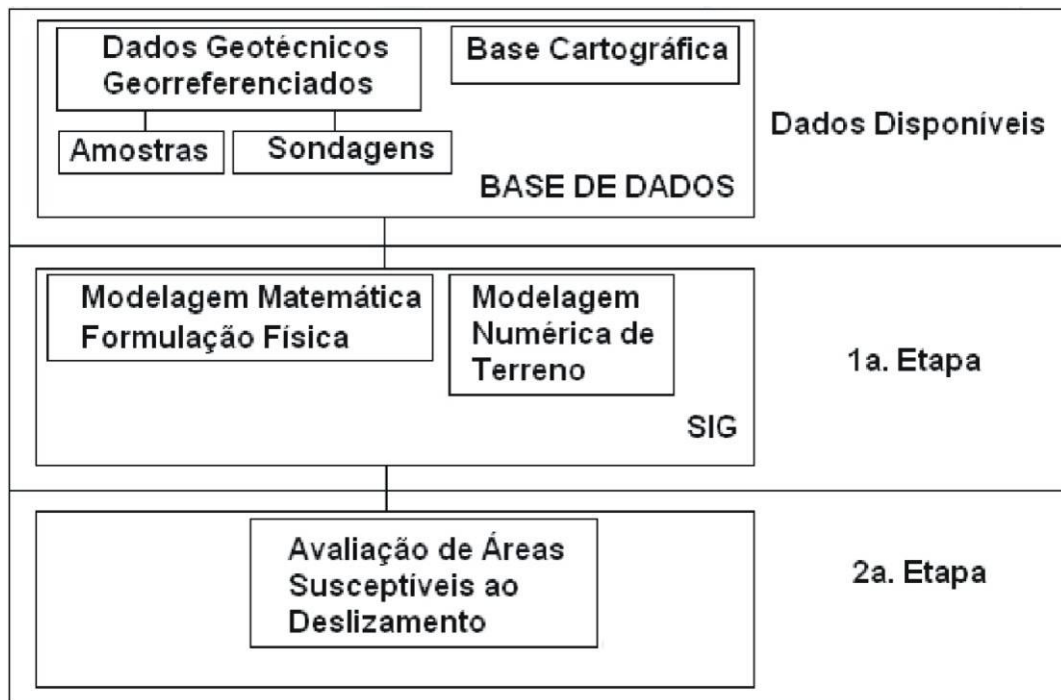
Para a avaliação das condições de estabilidade do fundo do mar de modo a identificar e classificar eventuais riscos geológicos–geotécnicos, como deslizamento de taludes submarinos na área do Pólo do Pré-Sal, foi realizada uma avaliação geotécnica de estabilidade do leito marinho (Petrobras, 2010).

Para essa avaliação, utilizou-se uma ferramenta de análise espacial disponível em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), em conjunto com a aplicação de um modelo matemático desenvolvido para a previsão de áreas propensas a deslizamentos, baseado em uma formulação de leis físicas. Dentro deste contexto, aplicou-se uma formulação matemática de talude infinito



submerso para obter um mapa temático de fatores de segurança estáticos contra deslizamentos submarinos nos blocos de exploração que constituem o Pólo do Pré-Sal (BM-S-08, BM-S-09, BM-S-10, BM-S-11, BM-S-21 e BM-S-24).

Para o desenvolvimento deste trabalho, seguiu-se o roteiro metodológico apresentado na **Figura II.5.1.4-33**:



**Figura II.5.1.4-33** - Metodologia utilizada para a obtenção de um mapa de susceptibilidade a movimentos de massa submarinos na área do Pólo do Pré-Sal.

Fonte: Modificado de CPRM, 2003.

Os dados disponíveis se restringiram às informações obtidas pelas Campanhas de Investigação Geológico-Geotécnicas realizadas na área do Pólo do Pré-Sal, e à base cartográfica digital elaborada pela PETROBRAS/E&P-SERV/US-SUB/GM.

As campanhas de investigação geotécnica consistiram de coleta de dados do solo através de ensaios PCPT's in-situ, amostragens eológicas e ensaios de laboratório. Para isso foram executados furos geotécnicos GT's (ensaios PCPT's), atingindo penetrações entre 40,1 e 41,4 m abaixo do fundo do mar, de modo a

avaliar as características de resistência do solo e para auxiliar em sua classificação e delineamento da estratigrafia.

As investigações geotécnicas realizadas, por meio de ensaios de Penetração de Piezocone (PCPT), indicaram um substrato constituído de argila muito mole à rija até a profundidade final dos ensaios.

Além disso foram realizados amostragens do tipo *Jumbo Piston Cores* geológicas (GL's), com penetrações entre 20,4 e 21,2 m abaixo do piso marinho, para obter amostras do solo para análises de Geologia. As amostras foram perfiladas usando o MSCL (*Multi-Sensor Core Logger*), e ensaios de laboratório para medição da resistência ao cisalhamento (ensaios de Torvane e vane miniatura) foram feitos para avaliar as propriedades índice e de Engenharia dos solos.

A modelagem matemática (análise de estabilidade de taludes submarinos) realizada neste trabalho teve como base a formulação de talude infinito submerso. O cálculo do fator de segurança estático contra deslizamentos foi executado através da ferramenta de álgebra matricial da aplicação SIG (Sistema de Informações Geográficas), apresentando como resultado a variação espacial do fator de segurança para toda a área e não somente para um talude específico.

Foram utilizados os programas de geoprocessamento da Intergraph denominados GeoMedia Image Professional e GeoMedia® Grid, versões 6.01.06.19 e 6.01.00.18, respectivamente.

A condição de estabilidade é definida através do fator de segurança (FS). Matematicamente, esse fator é definido como a expressão do balanço entre as forças resistivas (que tendem a manter o sedimento imóvel), e as forças cisalhantes (que forçam os sedimentos a se movimentarem talude abaixo), ou simplesmente como a razão entre a resistência cisalhante média e a tensão cisalhante ao longo da superfície crítica de ruptura.

A análise de estabilidade foi feita a partir da teoria do talude infinito, utilizando uma metodologia simplificada daquela descrita por MACKENZIE et al. (2010) para projetos de desenvolvimento da produção de óleo e gás de águas profundas com mais de 1.000 km<sup>2</sup> de área.

Segundo TAYLOR (1948), o termo talude infinito é usado para designar um talude constante com extensão ilimitada que possui condições e propriedades do solo constantes em qualquer dada distância abaixo da superfície do talude. Por simplificação, o solo pode ser considerado como homogêneo mas um talude infinito consiste em várias camadas de diferentes tipos de solo dispostas umas sobre as outras, desde que paralelas à superfície do terreno. Dessa forma, qualquer coluna vertical de solo dentro de um talude infinito é, por definição, igual a qualquer outra dentro do mesmo talude. Segundo MASSAD (2010), taludes infinitos consistem em taludes de encostas naturais que se caracterizam pela sua grande extensão, centenas de metros, e pela reduzida espessura do manto de solo, de alguns metros. A ruptura, quando ocorre, é do tipo planar, com linha crítica situada na interface entre duas camadas com características físicas distintas.

Foi aplicada a equação descrita em PAGANELLI & BORGES (2005), por meio de uma ferramenta de álgebra matricial do programa GeoMedia. Esta ferramenta permitiu realizar operações matemáticas para toda a área de estudo.

$$FS = \frac{(S_{u0}/H) + \zeta}{\gamma' \cdot \text{sen} \alpha \cdot \cos \alpha}$$

Onde:

- FS = fator de segurança estático contra deslizamentos, para material de Mohr- Coulomb e material coesivo;
- Su0 = resistência ao cisalhamento não-drenada na superfície do terreno;
- H = espessura da camada de solo analisada;
- z = taxa de crescimento da resistência Su com a profundidade abaixo do piso marinho;
- g' = peso específico submerso do solo;
- a = declividade do fundo do mar.

Como não foi feita uma amostragem do tipo JPC – *Jumbo Piston Core* – acompanhando os ensaios geotécnicos, adotou-se uma postura conservadora, escolhendo um valor considerado máximo para o peso específico submerso  $g'$ . Obviamente, se o peso específico submerso foi tomado como sendo máximo, também o deve ser o peso específico natural  $g$  ( $g = g' + g_w$ ), onde  $g_w$  é o peso específico da água. Tendo como base o Banco de Dados Geotécnicos do CENPES (BDG), observou-se que os valores máximos de peso específico submerso  $g'$  estão em torno de  $6,50 \text{ kN/m}^3$ . Este foi o valor de peso específico submerso usado nos cálculos de fatores de segurança. Consequentemente, o peso específico natural  $g$  resultaria em  $16,31 \text{ kN/m}^3$ , considerando o peso específico da água  $g_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$ .

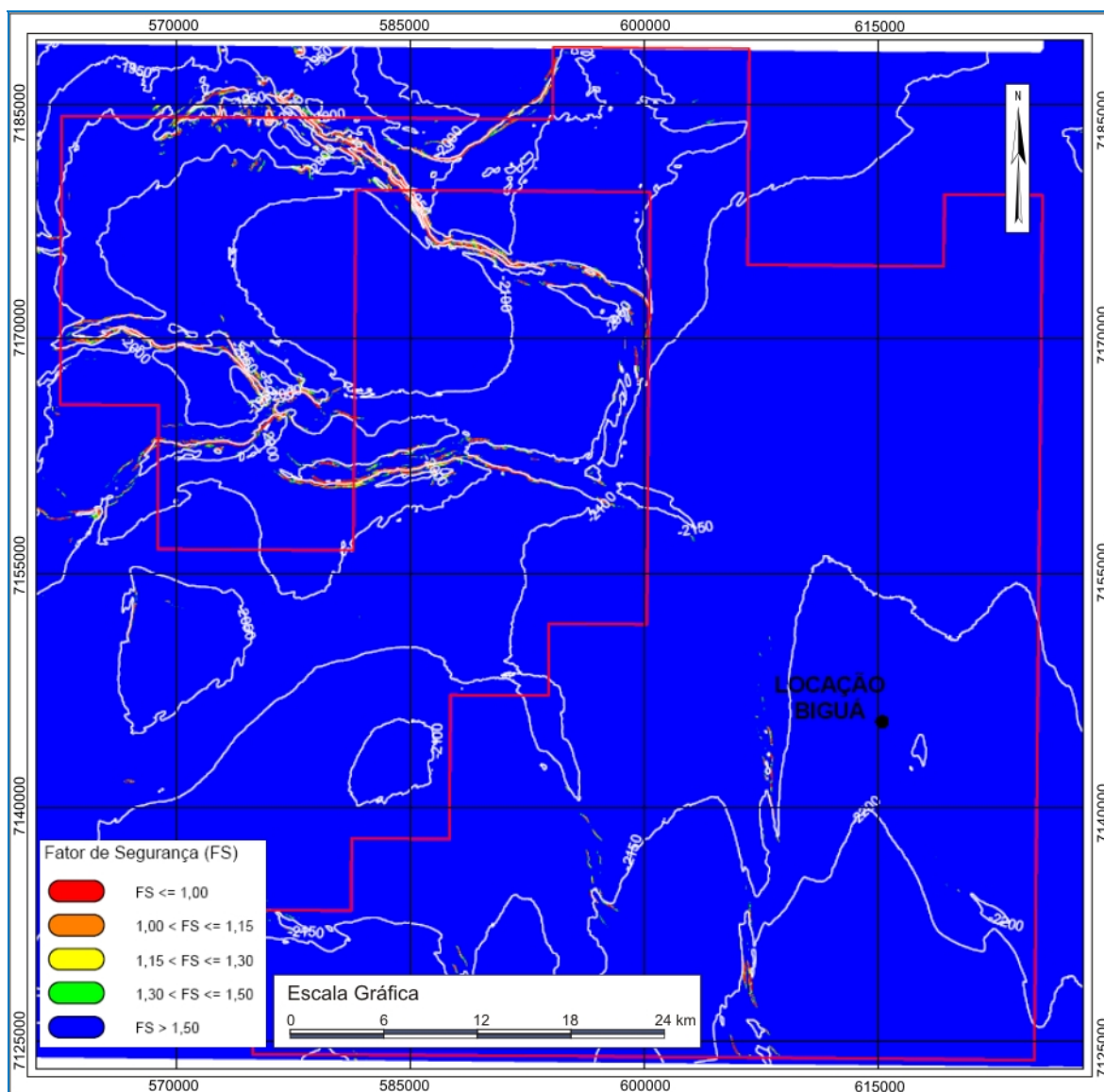
O dado relacionado à morfologia do fundo do mar (a) foi obtido a partir do modelo numérico do terreno. Para cada cela do mapa de declividade, o valor do ângulo de inclinação  $\alpha$  está armazenado. Os valores de resistência não-drenada  $S_u$  e peso específico submerso do solo  $g'$  foram obtidos a partir consulta ao banco de dados georreferenciado BDG.

Como resultado da aplicação da equação descrita por PAGANELLI & BORGES (2005), obteve-se uma matriz onde cada cela armazena um valor de fator de segurança. Com isso, pode-se observar a variação geográfica do FS para toda a área do Pólo do Pré-Sal.

O resultado do cálculo do fator de segurança (FS) para cada cela foi um mapa temático apresentando a distribuição espacial dos valores de FS, contemplando a suscetibilidade a movimento de massa submarino (**Figura II.5.1.4-34** e **Figura II.5.1.4-39**). Estes resultados passaram por uma etapa de agrupamento automático em intervalos previamente definidos, onde foram obtidas cinco classes diferentes de estabilidade do piso marinho (**Tabela II.5.1-29**). Esta classificação define as áreas potenciais à deslizamentos. Valores de FS maiores do que 1 indicam estabilidade, valores de FS menores do que 1 indicam instabilidade e valores de FS iguais a 1 indicam condições limite de estabilidade (meta-estabilidade).

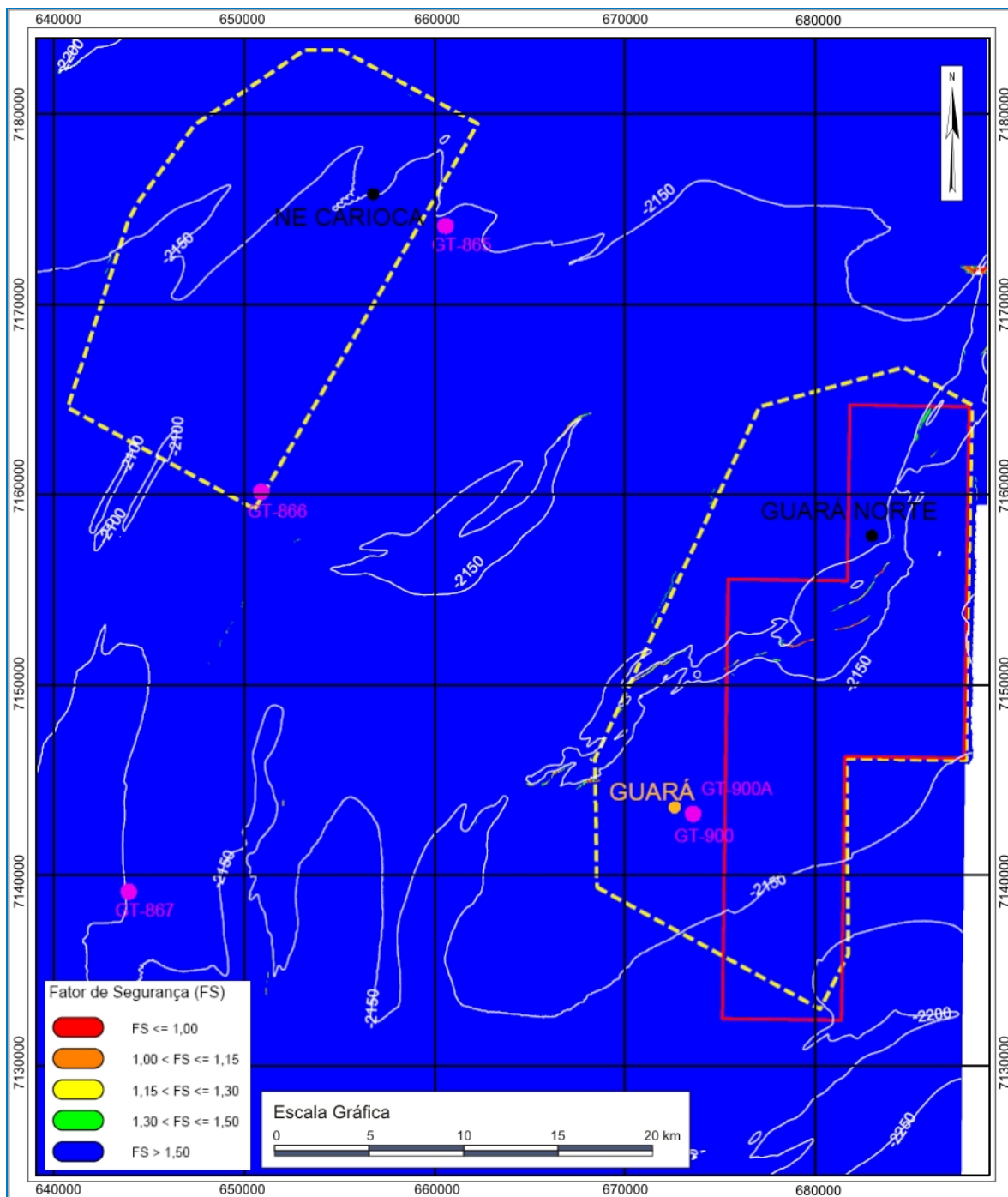
**Tabela II.5.1-29 - Definição das classes de estabilidade baseada nos fatores de FS.**

Condição	Classe	Possível influência de fatores não modelados
$FS > 1,50$	5	Carregamentos externos significativos são necessários para promover a instabilidade.
$1,30 \leq FS \leq 1,50$	4	Carregamentos externos importantes são necessários para promover a instabilidade.
$1,15 \leq FS \leq 1,30$	3	Carregamentos externos moderados são necessários para promover a instabilidade.
$1,00 \leq FS \leq 1,15$	2	Carregamentos externos de pequena magnitude são suficientes para a instabilidade.
$FS \leq 1,00$	1	Carregamentos externos não são necessários para a instabilidade (talude na iminência de deslizamento).



**Figura II.5.1.4-34 - Mapa de suscetibilidade a movimento de massa submarino – Área de Biguá (Bloco BM-S-8).**

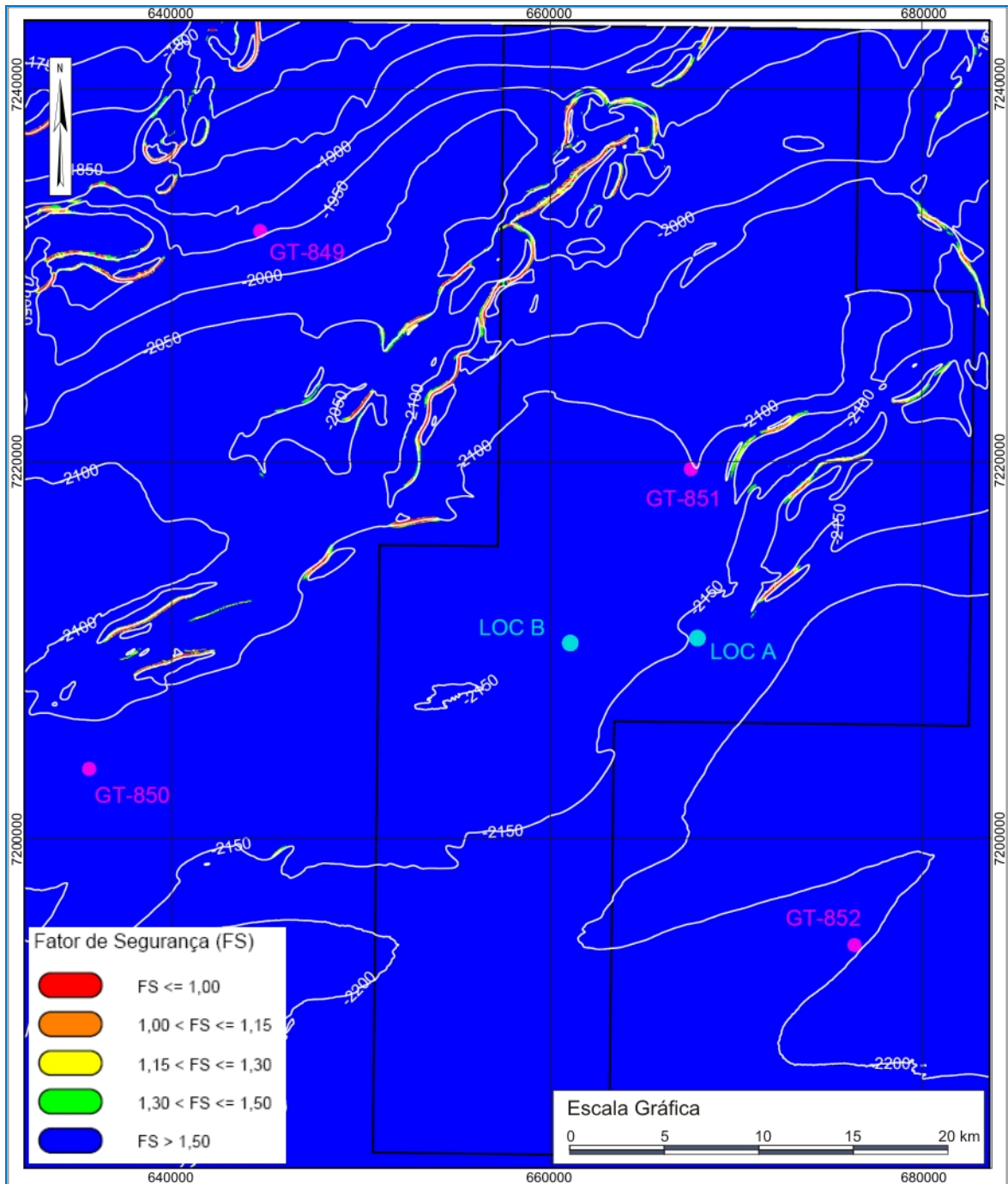
Fonte: Petrobras, 2010.



**Figura II.5.1.4-35** - Mapa de suscetibilidade a movimento de massa submarino – Área de Guará e Carioca NE (Bloco BM-S-9).

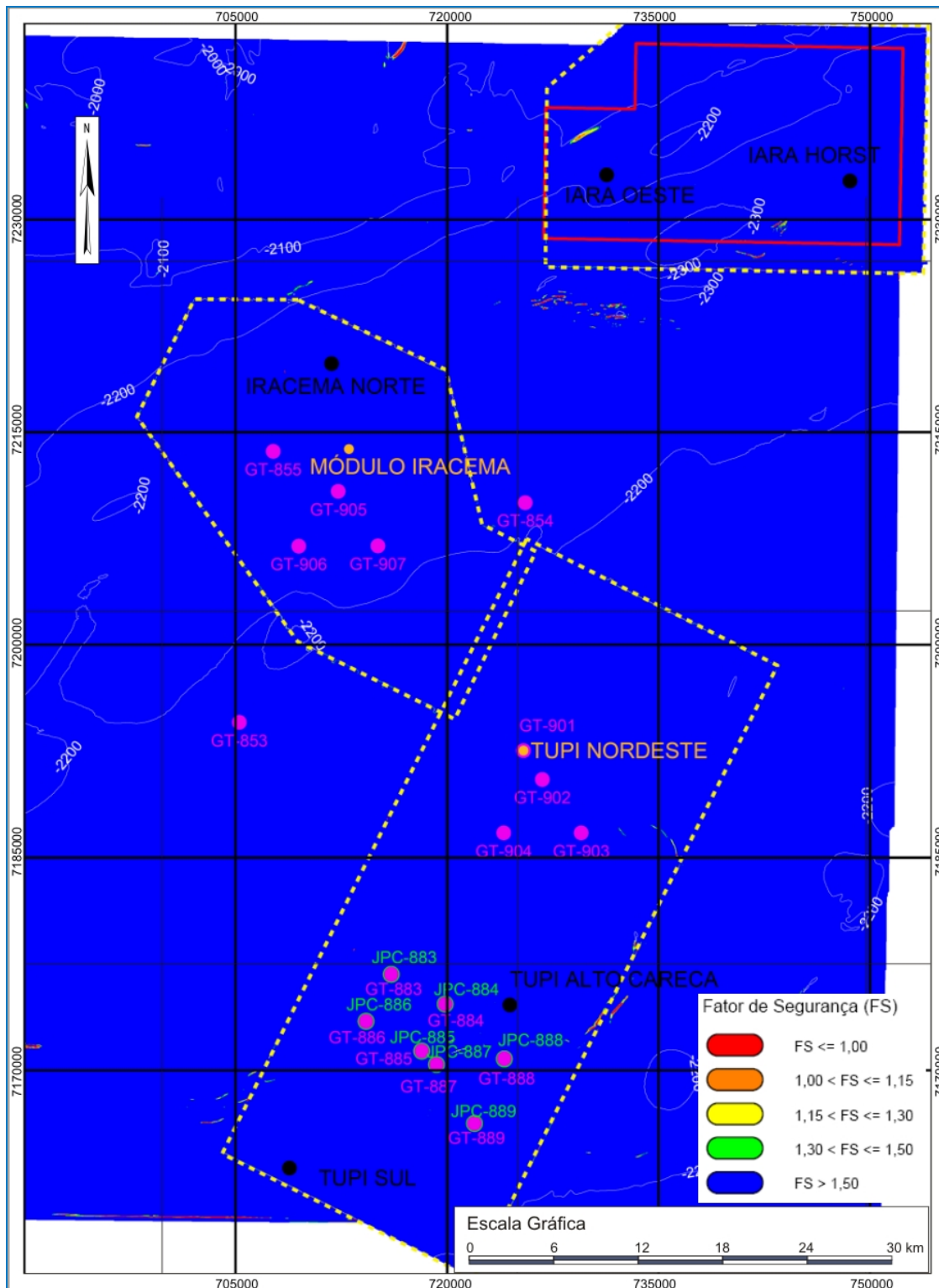
Fonte: Petrobras, 2010.





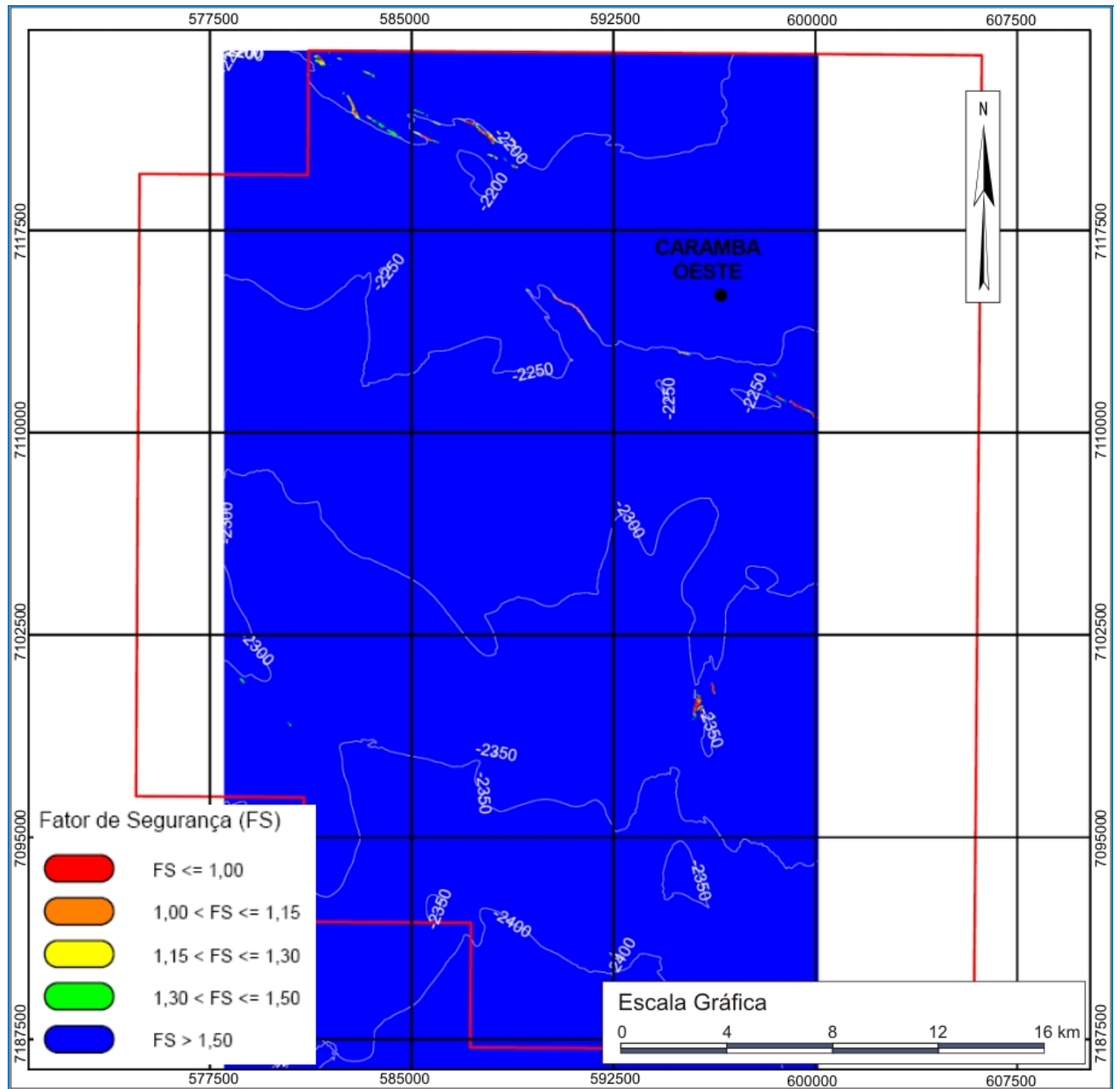
**Figura II.5.1.4-36** - Mapa de suscetibilidade a movimento de massa submarino – Área de Parati (Bloco BM-S-10).

Fonte: Petrobras, 2010.



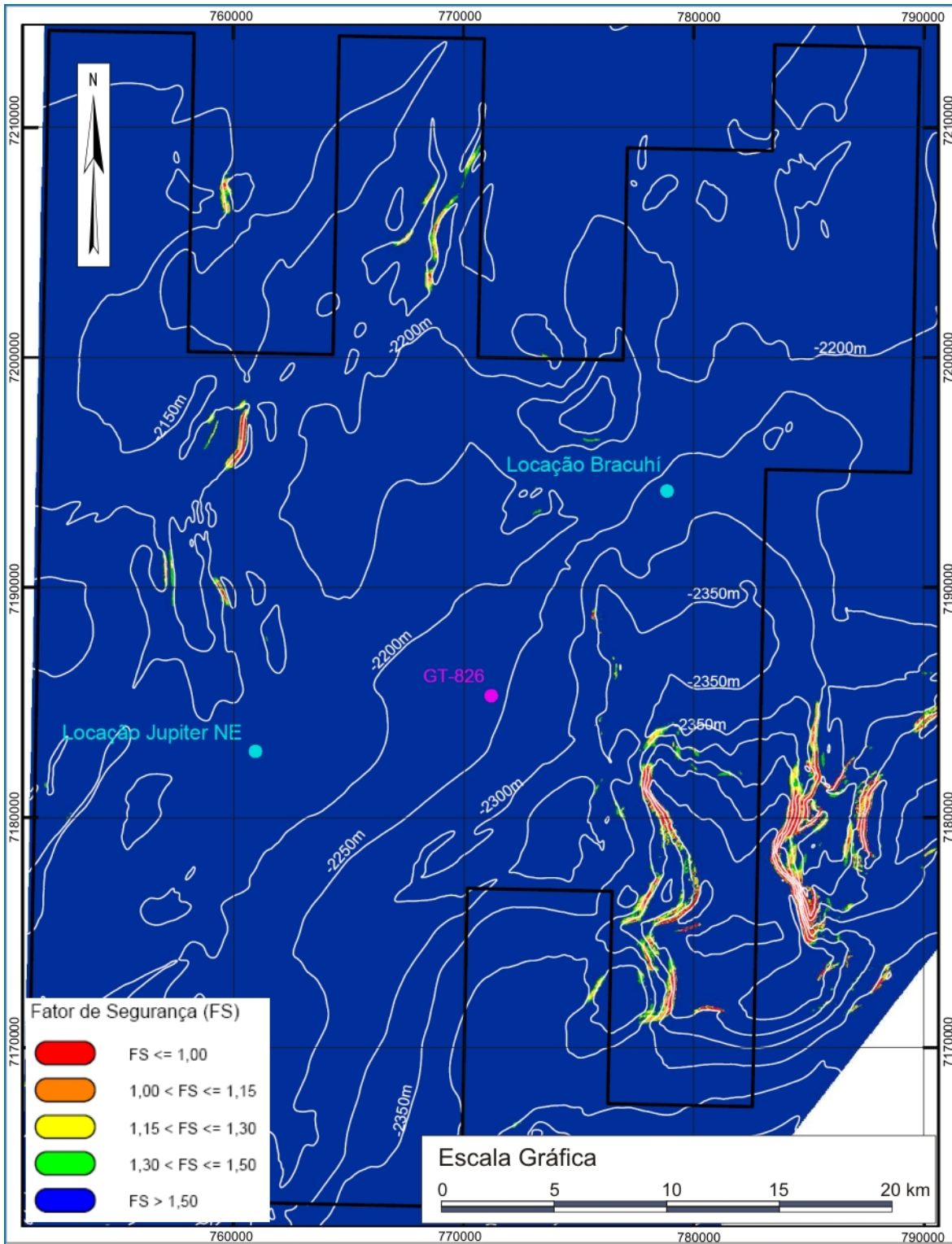
**Figura II.5.1.4-37** - Mapa de suscetibilidade a movimento de massa submarino – Área de Tupi e Iracema e Área de Iara (Bloco BM-S-11).

Fonte: Petrobras, 2010.



**Figura II.5.1.4-38** - Mapa de suscetibilidade a movimento de massa submarino – Área de Carambá Oeste (Bloco BM-S-21).

Fonte: Petrobras, 2010.



**Figura II.5.1.4-39** - Mapa de suscetibilidade a movimento de massa submarino – Área de Júpiter e Bracuhi (Bloco BM-S-24).

Fonte: Petrobras, 2010.

Os mapas de suscetibilidade a movimentos de massa apresentando a distribuição espacial dos valores de FS (**Figura II.5.1.4-34** e **Figura II.5.1.4-39**), indicam para todos os pontos de locação de instalações submarinas previstos para os Projetos de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás natural no Pólo do Pré-Sal, valores de fator de segurança (FS) acima de 1,50, indentificando essas áreas como de baixo risco à ocorrência de movimentos de massa.

A análise integrada dos mapas de declividade e suscetibilidade a movimentos de massa, indicam que, áreas com declividades inferiores a 3° poderia ser consideradas seguras, na área do Pólo do Pré-Sal.

A análise dos mapas batimétrico-faciológicos locais não identificou qualquer tipo de feições erosionais (*cânion*) ou deposicionais geradas por movimentos gravitacionais (leques submarinos), comprovada pela configuração paralela das linhas batimétricas.

Com Base nos resultados obtidos nesses estudos, pode-se mapear a priori como sendo seguros do ponto de vista de estabilidade geotécnica os locais onde estão previstos os Projetos de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás natural no Pólo do Pré-Sal.