

II.5.1 - MEIO FÍSICO

II.5.1 - Meio Físico

II.5.1.1 - Meteorologia

II.5.1.1.1 - Introdução

A caracterização ambiental de uma determinada região representa uma importante ferramenta de planejamento do uso dos recursos naturais e de otimização de investimentos.

Assim sendo, o presente estudo aborda os aspectos meteorológicos mais relevantes da Bacia de Campos, mais precisamente, nas proximidades do Campo de Espadarte, onde será realizado o Teste de Longa Duração do Poço 7-ESP-42H-RJS.

Para tanto, foram pesquisadas informações secundárias de bases regionais e globais, e analisados através de procedimentos estatísticos, de forma a atender às exigências do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA).

Os parâmetros analisados no estudo são: temperatura, precipitação, evaporação, umidade relativa, pressão atmosférica, insolação e regime de ventos.

A - Caracterização Climática

Devido à sua extensão territorial, o posicionamento geográfico e o relevo, a América do Sul apresenta características climáticas distintas, principalmente quanto ao seu regime de chuvas e temperaturas. Essa variabilidade climática está diretamente relacionada às condições atmosféricas decorrentes da interação entre fenômenos pertencentes a várias escalas de tempo e espaço, que vão desde a planetária até a escala local.

A relação entre o padrão da circulação atmosférica sobre a América do Sul e a distribuição espacial e temporal dos sistemas meteorológicos apresenta várias características interessantes, tais como a Alta da Bolívia (AB), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), a Baixa do Chaco (que no verão

interage com os sistemas frontais) e ondas de frio, que surgem na região equatorial e são chamadas de friagens no inverno. No Oceano Atlântico tropical, ocorre ainda a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (RI PRO06, 2007). Registra-se também a presença de sistemas de meso escala como brisas marítimas e terrestres.

A América do Sul é também uma região de forte interação meridional entre os trópicos e os extra-trópicos. As regiões tropicais e subtropicais da América do Sul sofrem influência direta do fenômeno ENOS (El Niño-Oscilação Sul) e La Niña. É importante ressaltar que, embora exista essa relação direta para algumas regiões, tais como o norte da região Nordeste e o Sul do Brasil, o Estado do Rio de Janeiro está em uma região que ainda pode sofrer alguma influência do ENOS.

Características adicionais e descrições destes sistemas podem ser encontradas em Satyamurty *et al.* (1998) e Lima (1996).

Particularmente, sobre a América do Sul, a circulação atmosférica modifica-se significativamente da estação de verão (dezembro-janeiro-fevereiro) para a de inverno (junho-julho-agosto), principalmente nos altos níveis (200 hPa). Isto pode ser visto na **Figura II.5.1.1-1**, que compara os padrões de circulação troposférica média nessas duas estações em altos níveis, e na **Figura II.5.1.1-2**, que faz o mesmo para baixos níveis (850 hPa).

Durante o verão, o clima da América do Sul é modulado por circulações quase-estacionárias. Na alta troposfera (aproximadamente 10 km de altura), observa-se um cavado sobre o Pacífico Leste e outro sobre o Atlântico associado à Alta da Bolívia (AB), que eventualmente se fecha, sendo denominado Vórtice Ciclônico do Nordeste do Brasil (**Figura II.5.1.1-1-a**). No verão, a corrente de jato subtropical se desloca para latitudes mais altas, com máxima intensidade em aproximadamente 45°S. No inverno na alta troposfera (**Figura II.5.1.1-1-b**), o padrão do escoamento é essencialmente zonal e a corrente de jato de oeste é bastante intensa, com centro de máxima intensidade localizado entre 20°S e 40°S. Em baixos níveis, o padrão do escoamento sobre a América do Sul não varia significativamente entre o verão e o inverno (**Figura II.5.1.1-2-a** e **Figura II.5.1.1-2-b**), respectivamente. É importante destacar a presença do Jato de baixos níveis abaixo de 850 hPa que é responsável pelo transporte de vapor d'água e calor da Amazônia para a região Sul, o Paraguai e o norte da Argentina.

No inverno, observam-se os centros do Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) e do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), mais forte que no verão. Observa-se também um ligeiro deslocamento do ASPS em direção à linha do Equador em relação à sua posição no verão e do ASAS para mais próximo do continente sul-americano, deslocado para oeste (RI PRO06, 2007).

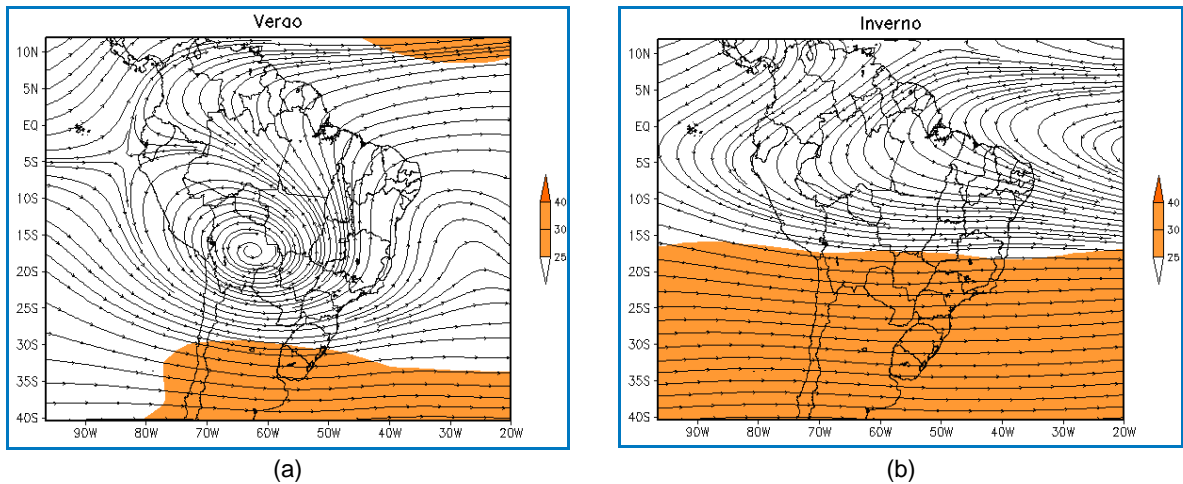


Figura II.5.1.1-1 - Campos médios sazonais do vento no nível de 200 hPa (m/s) construídos a partir de dados do modelo de reanálise do NCEP/NCAR, referentes ao período de verão (a) e inverno (b). Dados abrangem período de 1978 a 2007.

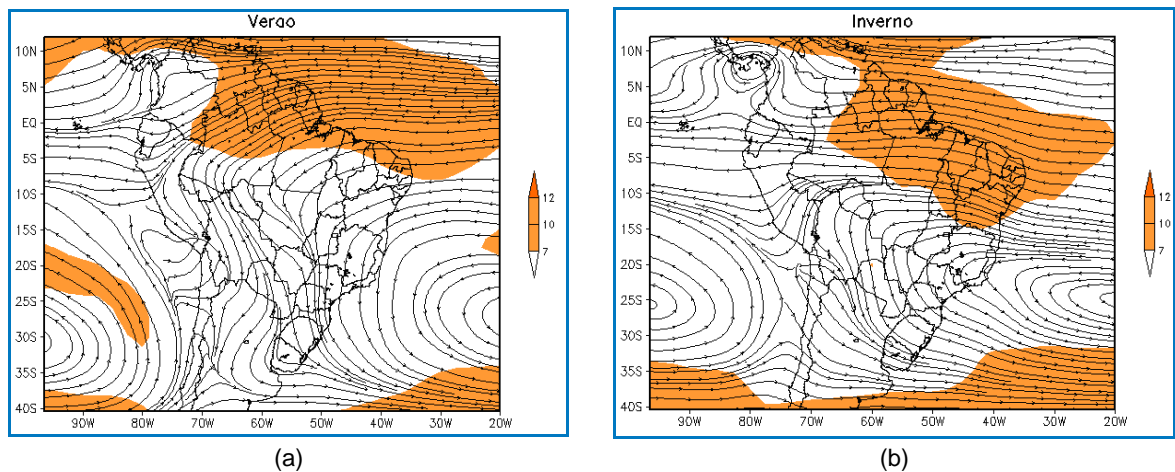


Figura II.5.1.1-2 - Campos médios sazonais do vento no nível de 850 hPa (m/s) construídos a partir de dados do modelo de reanálise do NCEP/NCAR, referentes ao período de verão (a) e inverno (b). Dados abrangem período de 1978 a 2007.

A penetração de frentes (ou sistemas frontais) frias é um mecanismo de grande impacto no clima do Sudeste brasileiro durante todo o ano e possui importante papel na transferência de calor, momento e umidade das altas para as baixas latitudes.

No setor quente da frente, segundo Stech & Lorenzetti (1992), a velocidade média do vento é de 5 m/s, variando sua direção de predominantemente nordeste para noroeste com a aproximação da frente. Imediatamente após a passagem da frente fria, o vento tem direção sudoeste, com velocidades tipicamente em torno de 8 m/s (STECH; LORENZZETTI, 1992). Aproximadamente um dia após a passagem da frente pela região, o vento novamente gira no sentido anti-horário, de sudoeste para nordeste (STECH; LORENZZETTI, 1992).

De maneira geral, na América do Sul, os sistemas provenientes do Pacífico deslocam-se para leste adquirindo, depois da passagem pela Cordilheira dos Andes, uma componente em direção ao Equador. Esses sistemas podem avançar pelo continente ou deslocar-se para o oceano Atlântico.

Apesar de serem observados sistemas frontais durante todo o ano, é no verão que eles atuam de modo a causar maior precipitação ao se associar a outros tipos de sistemas que provocam chuvas na região: os sistemas convectivos. A convecção é provocada pela associação das altas temperaturas com a umidade do ar. Estes dois fatores favorecem a formação de nuvens, causando instabilidades e chuvas isoladas em forma de pancadas, principalmente no período da tarde. No inverno os sistemas frontais estão mais relacionados com a penetração de massas de ar frio.

A penetração de sistemas frontais na América do Sul é influenciada por vários fatores, tais como o posicionamento da Alta do Atlântico Sul, da Alta da Bolívia, em altos níveis, durante o verão, e de fenômenos como El Niño e La Niña.

Durante o inverno, devido ao resfriamento do Hemisfério Sul e ao aquecimento do Hemisfério Norte, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ocupa a sua posição mais setentrional (MARTIN *et al.*, 1998). Nesse período, os sistemas frontais e os distúrbios de leste, que são aglomerados convectivos

trazidos pelos ventos alísios de sudeste em direção ao continente, atuam com mais frequência sobre a Região do Sudeste brasileiro.

No verão, o resfriamento do Hemisfério Norte e o aquecimento do Hemisfério Sul deslocam a ZCIT para uma posição mais ao Sul, curvando-a em direção ao continente (MARTIN *et al.*, 1998). O deslocamento da ZCIT mais para Sul favorece a predominância dos ventos alísios de nordeste. Nesse período, os sistemas frontais não chegam a ultrapassar o Trópico de Capricórnio.

O outono é o período onde a ZCIT encontra-se em sua posição mais a sul, porém os sistemas frontais voltam a atuar com certa frequência, devido ao posicionamento mais a leste do ASAS neste período, e os ventos alísios passam a ser de sudeste, fechando desta forma o ciclo anual de atuação dos principais sistemas atmosféricos que atuam na região Sudeste.

O ASAS afeta o clima do Brasil oscilando em torno de sua posição média, localizando-se mais ao sul e a leste no verão (30°S e 15°W) e mais ao norte e a oeste no inverno (22°S e 30°W). Essa oscilação E-W decorre porque, durante o inverno, as temperaturas são menores sobre os continentes e, em consequência, os centros de alta pressão migram para o continente, enquanto no verão, as temperaturas sobre os continentes são maiores e os centros de alta pressão localizam-se sobre os oceanos. O fortalecimento do ASAS está associado principalmente à sua migração para Sul, apresentando máximos climatológicos em torno de 1026 hPa nos meses de agosto (HASTENRATH, 1985). O sistema ocupa a sua posição mais ao Norte nos meses de inverno, ficando mais próximo à linha do Equador.

As variações na Alta da Bolívia parecem estar vinculadas também às penetrações de sistemas frontais sobre o continente. Oliveira (1986) registrou nove casos de ocorrência da Alta da Bolívia, nos quais a passagem de uma frente sob a parte central do continente levavam a Alta a deslocar-se para oeste. VCANs originam-se a partir da amplificação da crista associada a Alta da Bolívia (AB), e no período de verão, os sistemas frontais freqüentemente ficam semi-

estacionados no litoral da Região Sudeste, devido à presença de vórtices ciclônicos em altos níveis na Região Nordeste (CLIMANÁLISE ESPECIAL, 1996).

Fedorova & Carvalho (2000) mostraram que nos períodos em que os fenômenos de La Niña e El Niño estão mais ativos, a quantidade de dias com frentes frias entre as latitudes de 20° e 40°S em ano de El Niño atingiu 90,3% dos dias analisados e, em ano de La Niña, diminuiu até 56,7%. Em ambos os casos, ou seja, La Niña e El Niño, a maior frequência dos sistemas frontais foi observada mais ao sul da América do Sul (e ainda sobre o Rio Grande do Sul e Uruguai, em anos de El Niño), sendo 49,7 e 44%, respectivamente.

Cabe acrescentar que o posicionamento latitudinal da ZCIT sobre o Atlântico pode ser afetado em função do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (MARTIN *et al.*, 1998).

Em anos de El Niño, o ramo descendente da célula de Walker se desloca para a região sobre a Amazônia, inibindo a convecção e enfraquecendo os ventos alísios de nordeste. Dessa forma, diminui-se o fluxo de umidade vindo dos oceanos que penetra na região Amazônica, resultando em uma ZCIT posicionada bem mais ao norte do que sua posição normal.

Outro sistema típico de verão é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), fenômeno semi-estacionário caracterizado pela presença de uma banda de nebulosidade orientada de noroeste-sudeste que se estende desde o sul da região Amazônica até a área central do Atlântico Sul. Na **Figura II.5.1.1-3** tem-se um exemplo do posicionamento da ZCAS. A ZCAS está condicionada ao posicionamento da Alta da Bolívia e os VCAN no nordeste brasileiro. Segundo Figueroa (1997) *apud* Vitorino (2002), os sistemas ZCAS, VCAN e AB se acoplam de modo quase-estacionário, de tal forma que o VCAN depende da ZCAS, a ZCAS depende da convecção da Amazônia e dos transientes de latitudes médias, e a convecção da Amazônia depende de fatores de grande escala. Figueroa (1997) *apud* Vitorino (2002) ainda sugere que a interação entre cada sistema contribui para manter os sistemas por vários dias.

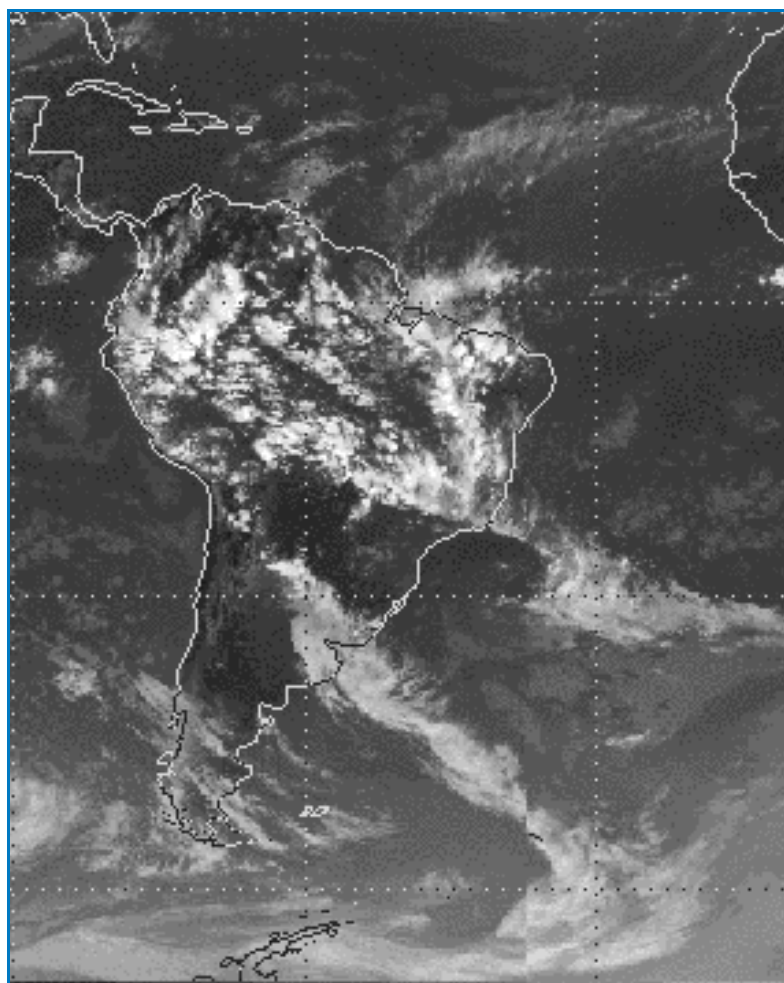


Figura II.5.1.1-3 - Imagem do satélite EUMETSAT/CPTEC, setorizada, no canal infravermelho, indicativa do posicionamento de uma ZCAS em 14/03/06 às 21Z.

Fonte: CPTEC/INPE.

Outro fenômeno de grande escala associado à ZCAS é a oscilação de 30-60 dias, conhecida como Madden-Julian. Esta oscilação caracteriza-se pelo deslocamento para leste de uma célula zonal, termicamente direta, que causa variações na convecção da região tropical (MADDEN; JULIAN, 1972). Isso irá causar variações na posição e velocidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que, por sua vez, interfere na precipitação nas Regiões Sudeste, Norte e Nordeste do Brasil.

Os mecanismos físicos envolvidos no acoplamento oceano-atmosfera sobre a região tropical ainda não são bem compreendidos. Tem-se como consenso que as anomalias em relação à média de longo termo no campo de temperatura da

superfície do mar (TSM) refletem tanto processos da dinâmica interna do próprio oceano quanto processos dinâmicos e termodinâmicos atmosféricos. Por sua vez, tais anomalias de TSM simultaneamente forçam a atmosfera através dos fluxos de calor oceano-atmosfera resultantes (evaporação, processos convectivos, formação de nuvens, etc.), provocando mudanças no campo de vento em baixos níveis. Estes mecanismos de realimentação, sob certas condições, produzem instabilidades no sistema acoplado (RI PRO06, 2007).

O fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é um exemplo da manifestação dessa instabilidade. Portanto, o ENOS pode ser definido como sendo um fenômeno de escala global associado a um forte acoplamento oceano-atmosfera que se manifesta sobre o Oceano Pacífico Tropical. Tal fenômeno consiste de uma componente oceânica, o El Niño ou La Niña, e uma componente atmosférica, a Oscilação Sul representada pela diferença entre a pressão ao nível do mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico do Oeste (Darwin/Austrália) (RI PRO06, 2007).

Durante a ocorrência do fenômeno El Niño, as interações oceano-atmosfera de grande escala que se processam no Oceano Pacífico Tropical, provocam modificações na circulação geral da atmosfera, isto é, na Célula de Walker e, conseqüentemente, mudanças nos padrões da circulação e da precipitação, que podem desencadear adversidades climáticas (secas, enchentes, temperaturas altas, etc.) em diversas regiões continentais ao redor do globo (RI PRO06, 2007). No Brasil, normalmente, anos de El Niño ocasionam períodos de seca em estações chuvosas (fevereiro a março) na região Nordeste e à leste da Amazônia, enquanto no Sul brasileiro precipitações em abundância ocorrem, sendo que frentes frias que vêm do sul podem permanecer semi-estacionadas por vários dias sobre a região.

II.5.1.1.2 - Caracterização Meteorológica

A caracterização meteorológica da região da Bacia de Campos, mais especificamente, da locação do Campo de Espadarte, baseou-se na análise e interpretação dos dados das seguintes fontes:

- Normais climatológicas de temperatura, precipitação, evaporação, umidade, pressão atmosférica e insolação, obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) nas estações do Rio de Janeiro-RJ e Vitória-ES;
- Dados de temperatura do ar, precipitação, pressão atmosférica e umidade relativa na estação do INMET de São-Tomé (RJ);
- Dados de ventos, temperatura do ar, precipitação, pressão atmosférica e umidade relativa das Reanálises II do NCEP/NCAR (*National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research*);
- Dados de frequência de passagem de sistemas frontais do Boletim Climanalise do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional Pesquisas Espaciais (INPE);
- Dados bibliográficos existentes para a região.

As Normais Climatológicas do INMET fornecem médias mensais de parâmetros meteorológicos de um determinado local pelo período de 30 anos, caracterizando a distribuição dos dados dentro de uma faixa de incidência habitual. Serão apresentadas as normais climatológicas de temperatura, precipitação, evaporação, umidade relativa, pressão atmosférica e insolação, obtidas nas estações do Rio de Janeiro situada nas coordenadas 22,88°S e 43,18°W e de Vitória, situada nas coordenadas 20,32°S e 40,32°W, para os períodos de 1931 a 1960 e 1961 a 1990, perfazendo um total de 60 anos. Estas duas estações foram escolhidas por se localizarem próximas aos limites norte e sul da Bacia de Campos, permitindo assim uma avaliação da variação meridional dos parâmetros ao longo da Bacia.

Para avaliação da variabilidade dos parâmetros meteorológicos em menor período de tempo, também foram utilizados os dados de temperatura, precipitação, umidade relativa e pressão atmosférica da estação meteorológica do INMET de São Tomé – RJ, localizada em 22,04°S e 41,05°W. Estes dados foram coletados em intervalos de uma hora, entre janeiro e dezembro de 2009. Não estão disponíveis dados de evaporação e insolação para a estação do INMET de São Tomé, sendo suas caracterizações feitas apenas em função das normais climatológicas descritas anteriormente.

Os dados da Reanálise II do NCEP utilizados para as análises pontuais do vento foram obtidos do ponto de grade mais próximo ao Campo de Espadarte, localizado em 23,81°S e 41,25°W com resultados a cada 6 horas, de janeiro de 1979 a dezembro de 2008, compreendendo 43.832 dados.

Com relação ao projeto R-2 (*NCEP - DOE AMIP-II Reanalysis*), trata-se de uma série global atualizada, de 1979 até o presente, que corrige os erros de processamento da Reanálise, utilizando um modelo de previsão e um sistema de assimilação de dados mais robustos. Assim, é gerada uma reanálise mais consistente e recomendada para usuários que eram afetados por alguns erros presentes anteriormente. Dentre estes erros, podemos citar as análises de fenômenos transientes no Hemisfério Sul; o uso de temperaturas próximas à superfície e cobertura de neve sobre os continentes no Hemisfério Norte durante o inverno; análise da umidade dos solos; análises do balanço de neve; e sensibilidade das análises às mudanças no modelo de assimilação (KANAMITSU *et al.*, 2002).

Para análise de extremos em períodos mais longos, foram utilizados os dados da Reanálise do NCEP de janeiro de 1959 a dezembro de 2008, novamente com observações de 6 em 6 horas.

A variação espacial dos parâmetros meteorológicos (temperatura, precipitação, umidade e pressão atmosférica) na região oceânica da Bacia de Campos, foi realizada através das médias mensais da Reanálise II do NCEP para o período compreendido entre janeiro de 1979 e dezembro de 2008.

Para avaliação da frequência de passagem de frentes frias na região, optou-se por apresentar as estatísticas mensais de passagens de sistemas frontais na cidade de Cabo Frio-RJ para o período compreendido entre janeiro de 1996 e dezembro de 2007, publicadas pelo Boletim Climanálise, do CPTEC/INPE. Esta publicação consiste em boletins de monitoramento e análise climática, disponibilizados no site do CPTEC, que fazem uma análise mensal das ocorrências de sistemas frontais em estações de superfície no Brasil, separando-as em uma linha de estações costeiras.

As localizações das estações meteorológicas do INMET (Rio de Janeiro, São Tomé e Vitória), do CPTEC (Cabo Frio) e da posição dos pontos de grade do NCEP utilizados para as análises pontuais e espaciais são apresentadas na **Figura II.5.1.1-4**.

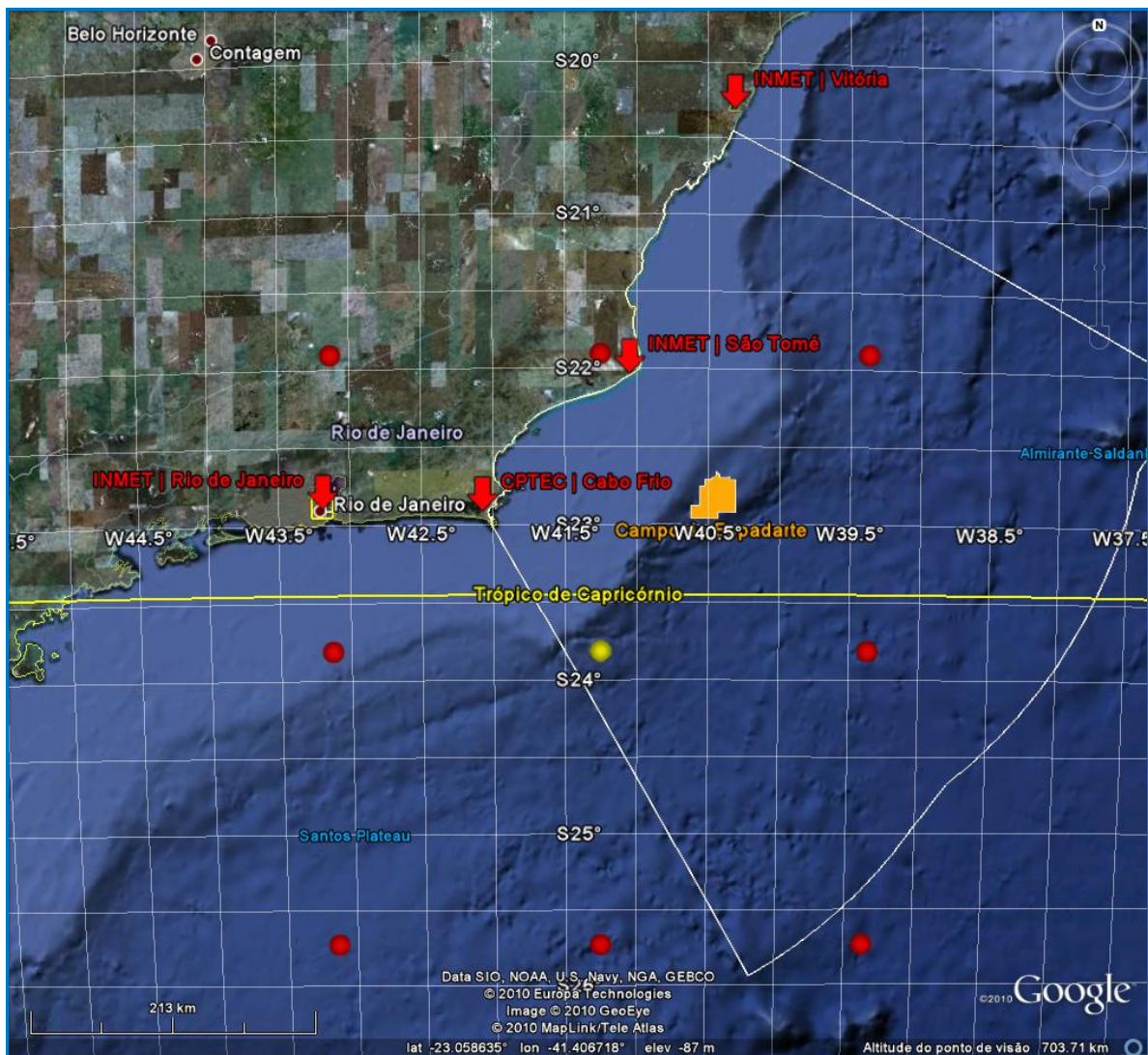


Figura II.5.1.1-4 - Localização das estações meteorológicas do INMET do Rio de Janeiro/RJ, São Tomé e Vitória/ES, da estação meteorológica do CPTEC de Cabo Frio, dos pontos de grade do NCEP utilizados para análises pontuais (ponto amarelo) e espaciais do regime de ventos (pontos vermelhos).

A **Tabela II.5.1.1-1** apresenta um resumo dos dados utilizados para os diferentes parâmetros. Na **Tabela II.5.1.1-2** apresenta-se as fontes de dados utilizados no estudo e suas respectivas localizações.

Tabela II.5.1.1-1 - Resumo dos parâmetros analisados, fontes e abrangência temporal e frequência dos dados utilizados.

	TA	P	PA	U	E	I	V	SF
INMET - Rio de Janeiro	Normais climatológicas (médias mensais) nos períodos de 1931 a 1960, e 1961 a 1990;						-	-
INMET - Vitória	Normais climatológicas (médias mensais) nos períodos de 1931 a 1960, e 1961 a 1990;						-	-
INMET – São Tomé	Dados horários de janeiro a dezembro de 2009;					-	-	-
NCEP/NCAR	Médias mensais de Jan/79 a Dez/08;				-	-	Observações a cada 6 horas, dados de Jan/79 a Dez/08; Análise de extremos: dados a cada 6 horas, no período de Jan/59 a Dez/08	-
CPTEC/INPE	-	-	-	-	-	-	-	Boletim Climanálise – Passagem de frentes frias em Cabo Frio, entre Jan/96 e Dez/07

Legenda: TA = Temperatura do Ar; P = Precipitação; PA = Pressão Atmosférica; U = Umidade; V = Ventos; E = Evaporação; I = Insolação; SF = Sistemas Frontais.

Tabela II.5.1.1-2 - Localização das fontes de dados utilizados.

Fontes	Coordenadas		Parâmetros
	latitude	longitude	
INMET-Rio de Janeiro	22,88° S	43,18° W	TA, P, E, UR, PA e I
INMET - Vitória	20,32° S	40,32° W	TA, P, E, UR, PA e I
INMET – São Tomé	22,04° S	41,05° W	TA, P, UR, PA
NCEP-NCAR (pontual)	23,81° S	41,25° W	V
Climanálise/CPTEC/INPE	22,92° S	42,07° W	SF

Legenda: TA = Temperatura do Ar; P = Precipitação; E = Evaporação; UR = Umidade Relativa; UE = Umidade Específica; PA = Pressão Atmosférica; V = Ventos; I = Insolação; SF = Sistemas Frontais.

A - Temperatura

A temperatura média para as estações do Rio de Janeiro (**Figura II.5.1.1-5**) e de Vitória (**Figura II.5.1.1-6**), para os anos de 1931 a 1960 e 1961 a 1990, apresentou o mesmo padrão de variação nas duas estações, sendo que na estação de Vitória, localizada mais ao norte, as temperaturas são ligeiramente superiores ($\sim 0,5^{\circ}\text{C}$). Em ambas as estações os meses mais quentes são os de verão, e os mais frios, os de inverno. O mês de fevereiro é, em média, o mais quente ($\sim 26,5^{\circ}\text{C}$ no Rio de Janeiro e 27°C em Vitória), e julho o mais frio ($\sim 21,3^{\circ}\text{C}$ no Rio de Janeiro e $21,7^{\circ}\text{C}$ em Vitória). Os valores médios máximos ocorrem no mês de fevereiro, enquanto os valores médios mínimos são encontrados no mês de julho. As temperaturas médias máximas e mínimas apresentam o mesmo padrão. Pode-se observar que tanto na estação do Rio de Janeiro e de Vitória, o período compreendido entre 1961 e 1990 apresenta temperaturas mais elevadas.

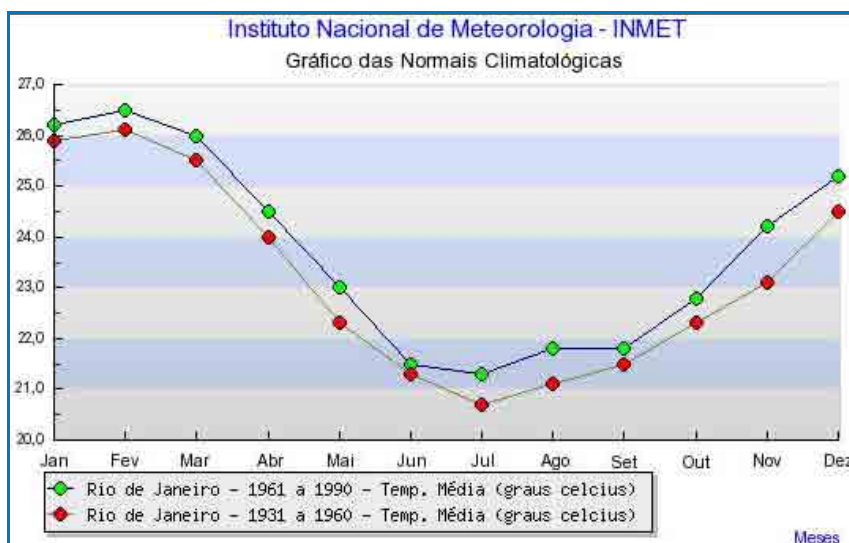


Figura II.5.1.1-5 - Temperatura média na estação do Rio de Janeiro.

Fonte: INMET.

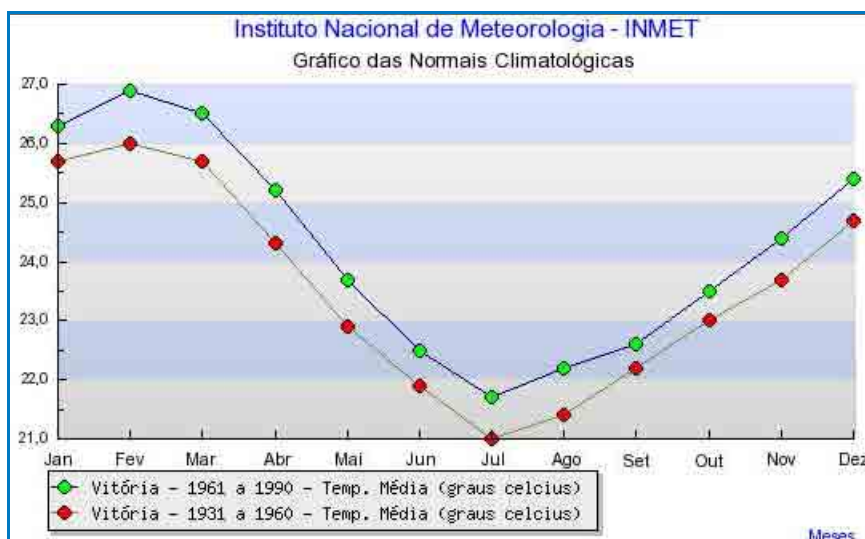


Figura II.5.1.1-6 - Temperatura média na estação de Vitória.

Fonte: INMET.

Para avaliação das variações espaciais e sazonais da temperatura do ar na região da Bacia de Campos, são apresentadas, na **Figura II.5.1.1-7** e na **Figura II.5.1.1-8**, médias sazonais dos dados de temperatura do ar a 2 metros de altitude, obtidos a partir das reanálises do NCEP.

Como poderá ser verificado nas figuras a seguir, tanto para o período de verão (**Figura II.5.1.1-7**) quanto para o período de inverno (**Figura II.5.1.1-8**), há

um aumento da temperatura em direção ao norte e ao leste da Bacia de Campos. Durante o verão, a região do Campo de Espadarte se encontra com temperaturas médias entre 25,5 e 26,0°C, já no inverno, estas estão em ~22,5 e 23°C. De forma complementar, na **Tabela II.5.1.1-3** é apresentada a estatística básica dos dados de temperatura do NCEP para toda área e período analisados.

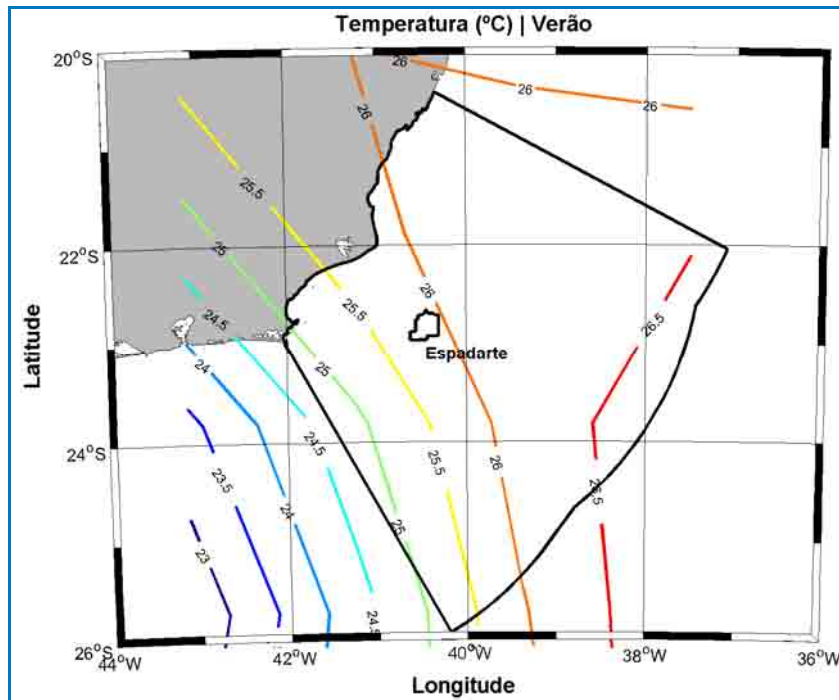


Figura II.5.1.1-7 - Temperatura média do ar (°C) na região da Bacia de Campos no período de verão.

Fonte: NCEP.

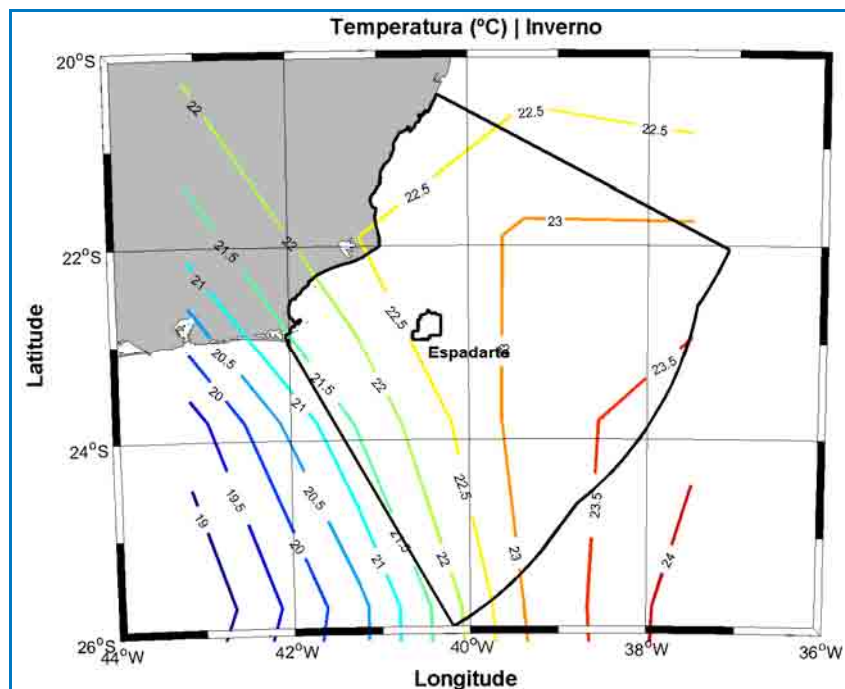


Figura II.5.1.1-8 - Temperatura média do ar (°C) na região da Bacia de Campos no período de inverno.

Fonte: NCEP.

Tabela II.5.1.1-3 - Estatística básica dos dados de temperatura do NCEP para todo período (1978 a 2007) e para toda região analisada. Fonte: NCEP.

Estação	Média (°C)	Média Máxima (°C)	Média Mínima (°C)	Desvio Padrão (°C)
Verão	24,55	27,49	21,99	0,36
Inverno	20,74	25,46	15,79	0,46

As temperaturas médias máximas nas estações meteorológicas do Rio de Janeiro (**Figura II.5.1.1-9**) e de Vitória (**Figura II.5.1.1-10**) também apresentam comportamento semelhante ao de temperatura média, com maiores e menores valores encontrados nos meses de fevereiro e julho, respectivamente, com exceção do período de 1961 a 1990 para estação do Rio de Janeiro, com menor temperatura média máxima em setembro.

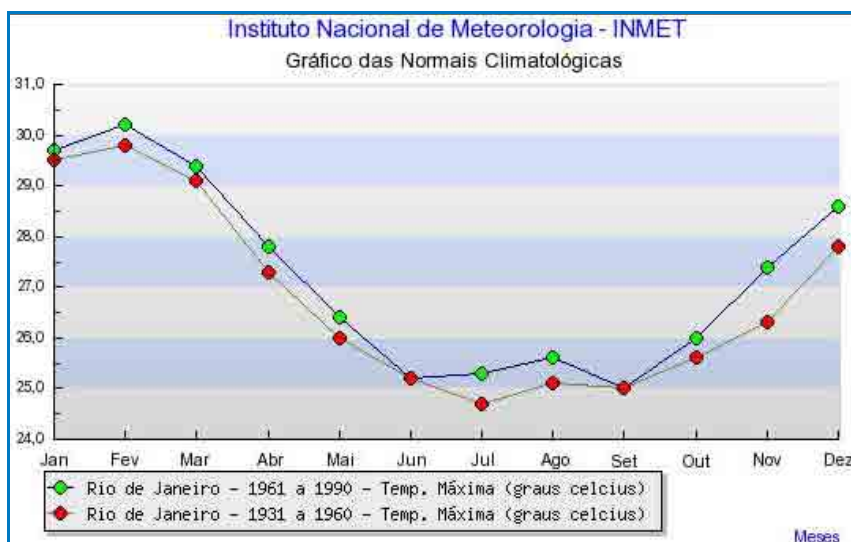


Figura II.5.1.1-9 - Temperatura máxima na estação do Rio de Janeiro.

Fonte: INMET.

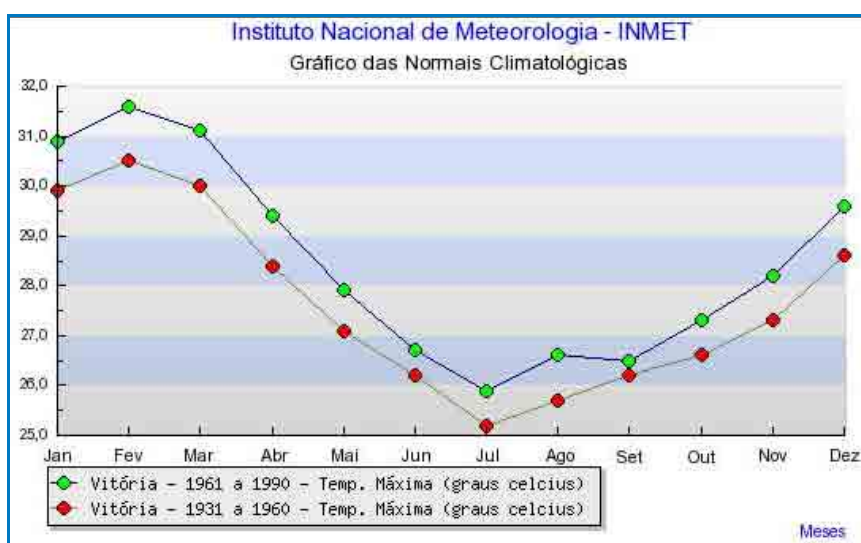


Figura II.5.1.1-10 - Temperatura máxima na estação de Vitória.

Fonte: INMET.

As temperaturas médias mínimas nas duas estações (**Figura II.5.1.1-11** e **Figura II.5.1.1-12**) também apresentam o mesmo padrão geral dos valores médios e máximos, com maiores e menores valores encontrados nos meses de fevereiro e julho, respectivamente. Observa-se que ambas as estações apresentam maiores valores no período compreendido entre 1961 e 1990.

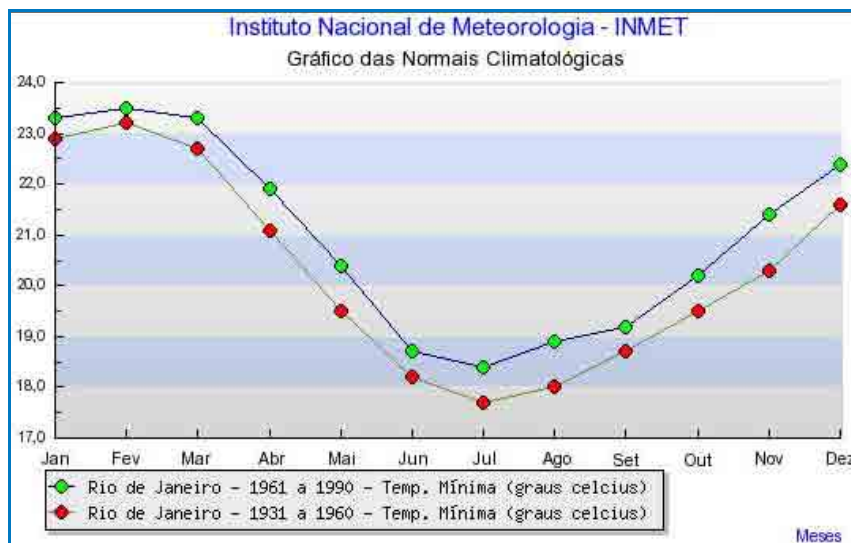


Figura II.5.1.1-11 - Temperatura mínima na estação do Rio de Janeiro.

Fonte: INMET.

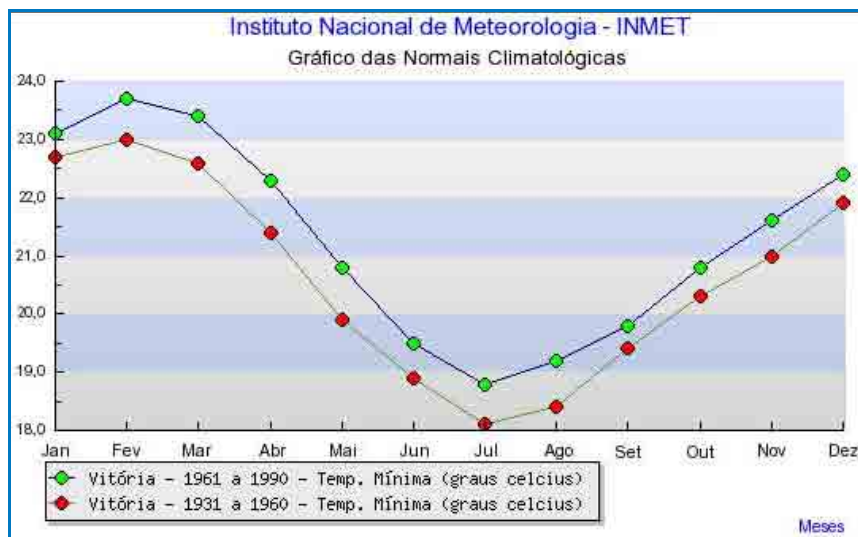


Figura II.5.1.1-12 - Temperatura mínima na estação de Vitória.

Fonte: INMET.

Para avaliar a variabilidade da temperatura em menor período de tempo, foram utilizados os dados horários de temperatura obtidos da estação de São Tomé para o período de janeiro a dezembro de 2009 (**Figura II.5.1.1-13**). A variação da temperatura se dá principalmente na faixa sazonal e no ciclo de aquecimento solar diário. Eventos extremos, com temperaturas de até 35°C podem ocorrer, principalmente no período de verão, já no período de inverno, as menores temperaturas podem atingir cerca de 15°C.

Na **Figura II.5.1.1-14** são apresentados os valores médios, máximos e mínimos para a estação de São Tomé. O mês de fevereiro é o que apresenta a maior média (26,66°C), enquanto o menor valor médio encontrado no mês de junho (21,32°C). A maior temperatura máxima absoluta (35,1°C) foi verificada em dezembro, e a menor temperatura mínima absoluta (13,8°C), foi observada em junho.

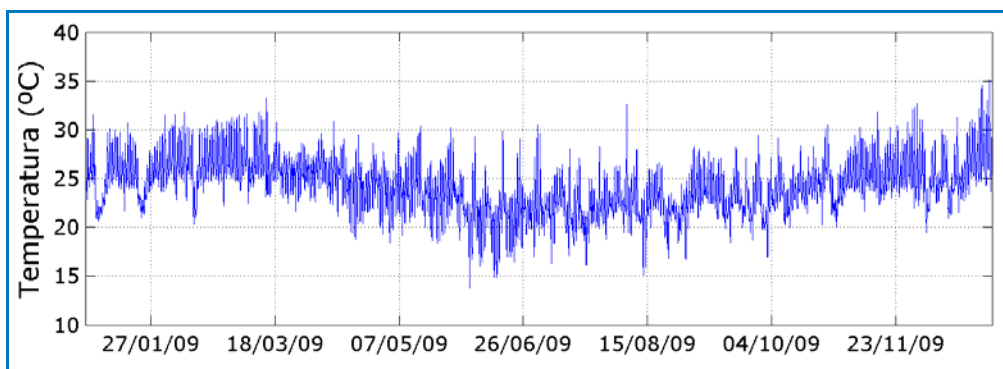


Figura II.5.1.1-13 - Série temporal de temperatura do ar na estação de São Tomé.

Fonte: INMET.

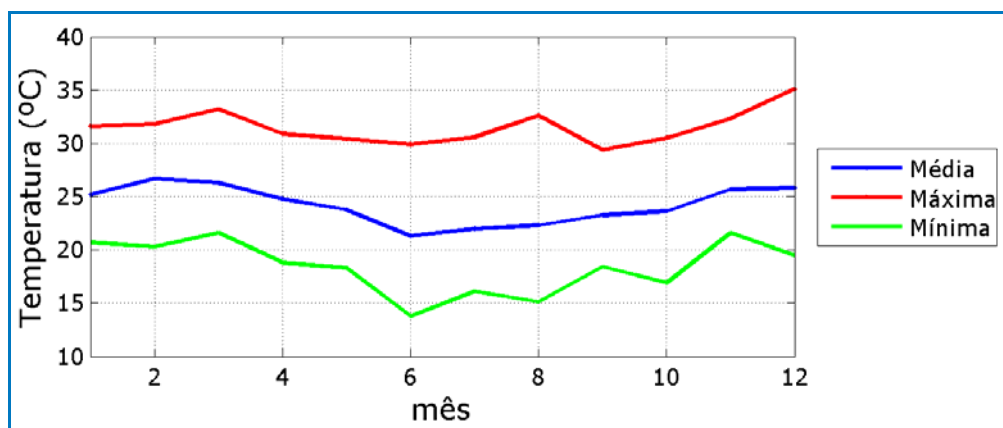


Figura II.5.1.1-14 - Temperatura média, máxima e mínima mensal na estação de São Tomé.

Fonte: INMET.

B - Precipitação

Em regiões tropicais, a precipitação reflete as características e comportamento de outros parâmetros, tais como temperatura, umidade relativa e regime de vento. Para as estações do Rio de Janeiro (**Figura II.5.1.1-15**) e de Vitória (**Figura II.5.1.1-16**), os valores médios de precipitação apresentam uma

sazonalidade bem marcada, onde são observadas maiores precipitações no verão e menores no período de inverno. O mês com maior taxa de precipitação é o mês de dezembro, com precipitação de ~160mm na estação do Rio de Janeiro e ~200mm na estação de Vitória. Agosto aparece como o mês com menor precipitação (~ 50mm nas duas estações).

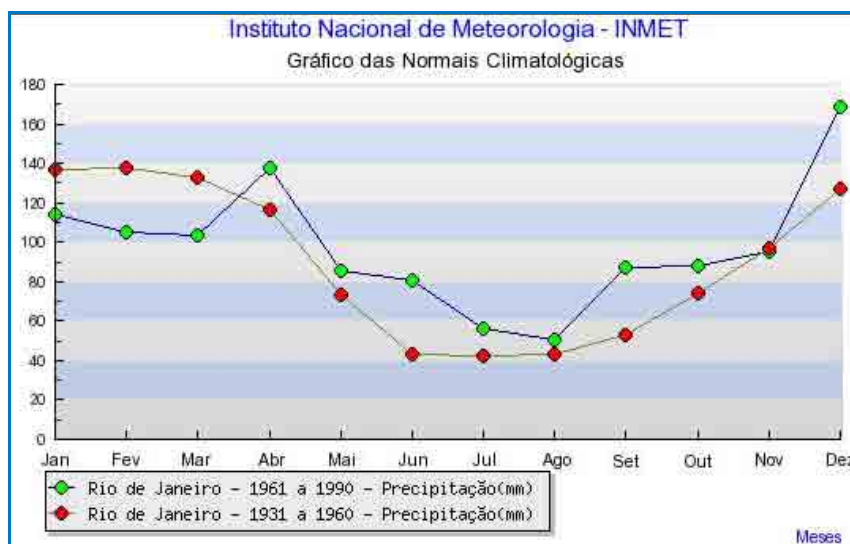


Figura II.5.1.1-15 - Precipitação na estação do Rio de Janeiro.

Fonte: INMET.

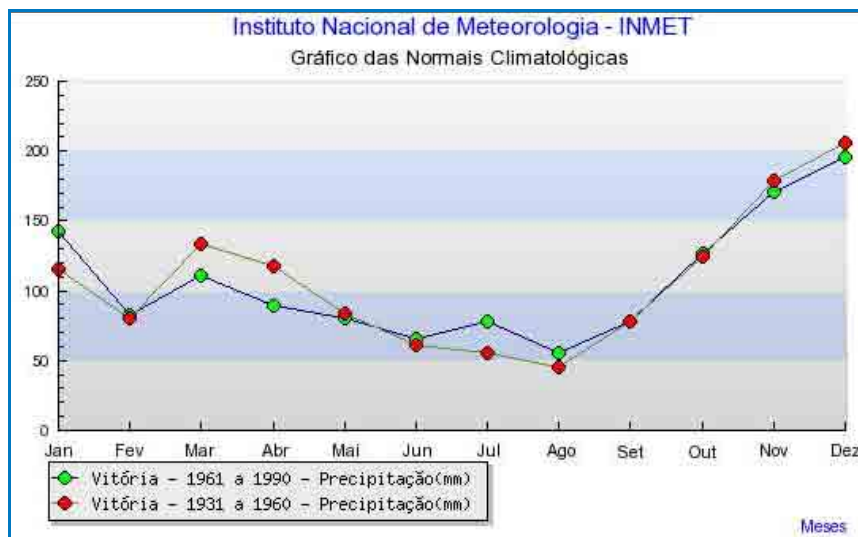


Figura II.5.1.1-16 - Precipitação na estação de Vitória.

Fonte: INMET.

Para avaliação das variações espaciais e sazonais da precipitação na região da Bacia de Campos, são apresentadas, na **Figura II.5.1.1-17** e na **Figura II.5.1.1-18**, médias sazonais dos dados de precipitação obtidos a partir das reanálises do NCEP. Nas duas situações médias, há um aumento da precipitação em direção ao sul da Bacia de Campos. Durante o verão as precipitações são mais elevadas, e este gradiente é mais acentuada.

A precipitação na região do Campo de Espadarte varia entre 39,5 e 40,5 kg/m² no período de verão, e se encontra na faixa de precipitação entre 27 e 27,5 kg/m² no período de inverno. De forma complementar, na **Tabela II.5.1.1-4** é apresentada a estatística básica dos dados de precipitação do NCEP para toda área e período analisados.

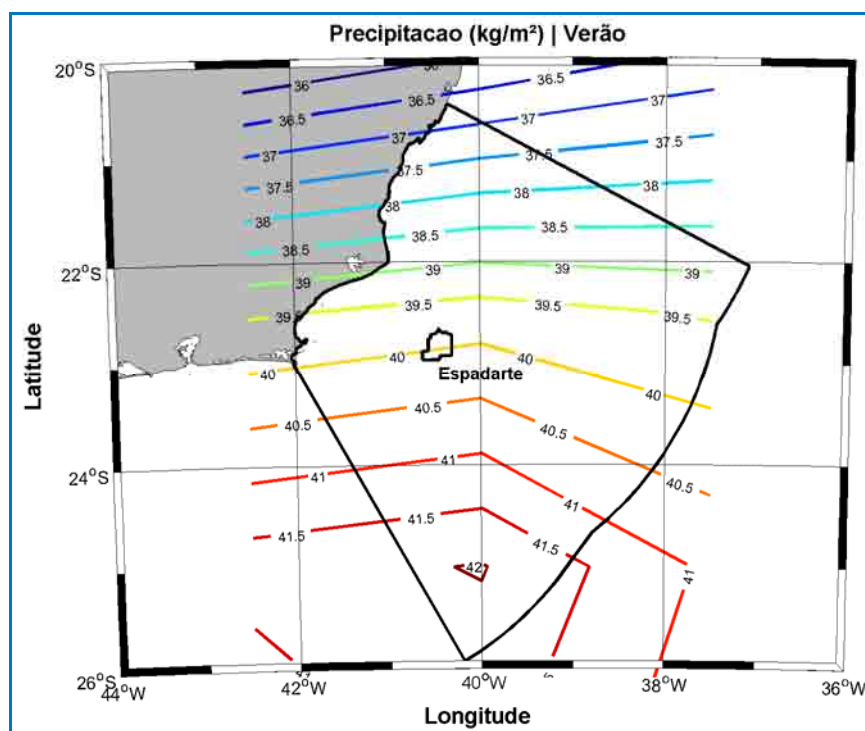


Figura II.5.1.1-17 - Precipitação (kg/m²) na região da Bacia de Campos no período de verão.

Fonte: NCEP.

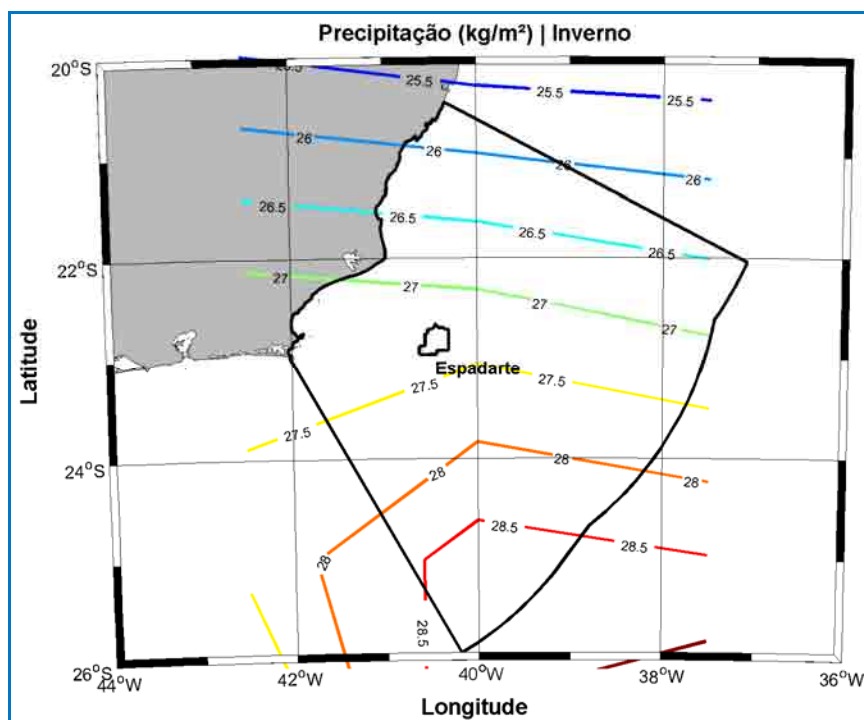


Figura II.5.1.1-18 - Precipitação (kg/m²) na região da Bacia de Campos no período de inverno.

Fonte: NCEP.

Tabela II.5.1.1-4 - Estatística básica dos dados de precipitação do NCEP para todo período (1978 a 2007) e para toda região analisada. Fonte: NCEP.

Estação	Média (kg/m ²)	Média Máxima (kg/m ²)	Média Mínima (kg/m ²)	Desvio Padrão (kg/m ²)
Verão	38,96	42,03	34,67	0,68
Inverno	26,80	29,10	25,35	0,42

Para avaliar o comportamento da precipitação em períodos mais curtos, foram utilizados os dados horários de precipitação obtidos da estação de São Tomé para o período de janeiro a dezembro de 2009 (**Figura II.5.1.1-19**). As maiores taxas de precipitação podem ser observadas principalmente no período de primavera e verão. Ao final do verão (fevereiro) nota-se um período de baixa pluviosidade, seguido por um aumento desta a partir da segunda quinzena de março (outono). Durante o inverno a pluviosidade diminui novamente, retomando maiores valores ao início da primavera (setembro).

Na **Figura II.5.1.1-20** são apresentados os valores médios e máximos para a estação de São Tomé. O mês de outubro foi o que apresentou o maior valor

médio diário (12,12 mm) e máximo de precipitação (60,2 mm), enquanto o valor médio mínimo foi encontrado no mês de maio (0,3 mm).

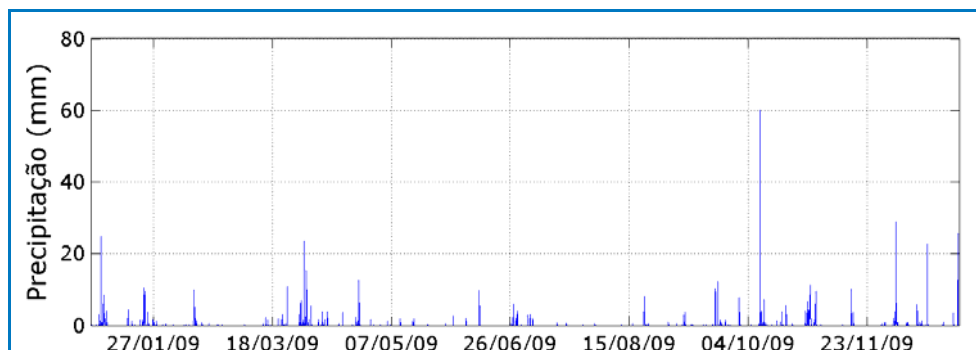


Figura II.5.1.1-19 - Série temporal de precipitação na estação de São Tomé.

Fonte: INMET.

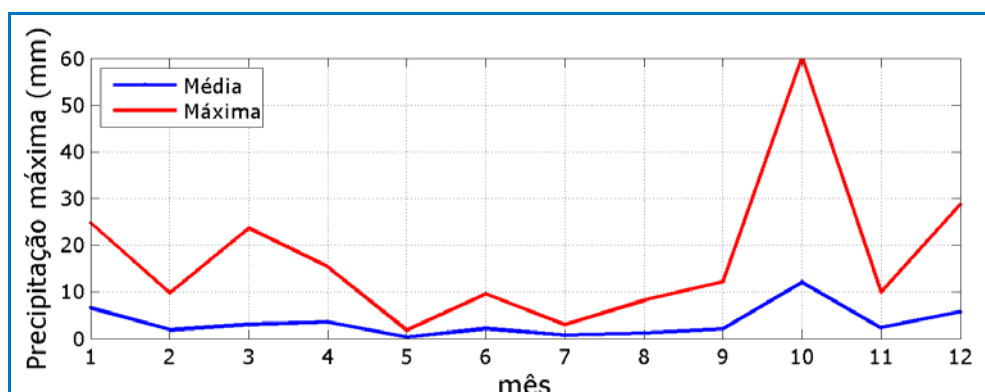


Figura II.5.1.1-20 - Precipitação média, máxima absoluta mensal na estação de São Tomé.

Fonte: INMET.

C - Evaporação

A evaporação, em geral, para ambas as estações (**Figura II.5.1.1-21** e **Figura II.5.1.1-22**), apresenta menores valores no período de outono/inverno e maiores valores no período de primavera/verão. A estação do Rio de Janeiro tem taxas de evaporação maiores que as da estação de Vitória para o período de 1961 a 1990, e em ambas o máximo de evaporação ocorre em janeiro (112 mm-Rio de Janeiro e 88 mm-Vitória) e o mínimo em junho (84 mm-Rio de Janeiro e 68 mm-Vitória). A evaporação média na estação do Rio de Janeiro apresenta valores mais altos no período de 1961 a 1990, enquanto a estação de Vitória o período com maiores valores é de 1931 a 1960.

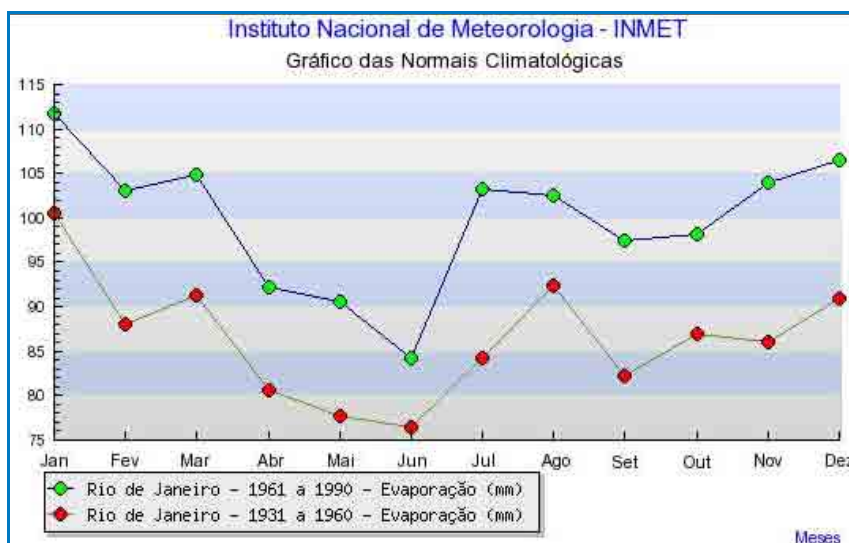


Figura II.5.1.1-21 - Evaporação na estação do Rio de Janeiro.

Fonte: INMET.

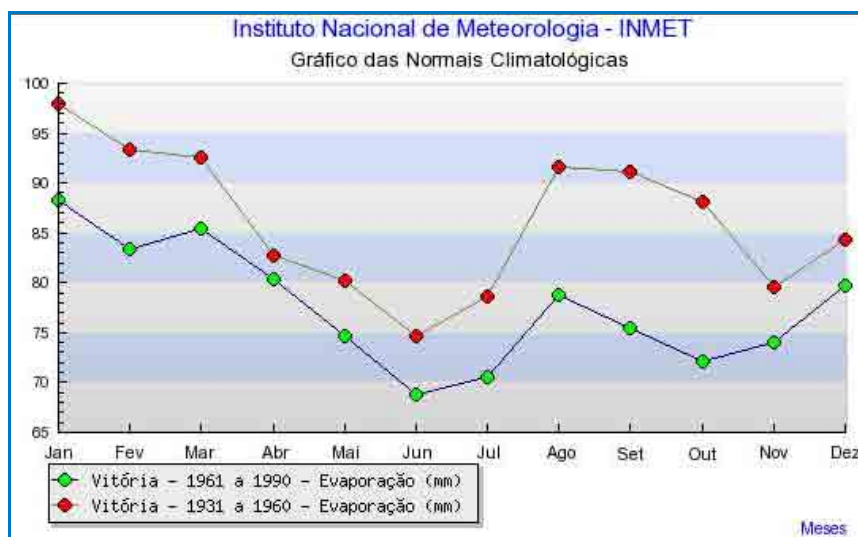


Figura II.5.1.1-22 - Evaporação na estação de Vitória.

Fonte: INMET.

D - Umidade Relativa

Ao longo dos 60 anos amostrados nas duas estações (**Figura II.5.1.2-65** e **Figura II.5.1.2-68**), a umidade relativa média variou de 81,5% a 75%. No período de 1931 a 1960, a estação do Rio de Janeiro apresentou o menor valor de umidade relativa no mês de agosto (75%) e o maior em março (~79%), enquanto na estação de Vitória, o valor mínimo ocorreu em fevereiro e o maior novembro

(81,55%). No período de 1961 a 1990, os valores mínimos para estação do Rio de Janeiro (77%) foram registrados nos meses de julho e agosto e o maior valor (80%) ocorreu nos meses de março, abril, maio, outubro e dezembro, enquanto que para a estação de Vitória, o valor mínimo (75%) ocorreu no mês de fevereiro e os maiores valores (78%) ocorreram em outubro, novembro e dezembro.

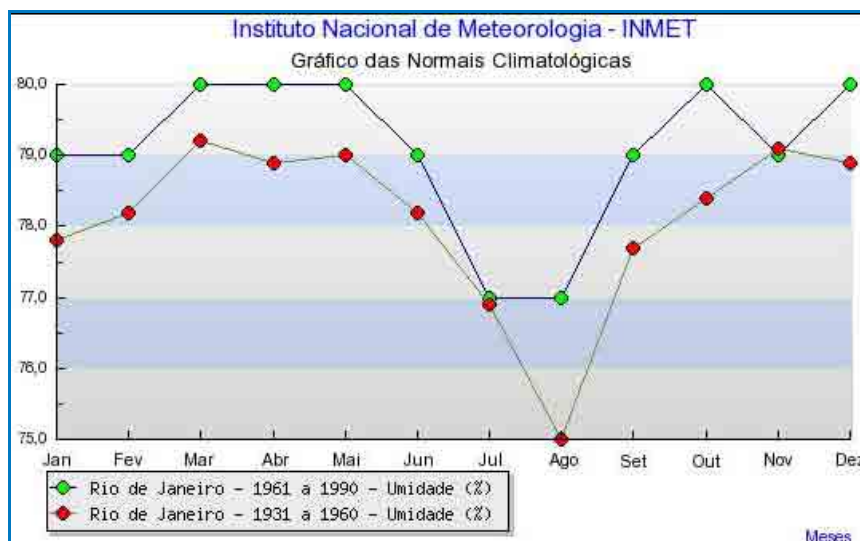


Figura II.5.1.1-23 - Umidade relativa na estação do Rio de Janeiro.

Fonte: INMET.

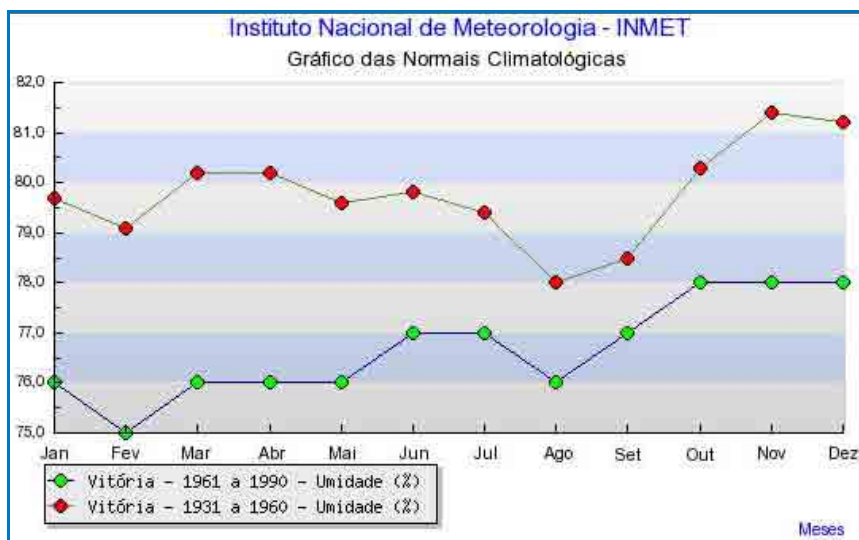


Figura II.5.1.1-24 - Umidade relativa na estação de Vitória.

Fonte: INMET.

Para avaliação das variações espaciais e sazonais da umidade do ar na região da Bacia de Campos, são apresentadas, na **Figura II.5.1.1-25** e na **Figura II.5.1.1-26**, as médias sazonais dos dados de umidade relativa do ar, obtidos a partir das reanálises do NCEP.

Durante o verão a umidade relativa aumenta em direção ao norte da Bacia de Campos. Na porção mais ao sul da Bacia, a umidade relativa é de aproximadamente 80%, passando para umidades maiores que 81,5% ao norte da Bacia. Na área do Campo de Espadarte a umidade relativa se encontra entre 81 e 81,5 %. No inverno as maiores umidades são encontradas nas áreas centrais e ao norte da Bacia de Campos, diminuindo seus valores para leste e para oeste da Bacia. Na região do Campo de Espadarte a umidade relativa esteve próxima a 78,6%. De forma complementar, na **Tabela II.5.1.1-5** é apresentada a estatística básica dos dados de umidade relativa do NCEP para toda área e período analisados.

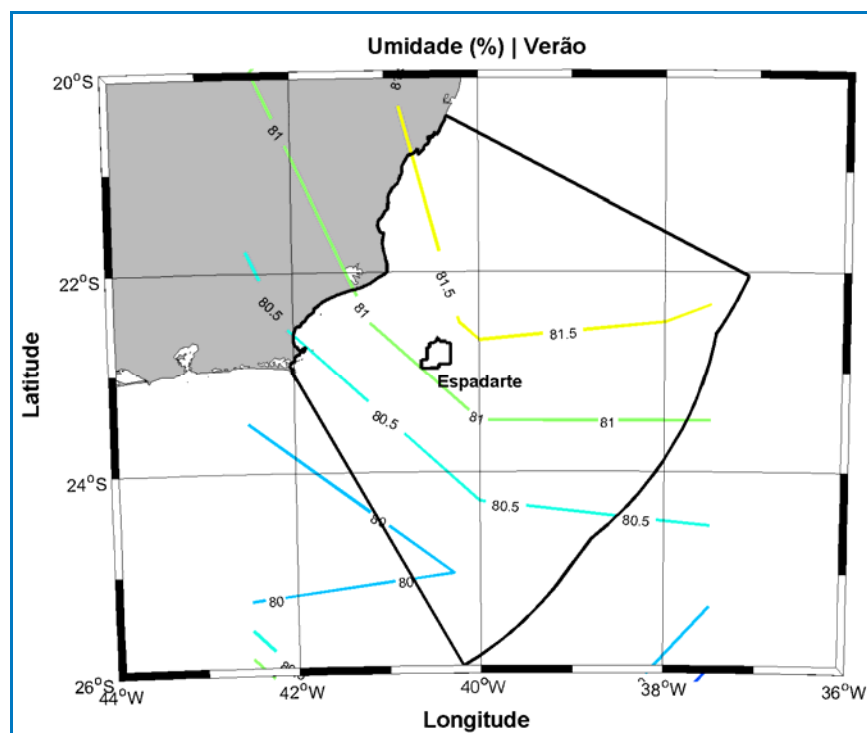


Figura II.5.1.1-25 - Umidade relativa do ar (%) na região da Bacia de Campos no período de verão.

Fonte: NCEP.

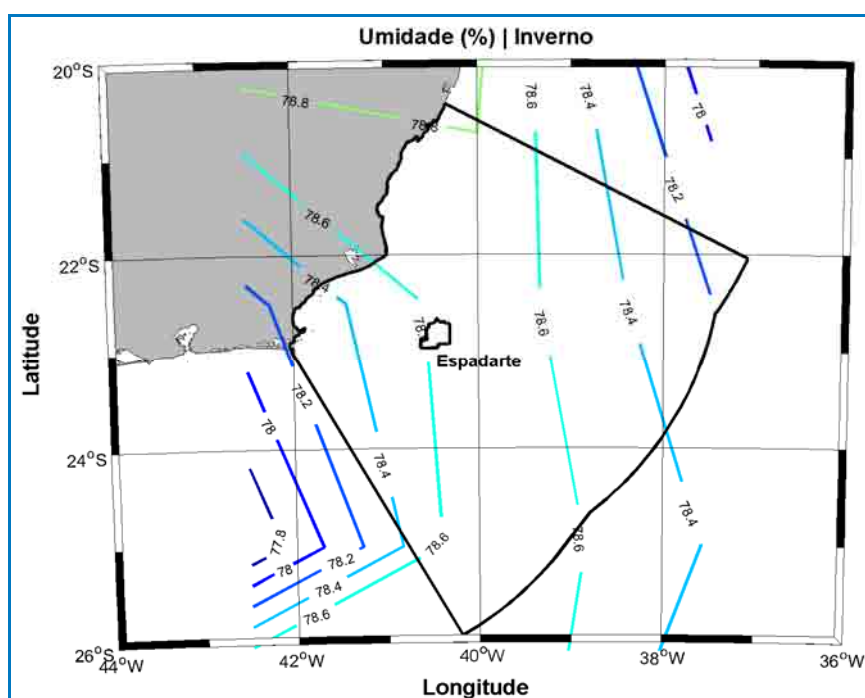


Figura II.5.1.1-26 - Umidade relativa do ar (%) na região da Bacia de Campos no período de inverno.

Fonte: NCEP.

Tabela II.5.1.1-5 - Estatística básica dos dados de umidade específica do NCEP para todo período (1978 a 2007) e para toda região analisada.

Estação	Média (%)	Média Máxima (%)	Média Mínima (%)	Desvio Padrão (%)
Verão	80,99	81,78	79,53	0,29
Inverno	78,25	79,10	77,60	0,71

Fonte: NCEP.

Para avaliar as variações da umidade em períodos mais curtos, foram utilizados os dados horários de umidade relativa do ar obtidos da estação de São Tomé para o período de janeiro a dezembro de 2009. Esta série é apresentada na **Figura II.5.1.1-27**, onde podem ser observados valores máximos de umidade relativa maiores que 90% ocorrendo ao longo de todo ano. Em raras situações, são verificados valores menores que 50%, entretanto, principalmente no inverno, podem ocorrer períodos com umidades próximas a 35%. A média de umidade relativa para todo período foi de 79,8%.

São também apresentados na **Figura II.5.1.1-28** os valores médios, máximos e mínimos para a estação de Florianópolis para o período de janeiro a dezembro de 2009. Pode ser observado que há pouca variação mensal para os valores

médios e máximos nesta estação. Os valores médios mínimos apresentam uma maior oscilação ao longo do ano, atingindo seu menor valor em agosto e seu máximo em outubro.

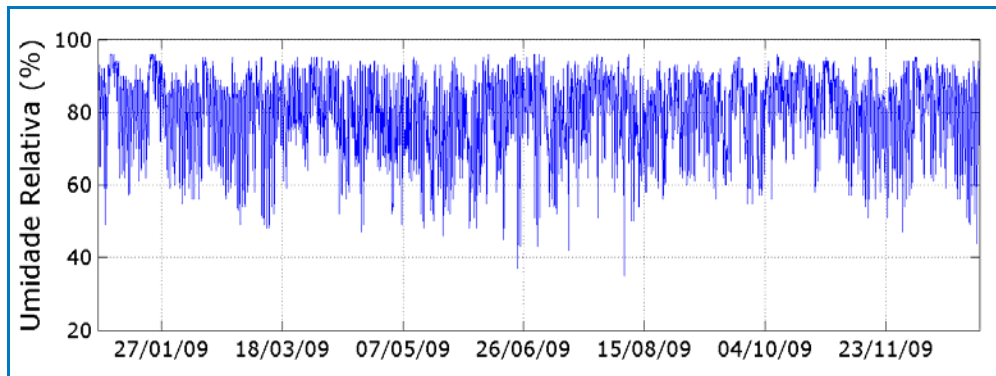


Figura II.5.1.1-27 - Série temporal de umidade relativa na estação de São Tomé.

Fonte: INMET.

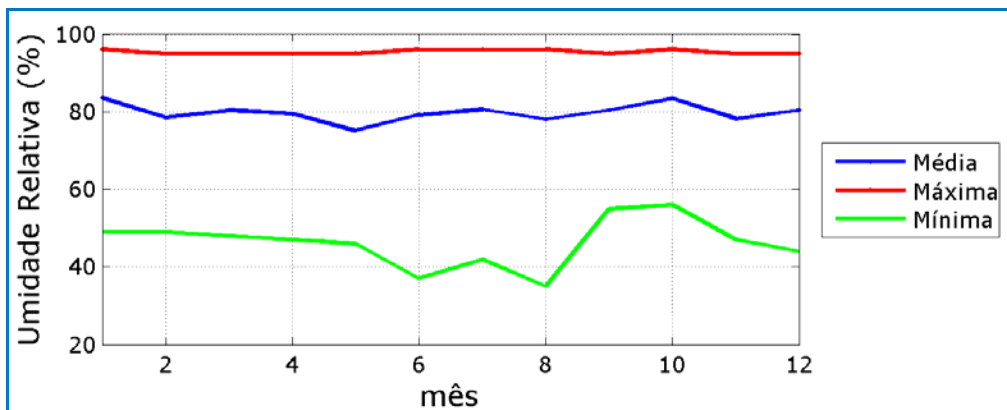


Figura II.5.1.1-28 - Umidade relativa média, máxima e mínima mensal na estação de São Tomé.

Fonte: INMET.

E - Pressão Atmosférica

A média da pressão atmosférica, na estação do Rio de Janeiro (**Figura II.5.1.1-29**) e na estação de Vitória (**Figura II.5.1.1-30**), apresenta valores máximos no período de inverno, com um pico em julho, e menores valores no verão. Esse padrão de maiores valores no período de inverno coincide com a migração característica do ASAS para oeste, se aproximando do continente, e aos menores valores de temperatura do ar no período de inverno.

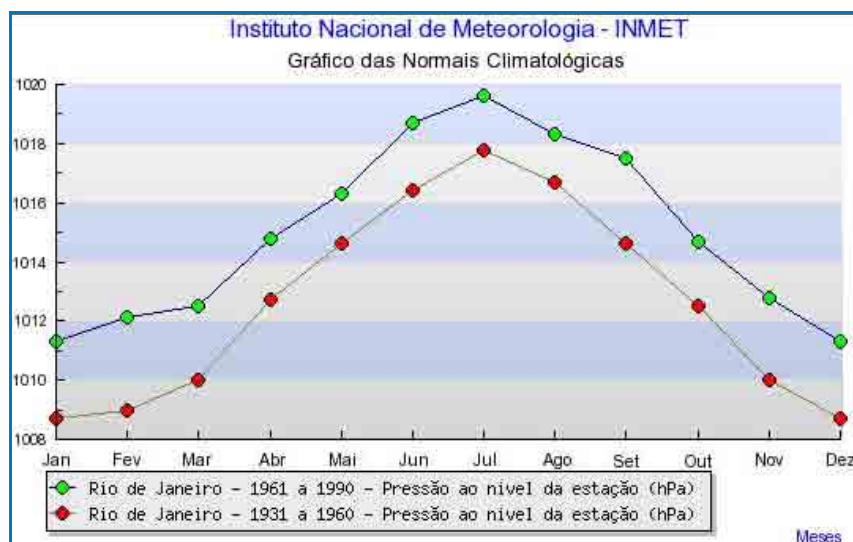


Figura II.5.1.1-29 - Pressão atmosférica na estação do Rio de Janeiro.

Fonte: INMET.

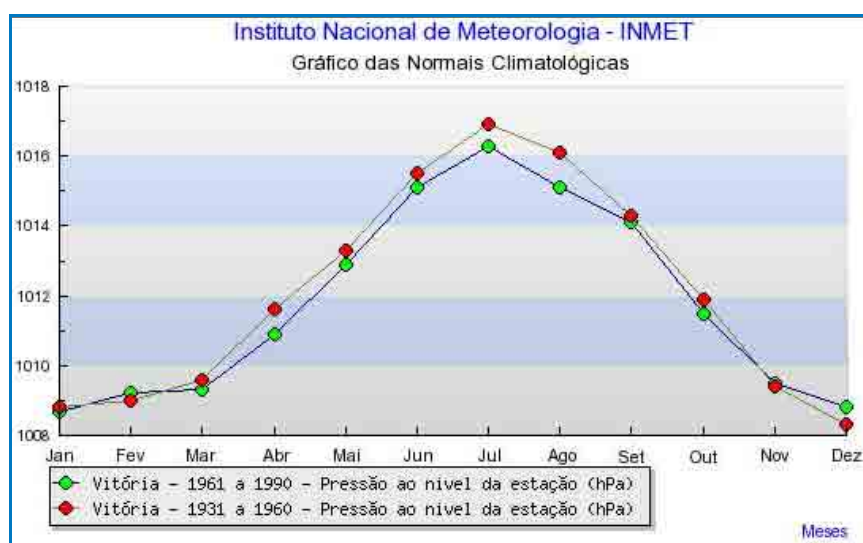


Figura II.5.1.1-30 - Pressão atmosférica na estação de Vitória.

Fonte: INMET.

Para avaliação das variações espaciais e sazonais da pressão atmosférica na região da Bacia de Campos, são apresentadas, na **Figura II.5.1.1-31** e na **Figura II.5.1.1-32**, médias sazonais dos dados de pressão atmosférica, obtidos a partir das reanálises do NCEP.

Como poderá ser verificado nas figuras apresentadas a seguir, tanto para o período de verão (**Figura II.5.1.1-31**) quanto para o período de inverno (**Figura**

II.5.1.1-32), o padrão espacial apresentado pelo parâmetro é semelhante para as duas estações, sendo apenas verificados maiores valores de pressão no período de inverno, e a presença de um núcleo de alta pressão (1024 hPa) à sudeste do Campo de Espadarte nesse mesmo período. De forma complementar, na **Tabela II.5.1.1-6** é apresentada a estatística básica dos dados de pressão atmosférica do NCEP para toda a área e o período analisados.

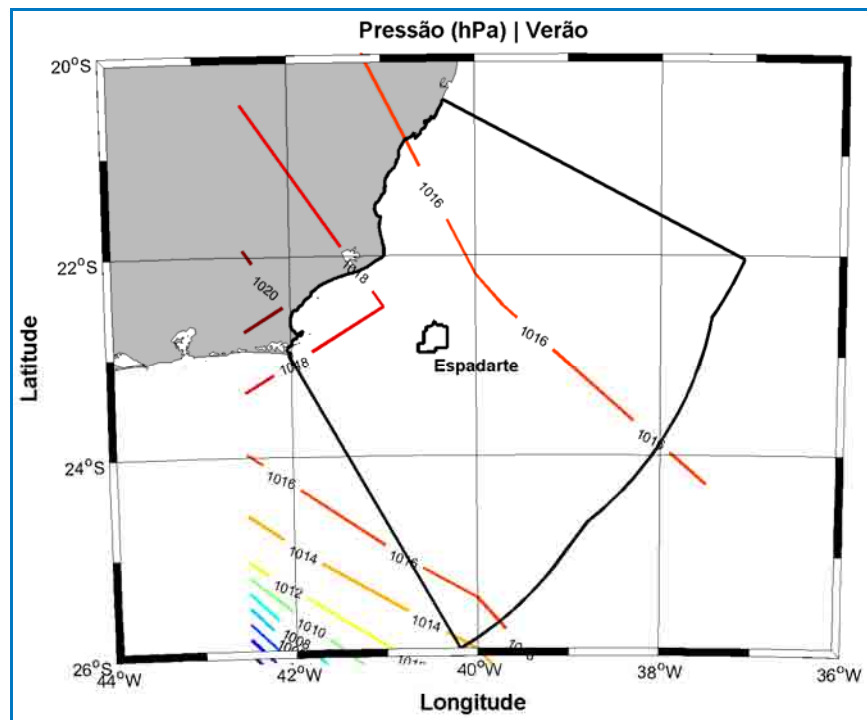


Figura II.5.1.1-31 - Pressão atmosférica (milibar) na região da Bacia de Campos no período de verão.

Fonte: NCEP.

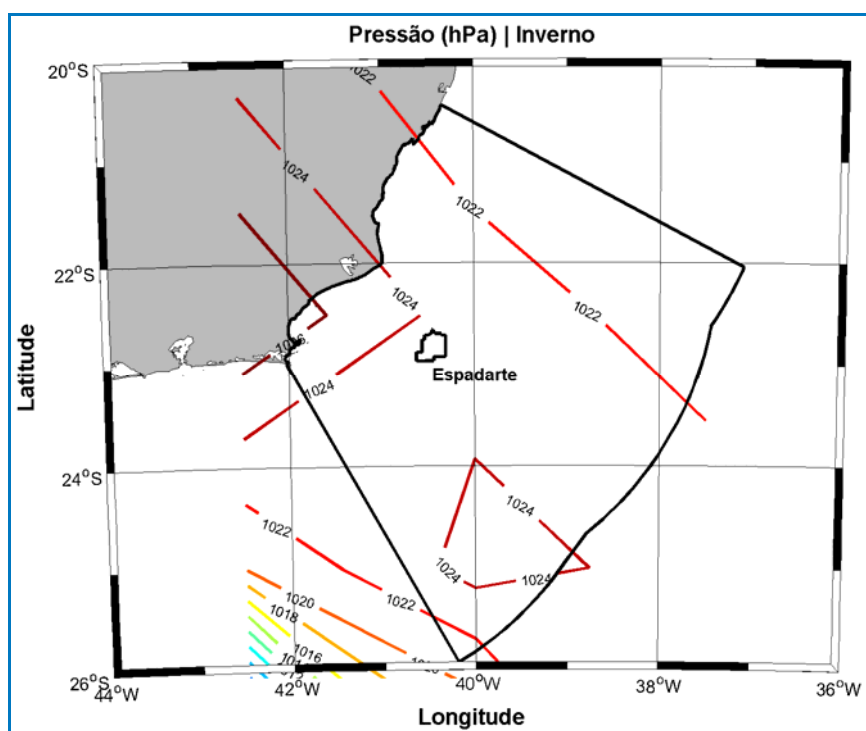


Figura II.5.1.1-32 - Pressão atmosférica (hPa) na região da Bacia de Campos no período de inverno.

Fonte: NCEP.

Tabela II.5.1.1-6 - Estatística básica dos dados de pressão atmosférica do NCEP para todo período (1980 a 2009) e para toda a região analisada.

Estação	Média (hPa)	Média Máxima (hPa)	Média Mínima (hPa)	Desvio Padrão (hPa)
Verão	1014,20	1020,80	1002,00	5,50
Inverno	1020,80	1027,80	1008,00	5,12

Fonte: NCEP.

Para avaliar a variabilidade da pressão atmosférica em períodos mais curtos, foram utilizados os dados horários de pressão atmosférica obtidos da estação de São Tomé para o período de janeiro a dezembro de 2009 (**Figura II.5.1.1-33**). Os dados apresentam oscilações de escalas diárias, associadas ao aquecimento solar, semanais, devido à passagem de sistemas frontais, e sazonais, com valores máximos, entre 1020 e 1025 hPa, ocorrendo no inverno, e mínimos, de até ~1000 hPa, observados no verão. Os valores médios, máximos e mínimos são apresentados na **Figura II.5.1.1-34**. Os meses de inverno são os que apresentam os maiores valores médios, máximos e mínimos de pressão atmosférica, devido às temperaturas mais baixas, e ao posicionamento do ASAS, mais próximo do continente nesse período.

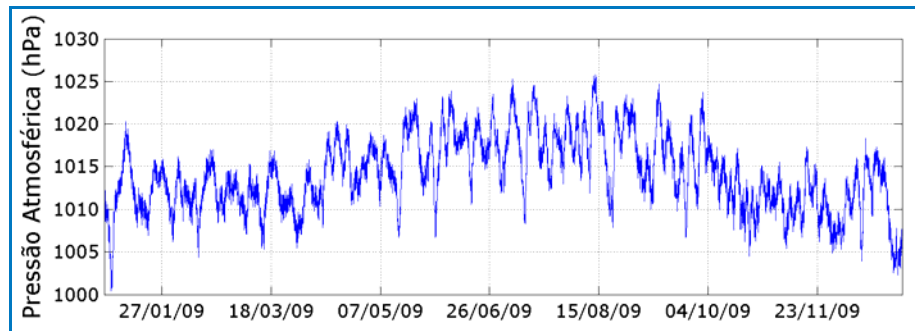


Figura II.5.1.1-33 - Série temporal de pressão atmosférica na estação do Rio de Janeiro.

Fonte: INMET.

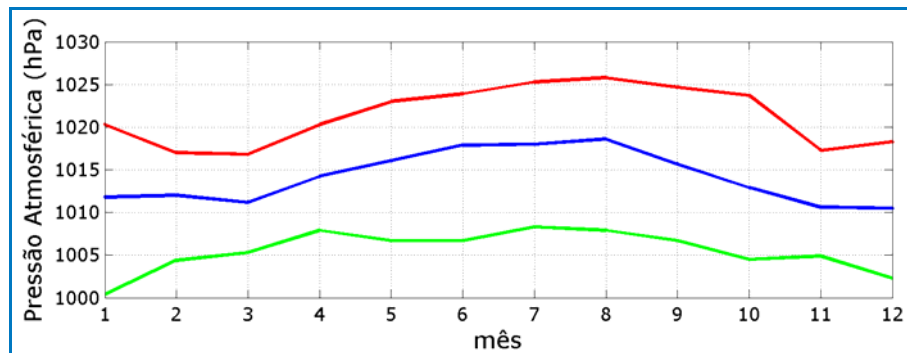


Figura II.5.1.1-34 - Pressão atmosférica média, máxima e mínima mensal na estação do Rio de Janeiro.

Fonte: INMET.

F - Insolação

A média de insolação para as estações do Rio de Janeiro (**Figura II.5.1.1-35**) e de Vitória (**Figura II.5.1.1-36**) apresenta valores máximos para o período de verão. Os valores mínimos de insolação diferem entre as estações, enquanto na estação do Rio de Janeiro a menor média é registrada no mês de setembro, na estação de Vitória o menor registro é encontrado no mês de outubro e novembro para o período de 1931 a 1960 e 1961 a 1990, respectivamente.

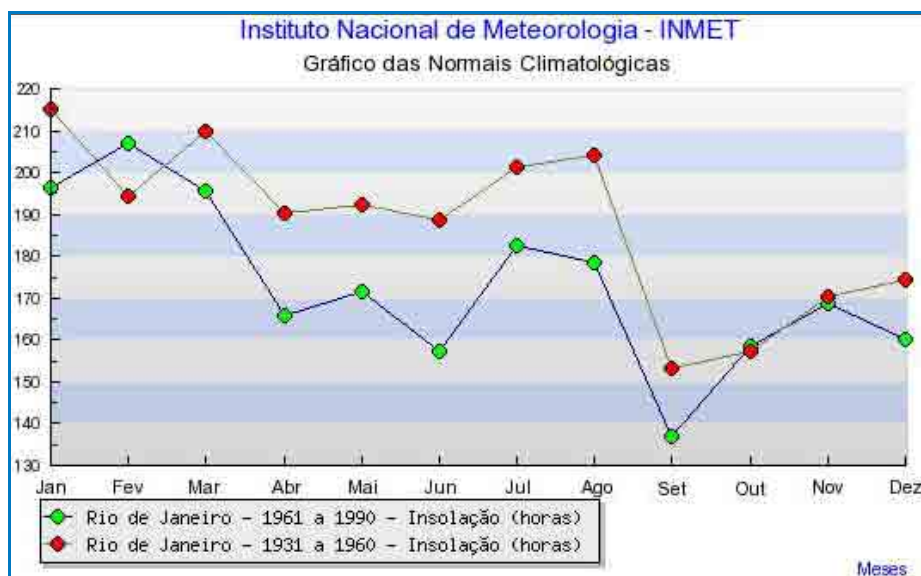


Figura II.5.1.1-35 - Insolação na estação do Rio de Janeiro.

Fonte: INMET.

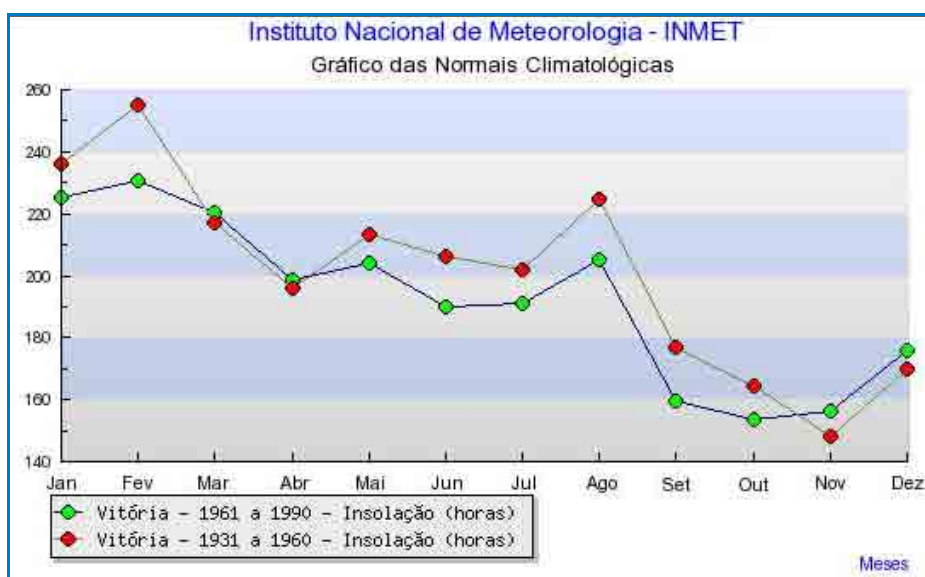


Figura II.5.1.1-36 - Insolação na estação de Vitória.

Fonte: INMET.

G - Ventos

A partir dos histogramas direcionais de ventos elaborados com os dados da reanálise do NCEP, verifica-se na região da Bacia de Campos, em média, não há grande variação espacial nos campos de ventos, como demonstra a **Figura II.5.1.1-37**. A situação típica na região é marcada por ventos predominantes de

norte e nordeste. Esse regime, entretanto é perturbado por eventos transientes associados à passagem de sistemas frontais, onde predominam os ventos de sul, variando de sudeste a sudoeste, nessa ordem.

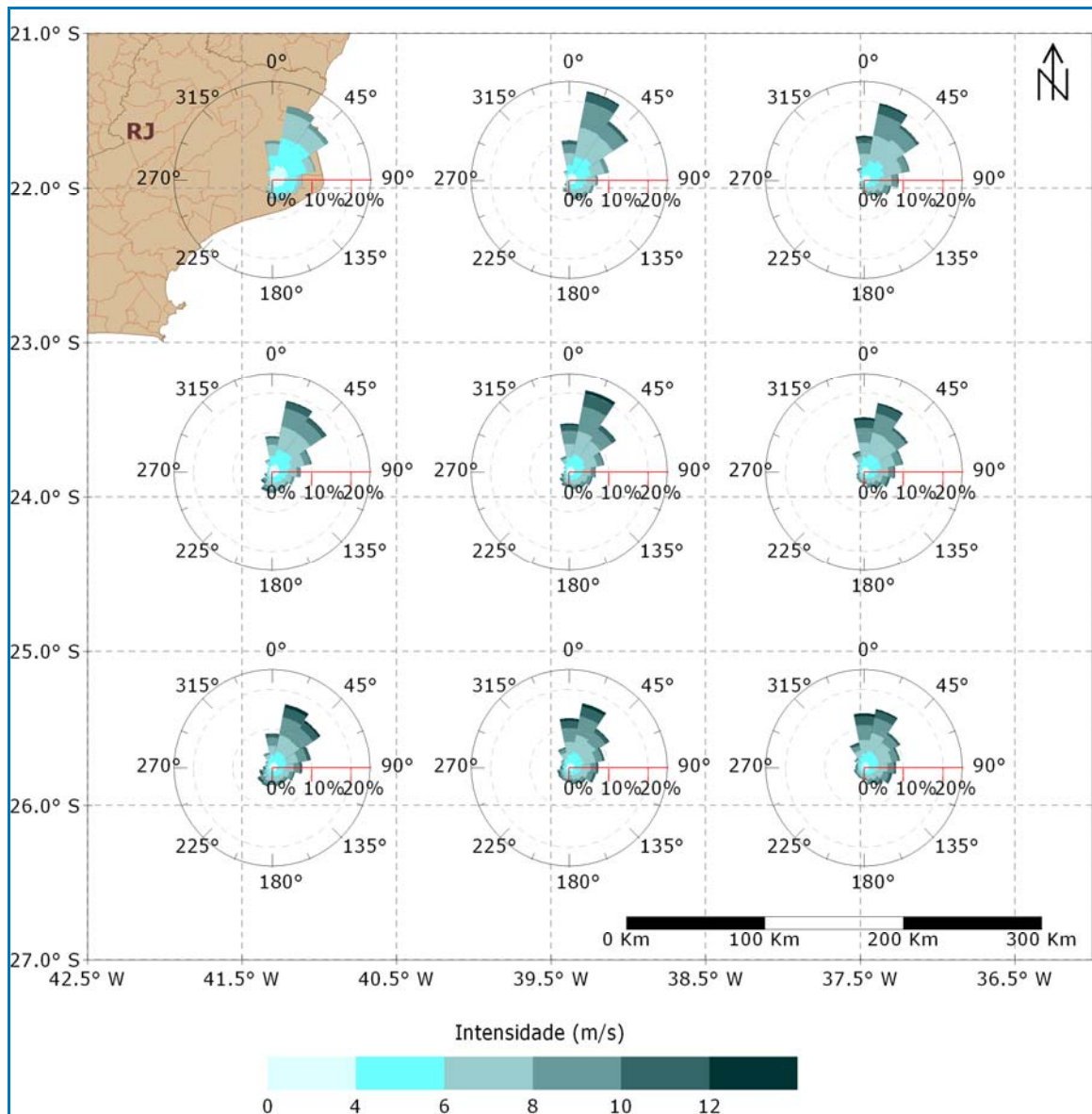


Figura II.5.1.1-37 - Histograma direcional dos ventos na região da Bacia de Campos. Dados de 1979 a 2008.

Fonte: NCEP.

Na **Figura II.5.1.1-38** e na **Figura II.5.1.1-39**, são apresentadas as rosas mensais dos ventos para o ponto de grade do NCEP mais próximo ao Campo de Espadarte (23,81°S; 41,25°W).

A análise dos dados de vento obtidos a partir das reanálises II do NCEP demonstra que o período compreendido entre abril e julho, nesta região, é marcado pela predominância de ventos de nordeste, porém com grande incidência de ventos vindos de sul. O período que vai de agosto a março, apresenta dominância de ventos variando de norte a nordeste.

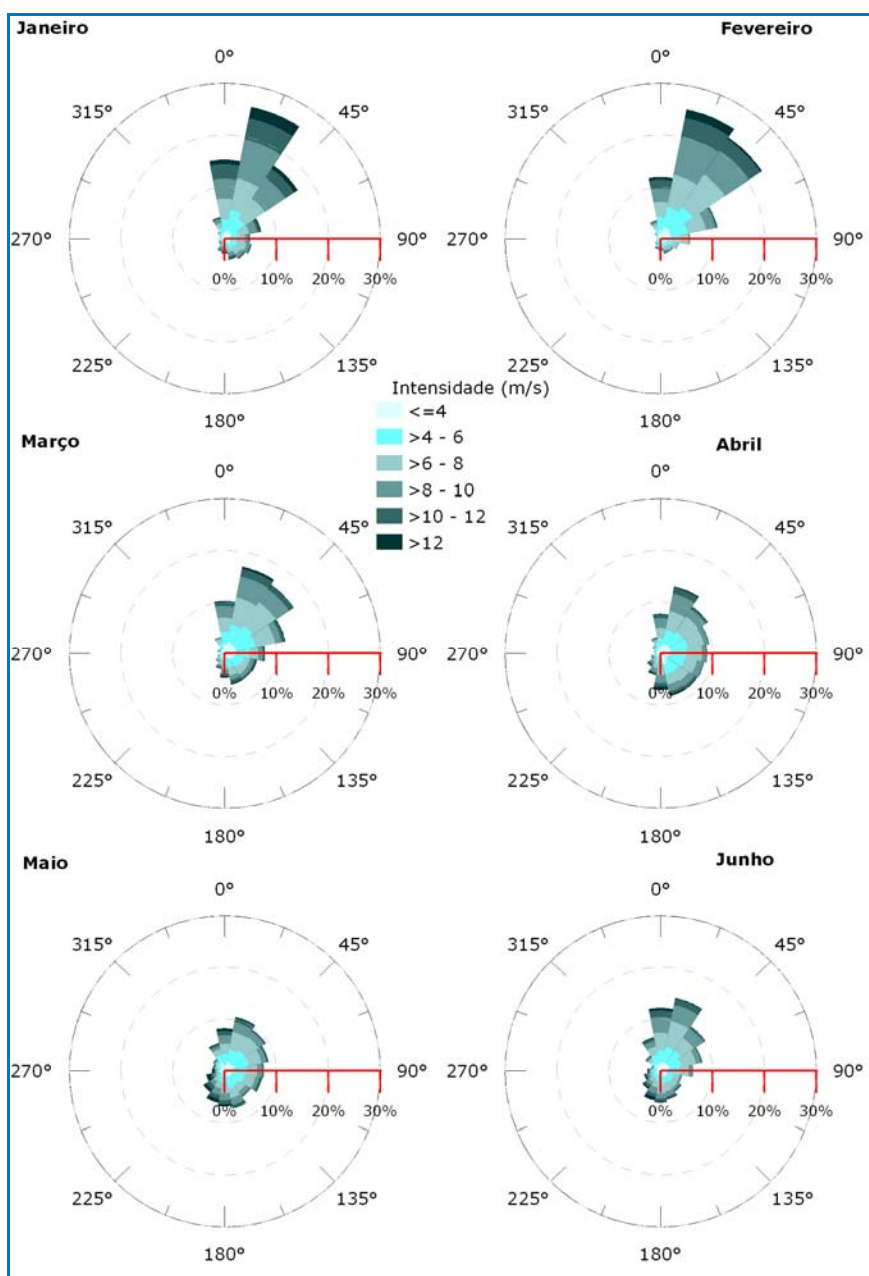


Figura II.5.1.1-38 - Rosa dos Ventos (m/s) para os meses de janeiro a junho.

Fonte: NCEP.

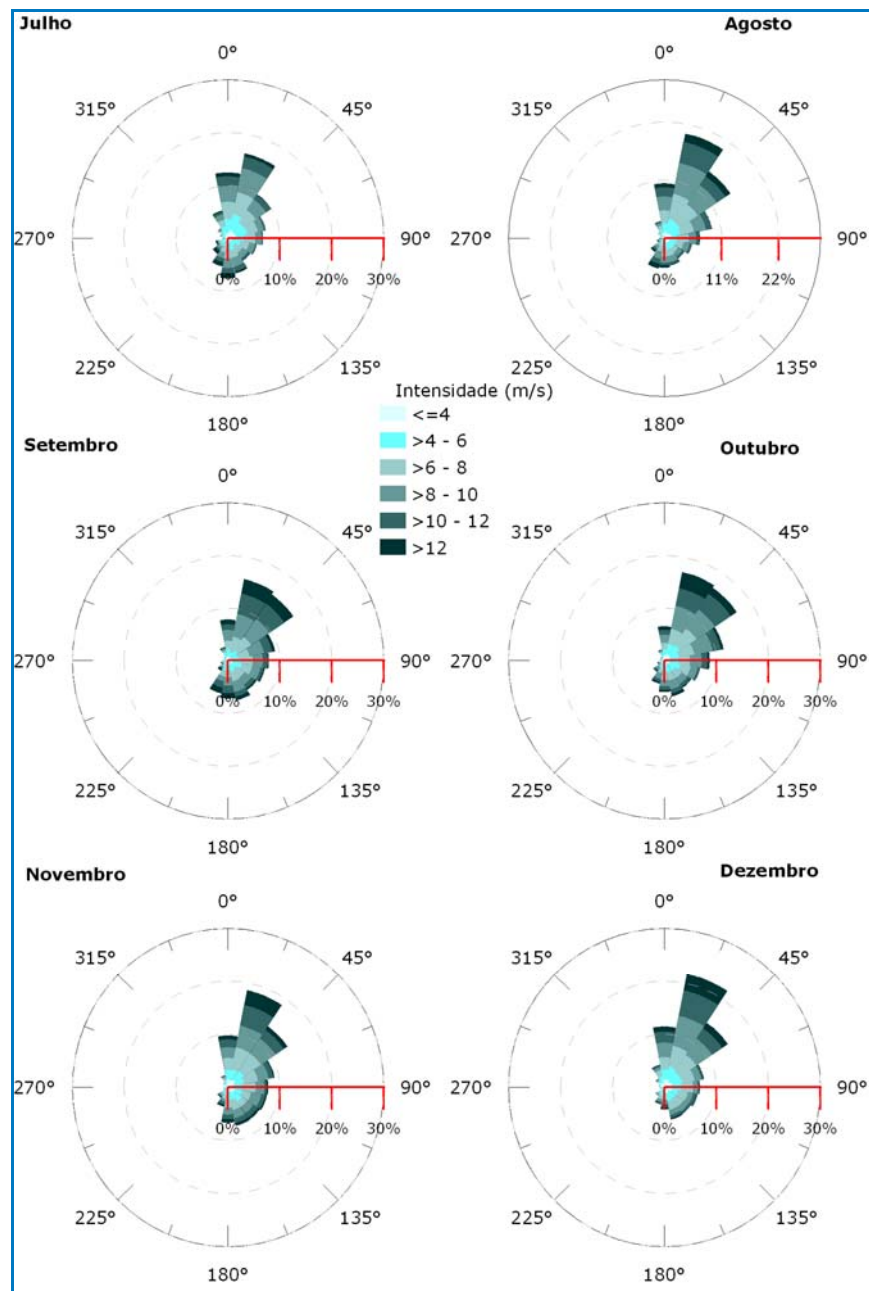


Figura II.5.1.1-39 - Rosa dos Ventos (m/s) para os meses de julho a dezembro.

Fonte: NCEP.

Na **Tabela II.5.1.1-7**, é apresentada a ocorrência conjunta de intensidade e sentido dos ventos na região do Campo de Espadarte, usando como base os dados do NCEP para o período de 1979 a 2008. Nesta, os pontos cardeais representam deslocamentos para as seguintes faixas angulares na rosa-dos-

ventos: N (337,5°-22,5°), NE (22,5°-67,5°), E (67,5°-112,5°), SE (112,5°-157,5°), S (157,5°-202,5°), SW (202,5°-247,5°), W (247,5°-292,5v) e NW (292,5°-337,5°).

Tabela II.5.1.1-7 - Ocorrência conjunta de intensidade e sentido dos ventos no Campo de Espadarte para o período de 1980 a 2009.

Sentido ->		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
Intensidade (m/s)											
0.50	3.00	587	722	687	556	409	354	338	442	4095	9.34
3.00	5.50	1781	2339	1820	1433	1101	548	367	578	9967	22.74
5.50	8.00	2779	4251	2316	1754	1460	665	196	418	13839	31.57
8.00	10.50	2617	3596	1202	1126	1178	518	92	177	10506	23.97
10.50	13.00	1218	1443	285	329	534	299	45	61	4214	9.61
> 13,0		332	319	54	77	222	147	48	12	1211	2.76
Total		9314	12670	6364	5275	4904	2531	1086	1688	43832	
Freq (%)		21.25	28.91	14.52	12.03	11.19	5.77	2.48	3.85		

Fonte: NCEP.

Nos 30 anos analisados observa-se que, das 43.832 informações, as maiores incidências foram de ventos de NE, com 12.670 ocorrências (28,91%) e de N, 9.314 ocorrências (21,25%), com 31,57% das intensidades situadas entre 5,5 e 8,0 m/s. Eventos com intensidades acima de 13,0 m/s representaram 2,76 % do total de ocorrências.

A estatística mensal apresentada na **Tabela II.5.1.1-8** permite identificar a variabilidade apresentada pelo vento ao longo do ano.

Tabela II.5.1.1-8 - Estatística mensal dos ventos no Campo de Espadarte para o período de 1979 a 2008.

Meses	Sentido médio (°)	Intensidade (m/s)	Desvio Padrão	Máxima Absoluta (m/s)	Média das Máximas (m/s)	Desvio Padrão
Jan	NE	7.21	2.89	17.88	13.81	1.71
Fev	NE	6.68	2.76	15.73	13.14	1.34
Mar	NE	6.20	2.70	17.25	13.19	1.46
Abr	E	6.22	2.64	18.45	13.56	1.93
Mai	E	6.46	3.00	19.70	14.81	2.65
Jun	NE	6.44	2.80	19.34	14.37	2.13
Jul	NE	7.08	2.93	19.89	15.03	2.00
Ago	NE	7.42	2.96	20.12	15.08	1.95
Set	E	8.09	3.11	17.96	15.79	1.30
Out	NE	7.63	3.09	17.37	14.94	1.24
Nov	NE	7.40	3.12	16.86	14.82	1.43
Dez	NE	7.24	3.17	18.86	15.19	1.69

Fonte: NCEP.

Observa-se que, em média, os ventos variam entre NE e E ao longo de todo o ano. Setembro aparece como o mês de maior intensidade média, 8,09 m/s, e maior média das máximas (15,79 m/s), e no mês de agosto, ocorreu a maior máxima absoluta, com ventos de 20,12 m/s, provavelmente associados à passagem de um sistema frontal.

De forma complementar a **Figura II.5.1.1-40** apresenta a climatologia mensal de intensidade máxima por sentido do vento. Eventos extremos parecem estar associados, na maior parte dos casos, a ventos de E e SE.



Figura II.5.1.1-40 - Intensidade máxima por sentido do vento.

Fonte: NCEP.

H - Sistemas Frontais

Na **Tabela II.5.1.1-9** é apresentado o número de passagens de sistemas frontais na Bacia de Campos entre os anos de 1996 a 2007. A tabela utiliza as informações do Boletim Climanálise/CPTEC/INPE para sistemas frontais que atingem a cidade de Cabo Frio, no RJ.

Tabela II.5.1.1-9 - Ocorrência de passagem de sistemas frontais em Cabo Frio entre os anos de 1996 e 2007.

Mês	Ano												Total	Média
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007		
Janeiro	1	2	4	1	3	1	1	2	1	3	1	1	21	1,75
Fevereiro	2	1	1	1	4	0	2	0	4	3	1	1	20	1,67
Março	2	2	4	2	3	1	1	2	4	1	4	0	26	2,17
Abril	-	4	4	3	3	2	0	3	2	4	4	3	32	2,67
Maio	2	5	4	6	4	2	1	3	6	2	3	3	41	3,42
Junho	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	4	34	2,83
Julho	6	3	3	3	5	2	5	2	3	3	1	6	42	3,50
Agosto	3	3	3	3	5	0	1	5	4	3	2	3	35	2,92
Setembro	5	6	5	4	2	4	4	5	3	6	2	3	49	4,08
Outubro	4	4	7	4	2	2	3	2	4	4	2	0	38	3,17
Novembro	4	7	3	5	3	3	1	5	4	4	1	4	44	3,67
Dezembro	3	4	2	6	4	3	3	-	3	4	1	2	35	2,92
Total	36	45	44	42	40	22	24	31	40	39	24	30		

Fonte: CPTEC/INPE.

Observa-se, conforme destacado na tabela, que a frequência de ocorrência de sistemas frontais na região foi superior nos anos de 1997 a 1999, uma possível assinatura de variações interanuais, apesar da série temporal relativamente curta. Os meses de julho, setembro e novembro também apresentam as maiores ocorrências de frentes frias. A **Tabela II.5.1.1-10**, apresenta o intervalo médio (em dias) entre a passagem de dois sistemas frontais consecutivos na região da Bacia de Campos para os anos de 1996 a 2007, obtidos do CPTEC. Verifica-se que os meses de junho, setembro e outubro apresentam, em média, menores intervalos entre a passagem de dois sistemas frontais consecutivos, enquanto que os meses de janeiro a março, característicos de verão, apresentam os maiores intervalos.

Tabela II.5.1.1-10 - Intervalo médio de passagem de dois sistemas frontais consecutivos na Bacia de Campos (dias).

Mês	Ano												Média
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
Janeiro	31,00	15,50	7,75	31,00	10,33	31,00	31,00	15,50	31,00	10,33	31,00	31,00	23,03
Fevereiro	14,00	28,00	28,00	28,00	7,00	-	14,00	0,00	7,00	9,33	28,00	28,00	21,00
Março	15,50	15,50	7,75	15,50	10,33	31,00	31,00	15,50	7,75	31,00	7,75	-	17,14
Abril	-	7,50	7,50	10,00	10,00	15,00	-	10,00	15,00	7,50	7,50	10,00	10,00
Maio	15,50	6,20	7,75	5,17	7,75	15,50	31,00	10,33	5,17	15,50	10,33	10,33	11,71
Junho	7,50	7,50	7,50	7,50	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	7,50	7,50
Julho	5,17	10,33	10,33	10,33	6,20	15,50	6,20	15,50	10,33	10,33	31,00	5,17	11,37
Agosto	10,33	10,33	10,33	10,33	6,20	-	31,00	6,20	7,75	10,33	15,50	10,33	10,33
Setembro	6,00	5,00	6,00	7,50	15,00	7,50	7,50	6,00	10,00	5,00	15,00	10,00	8,38
Outubro	7,75	7,75	4,43	7,75	15,50	15,50	10,33	15,50	7,75	7,75	15,50	-	7,75
Novembro	7,50	4,29	10,00	6,00	10,00	10,00	30,00	6,00	7,50	7,50	30,00	7,50	11,36
Dezembro	10,33	7,75	15,50	5,17	7,75	10,33	10,33	-	10,33	7,75	31,00	15,50	12,92

Fonte: CPTEC/INPE.

A **Figura II.5.1.1-41** apresenta a estatística mensal do número de passagens de sistemas frontais na região da Bacia de Campos no período analisado (1996 a 2007). Observa-se, a partir desta, que os meses de janeiro a março, característicos de verão, apresentam menor incidência desses sistemas na região de estudo, enquanto que o mês de setembro, ao longo de todo o período analisado, apresentou a maior constância na incidência de frentes frias, totalizando o maior número de ocorrências (49).

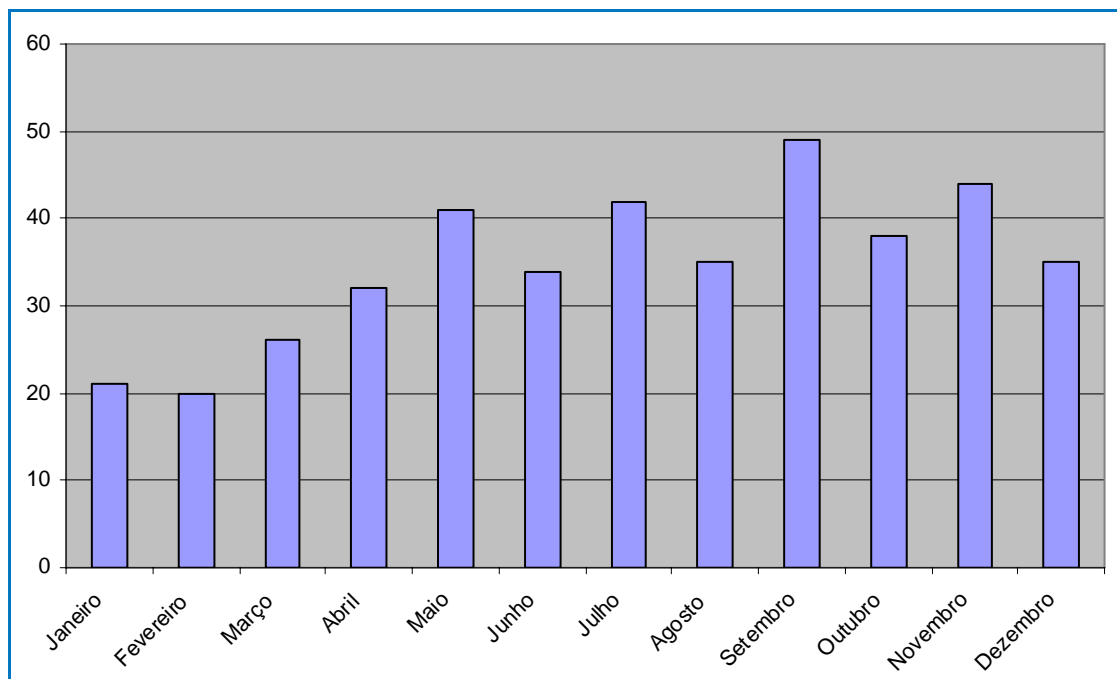


Figura II.5.1.1-41 - Sistemas frontais ao longo do ano entre os anos de 1996 e 2007.

Fonte: CPTEC/INPE.

I - Condições Extremas

Através dos 50 anos (1960 - 2009) de dados da Reanálise do NCEP podemos ter uma boa estimativa da ocorrência de eventos extremos por longos períodos de tempo na região próxima ao Campo de Espadarte. A partir da ocorrência conjunta de direção e intensidade dos ventos (**Tabela II.5.1.1-11**), podemos verificar que das 73.052 observações, apenas 198 indicaram ventos com intensidades superiores a 13 m/s. Destes eventos, 76,67% (138 ocorrências) correspondem a ventos do quadrante SW (direções S, SW e W), estando provavelmente associados à passagem de sistemas frontais na região.

Analisando a estatística mensal dos ventos (**Tabela II.5.1.1-12**), conclui-se que o período de verão aparece como o menos propício à ocorrência de ventos intensos, com os eventos extremos mais concentrados no outono, inverno e primavera. O evento extremo observado, com velocidades de 16,93 m/s ocorreu em 22 de maio de 1997. Setembro aparece como o mês de ventos mais intensos, com média de 7,02 m/s e média das máximas de 13,04 m/s.

Tabela II.5.1.1-11 - Ocorrência conjunta de sentido (°) e intensidade (m/s) dos ventos na Bacia de Campos para o período de 1959 a 2008.

Sentido ->		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
Intensidade (m/s)											
0,50	3,00	1317	1583	1380	1172	982	795	707	886	8822	12,08
3,00	5,50	3813	5760	3992	2902	2407	1296	654	1037	21861	29,93
5,50	8,00	5188	9577	4200	2728	2619	1367	288	380	26347	36,07
8,00	10,50	2948	5567	1487	847	1247	1008	132	81	13317	18,23
10,50	13,00	566	982	129	82	238	445	59	6	2507	3,43
> 13,0		15	40	1	4	16	86	36	0	198	0,27
Total		13847	23509	11189	7735	7509	4997	1876	2390	73052	
Freq (%)		18,95	32,18	15,32	10,59	10,28	6,84	2,57	3,27		

Fonte: NCEP.

Tabela II.5.1.1-12 - Estatística mensal dos ventos na Bacia de Campos, para o período de 1960 a 2009

Meses	Sentido Predominante (°)	Velocidade Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)	Velocidade Máxima Absoluta (m/s)	Média das Velocidades Máximas (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
Janeiro	NE	5,97	2,33	14,10	11,02	1,06
Fevereiro	NE	5,82	2,23	12,97	10,87	0,99
Março	NE	5,28	2,23	12,73	10,75	0,95
Abril	E	5,34	2,24	14,06	11,29	1,38
Mai	E	5,53	2,49	16,93	12,46	1,82
Junho	NE	5,68	2,40	15,22	12,37	1,49
Julho	NE	6,15	2,42	15,80	12,55	1,43
Agosto	NE	6,52	2,52	15,84	12,61	1,19
Setembro	NE	7,02	2,65	16,14	13,04	1,06
Outubro	E	6,58	2,54	15,60	12,61	1,07
Novembro	NE	6,32	2,53	13,85	12,06	1,10
Dezembro	NE	6,08	2,56	14,76	11,96	1,07

Fonte: NCEP.

Além das variações sazonais já citadas, podem ser verificadas variações interanuais nas intensidades dos ventos na região. Na **Figura II.5.1.1-42** são apresentadas as intensidades médias e máximas anuais para o período entre 1960 e 2009.

Entre 1960 e 1973, a intensidade média dos ventos apresentou tendência ao decréscimo, e a partir deste ano, houve tendência a intensificação, com a média mais elevada (~6,6 m/s) sendo encontrada no ano de 1999. Deste ano em diante, em média, novamente é verificada uma desintensificação dos ventos.

As intensidades máximas anuais apresentam oscilações bem marcadas com períodos variando entre aproximadamente 3 e 5 anos. A intensidade máxima de aproximadamente 17 m/s foi verificada no ano de 1997.

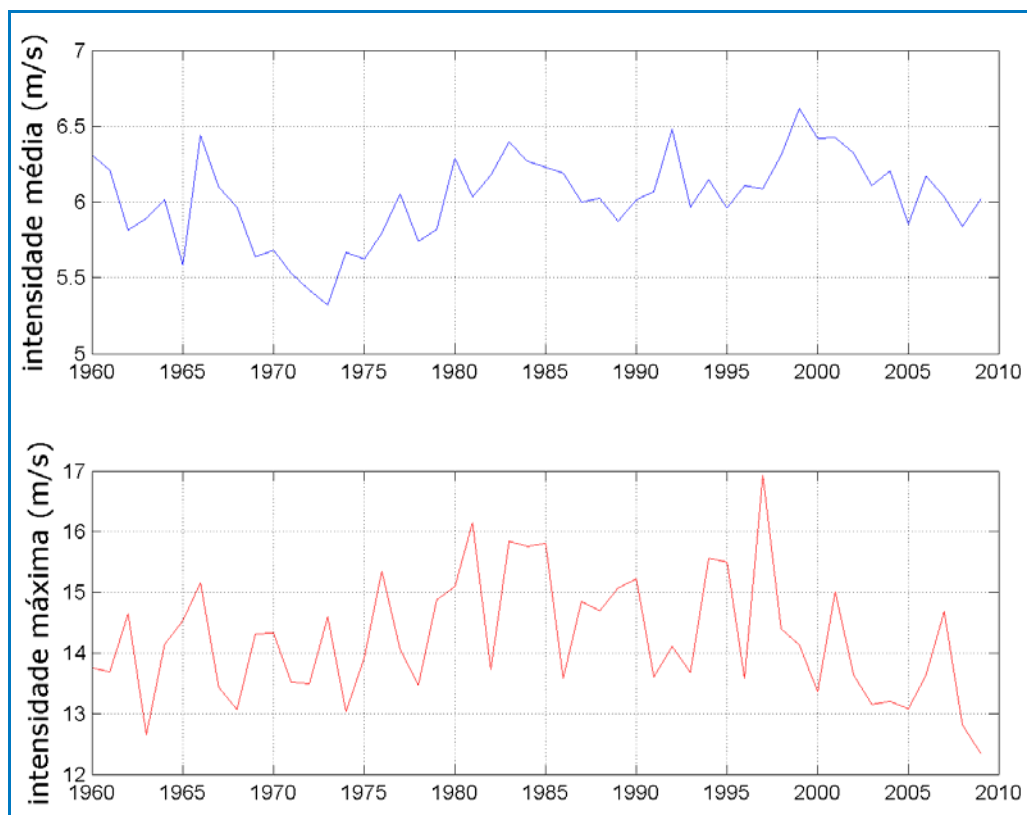


Figura II.5.1.1-42 - Intensidade média (painel superior) e máxima (painel inferior) dos ventos na região próxima ao Campo de Espadarte entre os anos de 1960 e 2009.

Fonte: NCEP.

II.5.1.2 - Oceanografia

II.5.1.2.1 - Introdução

A caracterização ambiental de uma determinada região representa uma importante ferramenta de planejamento do uso dos recursos naturais e de otimização de investimentos.

Assim sendo, o presente estudo trata dos aspectos mais relevantes da oceanografia da Bacia de Campos, mais precisamente, nas proximidades do Campo de Espadarte, onde será realizado o Teste de Longa Duração do Poço 7-ESP-42H-RJS.

Para tanto, foram pesquisadas informações secundárias de bases regionais, assim como dados coletados *in situ* e analisados através de procedimentos estatísticos, de forma a atender às exigências do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA).

Os parâmetros abordados no estudo são: temperatura, salinidade e densidade da água do mar, massas d'água, clima de ondas (direção, período e altura significativa), maré e hidrodinâmica local.

A - Localização

A Bacia de Campos está situada no litoral Sudeste do Brasil, na costa dos estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo. Ocupa a área de aproximadamente 120.000 km², desde a faixa litorânea até a isóbata de 3.500 m. Limita-se ao norte com a Bacia do Espírito Santo, pelo Alto de Vitória, e ao sul, com a Bacia de Santos, pelo Alto de Cabo Frio (BIZZI *et al.*, 2003).

O Campo de Espadarte está localizado sobre o talude continental, na porção central da Bacia de Campos entre 22,65° S e 22,97° S, e 40,30° W e 40,63° W, à uma distância de aproximadamente 90 km do ponto mais próximo da costa, localizado na município de Campos dos Goytacazes-RJ (**Figura II.5.1.2-1**).

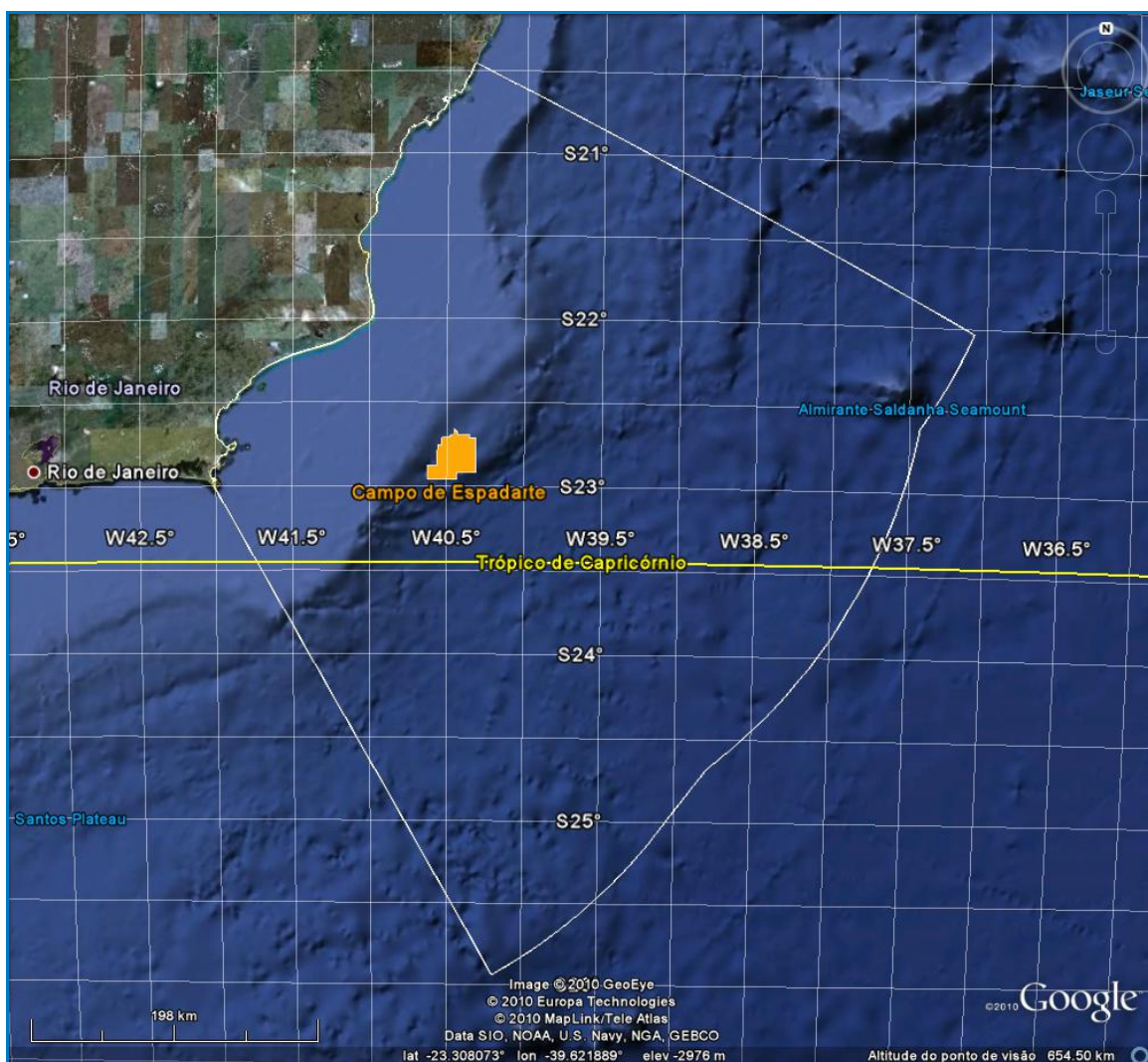


Figura II.5.1.2-1 - Localização do Campo de Espadarte (polígono laranja) na Bacia de Campos (linha branca).

II.5.1.2.2 - Caracterização Oceanográfica

A abordagem adotada na caracterização oceanográfica apresentada neste estudo parte de uma caracterização regional da Bacia de Campos e, sempre que possível, apresenta as características particulares das proximidades do Campo de Espadarte.

Para tanto, foram utilizados dados de diversas fontes, citadas a seguir:

- Dados de temperatura e salinidade disponíveis no *National Oceanographic Data Center* (NODC). A descrição do conjunto de dados é encontrada em Locarnini *et al.* (2010) e Antonov *et al.* (2010), para temperatura e salinidade, respectivamente. Os dados encontram-se disponíveis em: www.nodc.noaa.gov;
- Dados de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do produto OSTIA (*Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis*). Uma breve descrição dos dados é encontrada em Stark *et al.* (2007). O conjunto encontram-se disponível em: ghrsst-pp.metoffice.com;
- Dados de onda oriundos de um *hindcast* de 10 anos realizado com o modelo WaveWatch III pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), dentro do plano de cooperação técnica INPE/PROOCEANO. Informações e documentação de todas as versões do modelo de ondas WaveWatch III podem ser encontradas no seguinte endereço eletrônico: polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/. Para o estudo em questão, foi utilizada a versão 2.22 e informações técnicas referentes à utilização e instalação do modelo encontram-se em Tolman (2002);
- Dados do modelo global de marés FES-2004 contendo a fase e a amplitude das principais constituintes de maré. Uma descrição do conjunto de dados encontra-se em Lyard (2006). E os dados são disponibilizados em: www.aviso.oceanobs.com;
- Dados da Análise Global do modelo hidrodinâmico HYCOM. O conjunto é descrito em maiores detalhes e também gratuitamente distribuído em: www.hycom.org.

Além de referências bibliográficas sobre a oceanografia local.

Na **Tabela II.5.1.2-1** observa-se um resumo com as fontes de dados utilizadas no estudo, e as suas respectivas localizações.

Tabela II.5.1.2-1 - Localização das fontes de dados utilizadas.

Fontes	Coordenadas		Parâmetros	Período
	latitude	longitude		
NODC (área)	22,5° S - 23,25° S	40° W – 40,75° W	T e S	1911-1984
NODC	22,875° S	40,375° W	T, S e D	1773-2009
OSTIA (área)	20° S – 26° S	37° W - 42° W	TSM	01/01/2009 31/12/2009
WaveWatch III	23° S	40° W	Ondas	01/01/1997 31/12/2009
FES-2004	22,875° S	40,5° W	Maré	-
DEPROAS	23,74° S	41,75° W	Correntes	07/2002 05/2004
HYCOM	20° S – 26° S	37° W - 42° W	Correntes	01/01/2007 31/12/2007

Legenda: T = Temperatura; S = Salinidade; D = Densidade.

A - Revisão Bibliográfica

A região de estudo encontra-se sob a influência do giro subtropical do Atlântico sul (**Figura II.5.1.2-2**), que faz parte da circulação de larga escala que ocorre nas bacias dos oceanos mundiais (PETERSON; STRAMMA, 1991). Esta circulação é complexa e apresenta características e padrões que variam ao longo da coluna d'água.

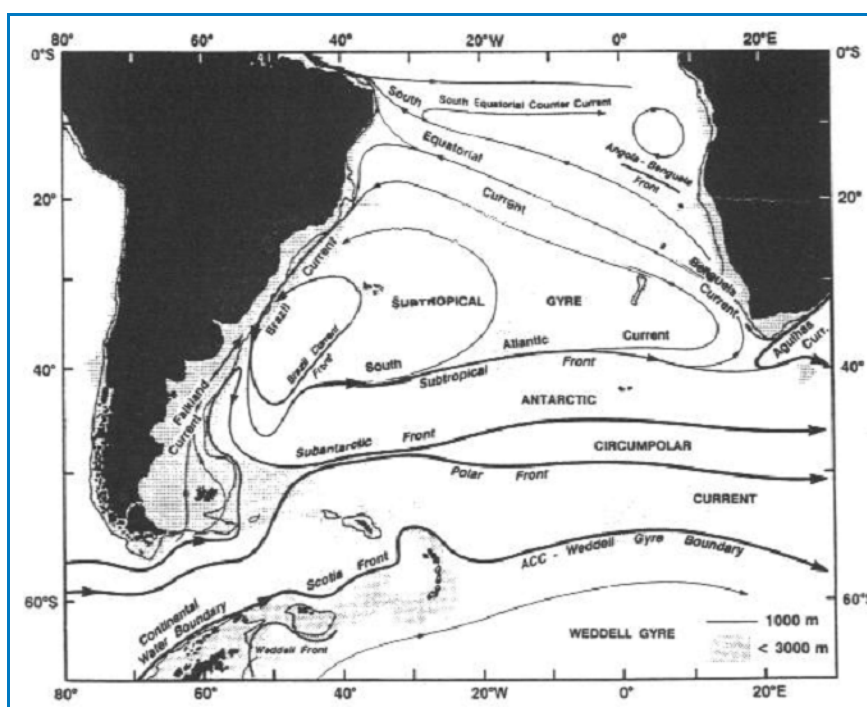


Figura II.5.1.2-2 - Representação esquemática do giro subtropical do Atlântico Sul (PETERSON; STRAMMA, 1991).

Normalmente, nesta região da costa brasileira são encontradas as seguintes massas d'água: Água Costeira (AC), Água Tropical (AT), Água de Mistura (AM) - proveniente da mistura entre a AT e AC, Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA), Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) (MIRANDA, 1991).

Silva *et al* (1982) desenvolveram um gabarito tentativo para as massas d'água da costa sudeste brasileira, com a seguinte classificação:

- Água Costeira (AC) – água de salinidade abaixo de 33 devido à influência de descarga fluvial.
- Água Tropical (AT) – definida por valores de salinidade maiores que 36 e de temperatura maiores que 18°C. Esta massa d'água é transportada para o sul pela Corrente do Brasil, ocupando a camada mais superficial.
- Água de Mistura (AM) – apresenta salinidade variando entre 33 e 36 e valores de temperatura acima de 18°C. Massa d'água proveniente da mistura entre AT e AC.
- Água Central do Atlântico Sul (ACAS) – apresenta um mínimo de temperatura de 6°C e um máximo de 18°C; e a salinidade oscilando entre 34,5 e 36. Massa d'água situada entre a Água Tropical e a Água Intermediária Antártica. É formada na Convergência Subtropical.
- Água Intermediária Antártica (AIA) – apresenta valores de temperatura entre 2,75°C e 5°C e de salinidade entre 34,1 e 34,5. É proveniente da Convergência Antártica e apresenta um mínimo de salinidade entre 700 e 1100 m de profundidade.
- Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) – apresenta valores de temperatura entre 2,0°C e 4°C e de salinidade entre 34,7 e 35,0. É formada no Hemisfério Norte na junção das Correntes da Groelândia e Labrador.

Silveira (2007) reconhece mais uma massa d'água no sistema dinâmico ao largo da costa sudeste brasileira. Trata-se da Água Circumpolar Superior (ACS), observada entre a AIA e a APAN e dotada de densidades semelhantes às da APAN, sendo resultado da mistura entre a Água Circumpolar (AC) e a APAN na região da divergência antártica. Relativamente à APAN, a ACS é menos salina, tem

menor teor de oxigênio dissolvido, e é mais rica em nutrientes. O autor indica que, na região da Bacia de Campos, os limites termohalinos da ACS são marcados por temperaturas entre 3,31 e 3,46°C, e salinidades entre 34,42 e 34,59.

A circulação oceânica é influenciada por diversos aspectos, como a circulação atmosférica, características termohalinas, topografia de fundo e orientação da linha de costa. Esses fatores interagem para formar a dinâmica oceânica da região (FRAGOSO, 2004).

O fluxo na região onde está localizado o Campo de Espadarte, da superfície até aproximadamente os 500m de profundidade, é dominado pela Corrente do Brasil (CB). Trata-se da corrente de contorno oeste do giro subtropical do Atlântico Sul, cujo fluxo pode ser identificado a partir da borda externa da plataforma continental, dominando o talude continental (FUNDESPA/IOUSP/PETROBRAS, 1994).

Na **Figura II.5.1.2-3** é apresentada uma representação esquemática do Sistema Corrente do Brasil. O conceito empregado para Sistema Corrente do Brasil é o mesmo apresentado por GODOI (2005), que denomina o sistema como sendo as feições oceanográficas formadas pela própria CB, seus meandros e vórtices e pela subjacente Corrente de Contorno Intermediária (CCI). Observam-se na figura as correntes de contorno, sua atividade de mesoescala e as massas d' água transportadas por elas. Em vermelho está a AT, ocupando a camada mais superficial, indo até 150 m. Logo abaixo se encontra a ACAS, em azul, ocupando a lâmina d' água até aproximadamente 500 m. Em seguida encontra-se a AIA, em verde, até aproximadamente 1200 m. A Água APAN, em amarelo, é a massa d' água mais profunda, encontrada a 3500 m de profundidade.

Também podem ser observados os vórtices ciclônicos e anticiclônicos que fazem parte do Sistema: o Vórtice de Cabo Frio (VCF), o Vórtice Cabo de São Tomé (VCST) e o Vórtice Vitória (VV), respectivamente localizados ao largo de Cabo Frio - RJ, Cabo de São Tomé - RJ e Vitória - ES.

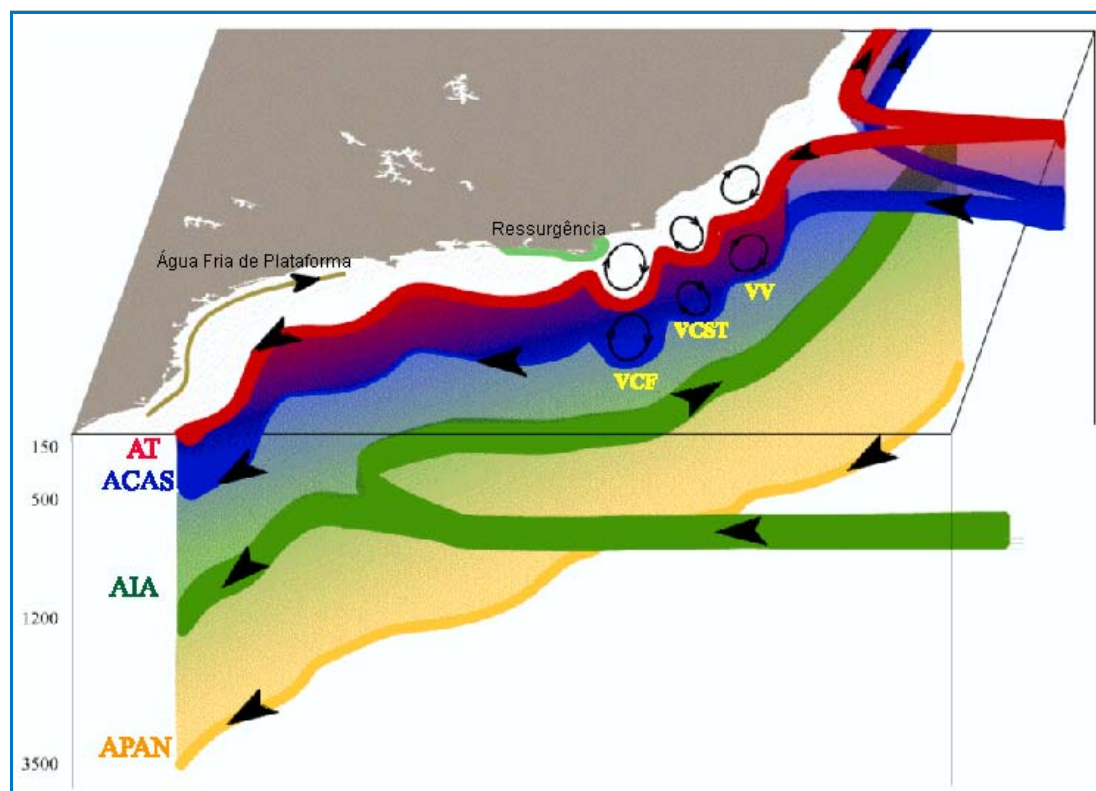


Figura II.5.1.2-3 - Representação esquemática do Sistema Corrente do Brasil.

Fonte: Adaptado de Godoi (2005).

Os fenômenos transientes da Corrente do Brasil (vórtices e meandros) são fatores bastante relevantes de sua dinâmica, sendo primeiro observados no final da década de 1950 (DHN, 1969, *apud* FRAGOSO, 2004). Apesar da Corrente do Brasil apresentar transporte inferior ao de outras correntes de contorno oeste, possui muitos vórtices e meandros (CALADO, 2000). Essas feições oceanográficas representam um desafio à previsão oceânica, uma vez que sua variabilidade espaço-temporal irá acrescentar um alto grau de variabilidade na circulação local, o que contribui para uma menor precisão das previsões de curto e médio período.

Segundo Silveira *et al.* (2000), uma das primeiras descrições de meandros e vórtices da CB foi realizada por Mascarenhas *et al.* (1971), que descreveram a presença de vórtices e meandros ciclônicos e anticiclônicos ao largo de Cabo Frio utilizando mapas de topografia dinâmica. Eles especulam que as feições topográficas da região favoreceriam a geração destes vórtices e meandros. Signorini (1978) *apud* Silveira *et al.* (2000) observou um vórtice com cerca de 100 km de raio em região de águas profundas (>1000m) com extensão vertical de 500

m ao norte de Cabo Frio, realizando análise dinâmica em dados hidrográficos. Campos (1995) *apud* Silveira *et al* (2000) atribui a ocorrência destes fenômenos transientes à mudança de orientação da costa a partir de Cabo Frio e ao gradiente de batimetria, já que a plataforma ao norte de Cabo Frio é estreita e se torna mais larga e suave na Bacia de Santos. Assim, a CB que flui ao longo da quebra da plataforma, por inércia, dirigir-se-ia em direção às águas mais profundas na latitude de Cabo Frio. Utilizando o princípio de conservação de vorticidade potencial, o autor mostra que a CB iria meandrar ciclonicamente. Evidências de meandros e vórtices ciclônicos e anticiclônicos foram também detectados em imagens de satélite, sugerindo que o início da atividade ciclogênica pode ocorrer ao largo do Cabo de São Tomé (22°S). Um exemplo de meandramentos e vórtices obtidos a partir de imagens de satélite é observado na **Figura II.5.1.2-4**.

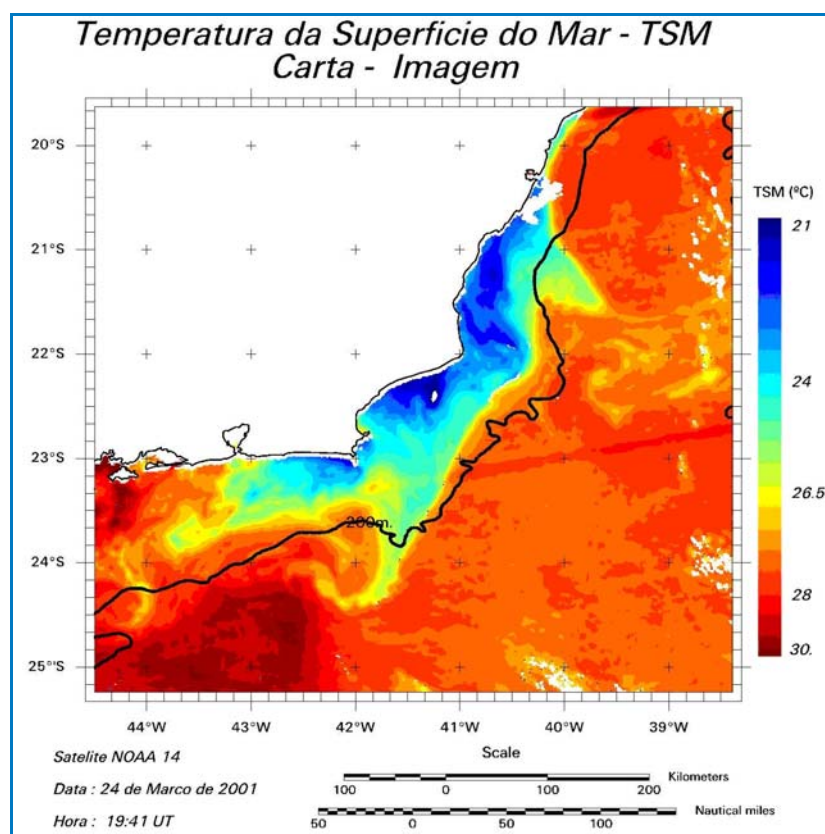


Figura II.5.1.2-4 - Carta-imagem da temperatura da superfície do mar, processada pelo INPE, do dia 24 de março de 2001, mostrando feições vorticais próximas ao Cabo de São Tomé e Cabo Frio.

Fonte: Fragozo, 2004.

Fragoso (2004) realizou uma análise mais detalhada dessas feições a partir de resultados obtidos por modelagem numérica. Nesses resultados (**Figura II.5.1.2-5 a Figura II.5.1.2-8**) foram encontrados diversos vórtices com meia vida da ordem de alguns dias na Bacia de Campos, ao longo de um ano. Alguns apresentaram deslocamentos de até dezenas de quilômetros. Um exemplo do comportamento dessas feições é apresentado a seguir.

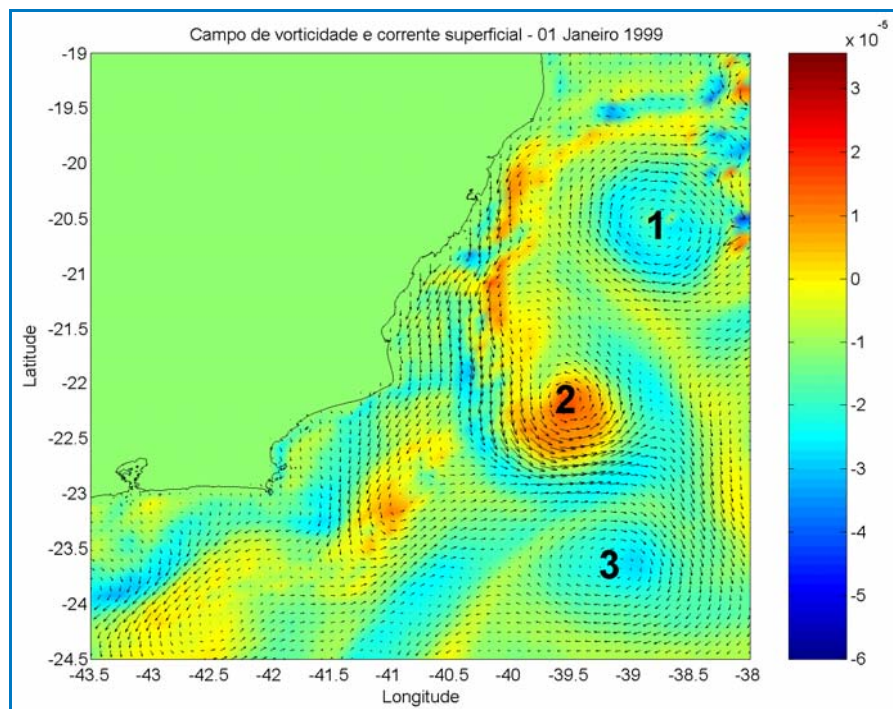


Figura II.5.1.2-5 - Campo de vorticidade relativa (s-1) e velocidade em superfície, para 1º de janeiro de 1999, resultante do modelo numérico de Fragoso (2004).

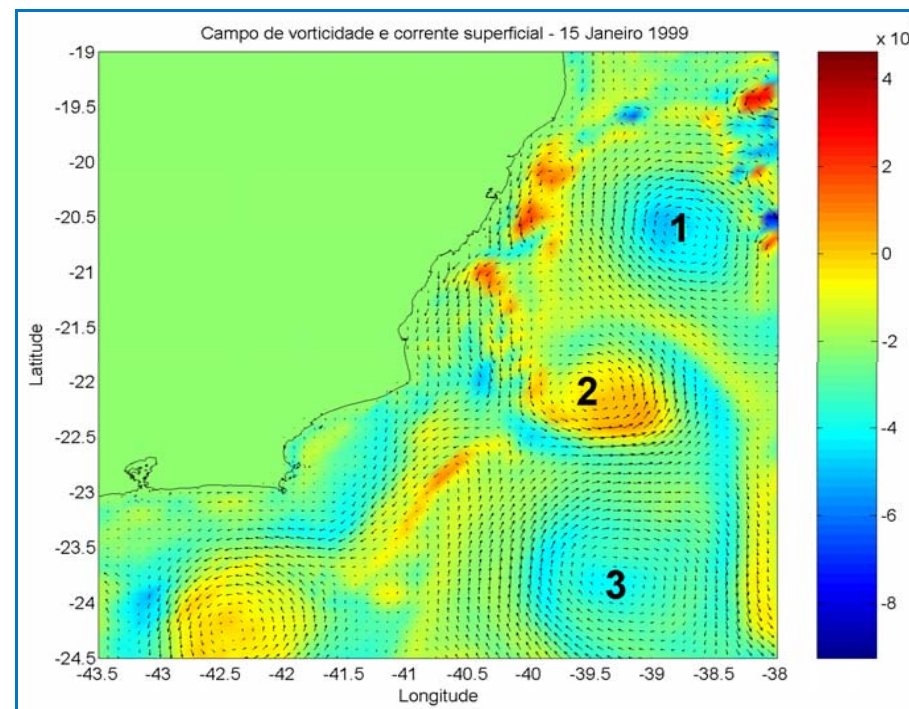


Figura II.5.1.2-6 - Campo de vorticidade relativa (s-1) e velocidade em superfície, para 15 de janeiro de 1999, resultante do modelo numérico de Fragoso (2004).

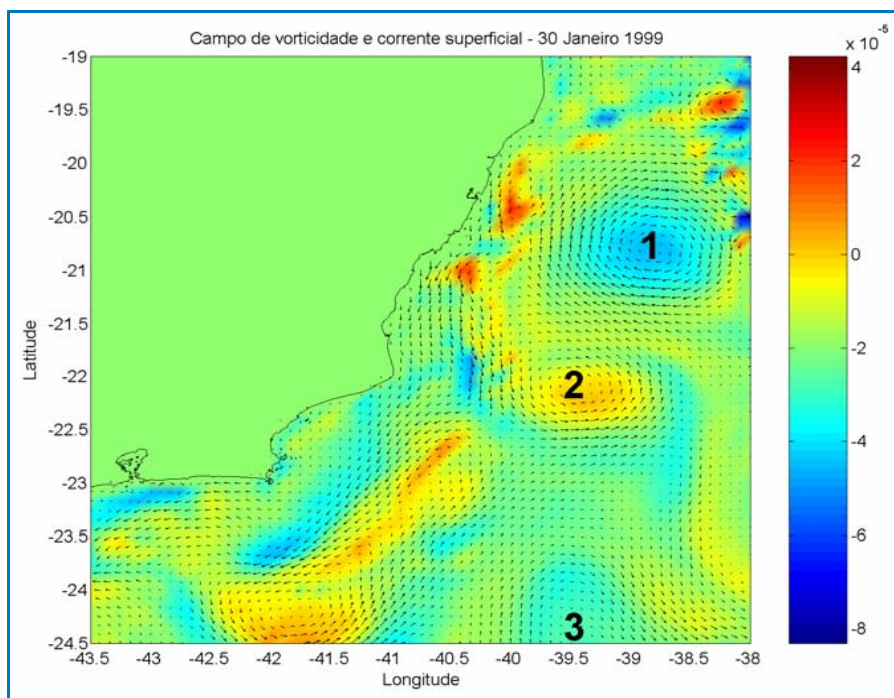


Figura II.5.1.2-7 - Campo de vorticidade relativa (s⁻¹) e velocidade em superfície, para 30 de janeiro de 1999, resultante do modelo numérico de Frago (2004).

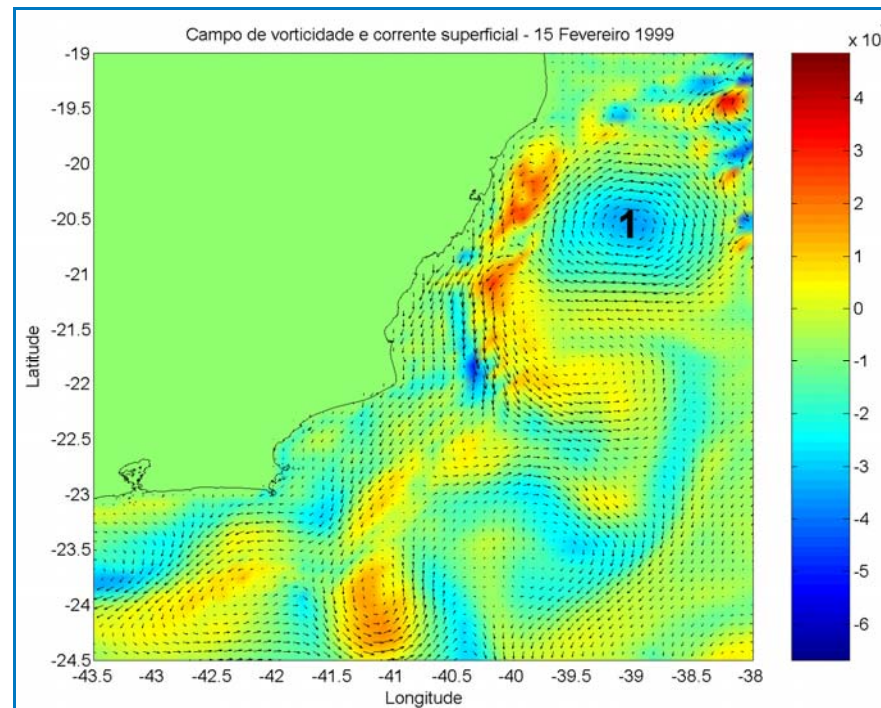


Figura II.5.1.2-8 - Campo de vorticidade relativa (s⁻¹) e velocidade em superfície, para 15 de fevereiro de 1999, resultante do modelo numérico de Frago (2004).

A sequência de 1º de janeiro a 15 de fevereiro mostra a evolução de três vórtices marcados nas figuras como 1, 2 e 3. O vórtice 1 não apresenta variação significativa de posição, estando presente ao longo de todo o período. Esta é uma feição semi-permanente, conhecida como Vórtice de Vitória. O vórtice anticiclônico identificado com o número 2, não apresenta deslocamento significativo, mas sua intensidade gradualmente diminui, até não ser mais observado no dia 15 de fevereiro. O vórtice 3, ciclônico, ao mesmo tempo que se desloca para sul, aumenta de tamanho, mas vai enfraquecendo até se dissipar no dia 30 de janeiro. Portanto, tem-se um vórtice de longa duração ciclônico, um anticiclônico que durou cerca de 45 dias e um ciclônico que se dissipou em 30 dias. Tal quadro representa bem a quantidade de vórtices e a diversidade de suas dinâmicas na região da Bacia de Campos e arredores.

A seguir serão apresentadas algumas estimativas de valores de transporte e de velocidade da Corrente do Brasil de acordo com a literatura.

Evans *et al.* (1983) observaram a Corrente do Brasil fluindo através dos bancos mais próximos à costa, a partir de um levantamento hidrográfico realizado entre as latitudes de 19°S e 25°S, utilizando perfiladores de temperatura descartáveis do tipo *Expendable Bathythermograph* (XBT). Para a obtenção da salinidade foram usados dados hidrográficos, além da utilização de relações T-S a partir dos dados de temperatura obtidos por XBTs. A partir dos resultados obtidos, o estudo localizou a corrente tanto ao norte quanto ao sul da cadeia Vitória-Trindade (20°30'S). Transportes geostroficados foram estimados para uma seção hidrográfica centrada em 20°28'S, assumindo-se níveis de movimento nulo aos 500 e 1000 m de profundidade. Foram obtidos transportes de aproximadamente 3,8 Sv e 6,8 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), relativos respectivamente aos primeiros 500 e 1000 m da coluna d'água, fluindo através do canal nos bancos. A velocidade superficial observada foi igual a 0,52 m/s.

Utilizando-se relações T-S, também foram calculados transportes para seções de XBT, resultando em uma estimativa de 4,4 Sv e velocidades superficiais de 0,61 m/s, para a latitude de 21°40'S.

Lima (1997) calculou o transporte para sul da Corrente do Brasil como sendo de $5,5 \pm 2,6$ Sv na latitude de 22°S , estando de acordo com as estimativas do transporte geostrofico feitas anteriormente para a região.

Para obter informações sobre a variação espacial da estrutura térmica e localizar a CB ao norte e ao sul dos bancos submarinos da Cadeia Vitória-Trindade ($20^{\circ}30'\text{S}$), Signorini *et al.* (1978) realizaram, em abril de 1973, um levantamento oceanográfico na região. A estrutura da corrente e o transporte de volume, relativos à 500 m de profundidade, foram obtidos usando-se dados hidrográficos também medidas com o auxílio de XBTs. O balanço do transporte de volume, através de todas as seções entre 19°S e 22°S , indicou que a CB flui através da passagem entre os bancos localizados mais próximos da costa. O transporte de volume resultante obtido foi de 2,9 Sv.

Um resumo dos resultados obtidos a partir do levantamento bibliográfico pode ser observado na **Tabela II.5.1.2-1**.

Tabela II.5.1.2-2 - Valores de velocidade e transporte da corrente do Brasil na região da Bacia de Campos obtidos da bibliografia. Fonte: Silveira (2007).

Latitude	Prof. de Referência (m)	Transporte (Sv)	Velocidade Máxima (m/s)	Referência
21°S	600	-9,4	-	Schimid <i>et al.</i> (1995)
21°S	Numérico	-6,7	-0,83	Silveira <i>et al.</i> (2005)
21°S	Numérico	-7,9	-0,60	Silveira <i>et al.</i> (2005)
$21^{\circ}40'\text{S}$	500	-4,4	-0,61	Evans <i>et al.</i> (1983)
22°S	600	-5,2	-0,55	Signorini (1978)
22°S	Por fundeio	$-5,5 \pm 2,6$	-	Lima (1997)
22°S	Numérico	-7,1	< -0,55	Lima (1997)
23°S	600	-6,0	-0,70	Signorini (1978)
23°S	550	-2,2/-2,7	-0,49	Miranda & Castro Filho (1979)
23°S	Pegasus	-11,0	-0,50	Evans & Signorini (1985)
23°S	Pegasus	-6,0	-0,70	Garfield (1990)
23°S	600/1300	-10,1/10,9	-	Stramma (1989)
23°S	Por fundeio	-1,3	-0,28	Müller <i>et al.</i> (1998)
$23^{\circ}30'\text{S}$	600	-9,4	-0,55	Signorini (1978)
24°S	1300	-7,5	-0,25	Fisher (1964)
24°S	600	-7,5	-0,57	Signorini (1978)
24°S	500/1000	-4,1/-7,8	-0,31	Evans <i>et al.</i> (1983)
24°S	600/1300	-9,4/-10,1	-	Stramma (1989)
24°S	750/900	-7,3/-8,8	-	Campos <i>et al.</i> (1995)

Outro fenômeno oceanográfico de grande importância na região é a ressurgência. O termo ressurgência é utilizado para designar o movimento ascendente de águas das camadas inferiores, capaz de carrear nutrientes para a zona eufótica e assim propiciar uma aceleração da cadeia trófica marinha. Sua dinâmica é capaz de gerar mudanças drásticas nas regiões onde ocorrem, alterando a biota marinha e o clima local (TORRES JR., 1995). As águas ressurgidas, provenientes de profundidades de poucas centenas de metros, são geralmente mais frias e, desta forma, as regiões de ocorrência de ressurgência apresentam temperaturas de superfície do mar anômalas em relação à média para suas respectivas latitudes (ODA, 1997).

Na região da Bacia de Campos, a ressurgência se faz presente na costa do Rio de Janeiro, principalmente na região do Cabo Frio. Torres Jr. (1995) conduziu uma revisão dos trabalhos realizados a respeito da ressurgência de Cabo Frio que, desde o trabalho pioneiro de Alard (1955) *apud* Torres Jr. (1995), vem sendo estudada, tornando-se o fenômeno oceanográfico mais investigado no Brasil. Segundo este autor, o mecanismo gerador da ressurgência de Cabo Frio está associado ao transporte de Ekman superficial, que cria divergência horizontal na superfície do oceano devido aos efeitos combinados da rotação da Terra e da fricção do vento. Essa divergência induz o movimento vertical ascendente das águas subsuperficiais por conservação de massa.

A região de Cabo Frio apresenta algumas características geomorfológicas, meteorológicas e oceanográficas que permitem a ocorrência da ressurgência. A região fica sobre o domínio do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), com predominância de ventos de Nordeste. A partir de Cabo Frio ocorre a inflexão da orientação da linha de costa de Norte-Sul para Leste-Oeste. A conjunção destes dois fatores é favorável à ocorrência da ressurgência, uma vez que o transporte de Ekman se dá à esquerda da direção do vento e, assim, a água costeira é transportada em direção ao talude (ODA, 1997).

No caso de Cabo Frio, a água ressurgida é a ACAS e a presença dessa massa d'água em camadas mais próximas à superfície na região ao largo de Cabo Frio é outro fator importante para que o mecanismo de ressurgência possa

ocorrer na região (TORRES JR., 1995). A característica termohalina das águas ressurgidas nessa região é de temperaturas entre 12 e 18°C e salinidade variando entre 34,5 e 36.

A ressurgência afeta, também, as interações oceano/atmosfera na região, como o efeito na circulação de brisa marítima/terrestre que, por sua vez, também intensifica a ressurgência, resultando então num processo de retroalimentação entre as circulações oceânica e atmosférica na região (RODRIGUES, 1997; ODA, 1997).

Em relação ao regime de ondas, na costa da região sudeste brasileira, especialmente na Bacia de Campos, as condições meteorológicas têm sido divididas, basicamente, em duas situações (VIOLANTE-CARVALHO, 1998; PINHO, 2003):

- bom tempo, quando prevalece a influência do anticiclone semipermanente do Atlântico Sul (ASAS), com ventos dominantes de Nordeste/Leste (NE/E) e, *a priori*, condições de mar mais amenas.
- mau tempo, quando da passagem de sistema frontais, com ventos dos quadrantes Sudoeste/Sudeste (SW/SE) e maior agitação.

Deve-se levar em consideração, no entanto, que ventos do quadrante NE/E podem gerar ondas com altura significativa de mais de 2 m, conforme demonstrado por Candella (1997, 2008), constituindo situações de agitação que podem interferir em trabalhos no mar.

Nos itens a seguir são apresentadas, conforme solicitado pelo Termo de Referência nº 001.10, as análises dos parâmetros oceanográficos de maior interesse para essa caracterização, a saber:

- Temperatura, salinidade e densidade;
- Densidade e caracterização das massas d'água;
- Regime de correntes;
- Regime de ondas;
- Regime de marés;

II.5.1.2.3 - Temperatura, Salinidade e Densidade

O estudo da temperatura e salinidade nos oceanos é de extrema importância para o conhecimento das estruturas verticais de massas d'água, bem como para o entendimento do papel dos oceanos como reservatórios de sal, gases e calor (FERRERO; WAINER, 2008).

Para avaliar a variação vertical de temperatura e salinidade, na região próxima ao Campo de Espadarte, foram utilizados os dados da climatologia sazonal *World Ocean Atlas 2009* (WOA09) do NODC.

A climatologia WOA09 baseia-se em dados hidrográficos históricos armazenados no NODC, coletados por diversas campanhas e equipamentos de navios de pesquisa e de oportunidade, fundeios oceanográficos, bóias de deriva, perfiladores autônomos, etc, interpolados segundo a metodologia proposta por Levitus & Boyer (1994) a uma grade regular global com resolução espacial de 1° x 1°. O NODC também disponibiliza estes dados interpolados para uma grade com espaçamento de ¼°. Contém perfis climatológicos mensais, sazonais e anuais de temperatura e salinidade, estendendo-se da superfície até respectivamente os 1500 e 5500 m de profundidade, organizados em 24 e 33 profundidades-padrão. Os dados do WOA09 são disponibilizados gratuitamente pelo NODC através da sua página na Internet (www.nodc.noaa.gov). Maiores informações sobre as bases climatológicas de temperatura e salinidade podem ser obtidas em Locarnini *et al.* (2009) e Antonov *et al.* (2009).

Os dados utilizados foram extraídos do ponto de grade localizado na região do Campo de Espadarte, localizado em 22,875°S e 40,375°W, conforme apresentado na **Figura II.5.1.2-9**. Os perfis de temperatura e salinidade para as 4 estações do ano são apresentados na **Figura II.5.1.2-10**.

Os dados demonstram a ocorrência de uma camada de mistura que se estende na região, desde a superfície até aproximadamente 50 m de profundidade. Abaixo da camada de mistura (região da termoclina) não há variações sazonais significativas, sendo estas mais pronunciadas nos primeiros 50 m da coluna d'água. Isto se deve ao fato de que as águas de termoclina são

formadas na região da confluência antártica durante o final do inverno, e têm suas características termohalinas conservadas ao longo do ano.

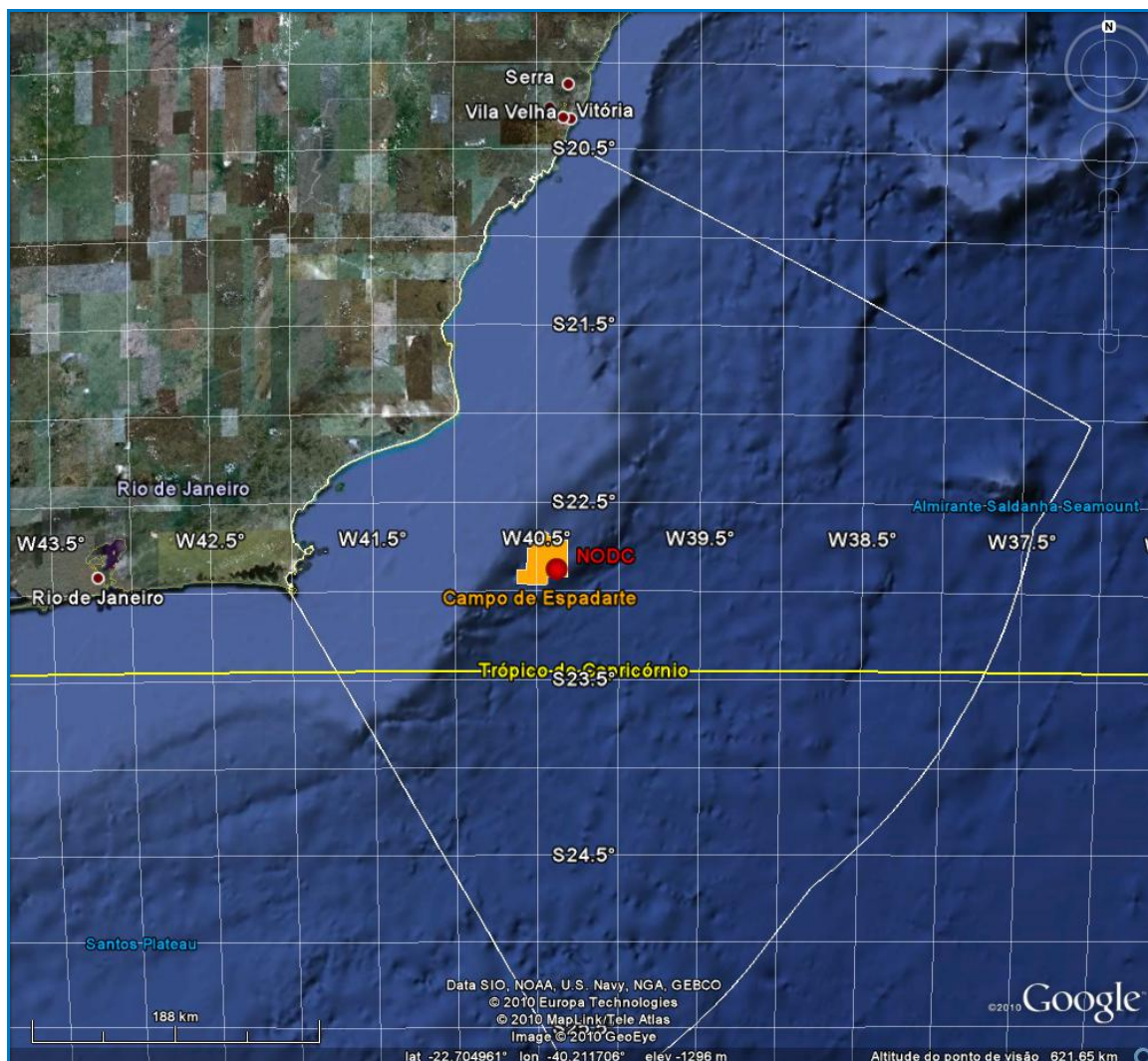


Figura II.5.1.2-9 – Localização do ponto de grade do WOA09 de onde foram retirados os dados de temperatura e salinidade.

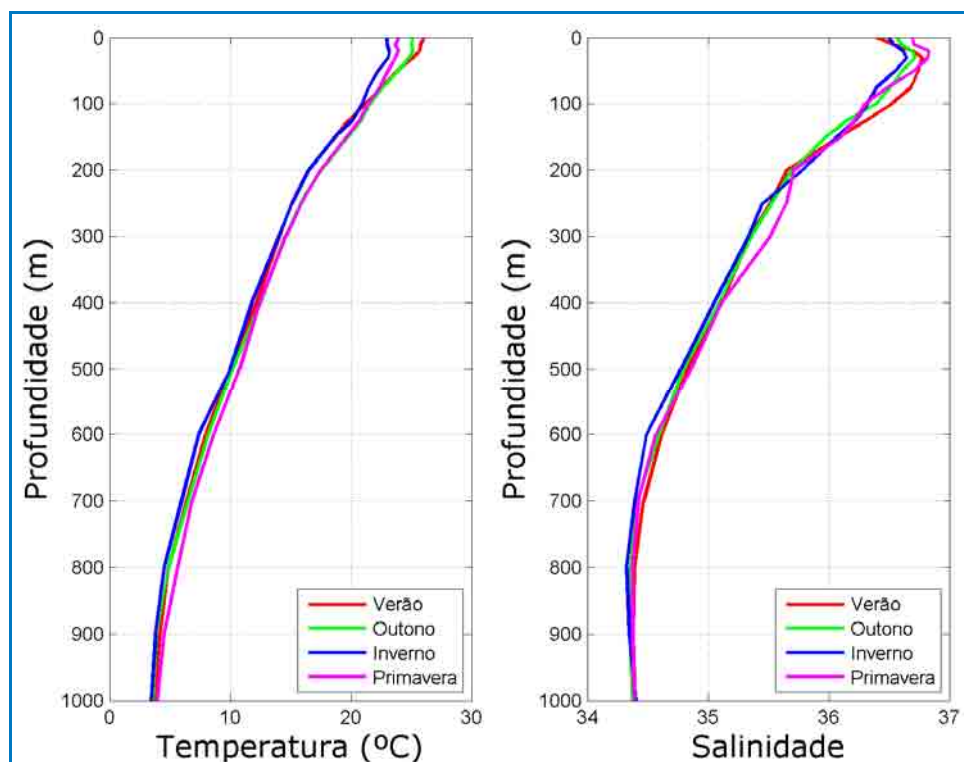


Figura II.5.1.2-10 - Perfis de temperatura e salinidade climatológicas para as quatro estações do ano na região do Campo de Espadarte.

Fonte: NODC.

No período de verão, em superfície, ocorrem as maiores temperaturas (~26 C), e no inverno, as menores (~23°C). Quanto à salinidade superficial, os maiores valores (36,7) são observados na primavera, e os menores (36,4) no verão, possivelmente devido a maior pluviosidade neste período. O máximo de salinidade pode ser observado entre 30 e 50 m de profundidade, atingindo valores de 36,83 durante a primavera. O mínimo de salinidade associado ao núcleo da AIA, em todas as estações do ano, ocorre em aproximadamente 800 m de profundidade.

Os perfis climatológicos de densidade potencial elaborados com os dados de temperatura e salinidade apresentados anteriormente nas quatro estações do ano podem ser vistos na **Figura II.5.1.2-11**. Nos primeiros 50 m de profundidade, como esperado, são encontradas águas mais densas no período de inverno, e menos densas no período de verão, devido principalmente às menores temperaturas do inverno e maiores do verão. As menores densidades superficiais médias são verificadas no verão (~1024 kg/m³) e as maiores (~1026 kg/m³) no

inverno. A pycnoclina começa a ser observada a partir de, aproximadamente, 25 m de profundidade.

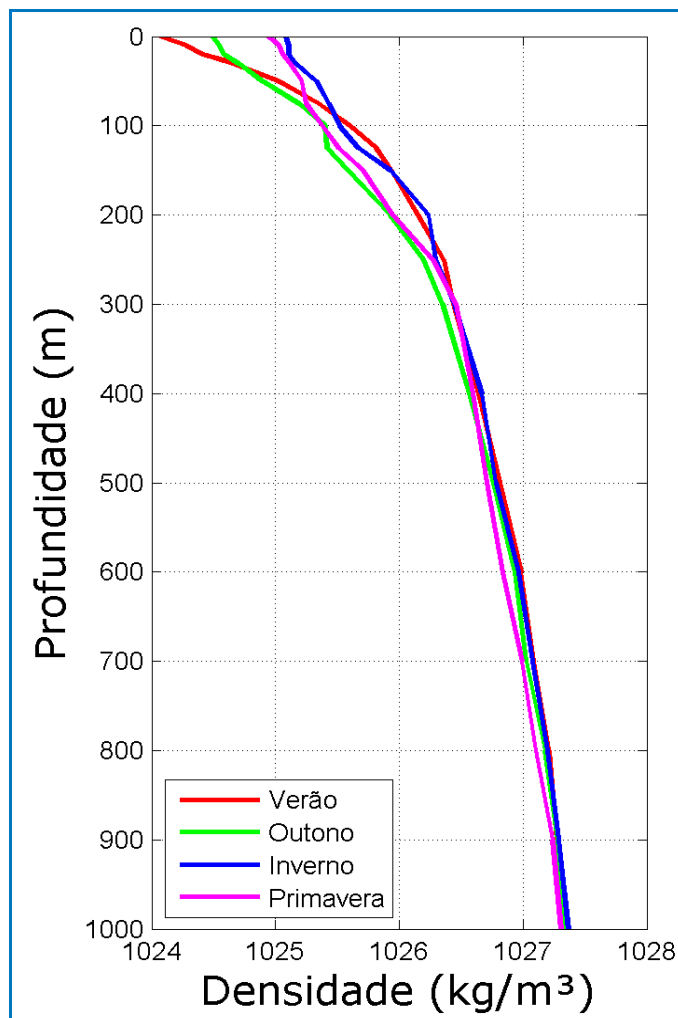


Figura II.5.1.2-11 - Perfis das densidades climatológicas para as quatro estações do ano na região do Campo de Espadarte.

Fonte: NODC.

A partir da climatologia sazonal do WOA09 também é possível obter uma boa estimativa da variabilidade espacial da temperatura e da salinidade climatológicas na região da Bacia de Campos.

A seguir, da **Figura II.5.1.2-12** à **Figura II.5.1.2-16**, são apresentadas as temperaturas climatológicas nos níveis de 0, 50, 100, 200, 500 e 1000 m, para toda a Bacia.

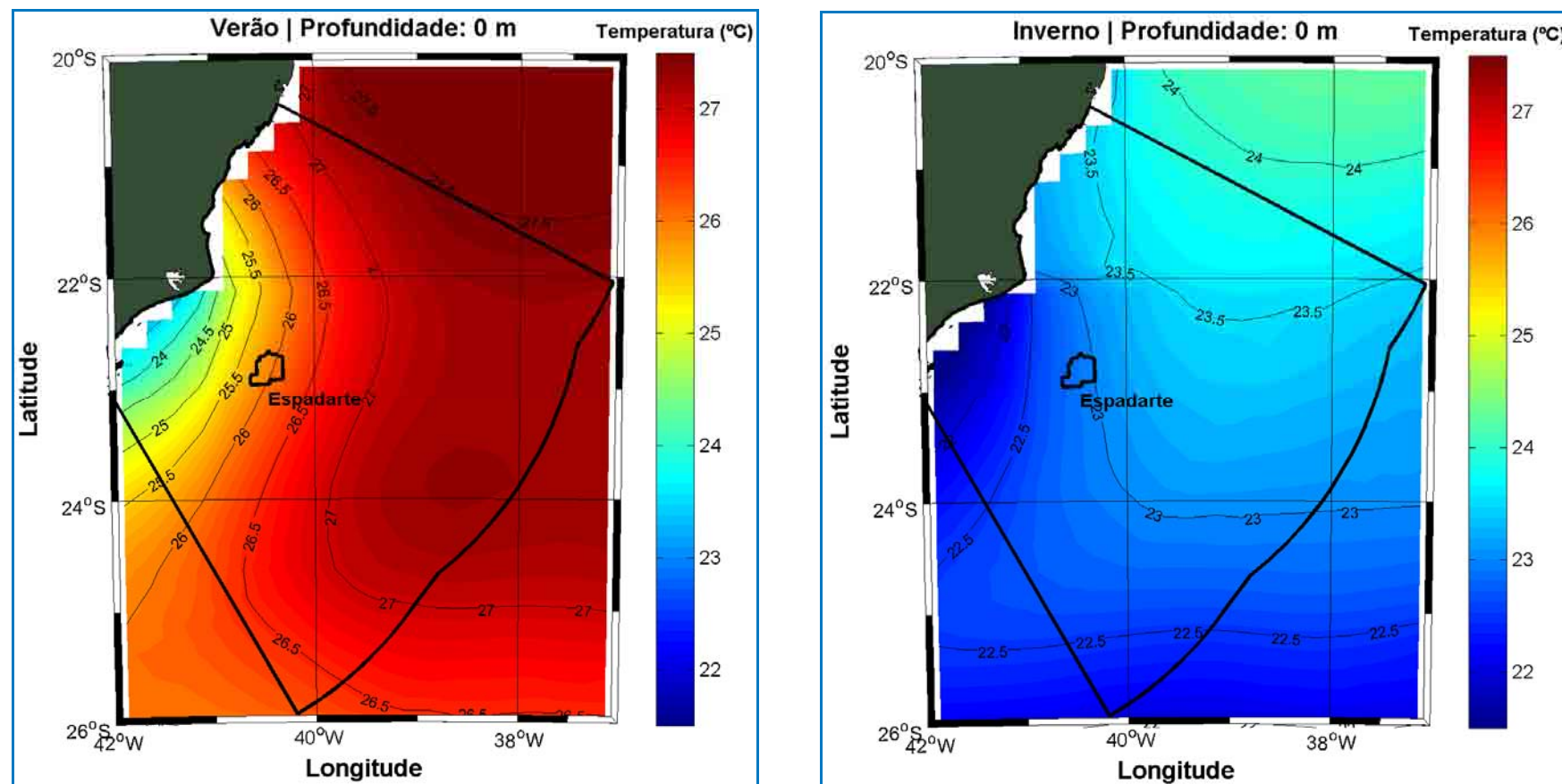


Figura II.5.1.2-12 - Temperatura climatológica superficial na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

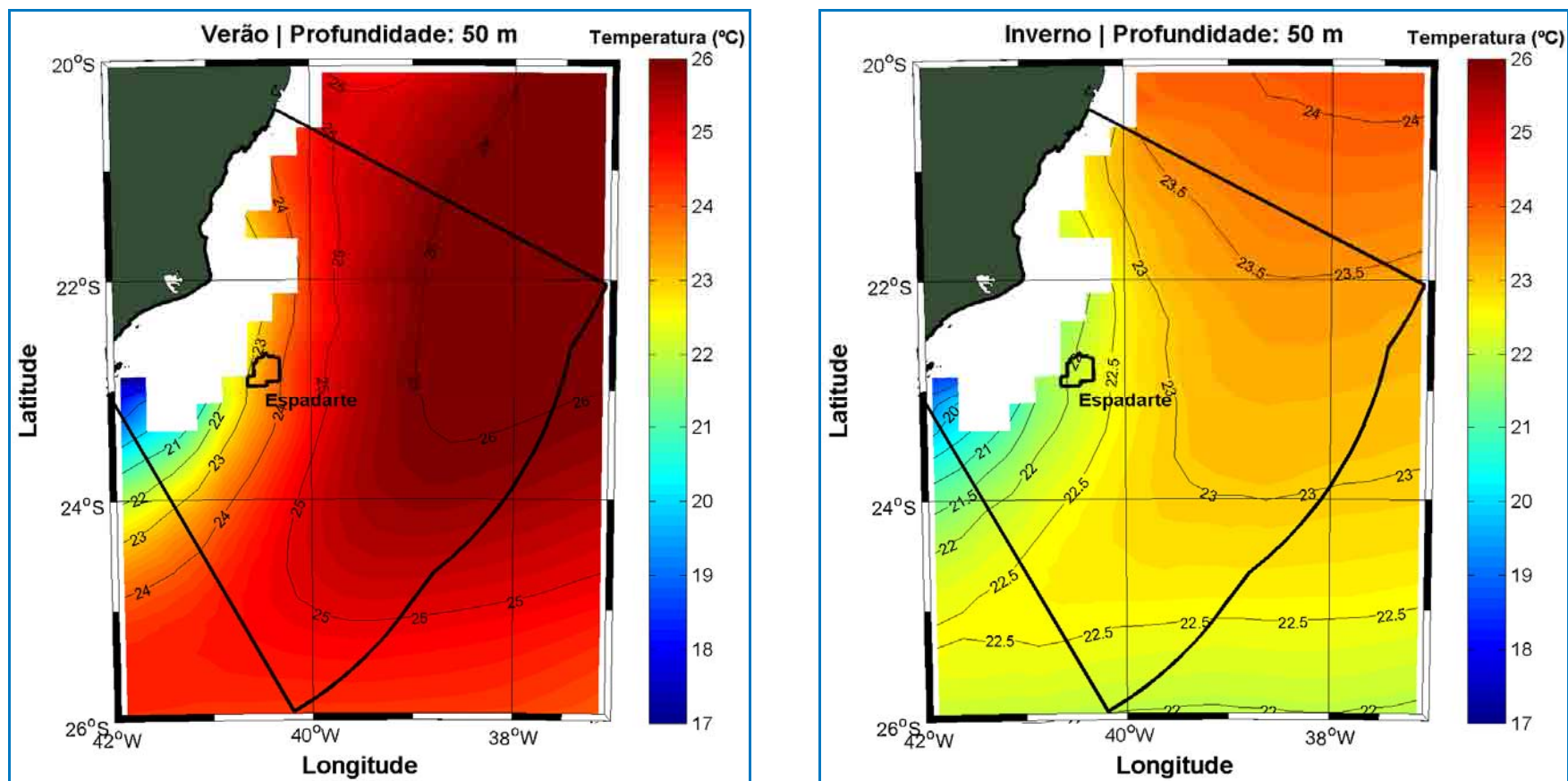


Figura II.5.1.2-13 - Temperatura climatológica a 50 m de profundidade na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

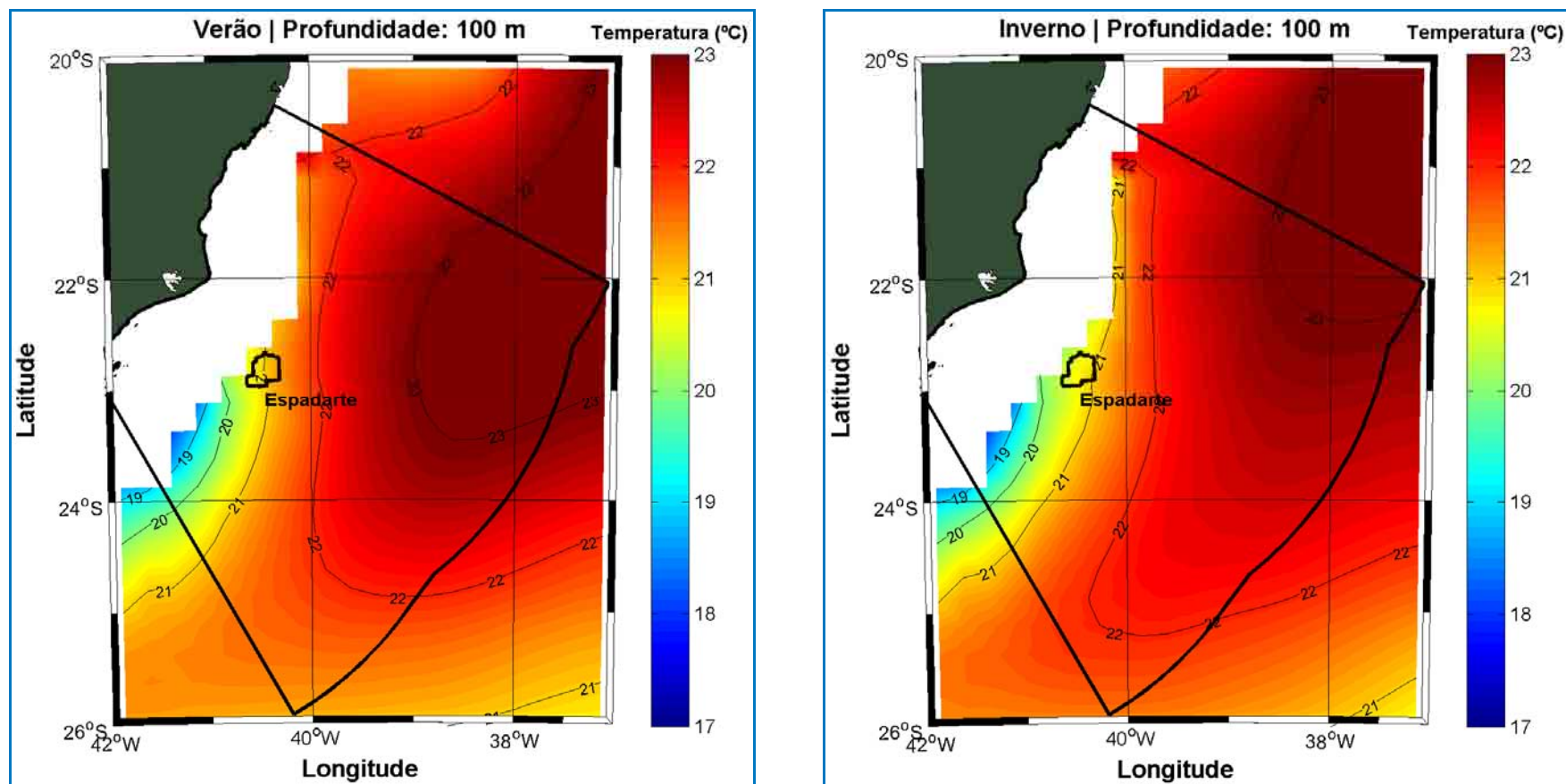


Figura II.5.1.2-14 - Temperatura climatológica a 100 m de profundidade na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

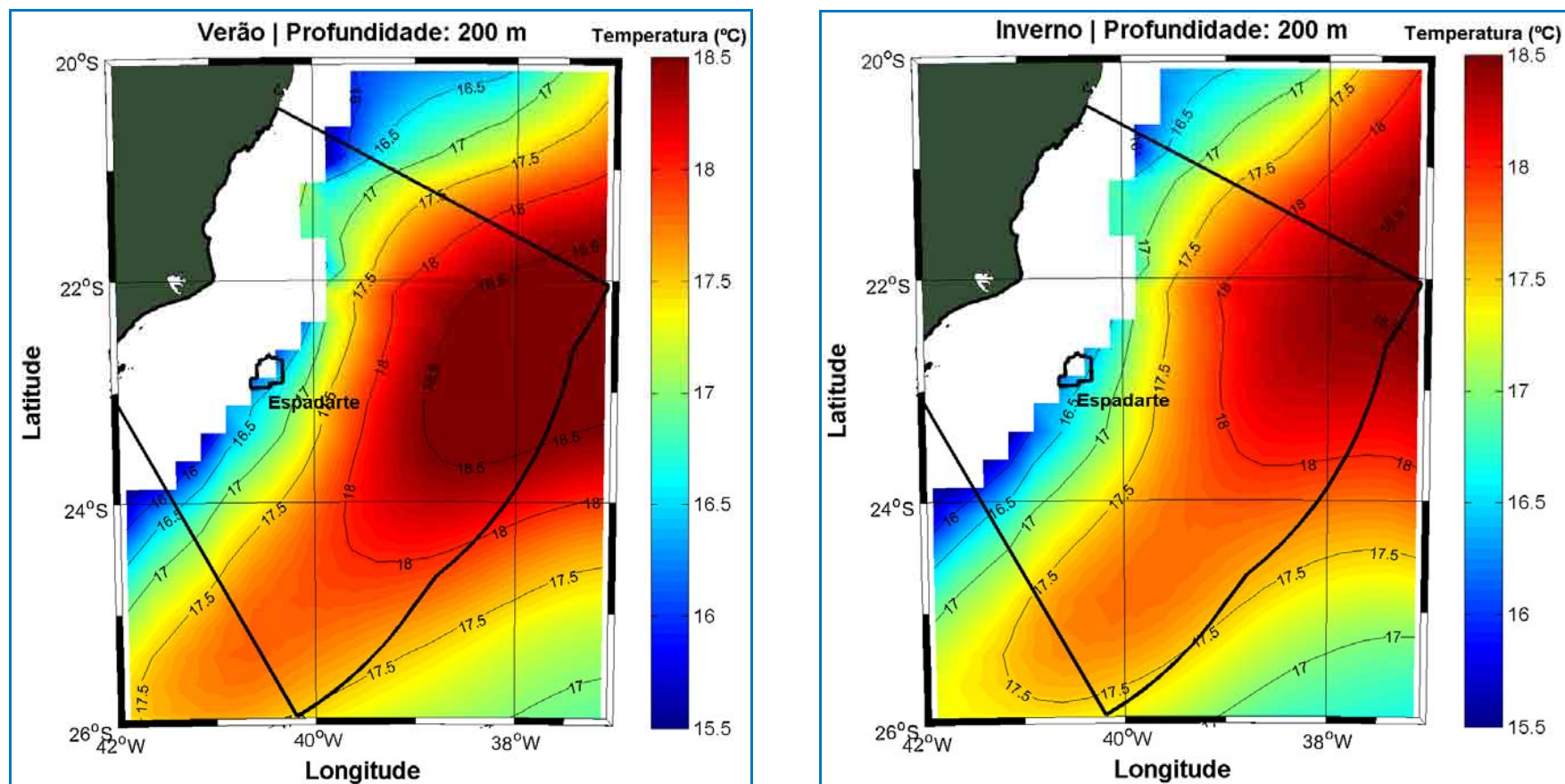


Figura II.5.1.2-15 - Temperatura climatológica a 200 m de profundidade na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

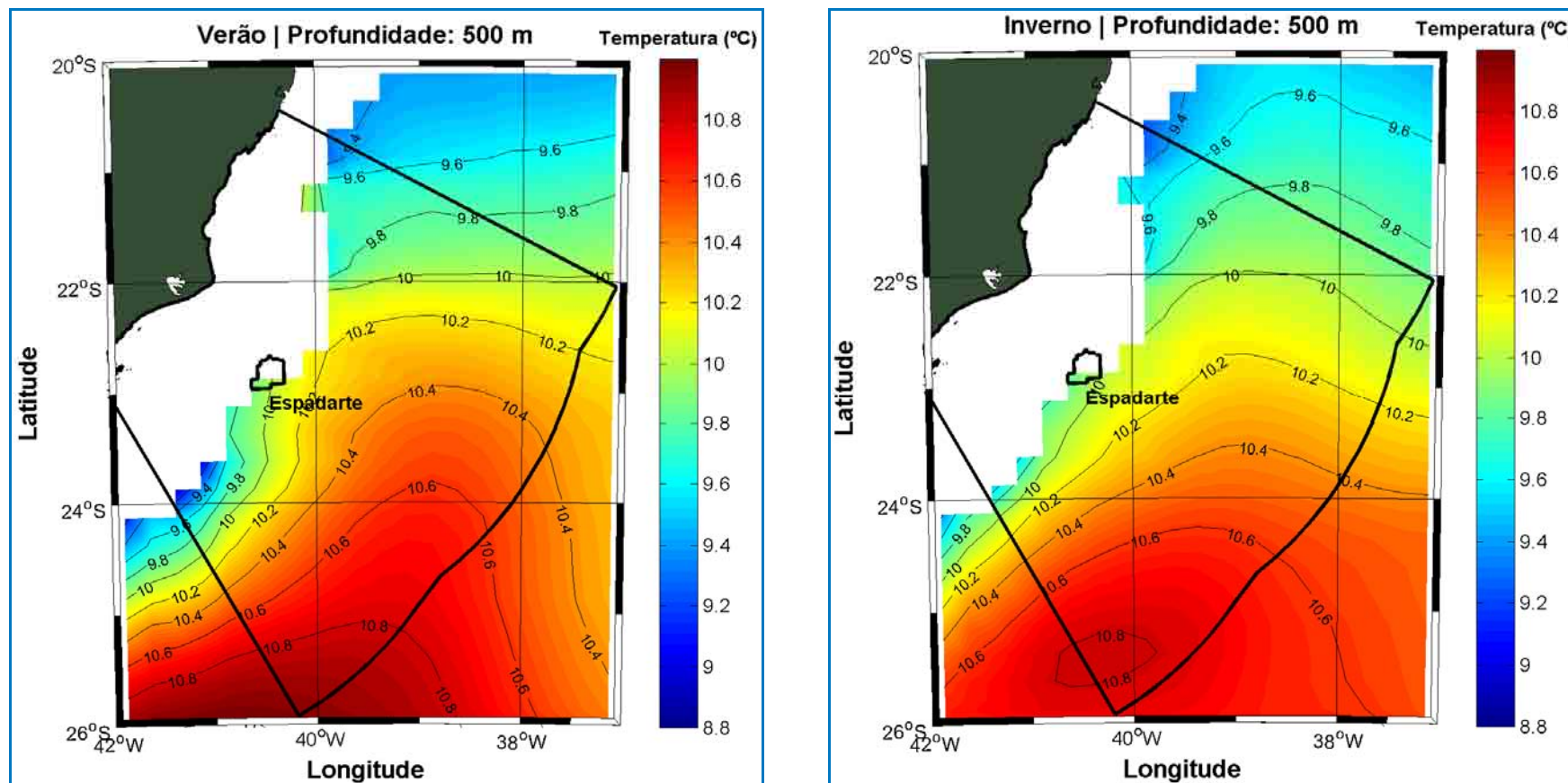


Figura II.5.1.2-16 - Temperatura climatológica a 500 m de profundidade na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

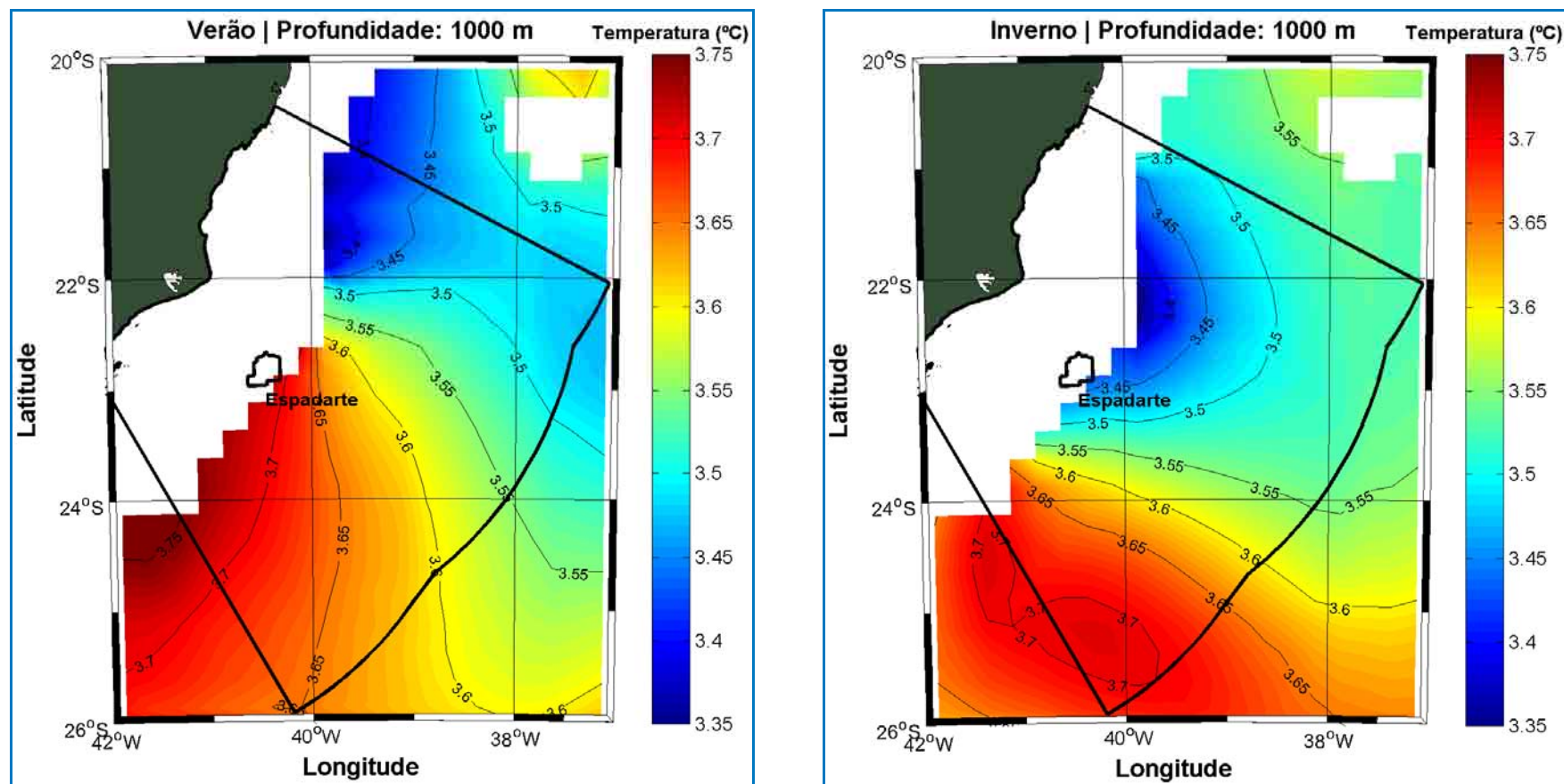


Figura II.5.1.2-17 - Temperatura climatológica a 1000 m de profundidade na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

Como verificado anteriormente, variações sazonais mais expressivas são observadas apenas nos níveis com profundidades de até 50 m, onde são encontradas temperaturas mais elevadas em praticamente toda a Bacia de Campos durante o período de verão. Da superfície até 200 m de profundidade, pode ser verificada a presença de um núcleo de altas temperaturas na porção externa da Bacia de Campos, além do talude continental em direção ao interior do giro subtropical.

Na **Tabela II.5.1.2-3**, observa-se a variação da temperatura climatológica, na Bacia de Campos, em todos os níveis analisados. A tabela nos permite observar novamente que a temperatura superficial média na região é aproximadamente 3,5°C mais quente no período de verão. Nas profundidades maiores que 50 m não são observadas diferenças maiores que 0,11°C na média de temperatura para toda região.

Tabela II.5.1.2-3 - Variação da temperatura climatológica nos níveis de 0, 50, 100, 200, 500 e 1000 m de profundidade.

Profundidade	Verão				Inverno			
	Mínima (°C)	Média (°C)	Máxima (°C)	D. Padrão (°C)	Mínima (°C)	Média (°C)	Máxima (°C)	D. Padrão (°C)
Superfície	23,23	26,56	27,89	0,22	21,28	22,90	24,32	0,15
50 m	16,54	24,55	26,69	0,76	18,41	22,58	24,16	0,30
100 m	15,39	21,59	23,40	0,44	14,88	21,64	23,73	0,51
200 m	13,98	17,42	18,81	0,13	13,92	17,31	18,63	0,16
500 m	8,35	10,25	11,04	0,15	8,62	10,24	10,82	0,09
1000 m	3,34	3,61	3,79	0,03	3,34	3,60	3,71	0,03

Fonte: NODC.

Da **Figura II.5.1.2-18** à **Figura II.5.1.2-22** são apresentadas as salinidades climatológicas, nas mesmas profundidades para as quais foram analisadas as temperaturas climatológicas.

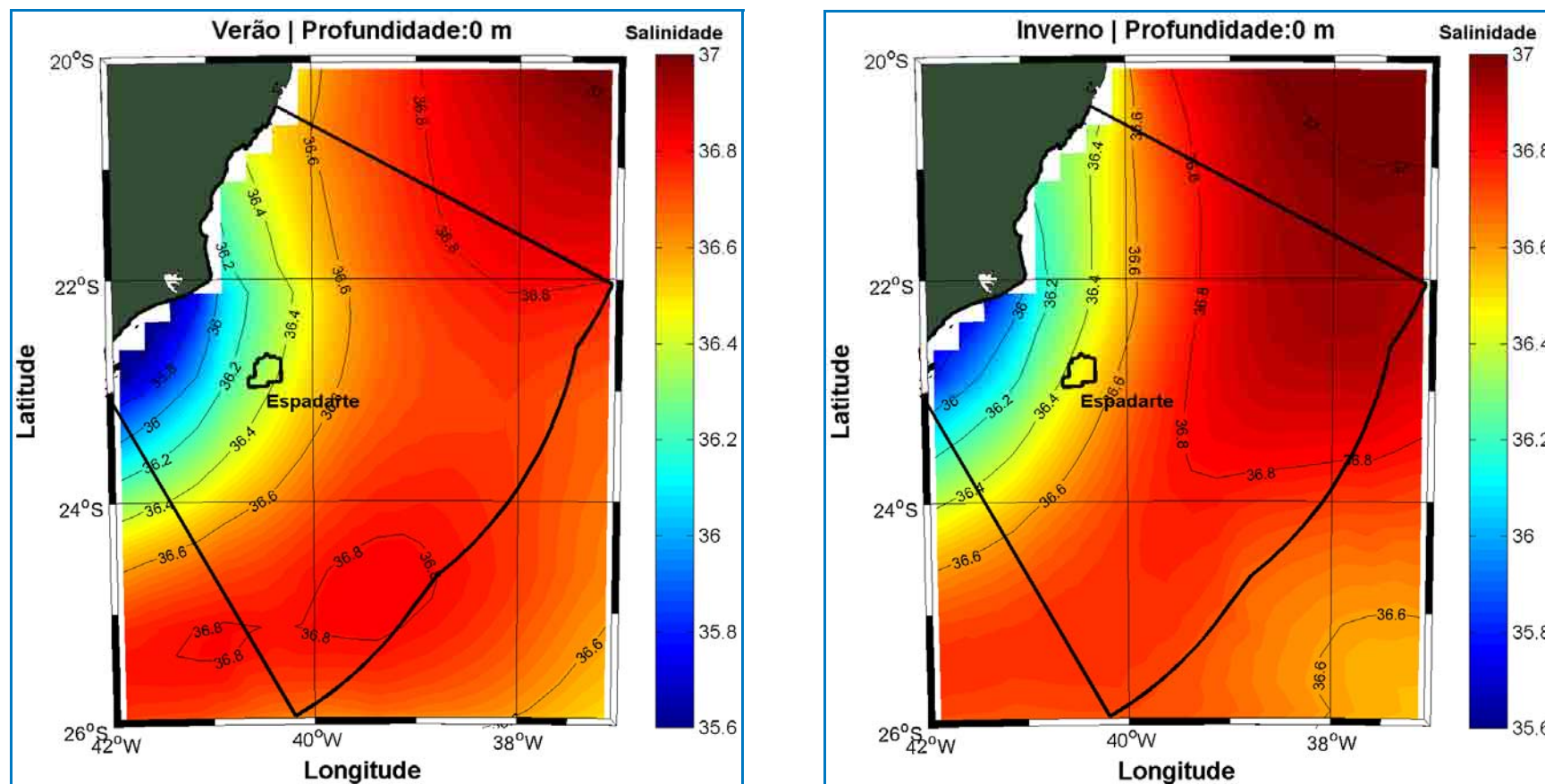


Figura II.5.1.2-18 - Salinidade climatológica superficial na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

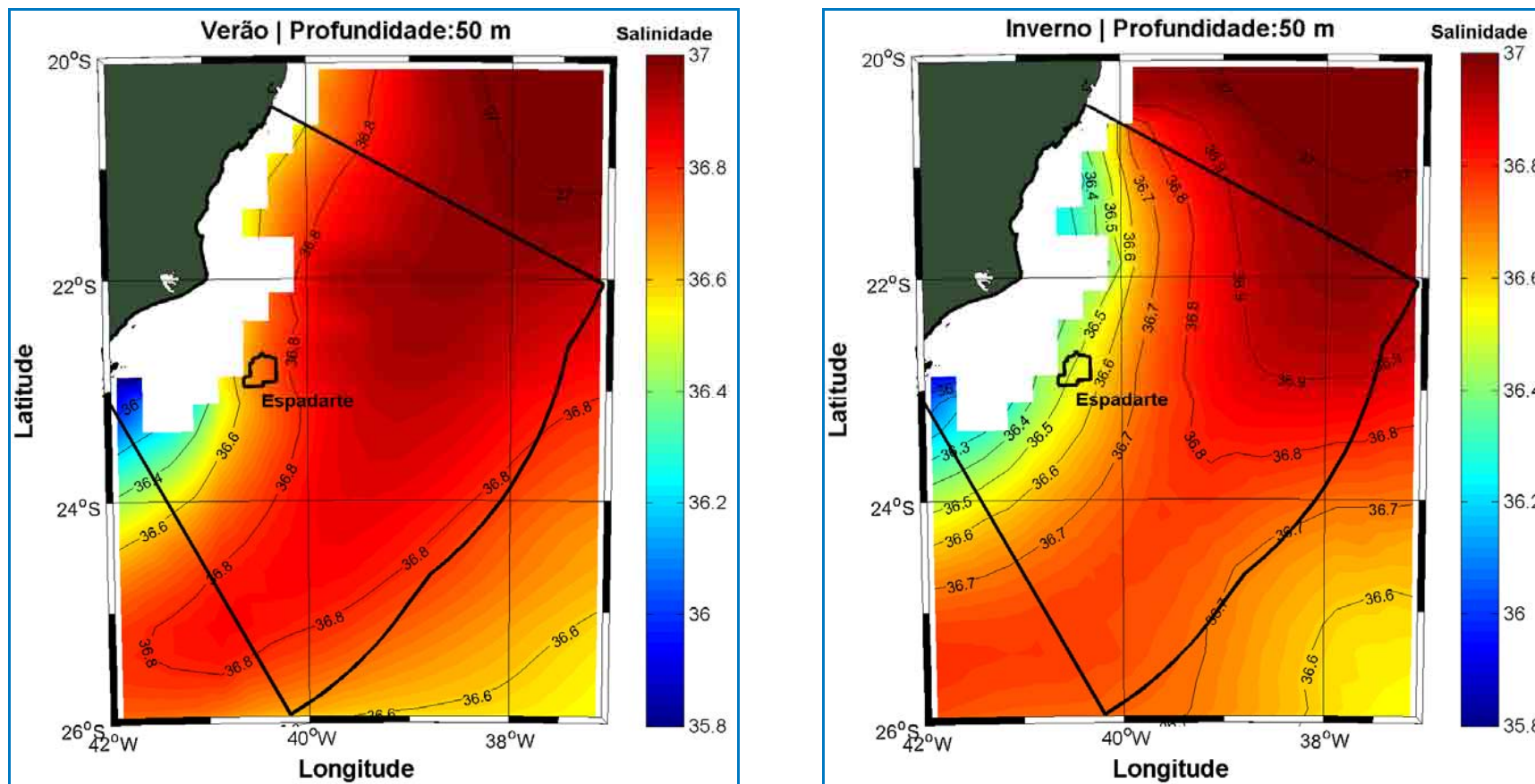


Figura II.5.1.2-19 - Salinidade climatológica a 50 m de profundidade na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

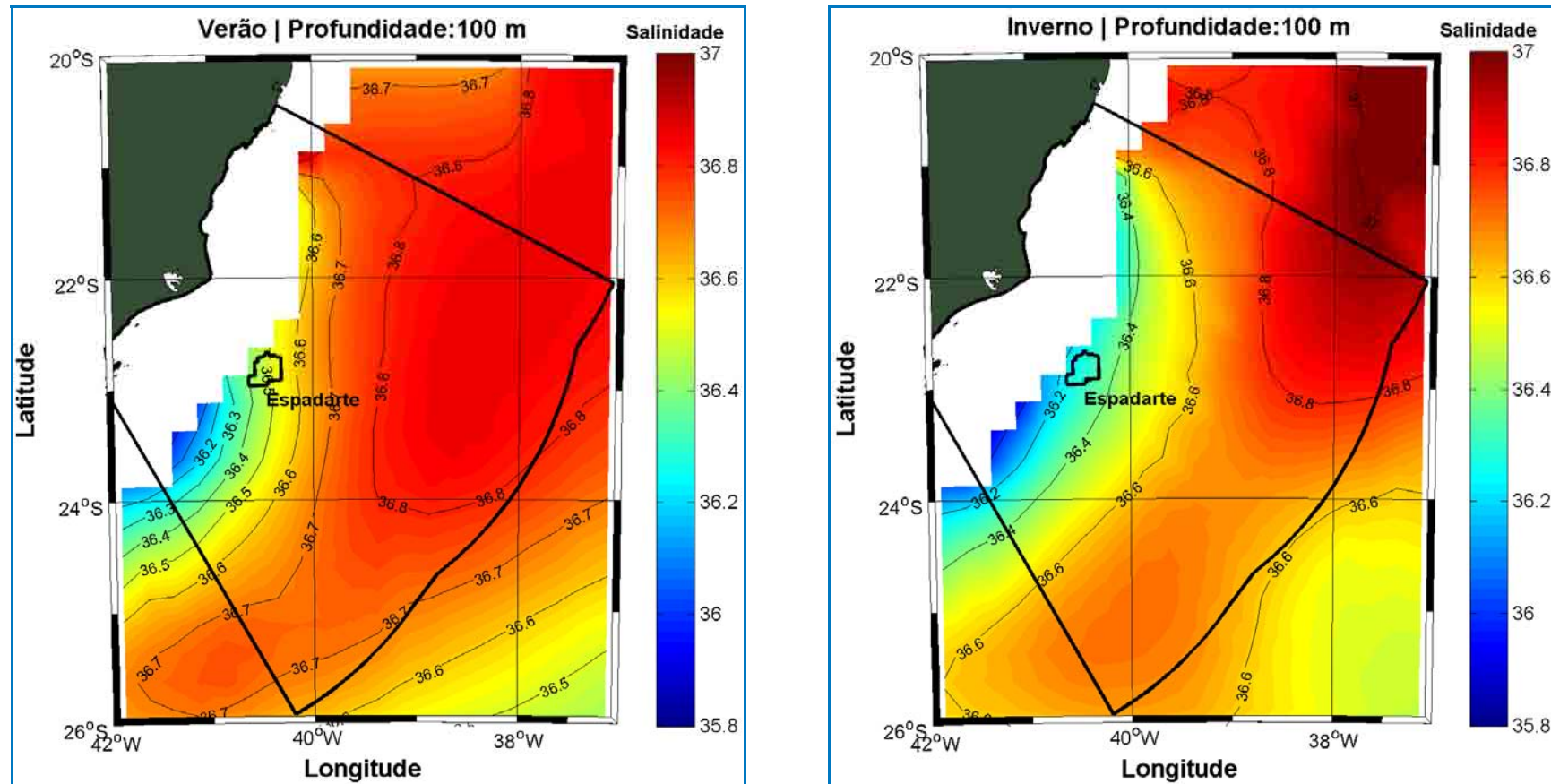


Figura II.5.1.2-20 - Salinidade climatológica a 100 m de profundidade na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

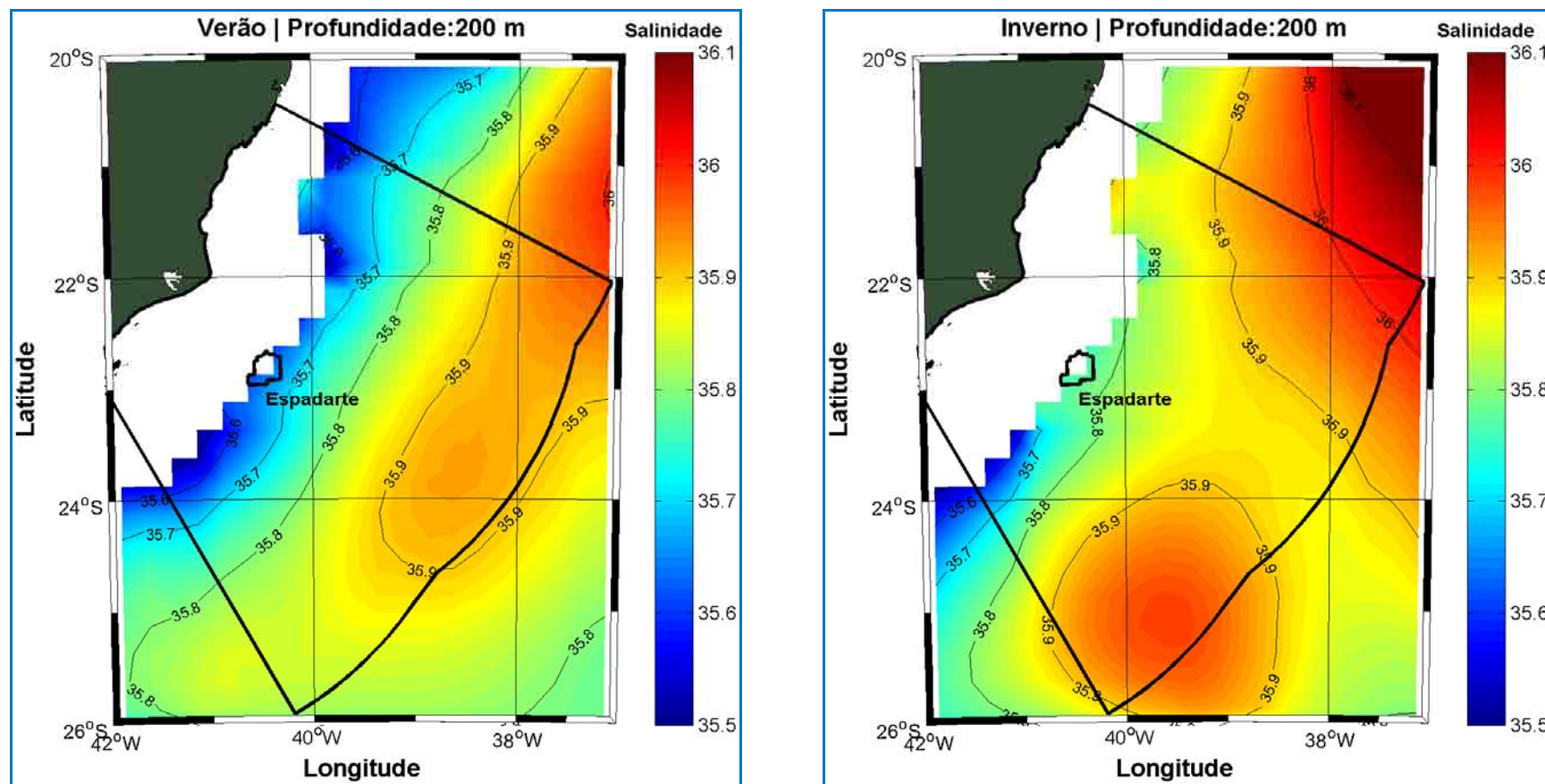


Figura II.5.1.2-21 - Salinidade climatológica a 200 m de profundidade na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

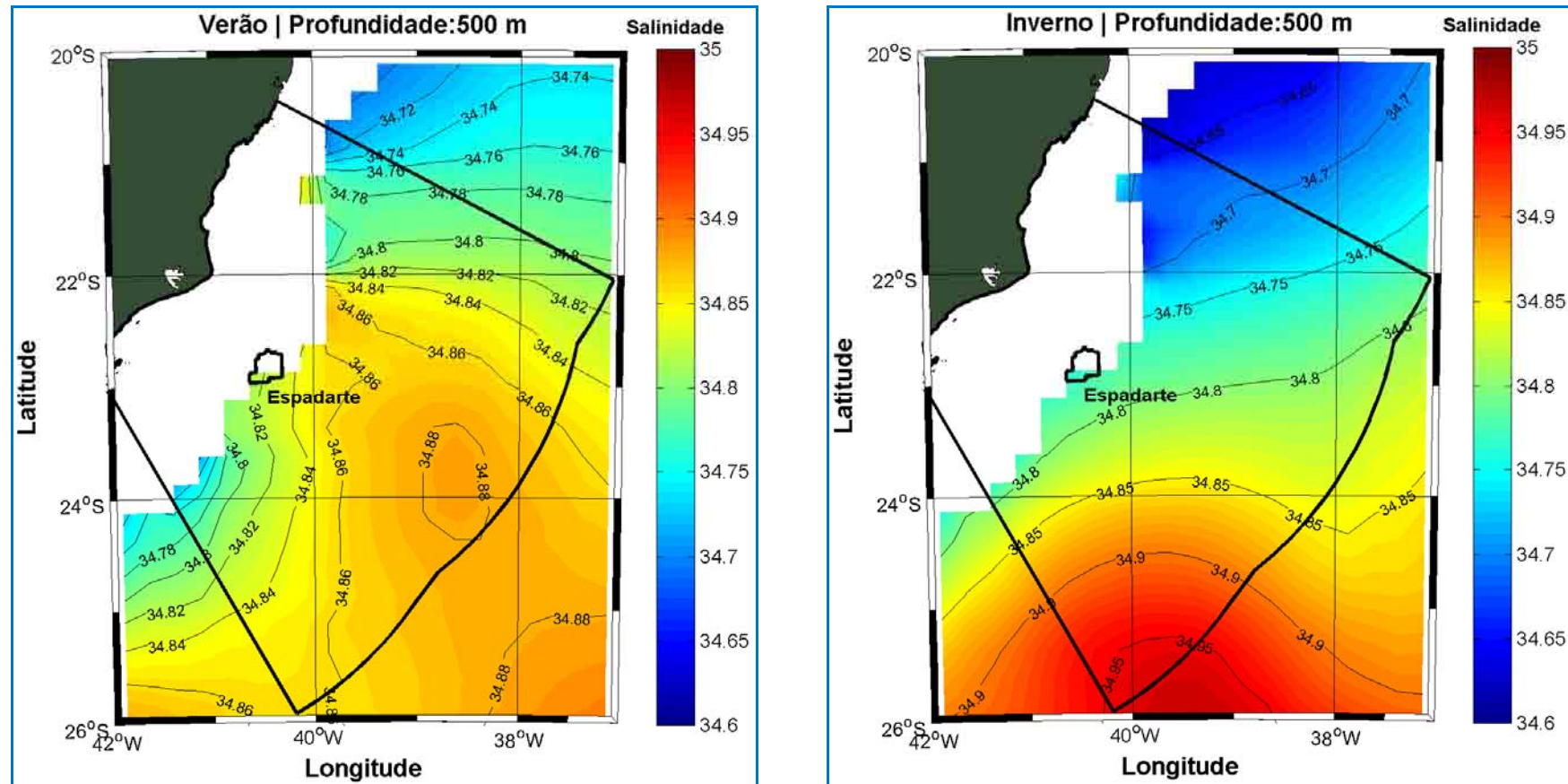


Figura II.5.1.2-22 - Salinidade climatológica a 500 m de profundidade na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

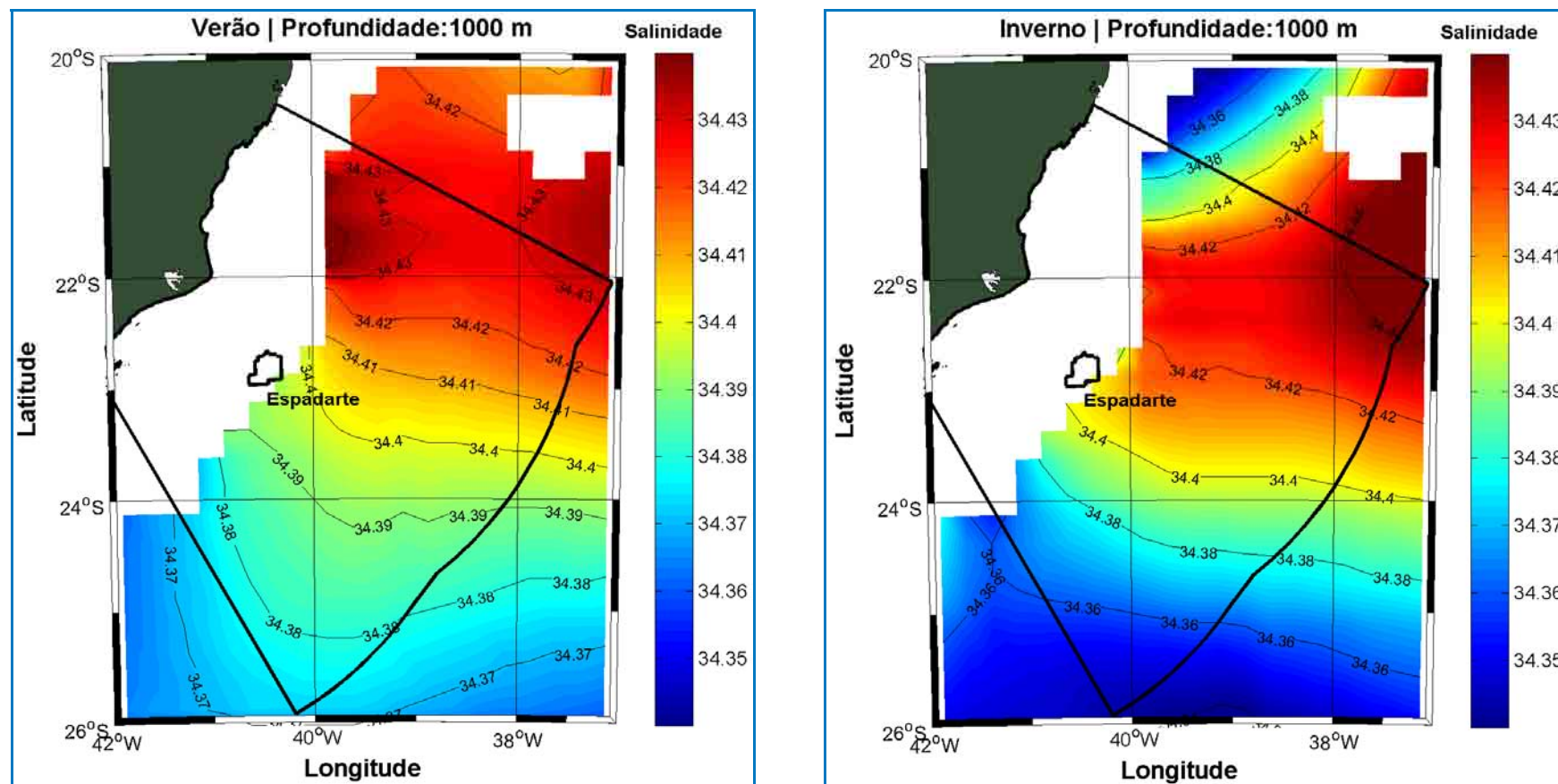


Figura II.5.1.2-23 - Salinidade climatológica a 1000 m de profundidade na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

Para a salinidade, também não são verificadas grandes variações sazonais. De modo geral, são encontradas águas menos salinas nas proximidades da costa, e águas mais salinas associadas à região de influência da CB.

Na **Tabela II.5.1.2-4** observa-se a variação da salinidade climatológica nos níveis analisados. Os maiores valores de salinidade são encontrados em 50 m de profundidade (base da camada de mistura) em ambos os períodos. Em 1000 m de profundidade as salinidades são mais baixas, associadas a AIA.

Tabela II.5.1.2-4 - Variação da salinidade climatológica nos níveis de 0, 50, 100, 200, 500 e 1000 m de profundidade.

Profundidade	Verão				Inverno			
	Mínima	Média	Máxima	D. Padrão	Mínima	Média	Máxima	D. Padrão
Superfície	35,49	36,61	37,03	0,14	35,72	36,66	37,08	0,10
50 m	35,72	36,73	37,08	0,08	35,89	36,71	37,08	0,07
100 m	35,57	36,63	36,92	0,09	35,52	36,58	37,11	0,08
200 m	35,39	35,79	36,00	0,03	35,33	35,85	36,19	0,03
500 m	34,68	34,83	34,90	0,02	34,62	34,83	34,97	0,02
1000 m	34,36	34,39	34,45	0,01	34,32	34,38	34,45	0,01

Fonte: NODC.

Da **Figura II.5.1.2-24** à **Figura II.5.1.2-28** são apresentadas as densidades climatológicas, nas mesmas profundidades para as quais foram analisadas as temperaturas e salinidades climatológicas.

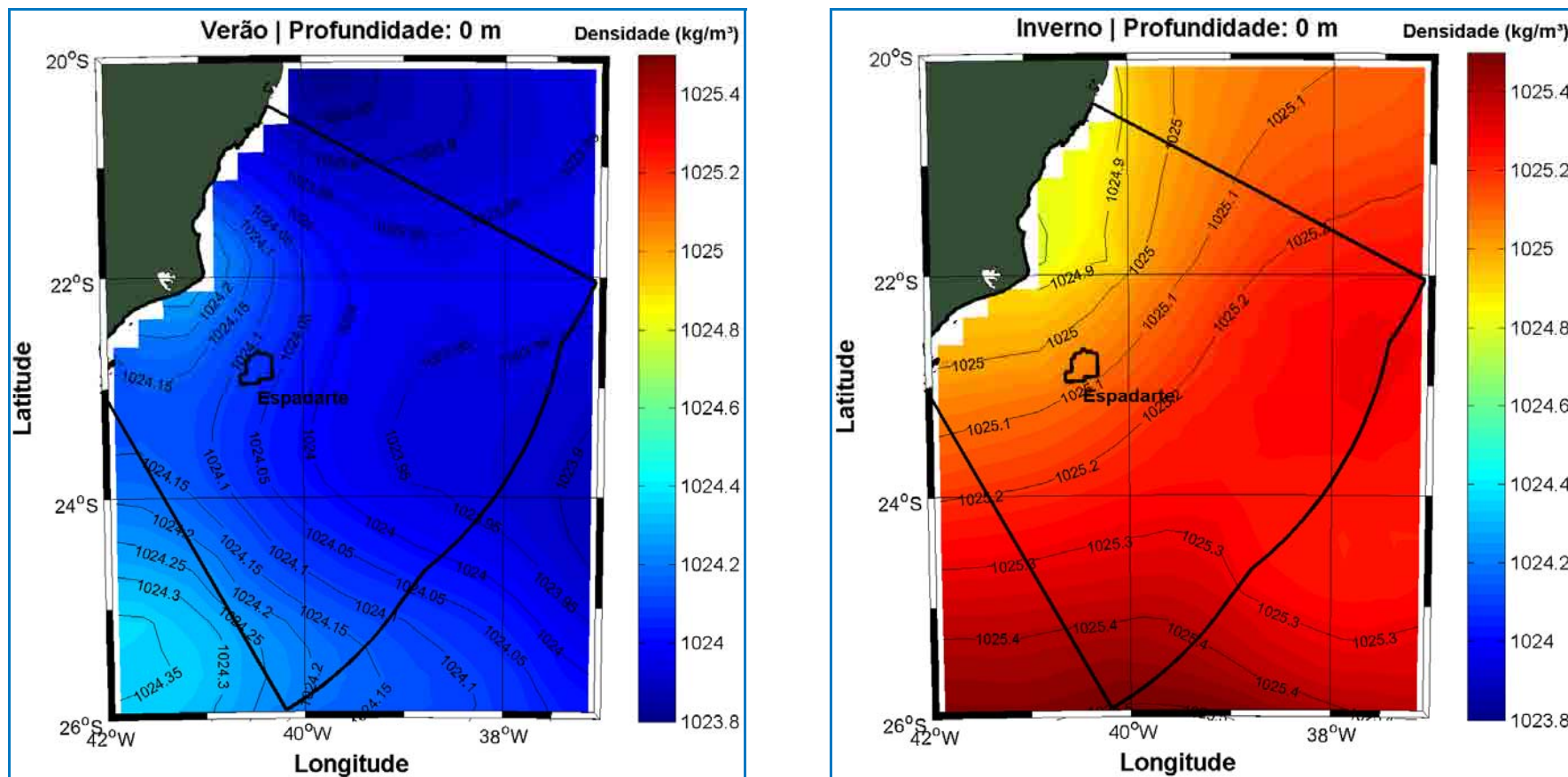


Figura II.5.1.2-24 - Densidade climatológica superficial na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

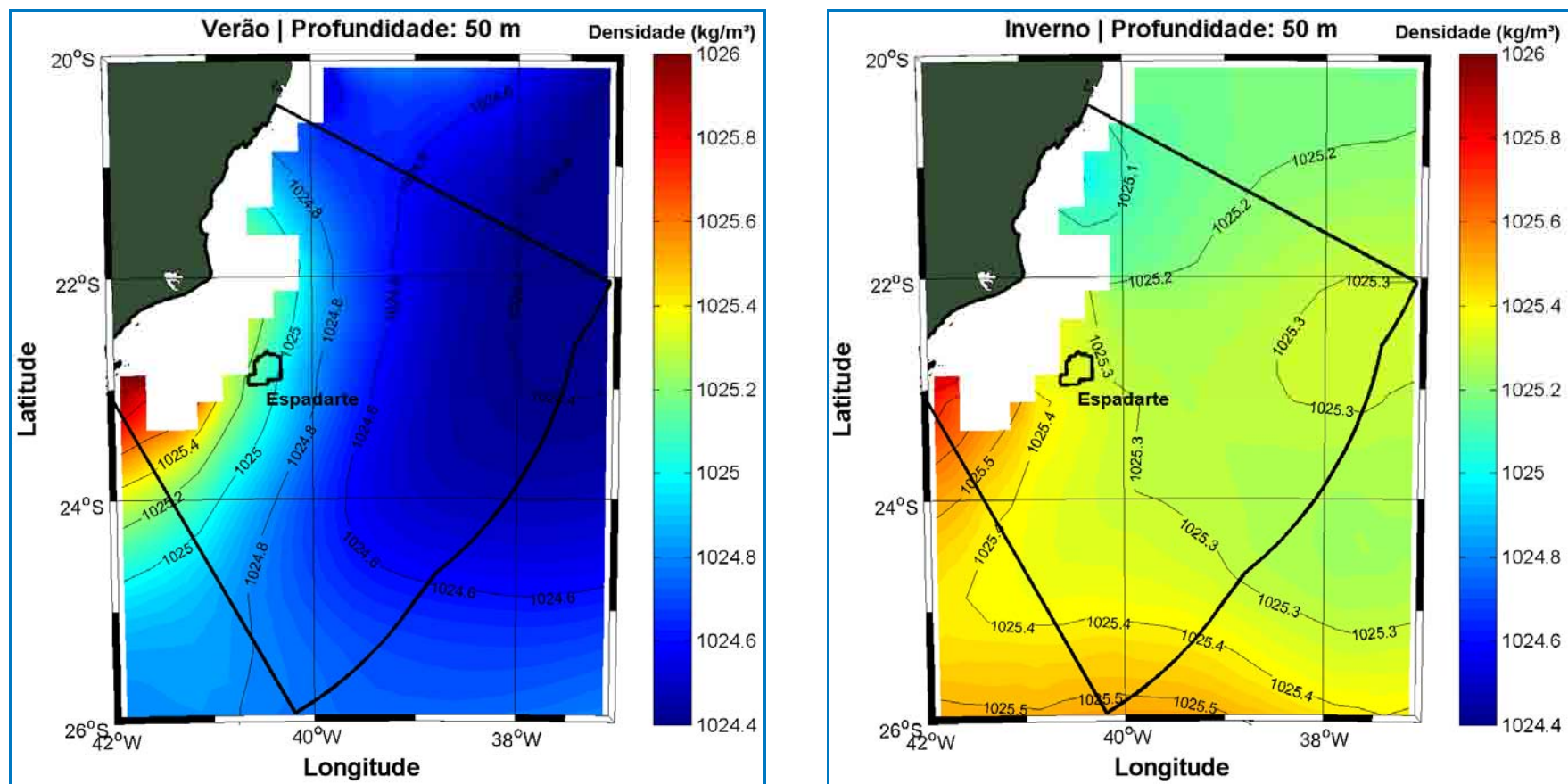


Figura II.5.1.2-25 - Densidade climatológica a 50 m de profundidade na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

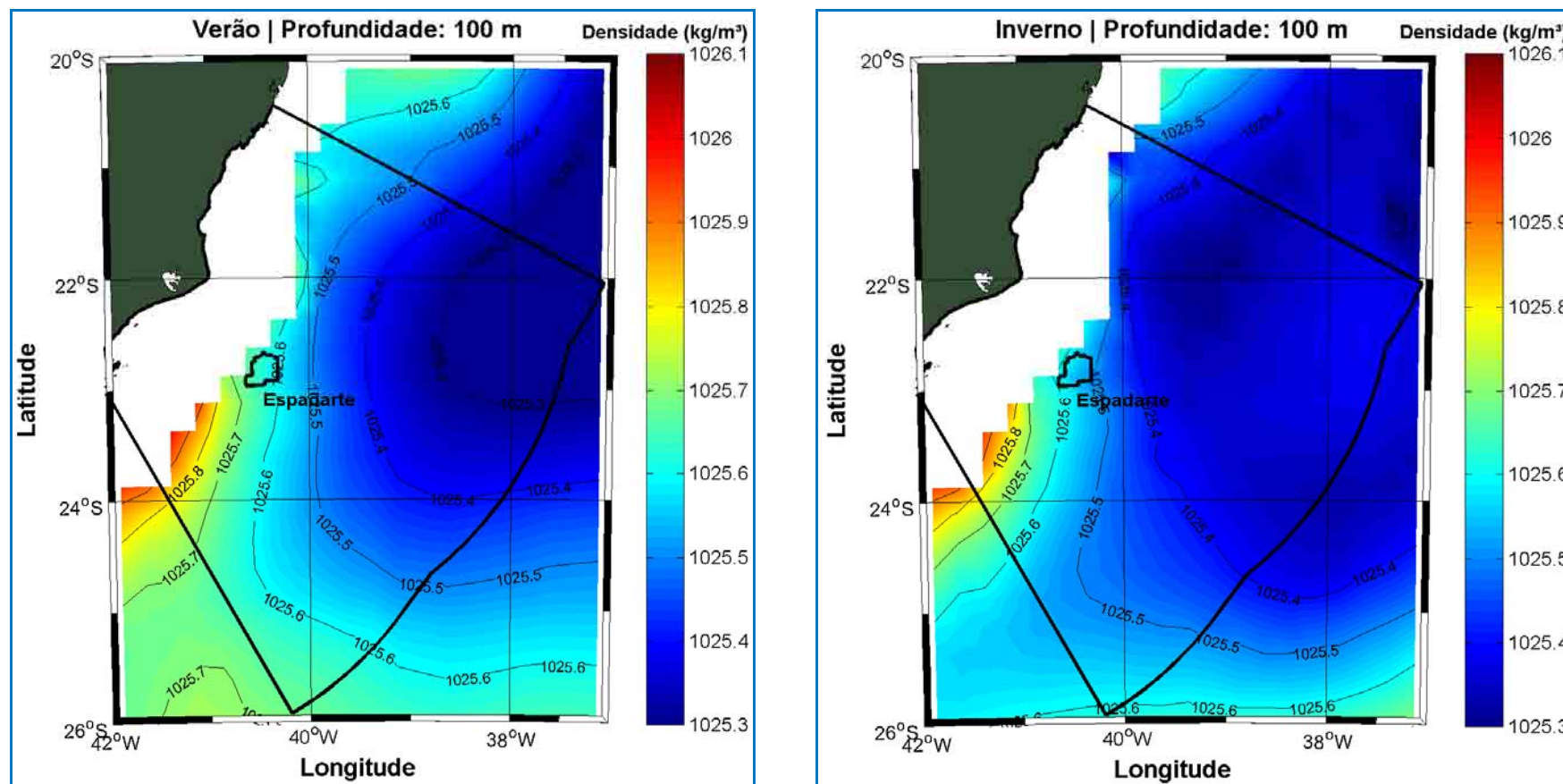


Figura II.5.1.2-26 - Densidade climatológica a 100 m de profundidade na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

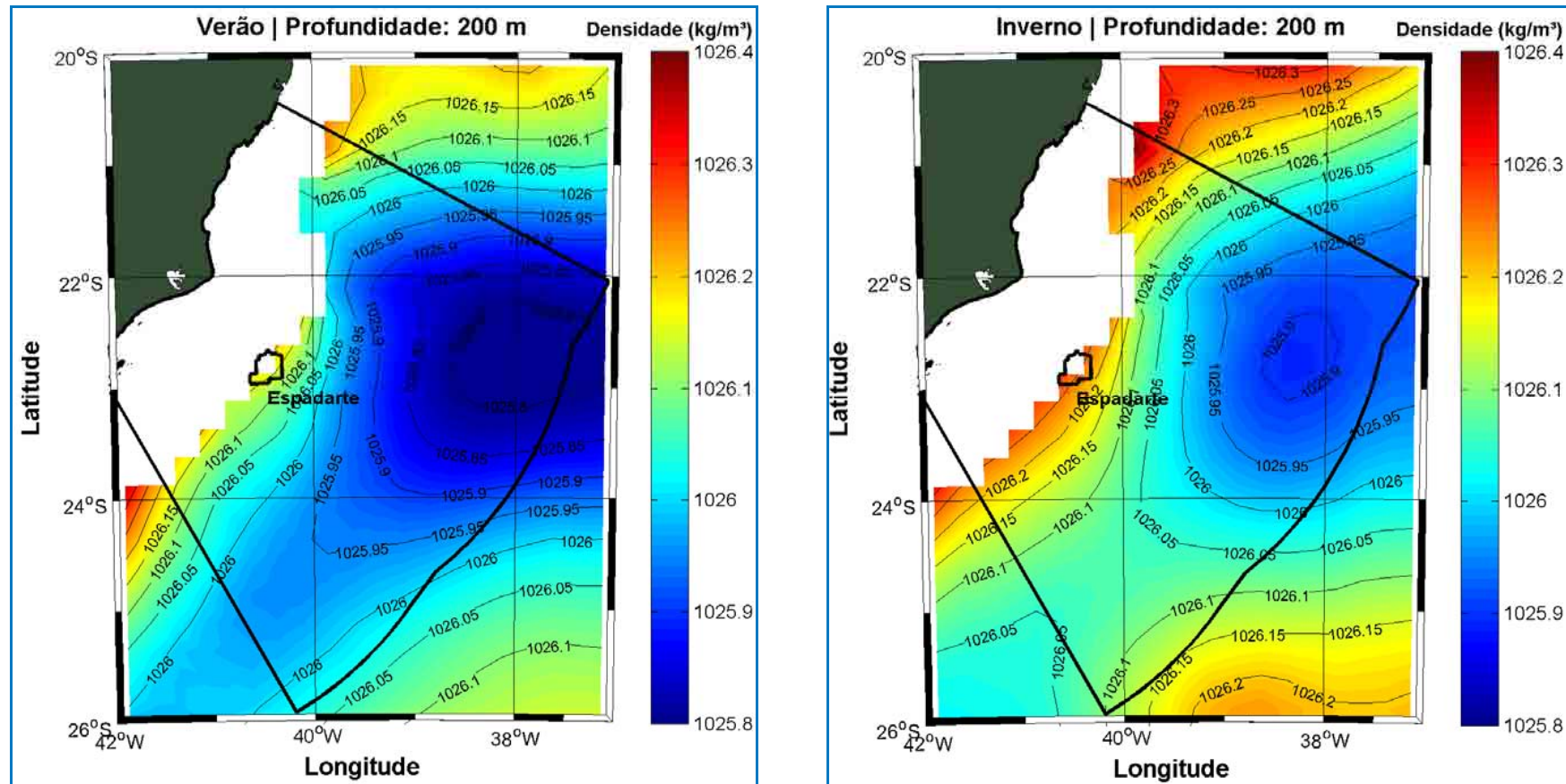


Figura II.5.1.2-27 - Densidade climatológica a 200 m de profundidade na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

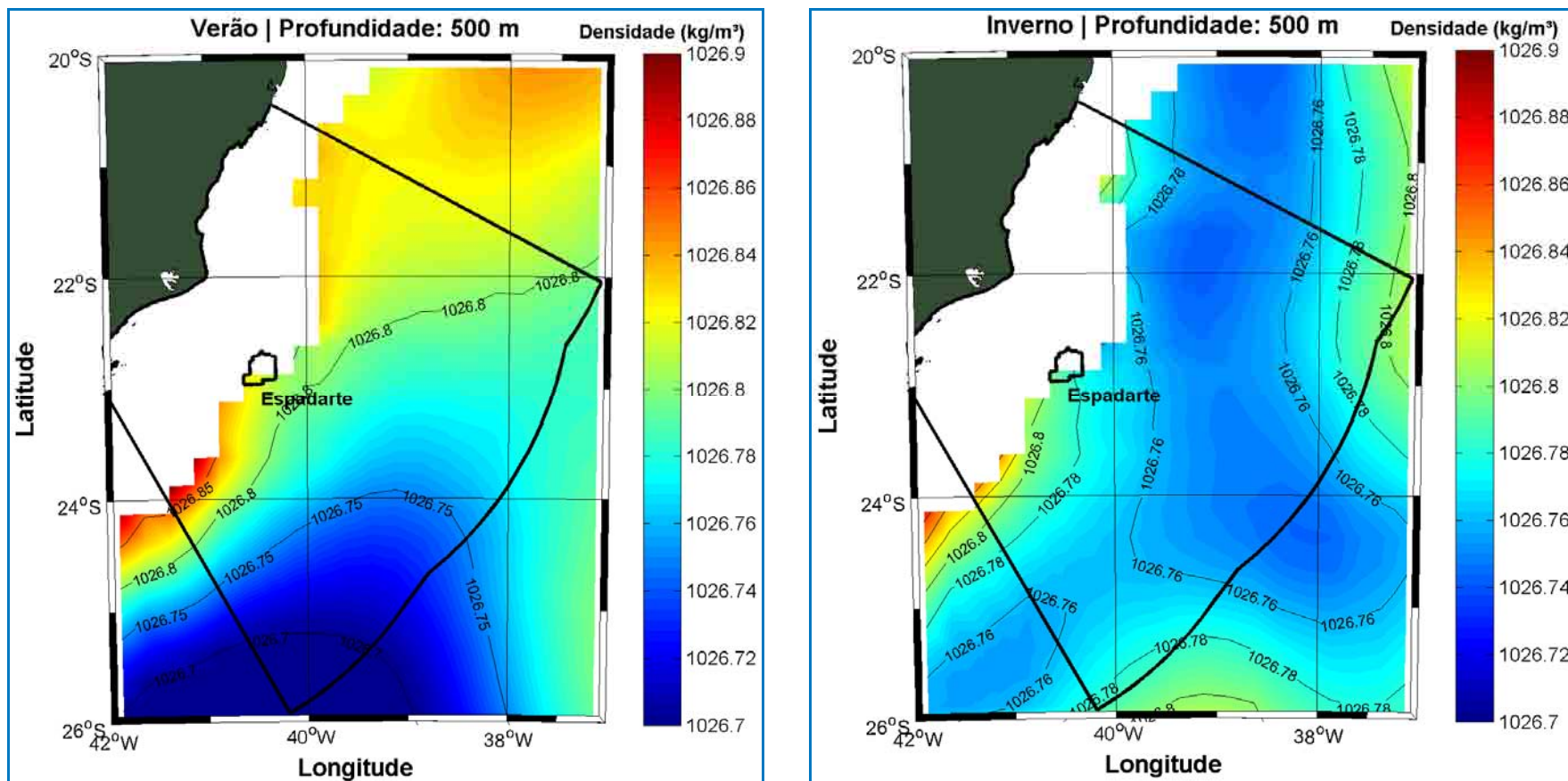


Figura II.5.1.2-28 - Densidade climatológica a 500 m de profundidade na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

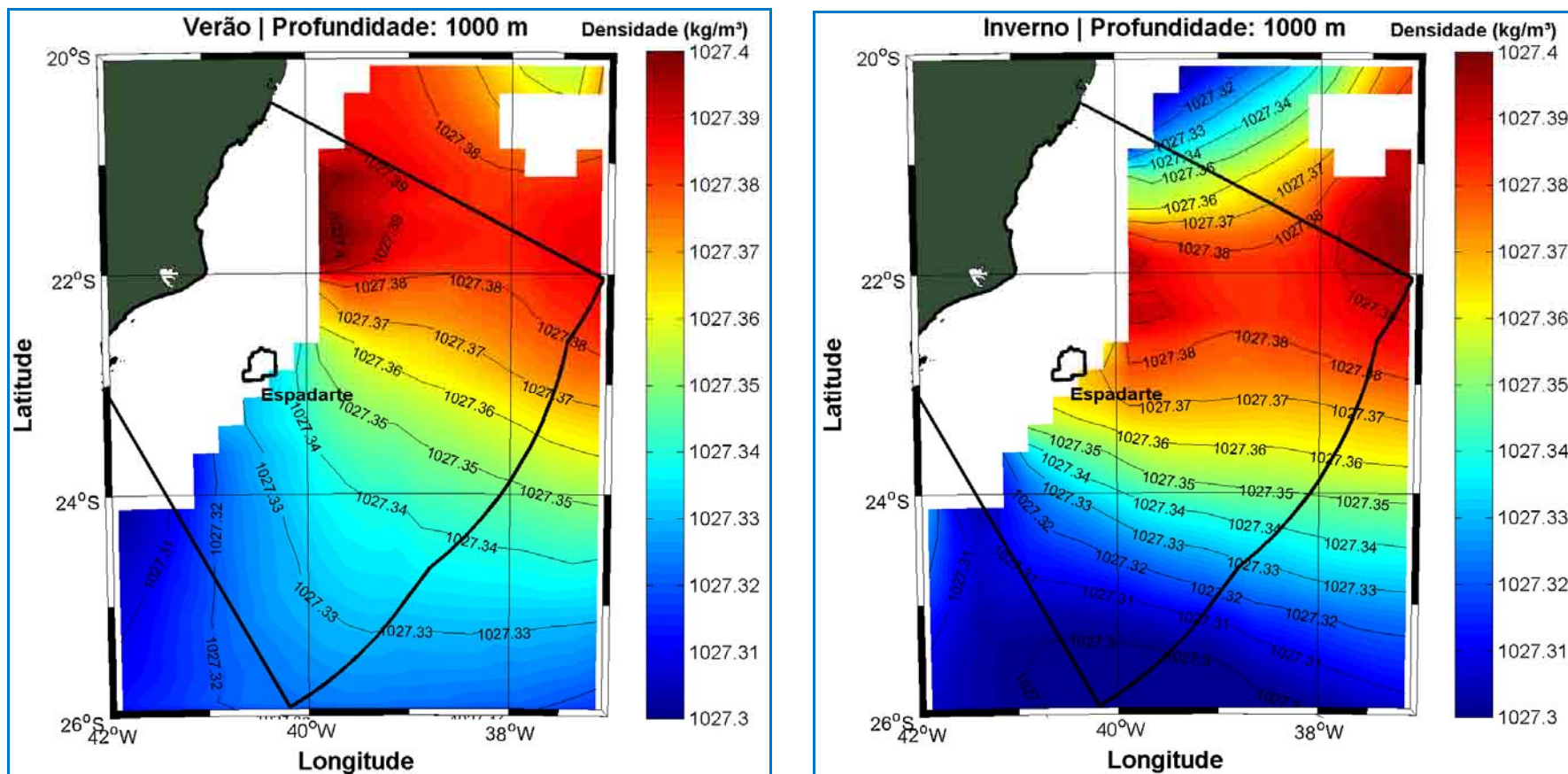


Figura II.5.1.2-29 - Densidade climatológica a 1000 m de profundidade na região da Bacia de Campos para o período de verão (superior) e inverno (inferior).

Fonte: NODC.

Variações sazonais relevantes nos campos de densidade são verificadas apenas nos primeiros 50 m da coluna d'água, devido à presença de águas mais frias na Bacia de Campos durante o inverno, tornando mais densas as águas mais superficiais neste período.

Na **Tabela II.5.1.2-5** observa-se a variação da densidade climatológica nos níveis analisados. Como esperado, são observadas águas mais densas na região superficial durante o período de inverno, devido à presença de águas mais frias. Novamente as variações sazonais nos valores são restritas aos primeiros 50 m da coluna d'água.

Tabela II.5.1.2-5 - Variação da densidade (kg/m^3) climatológica nos níveis de 0, 50, 100, 200 e 300 m de profundidade. Fonte: NODC.

Profundidade	Verão				Inverno			
	Mínima	Média	Máxima	D. Padrão	Mínima	Média	Máxima	D. Padrão
Superfície	1023,8	1024,1	1024,4	0,02	1024,8	1025,2	1025,5	0,06
50 m	1024,3	1024,8	1026,2	0,13	1025,0	1025,3	1025,9	0,03
100 m	1025,2	1025,6	1026,3	0,05	1025,3	1025,5	1026,4	0,06
200 m	1025,8	1026,0	1026,5	0,03	1025,9	1026,1	1026,5	0,02
500 m	1026,7	1026,8	1027,0	0,02	1026,7	1026,8	1026,9	0,01
1000 m	1027,3	1027,3	1027,4	0,01	1027,3	1027,3	1027,4	0,01

A seguir, na **Figura II.5.1.2-30**, na **Figura II.5.1.2-31** e na **Figura II.5.1.2-32** são apresentadas seções verticais de temperatura potencial, salinidade e densidade potencial, respectivamente. Nestas seções, podemos observar águas quentes e relativamente menos salinas na região superficial da porção mais interna da plataforma continental, relacionada à Água Costeira. Temperaturas superficiais mais elevadas são encontradas na região oceânica, devido à presença da AT. Um núcleo de alta salinidade pode ser observado sobre o talude continental, entre a superfície e 200 m de profundidade associado ao fluxo da CB. O núcleo de baixa salinidade associado à AIA pode ser observado ligeiramente mais raso no período de inverno, onde sua parte superior se encontra em profundidades menores que 600 m. Outro fato a ser destacado, é a presença da isoterma de 18°C na região interna da plataforma continental no período de verão. Isto ocorre devido ao fenômeno de ressurgência na região, quando porções da ACAS podem atingir superfície. De uma forma geral, as seções de densidade seguem o comportamento da temperatura.

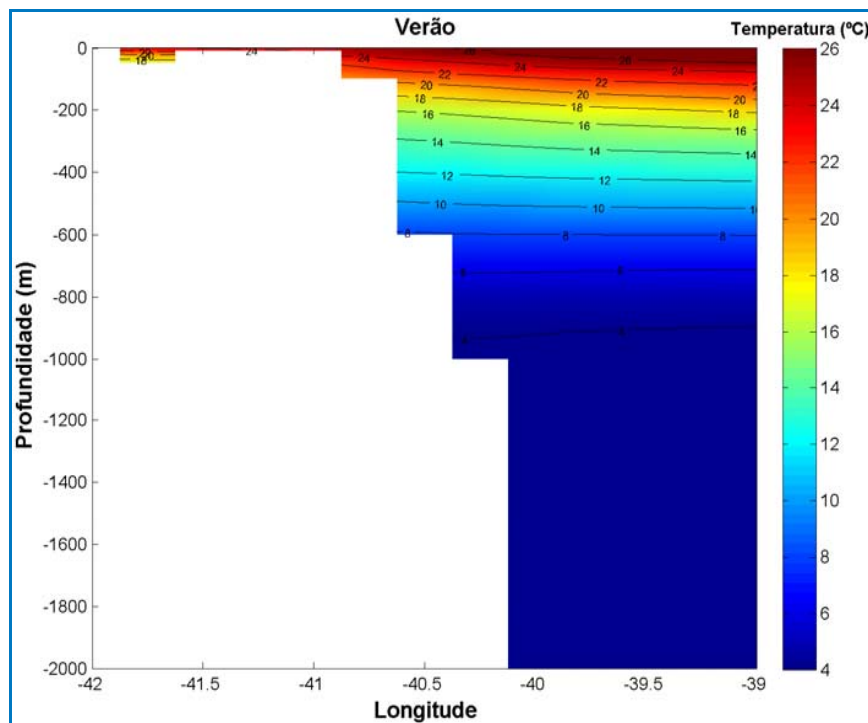


Figura II.5.1.2-30 - Seção vertical de temperatura climatológica na latitude de 22.875° S para o período de verão.

Fonte: NODC.

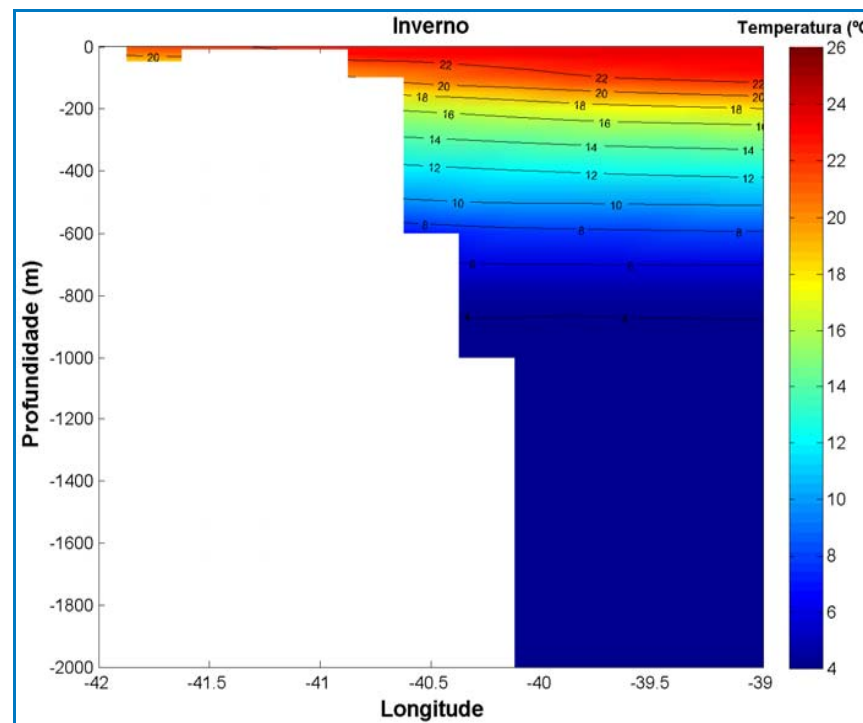


Figura II.5.1.2-31 - Seção vertical de temperatura climatológica na latitude de 22.875° S para o período de inverno.

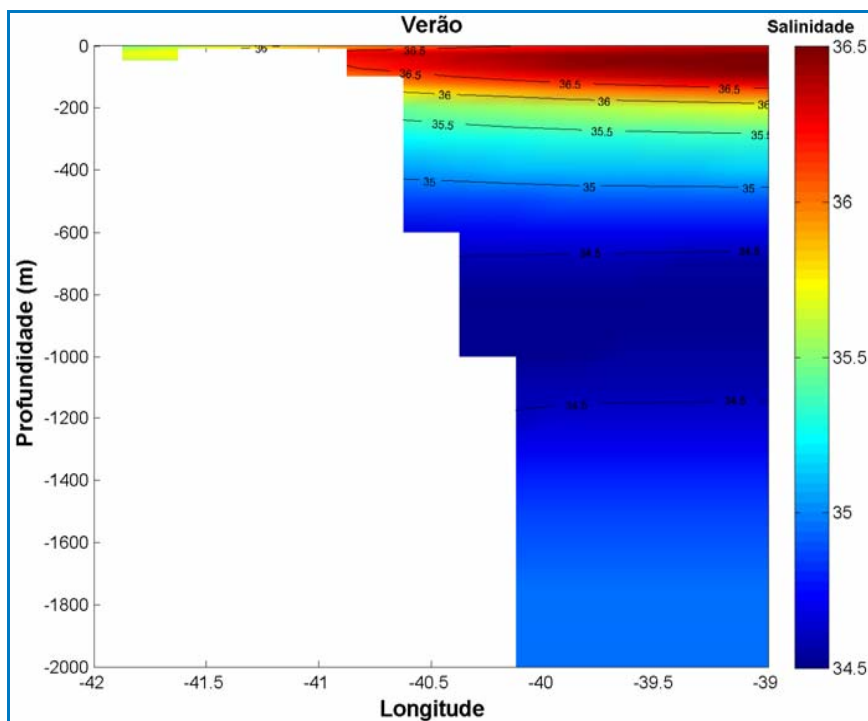


Figura II.5.1.2-32 - Seção vertical de salinidade climatológica na latitude de 22.875° S para o período de verão.

Fonte: NODC.

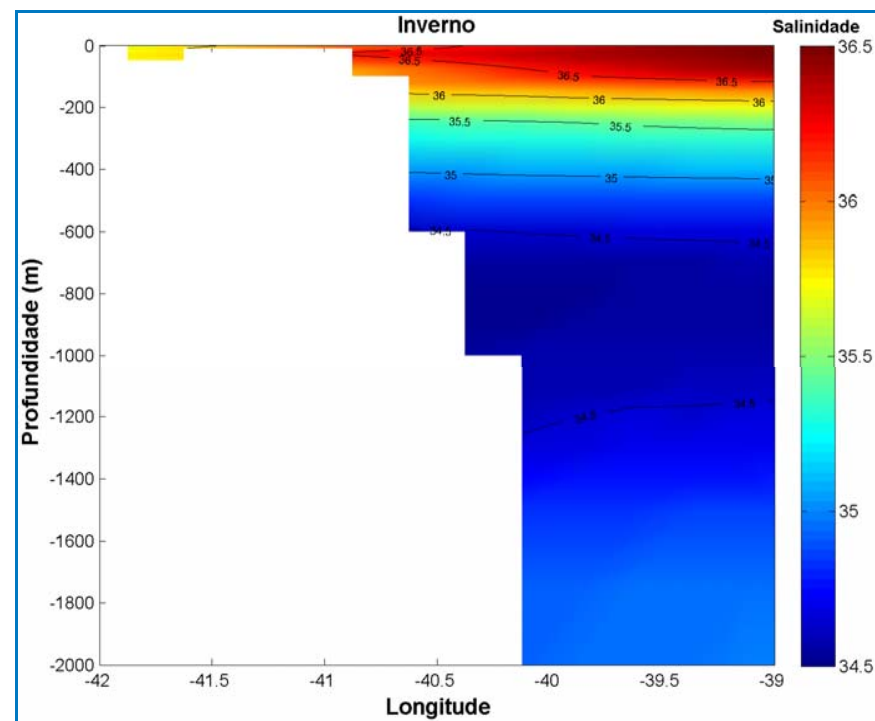


Figura II.5.1.2-33 - Seção vertical de salinidade climatológica na latitude de 22.875° S para o período de inverno.

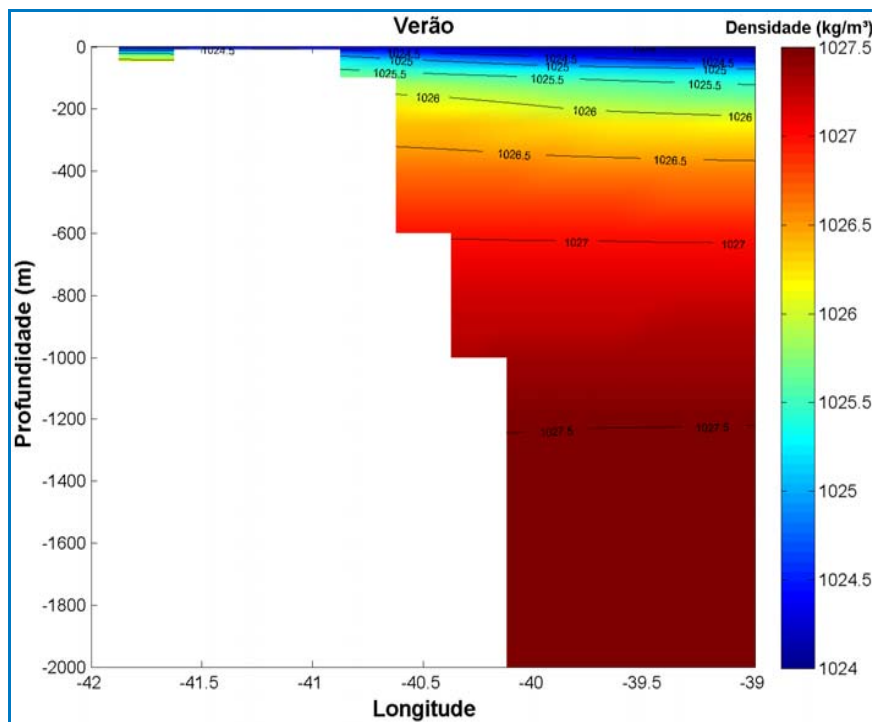


Figura II.5.1.2-34 - Seção vertical de densidade climatológica na latitude de 22.875° S para o período de verão.

Fonte: NODC.

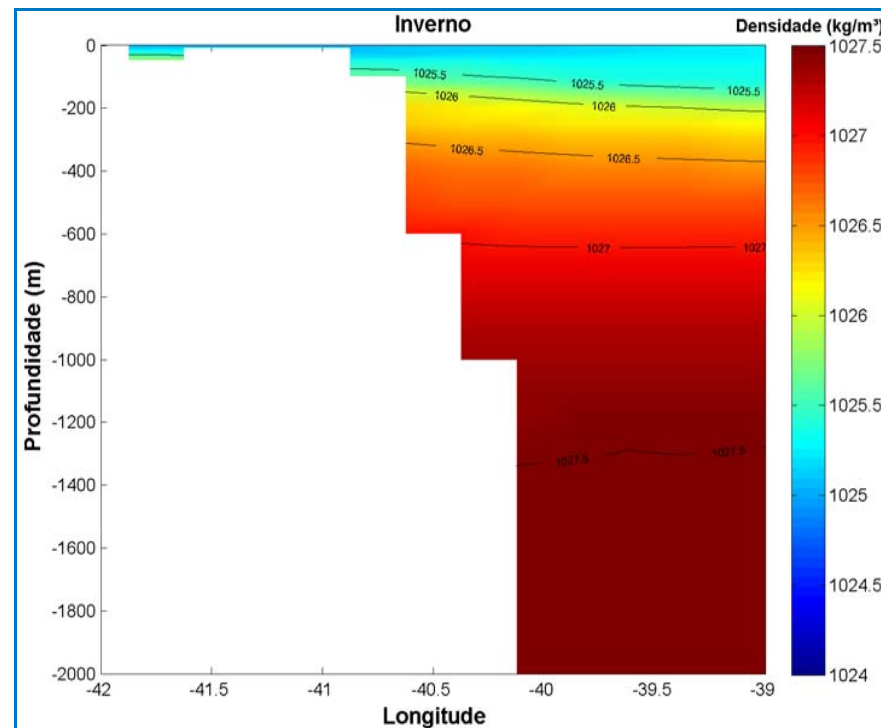


Figura II.5.1.2-35 - Seção vertical de densidade climatológica na latitude de 22.875° S para o período de inverno.

Para o estudo da variabilidade sazonal da TSM foram utilizados dados satelitais disponibilizados pelo *National Center for Ocean Forecast* (NCOF). O produto *Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis* (OSTIA) abrange todo o globo e possui alta resolução (~5 km). O produto é oferecido diariamente, sendo resultado da combinação de diversos sensores infravermelhos e microondas, além de dados *in situ* por meio de processo de Análise Objetiva. Este produto tem oferecido dados acurados de TSM, com um erro médio quadrático menor que 0,6°C, em alta resolução e disponibilizados em tempo quase real (STARK *et al.* 2007). A seguir, na **Figura II.5.1.2-36** e na **Figura II.5.1.2-37**, são apresentadas as médias sazonais (verão e inverno) para o ano de 2009 na região da Bacia de Campos.

A grande vantagem da utilização do sensoriamento remoto para obtenção de dados de temperatura é que devido à elevada sensibilidade dos sensores que estão em operação, pequenas variações em áreas extensas podem ser capturadas, principalmente quando comparados a resultados obtidos a bordo de navios (SOUZA *et al.*, 2005).

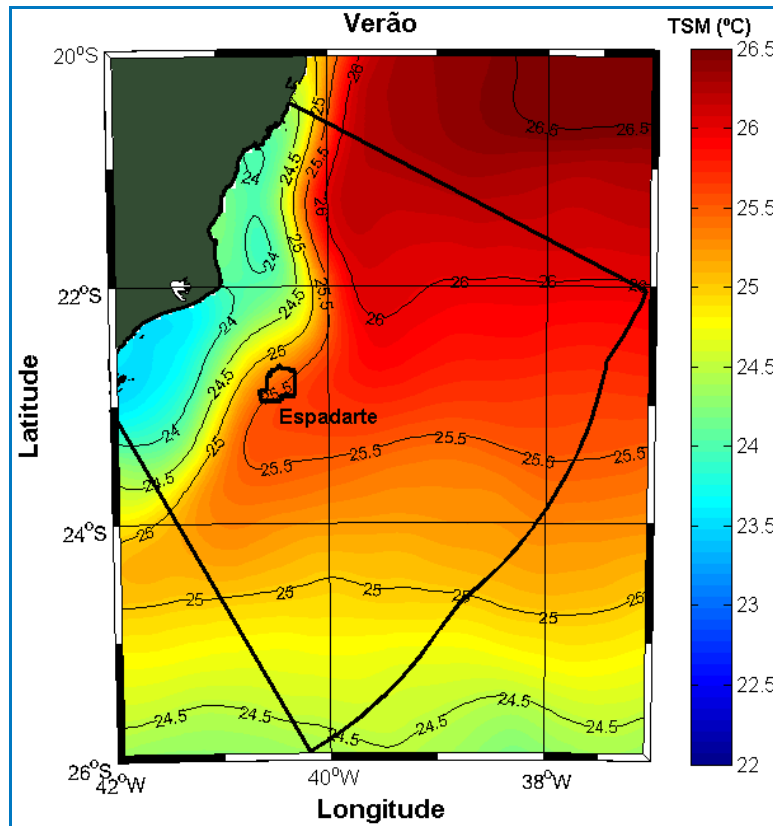


Figura II.5.1.2-36 - TSM média sazonal na região da Bacia de Campos para o período de verão (janeiro a março).

Fonte: OSTIA.

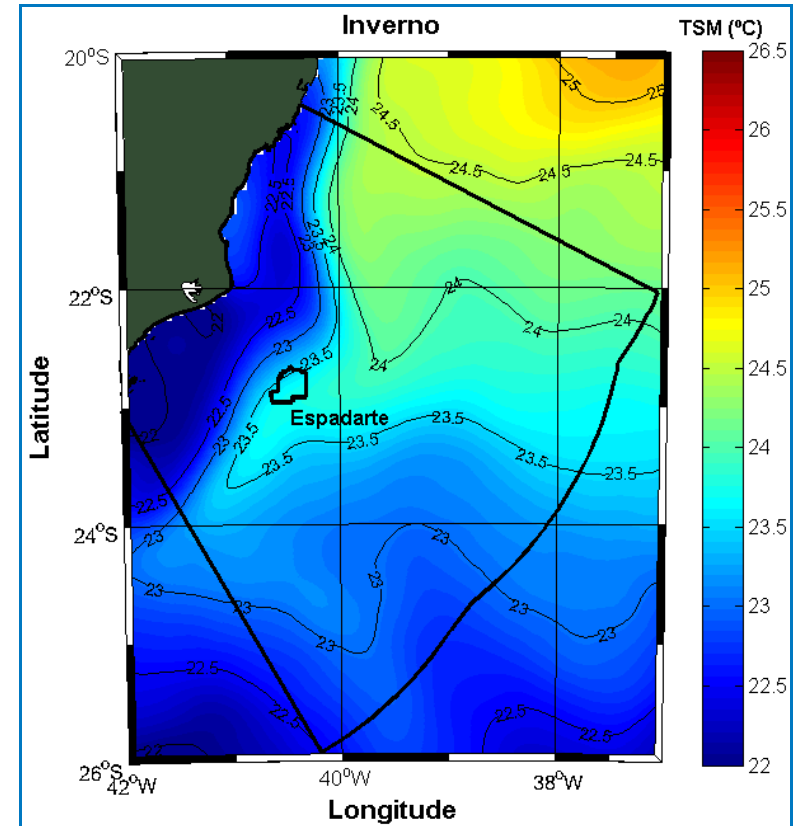


Figura II.5.1.2-37 - TSM média sazonal na região da Bacia de Campos para o período de inverno (julho a setembro).

As médias sazonais da TSM apresentam-se coerentes com os dados da climatologia WOA09. O período de verão apresenta águas superficiais mais quentes em relação ao período de inverno. Na área do Campo de Espadarte, a TSM média, para o verão de 2009, foi de ~25,5°C, e de ~23,5°C para o período de inverno.

II.5.1.2.4 - Densidade e Massas D'água

Uma avaliação das massas d'água presentes na região do Campo de Espadarte pode ser feita com os dados dos perfis de temperatura e salinidade disponíveis no NODC, coletados entre os anos de 1911 e 2011.

Estes dados pertencem à base conhecida como WOD09 (*World Ocean Database 2009*), e correspondem aos dados históricos armazenados no NODC, coletados por diversas campanhas e equipamentos por todo o globo. Uma descrição completa sobre esta base de dados pode ser encontrada em Boyer *et al.* (2009).

Na **Figura II.5.1.2-38** é apresentada a localização do Campo de Espadarte e das estações de coleta dos dados apresentados. Os dados obtidos foram tratados, e observações com valores inferiores ou superiores a três vezes o desvio padrão, para cada profundidade foram descartadas.

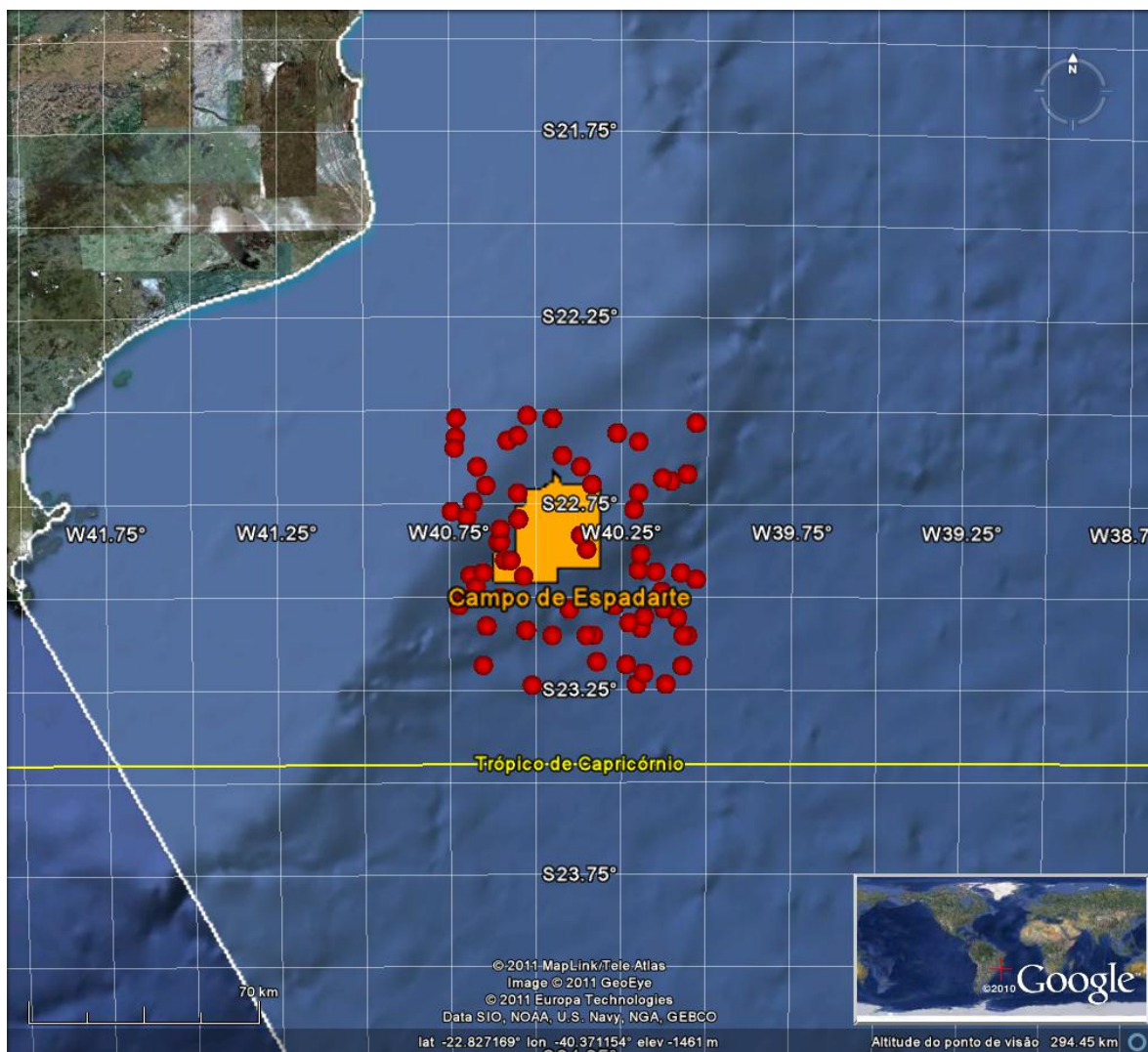


Figura II.5.1.2-38 - Localização das estações de coleta dos dados de temperatura e salinidade obtidos do NODC.

Na **Figura II.5.1.2-39** é apresentado o diagrama TS espalhado elaborado com os dados do NODC. As cores são referentes às profundidades dos dados.

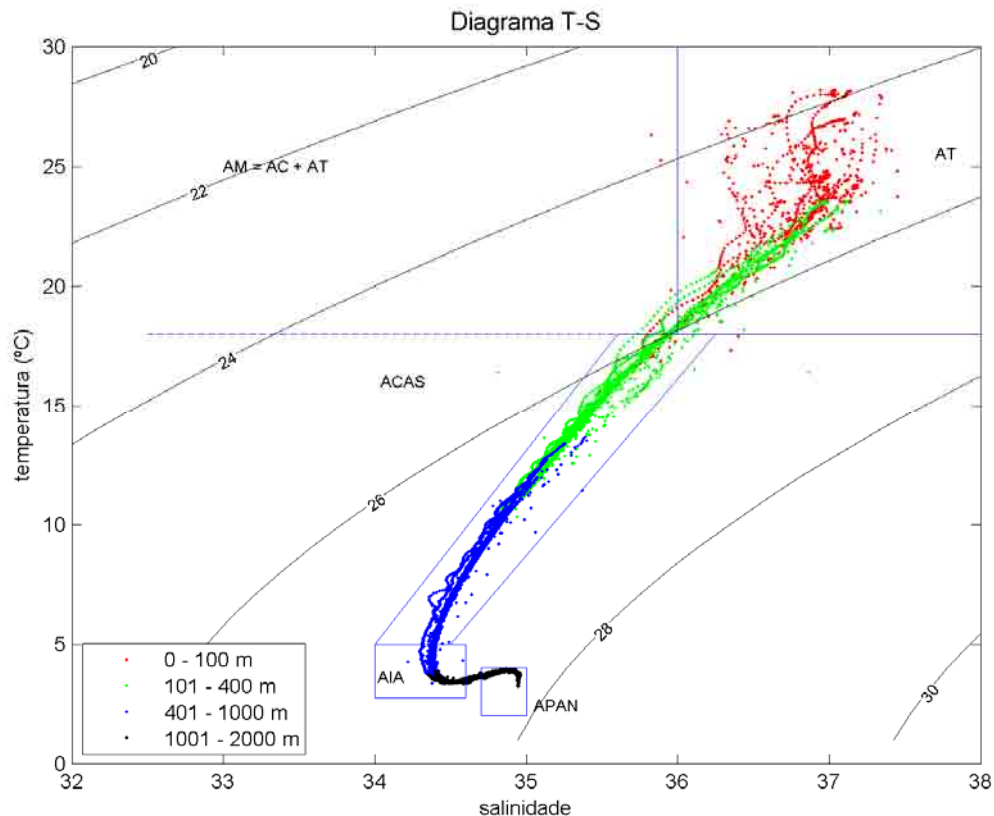


Figura II.5.1.2-39 - Diagrama TS espalhado para a região do Campo de Espadarte, elaborado com os dados do NODC. A linha em azul representa o gabarito elaborado por Silva et al (1982).

Foram observadas todas as massas d'água descritas por Silva *et al.* 1982. Devido a localização do Bloco em região oceânica, há poucas observações referentes á água de mistura.

Para avaliar a distribuição vertical das massas d'água em relação à costa na região do Campo de Espadarte, na **Figura II.5.1.2-40** e na **Figura II.5.1.2-41** são apresentadas as seções verticais de densidade para o período de verão e inverno, elaboradas com os dados do WOA09 apresentados na seção anterior. Nesta figura, as linhas isopícnais representam as interfaces entre as massas d'água apresentadas. Nesta figura podemos ver a ACAS ligeiramente mais rasa no período de verão, devido ao fenômeno de ressurgência.

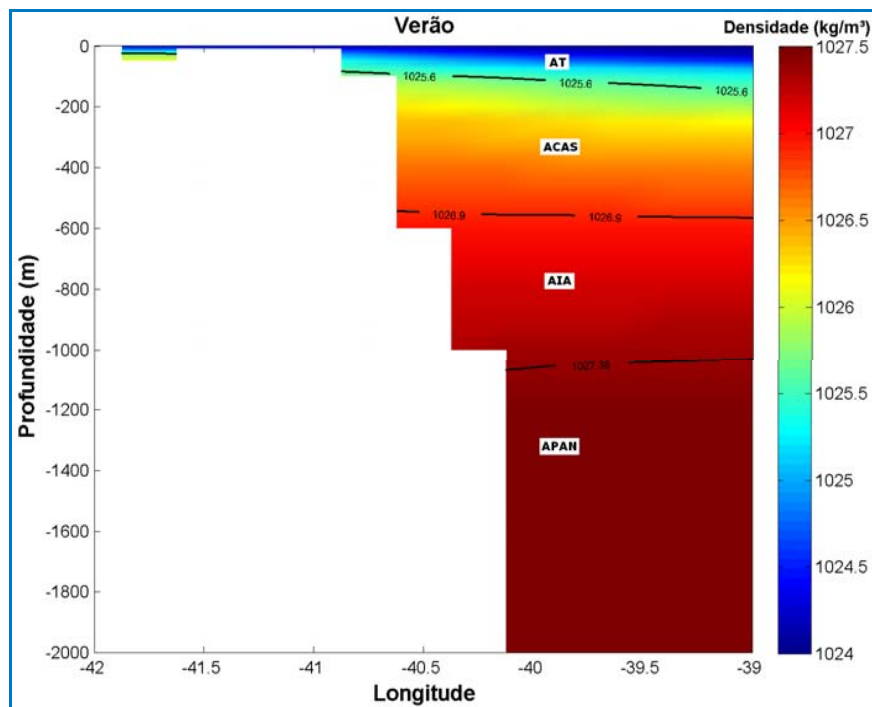


Figura II.5.1.2-40 - Seção vertical de densidade na latitude de 22,875°S para o período de verão. As linhas isopícnicas representam os limites entre as massas d'água.

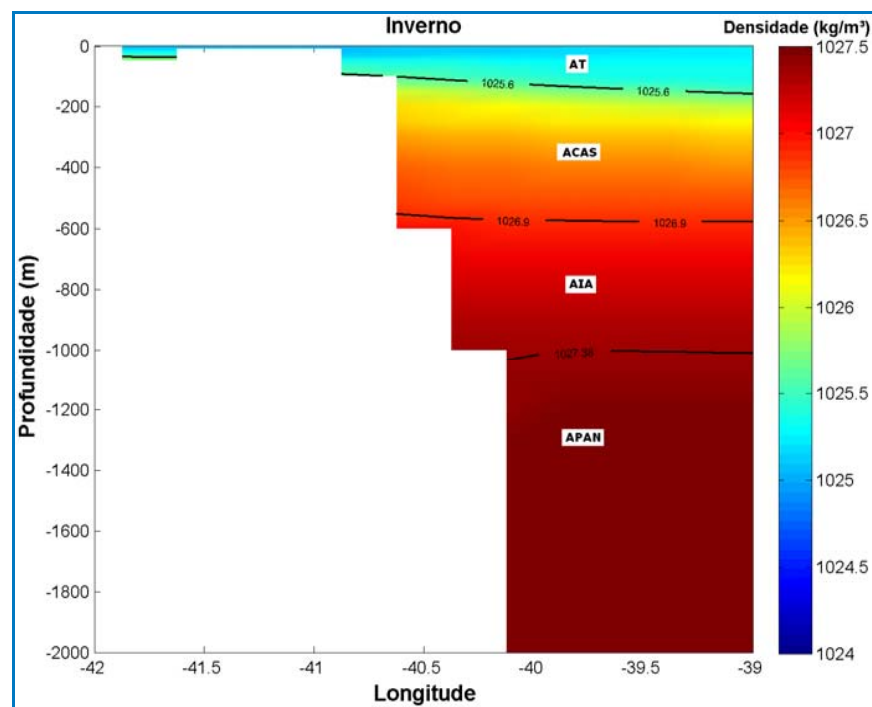


Figura II.5.1.2-41 - Seção vertical de densidade na latitude de 22,875°S para o período de inverno. As linhas isopícnicas representam os limites entre as massas d'água.

Fonte: NODC.

II.5.1.2.5 - Regime de Correntes

Para exemplificar os campos médios de circulação na região da Bacia de Campos foram utilizados os dados da Análise Global do modelo *Hybrid Coordinate Ocean Model* (HYCOM) para todo o ano de 2007. O HYCOM é um modelo de circulação oceânica global, que utiliza discretização horizontal em diferenças finitas (GABIOUX, 2008), e tem como principal característica a utilização de um sistema de coordenadas verticais híbridas, isto é: utiliza o sistema de coordenadas isopícnais para as áreas de oceano aberto e estratificado; coordenadas z (cartesianas) para a camada de mistura e regiões pouco estratificadas; e coordenadas sigma para regiões com menores profundidades e topografia de fundo variável (zonas costeiras). Utilizando esses três sistemas de coordenadas, o modelo pode conservar as características das massas d'água por longos períodos de tempo em regiões oceânicas (coordenada isopícnal), obter alta resolução na camada de mistura ou em regiões com pouca estratificação (coordenada z), e resolver melhor a topografia de fundo em áreas costeiras ou sobre a plataforma continental (coordenada sigma).

Na **Figura II.5.1.2-42**, **Figura II.5.1.2-43** e **Figura II.5.1.2-44** são apresentados os campos médios elaborados a partir de todo ano de 2007 (média anual), para janeiro de 2007 (representativa de verão) e para julho de 2007 (representativa de inverno), respectivamente.

Observa-se a CB, caracterizada pelo fluxo persistente para SW, após passar pelo Cabo de Santa Marta, ao longo da Bacia de Campos durante todo o ano. Entretanto, é no verão que a CB se apresenta mais intensa e contínua, com velocidades médias da ordem de 0,6 m/s. Durante o inverno, em média, a CB apresenta-se como um fluxo mais organizado, apenas após passar pelo cabo de Santa Marta, em aproximadamente 22°S. Neste período, a velocidade média da CB na região do Campo de Espadarte é de ~0,4 m/s. Na **Tabela II.5.1.2-6** é apresentado um resumo dos resultados para a região do Campo de Espadarte. A velocidade máxima para o ano de 2007 na região do Campo de Espadarte foi de 1,16 m/s.

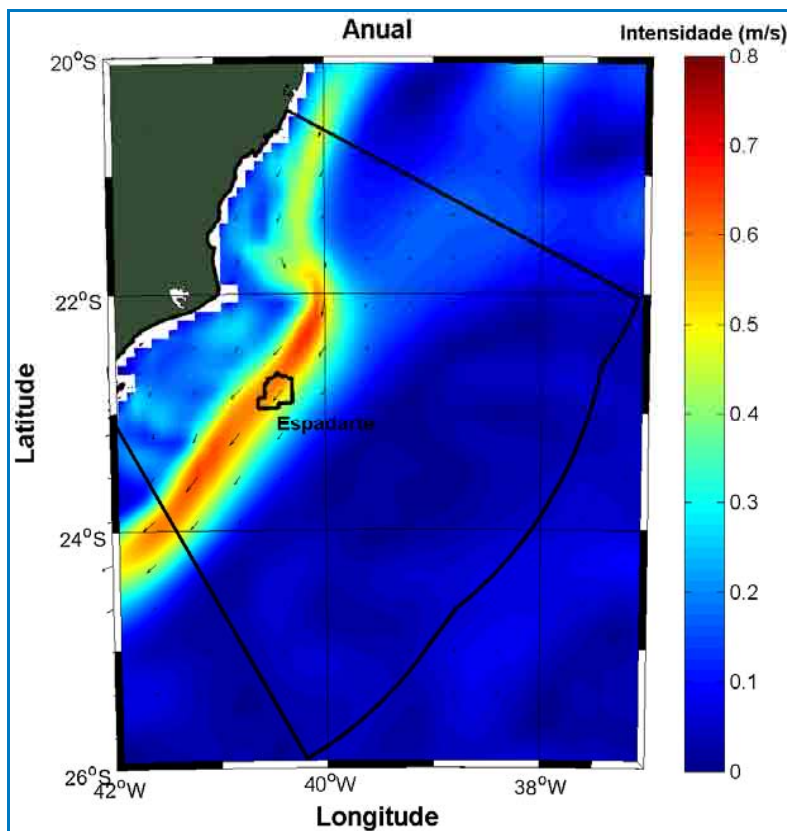


Figura II.5.1.2-42 - Média anual (2007) da velocidade das correntes.

Fonte: HYCOM.

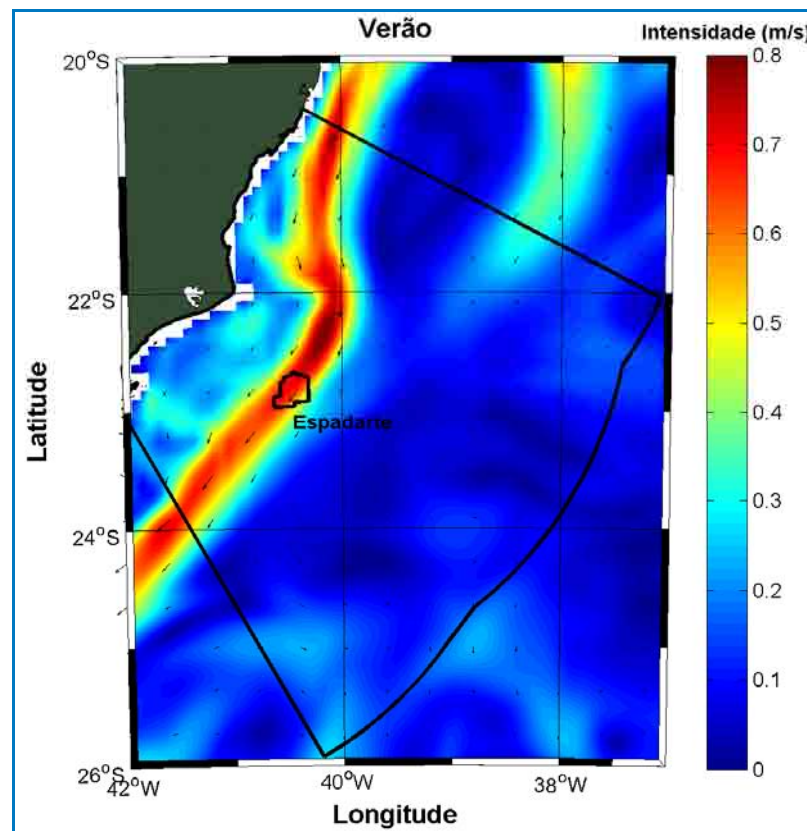


Figura II.5.1.2-43 - Média sazonal de verão (janeiro de 2007) da velocidade das correntes.

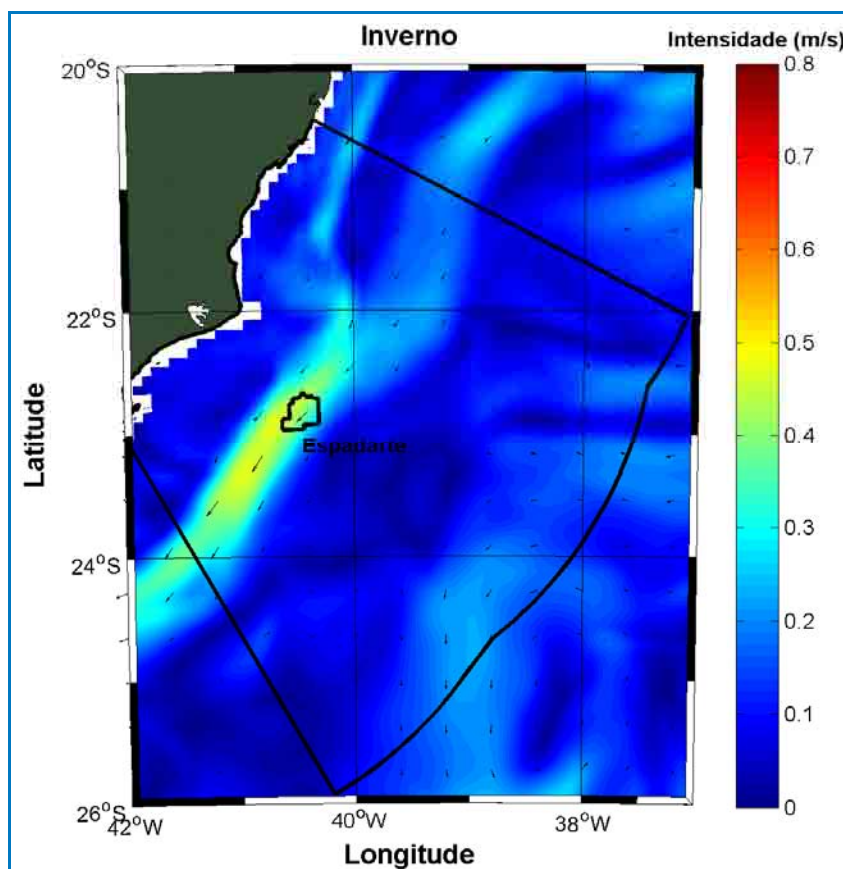


Figura II.5.1.2-44 - Média sazonal de inverno (julho de 2007) da velocidade das correntes.

Fonte: HYCOM.

Tabela II.5.1.2-6 - Estatística básica das correntes superficiais na região do Campo de Espadarte para os períodos de verão e inverno.

Período	Mínima (m/s)	Média (m/s)	Máxima (m/s)	D. Padrão (m/s)
Anual	0,04	0,51	1,16	0,19
Verão	0,21	0,59	0,86	0,19
Inverno	0,14	0,38	0,82	0,19

Fonte: HYCOM.

Para análise das correntes em profundidade, na região da Bacia de Campos, foram utilizados dados coletados por correntômetros acústicos do projeto DEPROAS (Dinâmica do Ecossistema de Plataforma da Região Oeste do Atlântico Sul), em 4 níveis de profundidade: 23, 85, 155 e 195 m (**Figura II.5.1.2-45**). O fundeio foi instalado na quebra da Plataforma Continental (profundidade nominal de 200 m) na região de Cabo Frio (23.75°S e 41.8°W) em dois períodos diferentes. O primeiro, indo de julho de 2002 a novembro de 2002, e

o segundo, de janeiro de 2003 a maio de 2004. A **Figura II.5.1.2-46** apresenta a localização do fundeio utilizado.

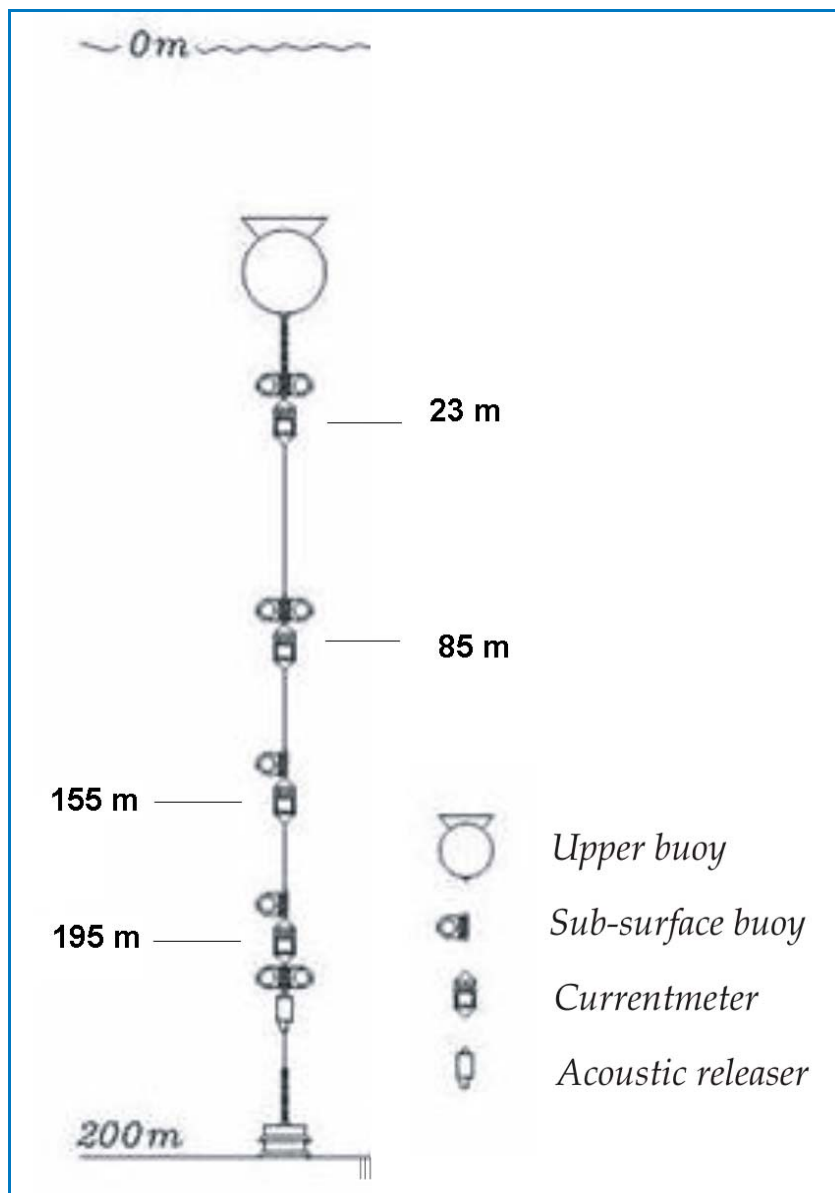


Figura II.5.1.2-45 - Ilustração esquemática da estrutura do fundeio.

Fonte: adaptado de http://www.io.usp.br/dof/io/campo/fund_deproas/fundeios.htm.

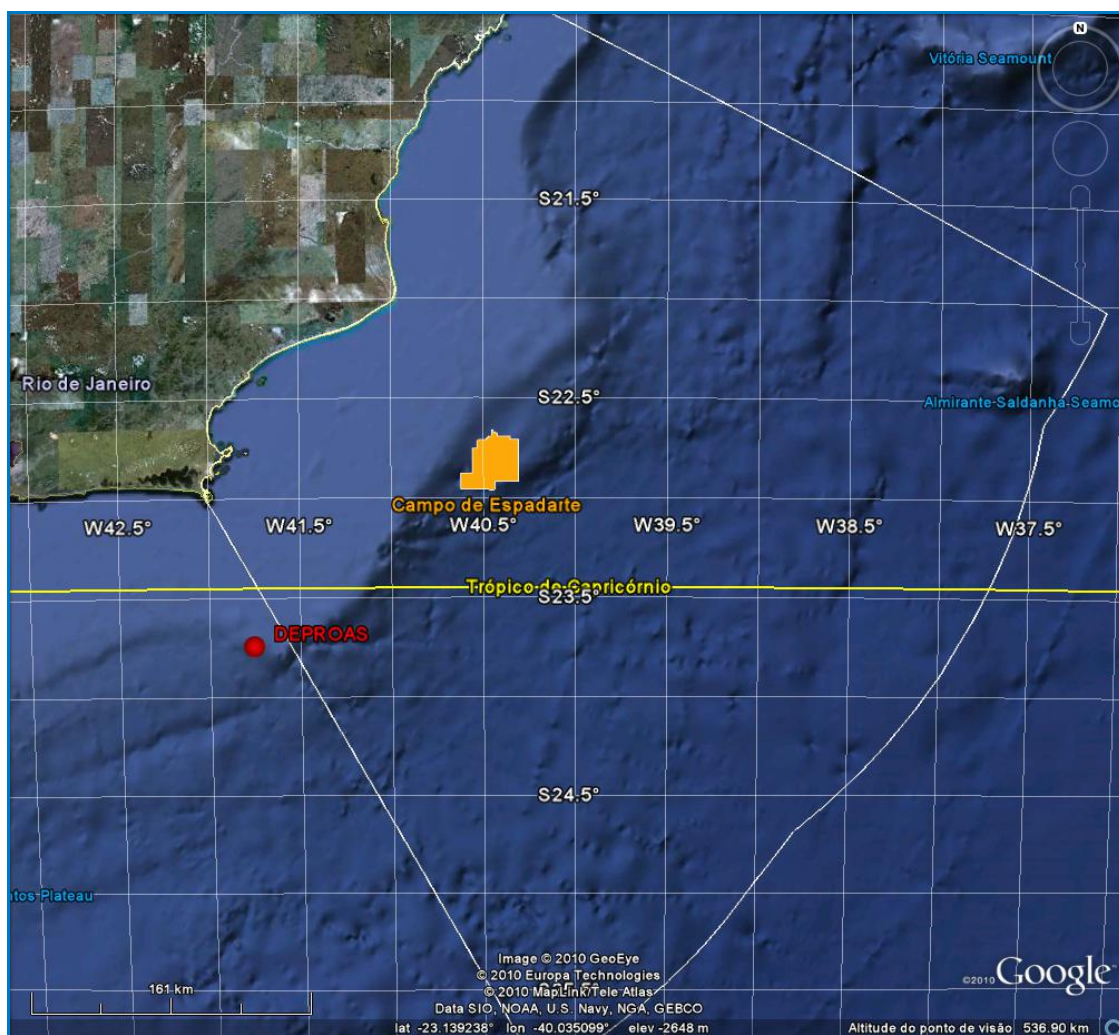


Figura II.5.1.2-46 - Localização do fundo do DEPROAS utilizado em relação ao Campo de Espadarte.

No nível de 23 m (mais próximo a superfície), a distribuição das direções e velocidades das correntes (**Figura II.5.1.2-47**) demonstra uma clara predominância das direções W e SW. As velocidades mais frequentes estão entre 20 e 40 cm/s. Esta distribuição reflete o domínio da CB na região, que tende a fluir paralelamente às isóbatas.

Para o nível de 85 m (**Figura II.5.1.2-48**), além dos fluxos para W e SW, também há a ocorrência significativa de correntes rumo a SE e E. As velocidades mais recorrentes estão situadas entre 10 e 30 cm/s. É possível que tais fluxos para E/SE estejam associados ao movimento de água da costa em direção ao oceano, quando da ocorrência de eventos de ressurgência.

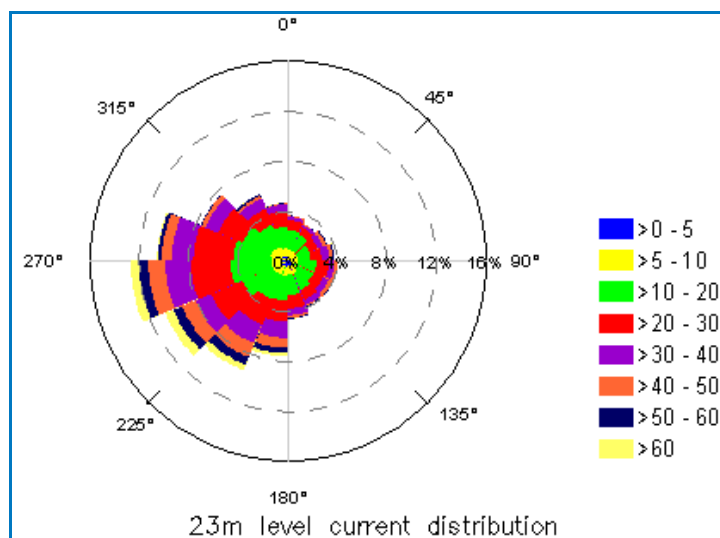


Figura II.5.1.2-47 - Rosa de correntes para o nível de 23 m. Velocidades em cm/s.

Fonte: DEPROAS.

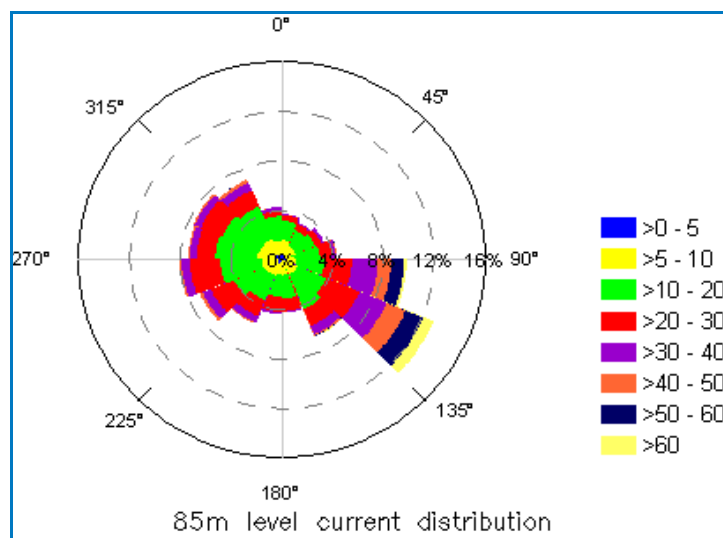


Figura II.5.1.2-48 - Rosa de correntes para o nível de 85 m. Velocidades em cm/s.

Fonte: DEPROAS.

Em 155 m de profundidade (**Figura II.5.1.2-49**), o sentido SE é predominante e velocidades entre 20 e 40 cm/s são as mais comuns nesta profundidade. Correntes para E e S também são verificadas, mas em frequências muito menores.

As direções E/SE e S/SW são dominantes no nível de 195 m (**Figura II.5.1.2-50**). Correntes para N também são significativas, e intensidades entre 10 e 30 cm/s são as mais frequentes.

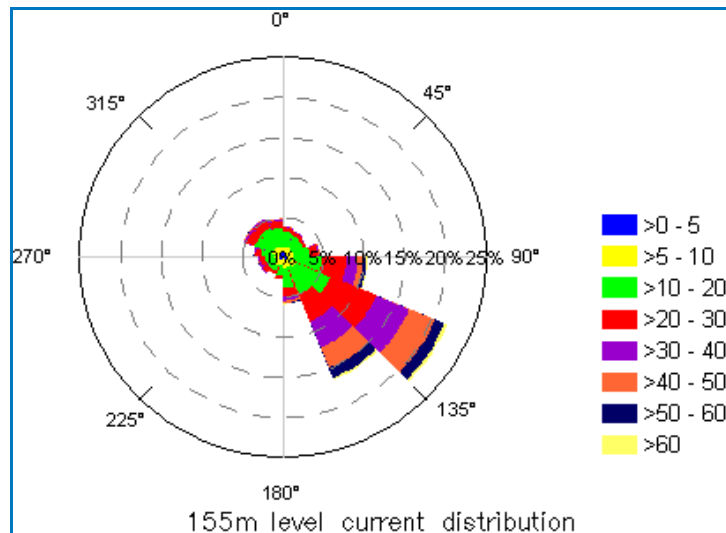


Figura II.5.1.2-49 - Rosa de correntes para o nível de 155 m. Velocidades em cm/s

Fonte: DEPROAS.

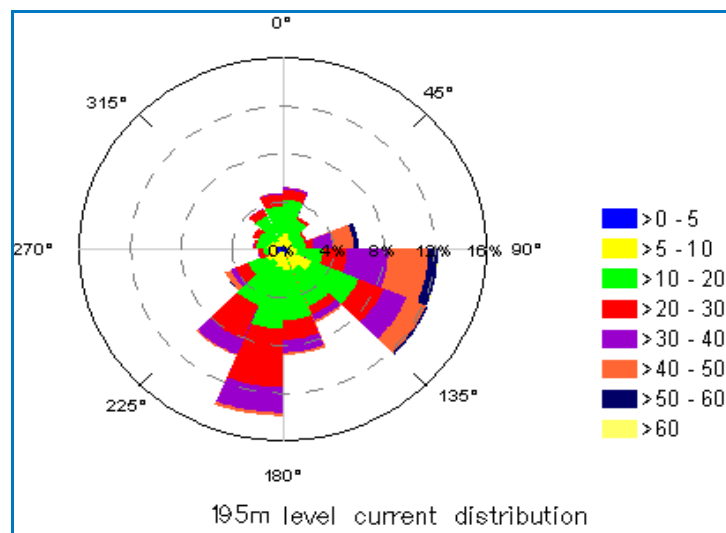


Figura II.5.1.2-50 - Rosa de correntes para o nível de 195 m. Velocidades em cm/s.

Fonte: DEPROAS.

A **Tabela II.5.1.2-7** apresenta um resumo dos resultados obtidos para as quatro profundidades. Em média, há um pequeno decréscimo das velocidades

com o aumento da profundidade, entretanto, este decréscimo é mais acentuado em relação aos máximos observados, passando de 0,94 m/s em 23 m de profundidade para 0,60 m/s no nível de 195 m.

Tabela II.5.1.2-7 - Estatística básica de correntes para os quatro níveis analisados.

Profundidade (m)	Mínima (m/s)	Média (m/s)	Máxima (m/s)	D. Padrão (m/s)
23	0,0009	0,24	0,94	14,76
85	0,0008	0,20	0,77	12,64
155	0,0012	0,21	0,85	13,45
195	0,0023	0,20	0,60	12,05

Fonte: DEPROAS.

Um exemplo da estrutura vertical das correntes na Bacia de Campos pode ser obtido em (PETROBRAS/HABTEC, 2004), onde são apresentadas seções verticais de velocidade das correntes para o período de primavera (**Figura II.5.1.2-51**) e de verão (**Figura II.5.1.2-52**). As seções foram obtidas a partir de transectos partindo da cidade de Macaé-RJ em direção ao oceano profundo. Na figura, os tons de azul representam correntes fluindo para S/SW, indicando a Corrente do Brasil, enquanto que os tons laranja-avermelhado indicam correntes direcionadas para N, associadas ao fluxo da CCI.

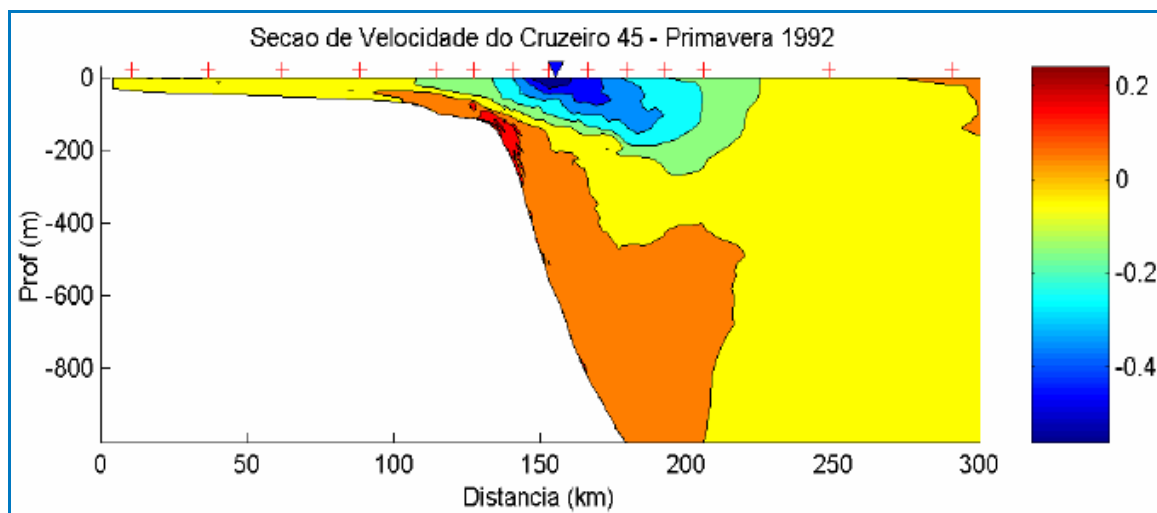


Figura II.5.1.2-51 - Seção vertical das correntes na Bacia de Campos para o período de primavera.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2004.

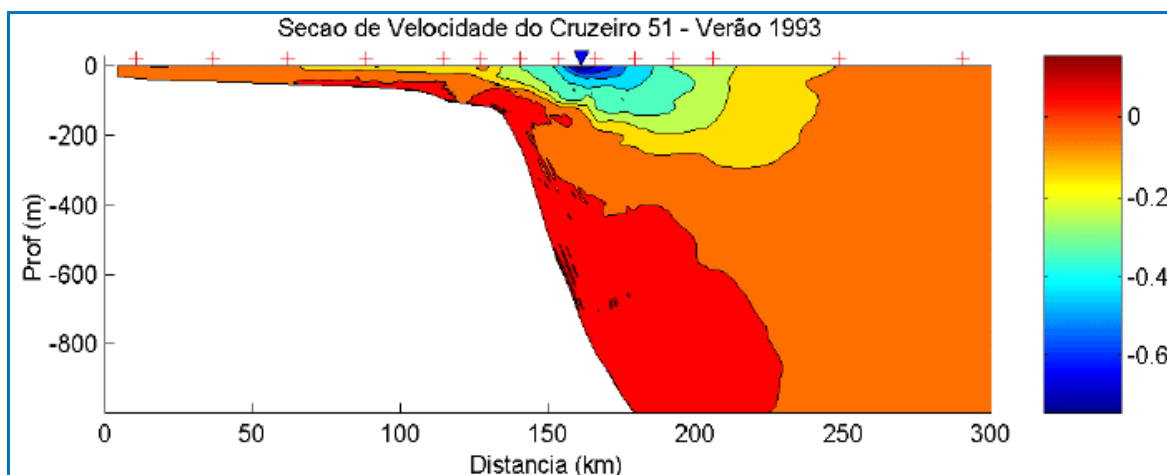


Figura II.5.1.2-52 - Seção vertical das correntes na Bacia de Campos para o período de verão.

Fonte: PETROBRAS/HABTEC, 2004.

II.5.1.2.6 - Regime de Ondas

Devido à escassez de medições de ondas na costa brasileira, especialmente de campanhas de longa duração, a modelagem numérica torna-se essencial para caracterização do estado do mar ao longo do litoral e áreas *off-shore* do Brasil. Nesse relatório será empregada a reconstituição da agitação marítima realizada com o modelo de ondas WaveWatch III, em escala global, resolução de 1° em longitude e latitude, forçado por ventos oriundos da Reanálise da NOAA/NCEP, para o período de 01 de fevereiro de 1997 a 31 de dezembro de 2009, com resultados gravados a cada 6 horas.

Informações e documentação de todas as versões do modelo de ondas WaveWatch III podem ser encontradas no seguinte endereço eletrônico: polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/. Para o estudo em questão, foi utilizada a versão 2.22 e informações técnicas referentes à utilização e instalação do modelo encontram-se em Tolman (2002g).

O ponto de grade utilizado tem coordenadas 23°S; 040°W, cuja localização pode ver observada na **Figura II.5.1.2-53**.

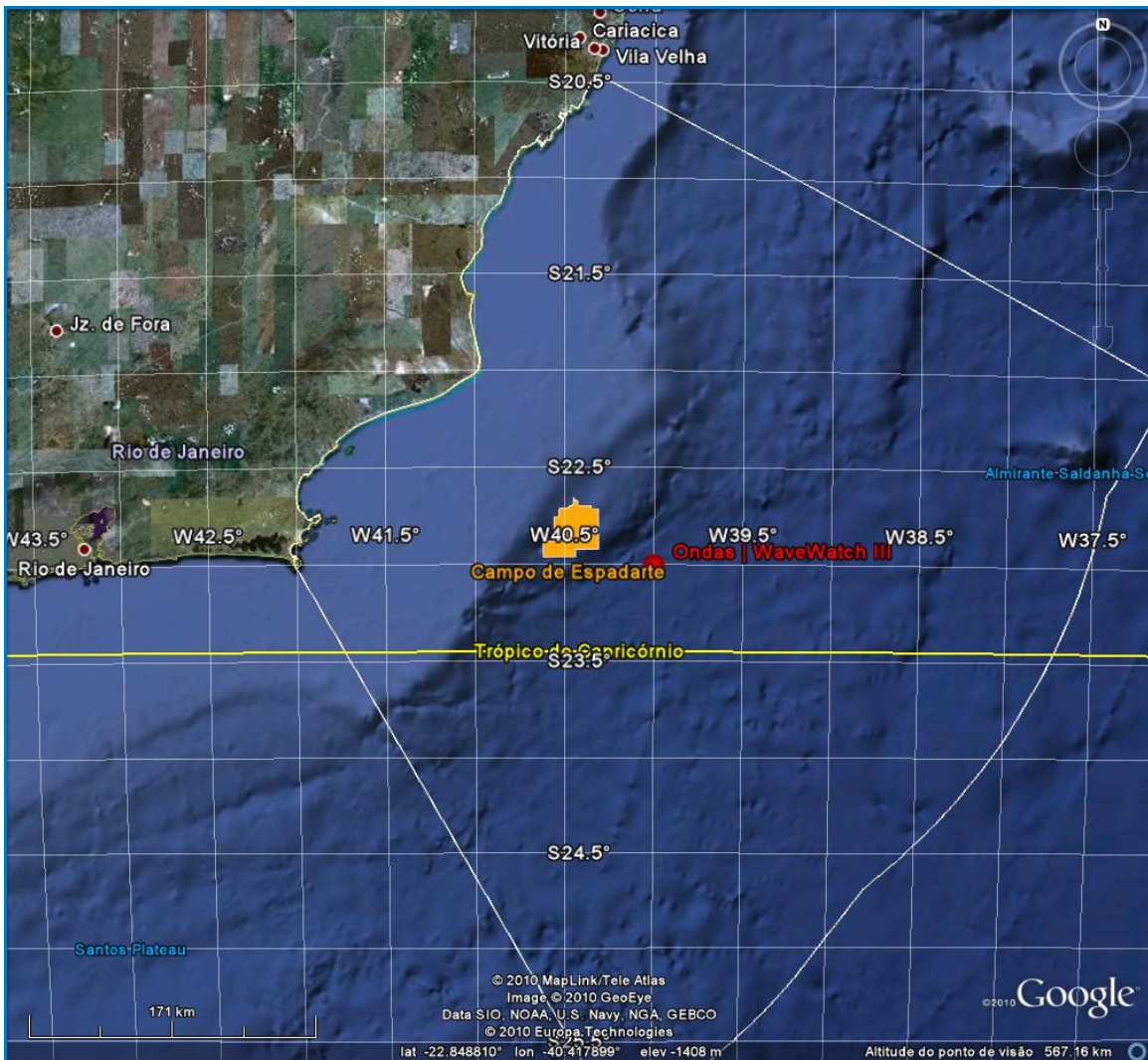
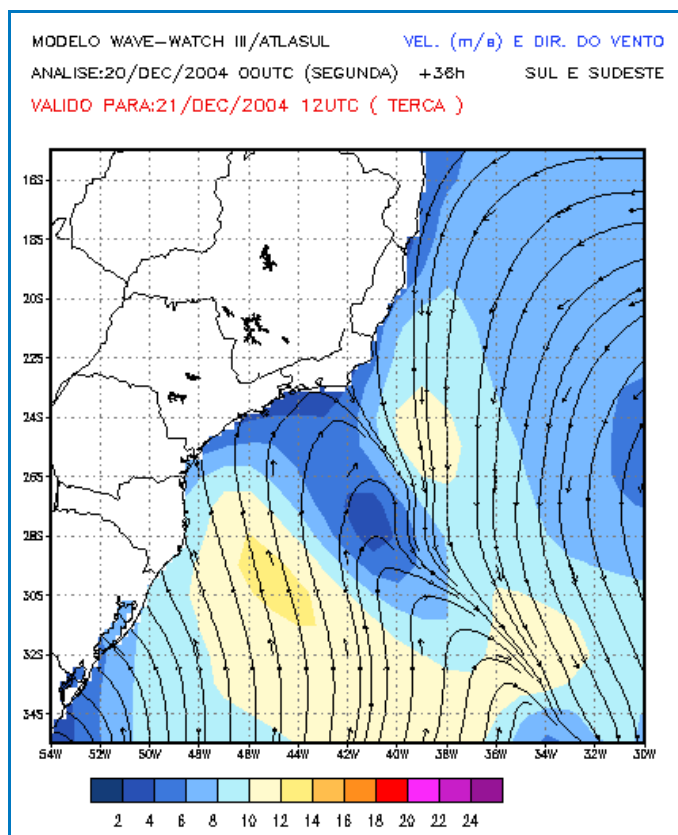


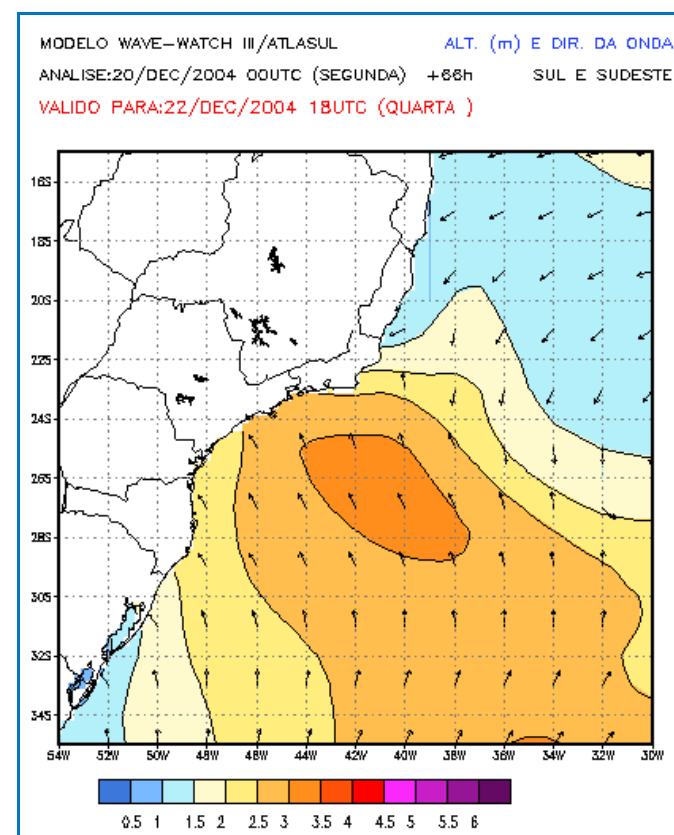
Figura II.5.1.2-53 - Localização do ponto para o qual foram utilizados os resultados do modelo WaveWatch III neste relatório.

A **Figura II.5.1.2-54a** representa um exemplo de um campo de vento gerado a partir de um ciclone extratropical, associado a uma frente fria, enquanto a **Figura II.5.1.2-54b** ilustra o estado do mar nas regiões sudeste e sul do Brasil.

Na **Figura II.5.1.2-55a** é possível verificar um campo de vento gerado pelo ASAS e, na **Figura II.5.1.2-55b**, vê-se o campo de alturas significativas por ele gerado.



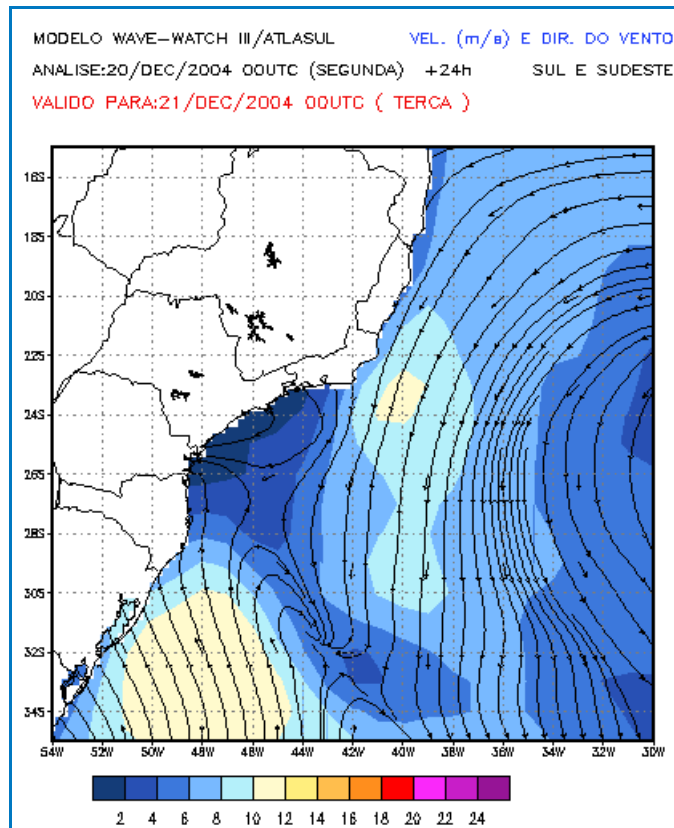
(a)



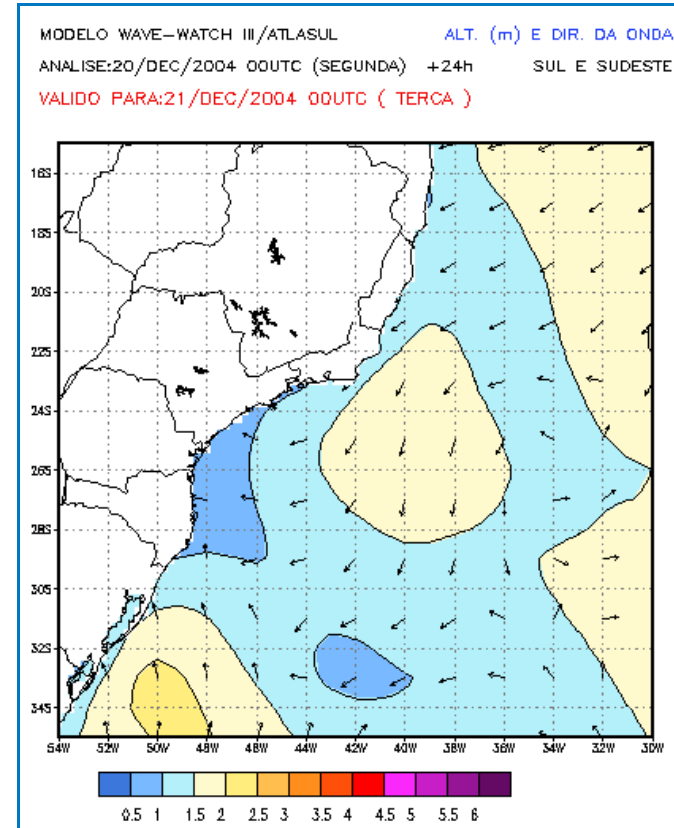
(b)

Figura II.5.1.2-54 - Exemplo de passagem de uma frente fria pela Bacia de Santos. Nesse evento, os ventos se SW associados foram fracos, como pode ser visto na previsão de para 36 horas (a). Porém, com a evolução do sistema, ventos fortes de SE geraram ondas com altura significativa entre 3 e 3,5 m (b).

Fonte: ATLASUL.



(a)



(b)

Figura II.5.1.2-55 - Exemplo de atuação do vento de NE, associado ao ASAS (a), levando ao desenvolvimento de um mar local de até 2 m (b).

Fonte: ATLASUL.

As nomenclaturas *swell* e *wind sea*, equivalentes a marulho e vaga, são amplamente utilizadas na literatura técnica, mesmo em língua portuguesa, para designar ondas fora da ou sob a influência do vento e serão empregadas neste estudo.

No diagrama de dispersão de altura x direção das ondas (**Figura II.5.1.2-56**), pode-se verificar que existem dois sentidos de propagação predominantes para as maiores ondas, ENE e SSW, tanto para a altura significativa, nesse caso, comparada com o sentido médio dos registros, quanto para as distribuições de altura de *swell* e *wind sea*. Na rosa de ondas relativa ao sentido médio, pode-se notar que há uma distribuição entre SW e S.

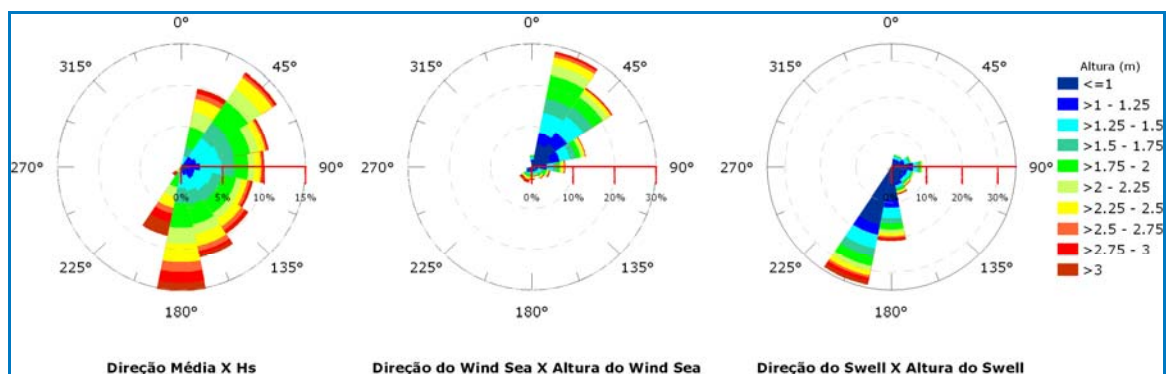


Figura II.5.1.2-56 - Diagrama de dispersão para altura e sentido para H_s (esquerda), *Wind sea* (centro) e *swell* (direita).

Fonte: WaveWatch III.

Pela localização do ponto, praticamente não há ondas de oeste, embora ondas de formação local possam ser geradas dessa direção. Os máximos de altura estão associados ao quadrante S. A **Tabela II.5.1.2-8**, **Tabela II.5.1.2-9** e **Tabela II.5.1.2-10** detalham esses resultados. A maioria dos registros para ondas do tipo *swell* são provenientes de S (52,09 %), com alturas entre 0,5 e 1,5 m (54,26 %). Para ondas do tipo *wind sea*, a maioria dos registros são provenientes de NE (~50 %), com alturas entre 1 e 2 m (55,5 %).

Tabela II.5.1.2-8 - Correlação entre altura significativa e sentido médio.

Sentido ->		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
Hswell (m)											
0,00	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
0,50	1,00	2	65	174	101	29	2	1	0	374	1,98
1,00	1,50	42	1006	1229	945	616	39	3	3	3883	20,58
1,50	2,00	178	1894	1348	1326	1463	137	10	7	6363	33,72
2,00	2,50	240	1572	692	797	1525	184	3	4	5017	26,59
2,50	3,00	83	401	232	381	919	150	3	2	2171	11,51
> 3,00		21	68	57	108	547	259	0	0	1060	5,62
Total		566	5006	3732	3658	5099	771	20	16	18868	
Freq (%)		3,00	26,53	19,78	19,39	27,02	4,09	0,11	0,08		

Fonte: WaveWatch III.

Tabela II.5.1.2-9 - Correlação entre altura e sentido do swell.

Sentido ->		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
Hswell (m)											
0,00	0,50	134	128	295	419	1864	129	1	0	2970	15,84
0,50	1,00	20	431	1210	802	2404	309	2	0	5178	27,62
1,00	1,50	46	650	921	684	2303	389	0	1	4994	26,64
1,50	2,00	45	270	449	323	1536	347	0	0	2970	15,84
2,00	2,50	12	53	128	170	885	237	0	0	1485	7,92
2,50	3,00	0	2	28	88	474	106	0	0	698	3,72
> 3,00		0	0	2	28	299	122	0	0	451	2,41
Total		257	1534	3033	2514	9765	1639	3	1	18746	
Freq (%)		1,37	8,18	16,18	13,41	52,09	8,74	0,02	0,01		

Fonte: WaveWatch III.

Tabela II.5.1.2-10 - Correlação entre altura e sentido do wind sea.

Sentido ->		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
Hswell (m)											
0,00	0,50	71	191	102	63	61	102	31	5	626	4,84
0,50	1,00	282	1118	408	166	178	188	40	18	2398	18,55
1,00	1,50	447	2023	737	224	167	156	14	4	3772	29,18
1,50	2,00	441	1869	549	236	166	133	4	2	3400	26,31
2,00	2,50	247	981	242	132	136	107	1	0	1846	14,28
2,50	3,00	66	237	84	70	69	63	0	0	589	4,56
> 3,00		10	38	35	37	53	121	0	0	294	2,27
Total		1564	6457	2157	928	830	870	90	29	12925	
Freq (%)		12,10	49,96	16,69	7,18	6,42	6,73	0,70	0,22		

Fonte: WaveWatch III.

Na **Figura II.5.1.2-57**, pode ser visualizada a distribuição de período X altura para *swell* e *wind sea*. Embora as duas distribuições sejam, praticamente, normais, nota-se que aquela referente ao *swell* (a) possui ocorrências em períodos mais elevados, maiores que 18 s, embora as maiores alturas (> 3 m) estejam concentradas entre 10 e 14 s. Para o *wind sea* (b), as maiores ondas (> 3 m) estão associadas a períodos de 7 a 11 s, típicos de tempestades na região sudeste do Brasil (CANDELLA, 2008), podendo-se perceber, em

pouquíssimas oportunidades, a ocorrência de períodos de até 15 s, com ondas de, aproximadamente, maiores que 3 m. Os detalhes dessa distribuição podem ser vistos na **Tabela II.5.1.2-11** e na **Tabela II.5.1.2-12**. De maneira geral, as ondas do tipo wind sea apresentaram maiores alturas, associadas a menores períodos de ondas, entre 1 e 2,0 m (55,5 %) e entre 4 e 8 s (~81 %), enquanto o swell, entre 0,5 e 1,5 m (54,26 %) e 8 e 12 s (~63 %).

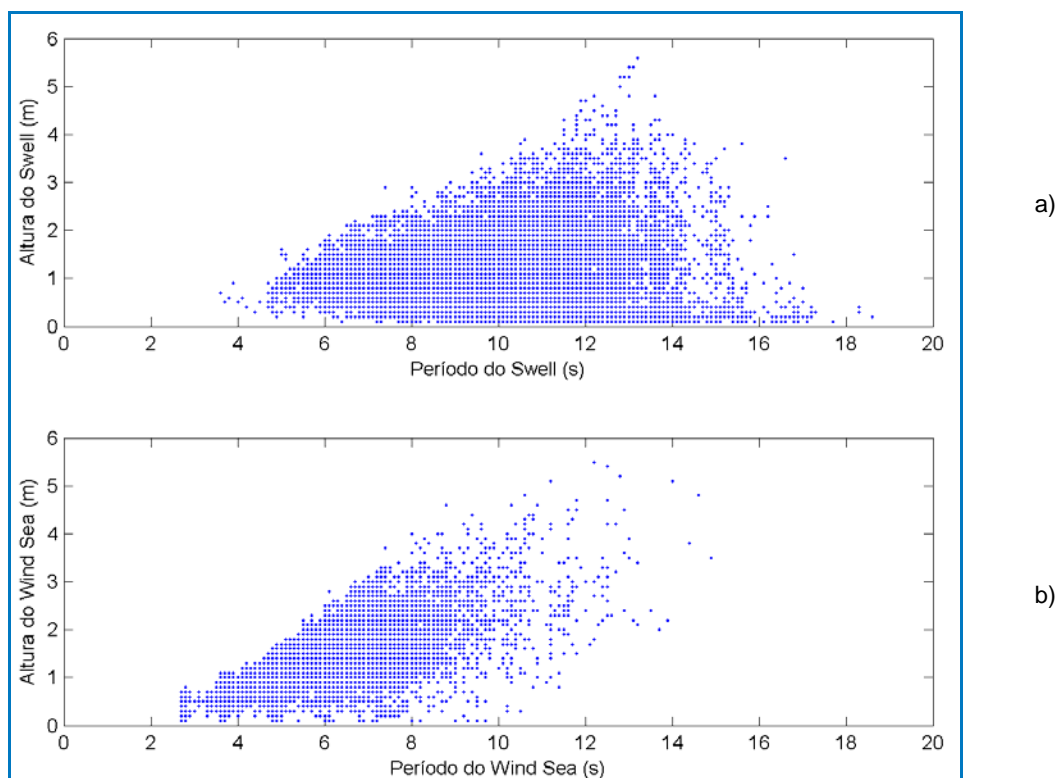


Figura II.5.1.2-57 - Diagrama de dispersão para altura e período de pico para swell (a) e wind sea (b).

Fonte: WaveWatch III.

Tabela II.5.1.2-11 - Correlação entre altura e período (T) do swell.

Tswell (s) ->		2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-28	Total	Freq (%)
Hswell (m)											
0,00	0,50	0	24	299	951	904	537	211	40	2966	15,83
0,50	1,00	4	176	1454	1785	1303	373	71	12	5178	27,63
1,00	1,50	0	122	1283	1643	1431	457	56	2	4994	26,65
1,50	2,00	0	8	468	1002	981	455	55	1	2970	15,85
2,00	2,50	0	0	78	412	686	268	40	1	1485	7,92
2,50	3,00	0	0	1	102	375	190	29	1	698	3,72
> 3,00		0	0	0	18	198	200	34	1	451	2,41
Total		4	330	3583	5913	5878	2480	496	58	18742	
Freq (%)		0,02	1,76	19,12	31,55	31,36	13,23	2,65	0,31		

Fonte: WaveWatch III.

Tabela II.5.1.2-12 - Correlação entre altura e período (T) do wind sea.

Sentido -> Hswell (m)		2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	Total	Freq (%)
0,00	0,50	400	127	84	12	3	0	0	0	626	4,84
0,50	1,00	674	1344	340	36	4	0	0	0	2398	18,55
1,00	1,50	41	2579	966	165	21	0	0	0	3772	29,18
1,50	2,00	0	1719	1403	246	30	2	0	0	3400	26,31
2,00	2,50	0	110	1388	290	46	12	0	0	1846	14,28
2,50	3,00	0	0	356	184	44	5	0	0	589	4,56
> 3,00		0	0	58	140	73	19	4	0	294	2,27
Total		1115	5879	4595	1073	221	38	4	0	12925	
Freq (%)		8,63	45,49	35,55	8,30	1,71	0,29	0,03	0,00		

Fonte: WaveWatch III.

Deve-se levar em consideração que swell são ondas que não são capazes de receber energia do vento local (CANDELA, 1997). Portanto, podem apresentar menor contribuição no espectro, caso o vento local esteja, por exemplo, em sentido contrário à sua propagação, dando lugar a espectros multimodais, tanto em duas (frequência x energia), quanto em três dimensões (frequência x energia x direção) (RI PRO09, 2009). Na **Figura II.5.1.2-58**, é apresentado um exemplo de espectro polar, retirado do sítio ATLASUL (www.lamma.ufrj.br/spo), no qual se pode perceber grande concentração de energia trazida pelas ondas de longo períodos, acima de 10s, caracterizando um swell de S/SW. Na figura também podem ser observada uma pequena contribuição de ondas típicas de wind sea, com direção NE, e períodos entre 5 e 10s.

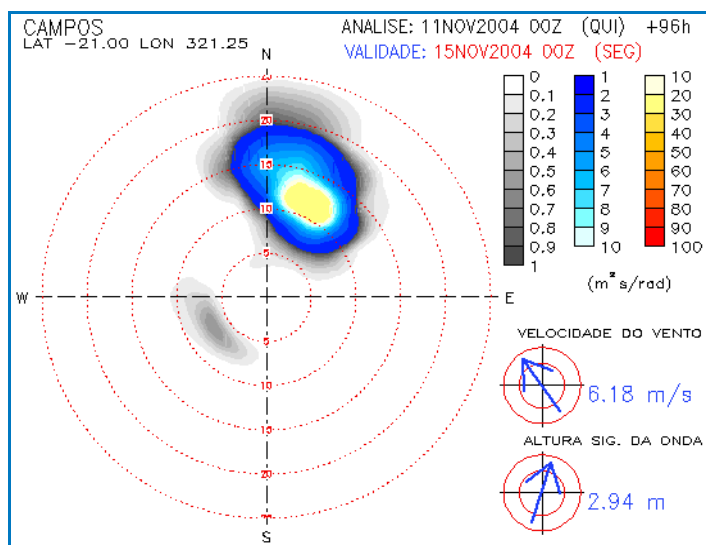


Figura II.5.1.2-58 - Espectro Direcional de Ondas para um ponto na Bacia de Campos, ilustrando a presença de um forte swell de SW.

Fonte: Projeto ATLASUL (www.atlasul.com.br).

Na **Figura II.5.1.2-59** são apresentados a correlação entre direção e período de pico para *swell* e *wind sea*. Para o *swell*, os maiores períodos estão associados com as direções S e SW. Estas ondas são geradas pela evolução de sistemas frontais, onde tanto o ciclone extratropical, quanto o anticiclone polar, podem formar longas pistas, gerando, assim, ondas com período elevado.

Os maiores períodos de *wind sea* estão associados à direção sul, enquanto aqueles mais comumente relacionados ao ASAS (10 a 12 s) distribuem-se entre as direções E e N. Os resultados detalhados dessas figuras podem ser vistos na **Tabela II.5.1.2-13** e na **Tabela II.5.1.2-14**.

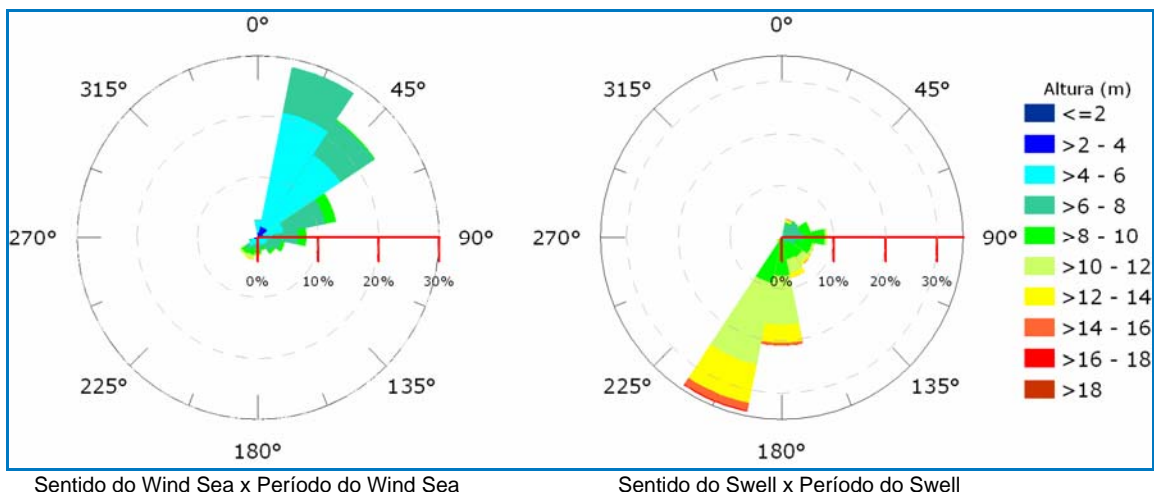


Figura II.5.1.2-59 - Diagrama de dispersão para sentido e período de pico para swell (a) e wind sea (b).

Fonte: WaveWatch III.

Tabela II.5.1.2-13 - Correlação de sentido e período para o swell.

Sentido ->		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
Hswell (m)											
2	4	0	0	0	2	0	1	1	0	4	0,02
4	6	50	214	28	11	13	11	2	1	330	1,76
6	8	71	1095	1379	519	358	161	0	0	3583	19,11
8	10	5	212	1445	1249	2468	534	0	0	5913	31,54
10	12	46	12	178	533	4380	729	0	0	5878	31,36
12	14	50	0	3	175	2063	189	0	0	2480	13,23
14	16	28	1	0	25	428	14	0	0	496	2,65
> 16		7	0	0	0	55	0	0	0	62	0,33
Total		257	1534	3033	2514	9765	1639	3	1	18746	
Freq (%)		1,37	8,18	16,18	13,41	52,09	8,74	0,02	0,01		

Fonte: WaveWatch III.

Tabela II.5.1.2-14 - Correlação de sentido e período para o wind sea.

Sentido ->		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
Hswell (m)											
2	4	182	391	126	107	93	144	56	16	1115	8,63
4	6	991	3551	481	274	259	281	29	13	5879	45,49
6	8	387	2330	1128	373	191	181	5	0	4595	35,55
8	10	4	181	408	153	172	155	0	0	1073	8,30
10	12	0	4	14	21	93	89	0	0	221	1,71
12	14	0	0	0	0	20	18	0	0	38	0,29
14	16	0	0	0	0	2	2	0	0	4	0,03
16		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Total		1564	6457	2157	928	830	870	90	29	12925	
Freq (%)		12,10	49,96	16,69	7,18	6,42	6,73	0,70	0,22		

Fonte: WaveWatch III.

O histograma de altura significativa (**Figura II.5.1.2-60a**) indica que os valores típicos desse parâmetro são de 1,5 a 2,5 m, mas alturas de até 5,5 m podem ser observadas. Seja em medições, seja em modelagem, valores de H_s inferiores a 1,0 são bastante raros, como indicado no gráfico. Grande parte do *swell* (**Figura II.5.1.2-60b**) possui altura reduzida, entre 0,5 e 1,0 m. Já para o *wind sea* (**Figura II.5.1.2-60c**), as maiores ocorrências são para as classes centradas em 1,0 e 1,5 m.

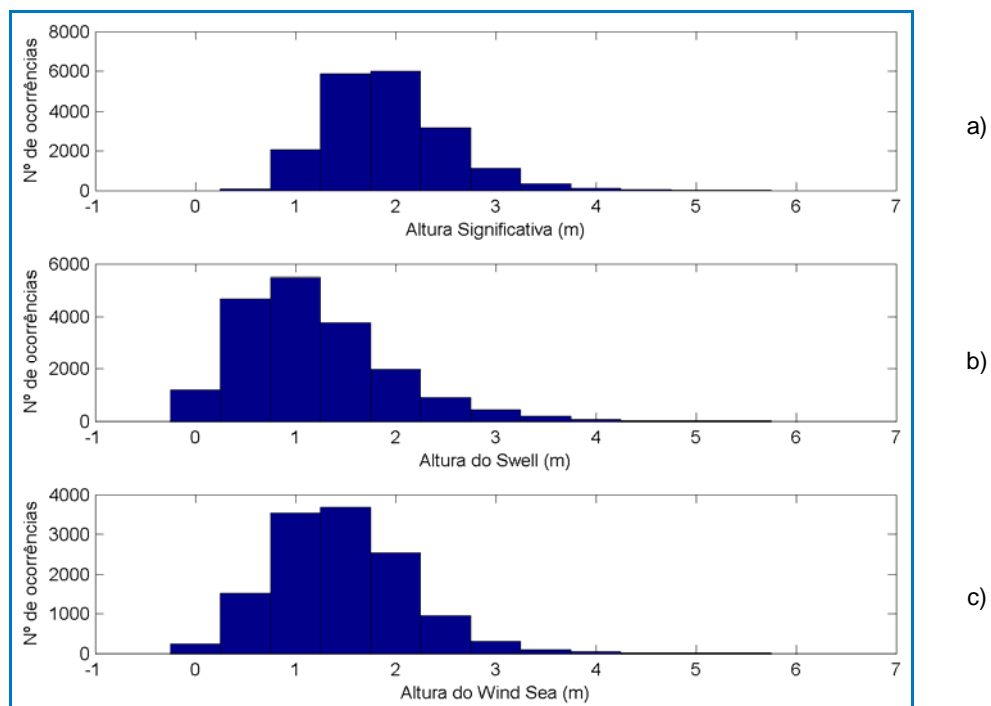


Figura II.5.1.2-60 - Distribuição de alturas para altura significativa (a), swell (b) e wind sea (c), em classes de 0,5 m.

Fonte: WaveWatch III.

As séries temporais das alturas significativas (**Figura II.5.1.2-61-a**), alturas de swell (**Figura II.5.1.2-61-b**) e alturas do *wind sea* (**Figura II.5.1.2-61-c**) apresentam um claro ciclo sazonal nos valores dos três parâmetros.

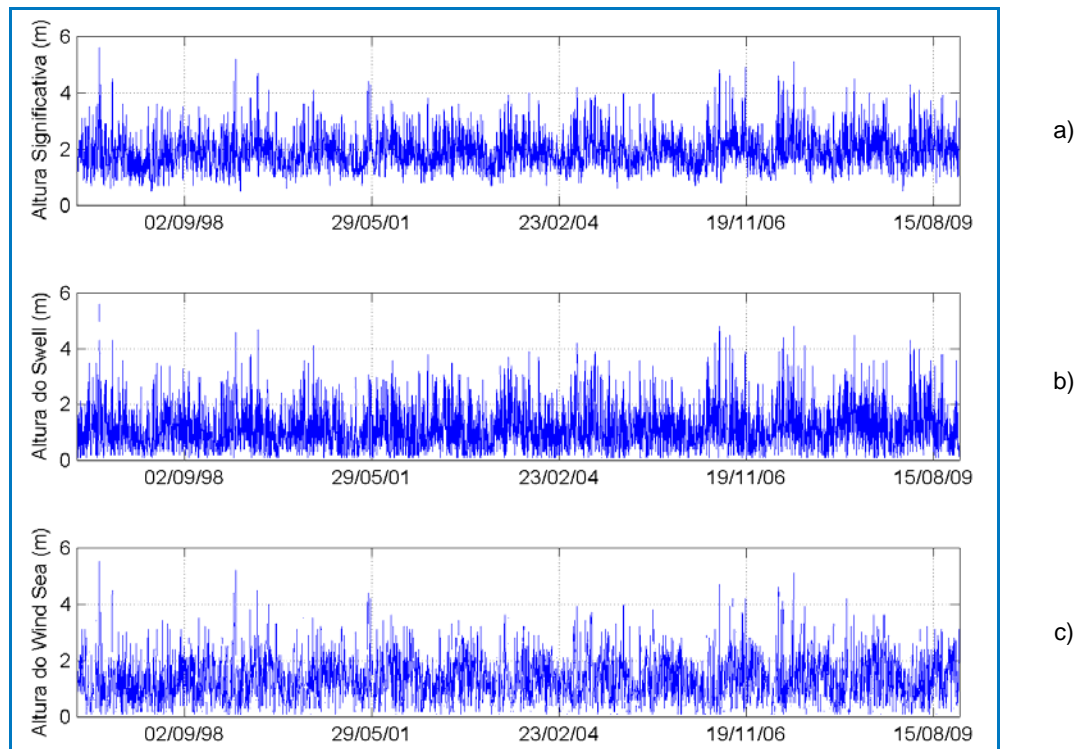


Figura II.5.1.2-61 - Série temporal de altura significativa (a), altura do swell (b) e altura do wind sea (c).

Fonte: WaveWatch III.

Na **Figura II.5.1.2-62**, evidencia-se o ciclo sazonal da altura significativa média (a), sendo observados dois picos principais, em maio e setembro. No mesmo gráfico, percebe-se que as alturas tendem a ser maiores no período central do ano, entre o fim do outono (maio) e meados da primavera (novembro).

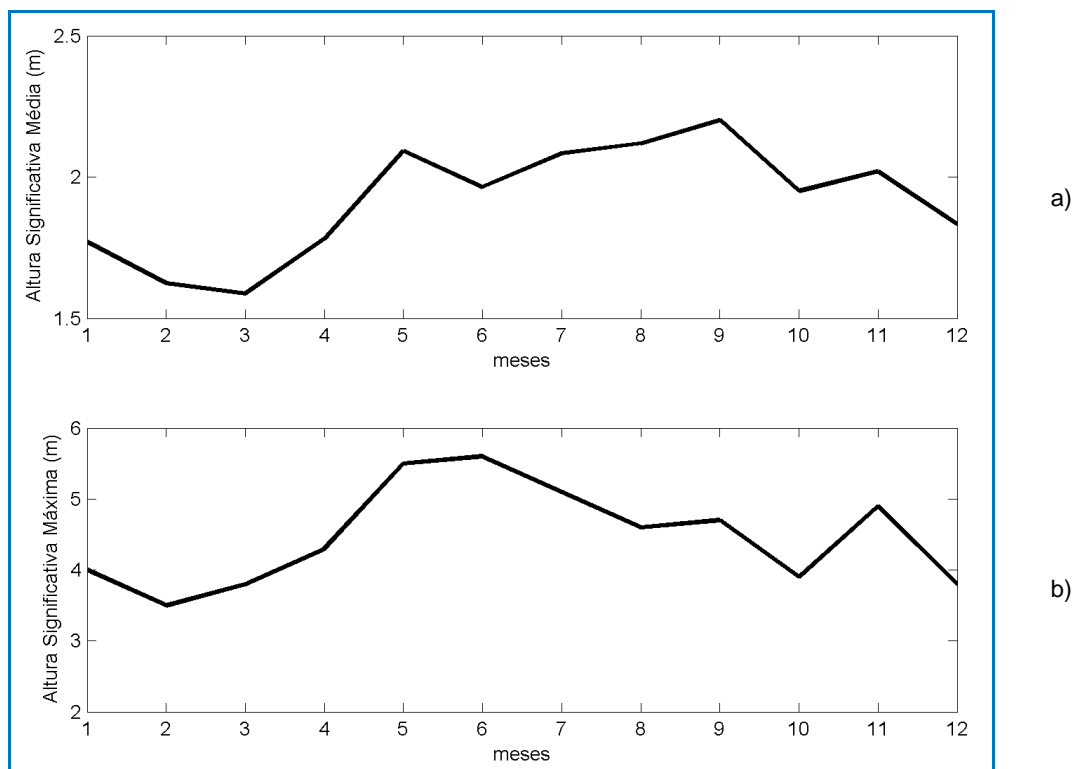


Figura II.5.1.2-62 - Valores médios (a) e máximos (b) mensais da altura significativa.

Fonte: WaveWatch III.

O gráfico referente às alturas médias do *swell* (**Figura II.5.1.2-63-a**) indicam maiores valores no período de inverno, com alturas máximas (**Figura II.5.1.2-63-b**) de até 5,5 m provocadas por tempestades de inverno no Atlântico Sul.

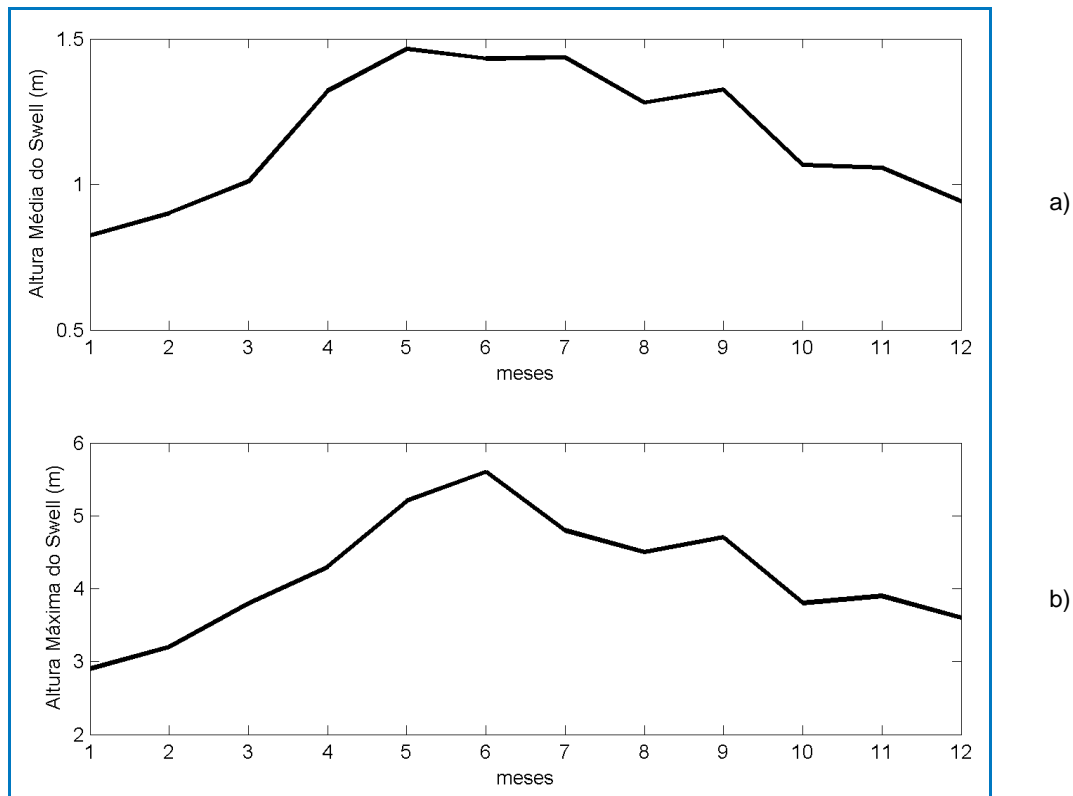


Figura II.5.1.2-63 - Valores médios (a) e máximos (b) mensais do swell.

Fonte: WaveWatch III.

Assim, como nas séries temporais mostradas na **Figura II.5.1.2-62-a**, o comportamento das alturas médias (**Figura II.5.1.2-64-a**) e máximas (**Figura II.5.1.2-64-b**) do *wind sea* é análogo ao da altura significativa, indicando que o estado de mar na região da Bacia de Campos é dirigido, principalmente por este parâmetro.

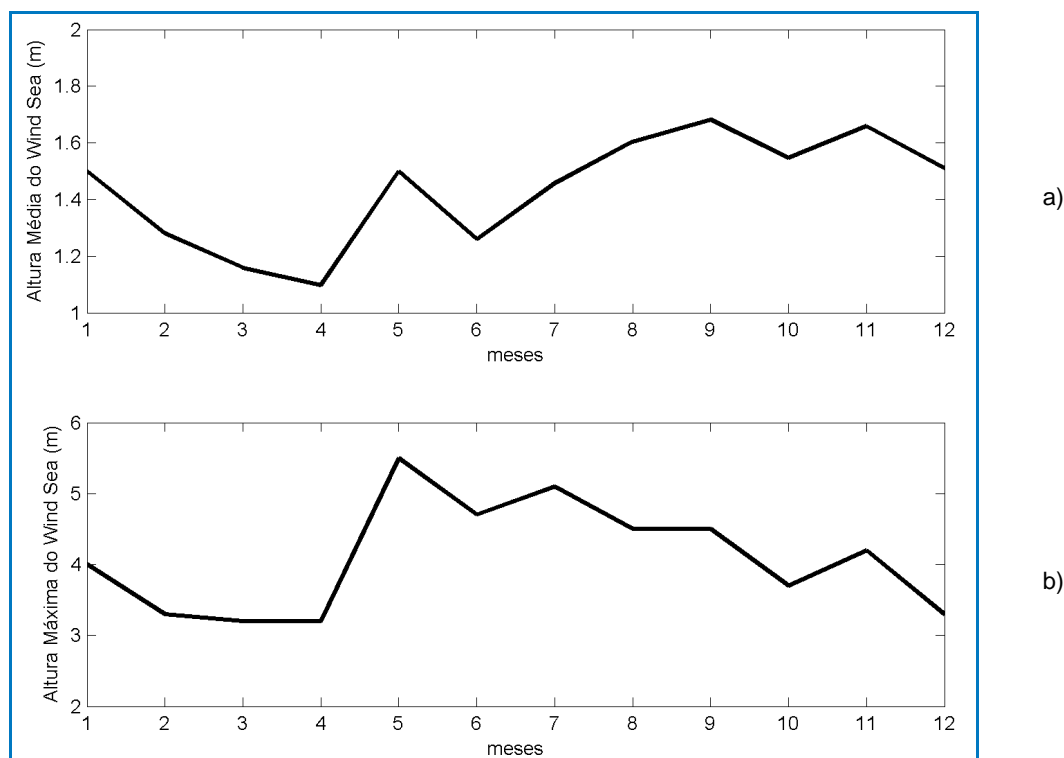


Figura II.5.1.2-64 - Valores médios (a) e máximos (b) mensais do wind sea.

Fonte: WaveWatch III.

A **Tabela II.5.1.2-15** apresenta os valores médios e máximos mensais de Hs, altura do *swell* e altura do *wind sea*. Novamente verifica-se que o período compreendido entre o final do outono e início da primavera é o mais propício à ocorrência de extremos de ondas na região da Bacia de Campos.

Tabela II.5.1.2-15 - Valores médios e máximos mensais e máximos para altura significativa, *swell* e *wind sea*.

mês	Hs		Swell		Wind Sea	
	média	máxima	média	máxima	média	máxima
janeiro	1,8	4,0	0,8	2,9	1,5	4,0
fevereiro	1,6	3,5	0,9	3,2	1,3	3,3
março	1,6	3,8	1,0	3,8	1,2	3,2
abril	1,8	4,3	1,3	4,3	1,1	3,2
maio	2,1	5,5	1,5	5,2	1,5	5,5
junho	2,0	5,6	1,4	5,6	1,3	4,7
julho	2,1	5,1	1,4	4,8	1,5	5,1
agosto	2,1	4,6	1,3	4,5	1,6	4,5
setembro	2,2	4,7	1,3	4,7	1,7	4,5
outubro	2,0	3,9	1,1	3,8	1,5	3,7
novembro	2,0	4,9	1,1	3,9	1,7	4,2
dezembro	1,8	3,8	0,9	3,6	1,5	3,3

Fonte: WaveWatch III.

Em resumo, a agitação marítima com características de wind sea (mar de formação local) na área da Bacia de Campos tem, basicamente, 3 fontes principais: (a) o anticiclone semipermanente do Atlântico Sul (ASAS), que pode gerar ondas das direções norte a leste; (b) a passagem de sistemas frontais, que produzem, em geral, ondas de sul e sudoeste; e (c) a evolução desses sistemas frontais, onde o deslocamento do anticiclone polar, aliado àquele do ciclone extratropical, tende a formar ondas provenientes principalmente de S.

Segundo os resultados da simulação, as mesmas fontes podem formar swell, tendo, porém, maior contribuição de SW.

II.5.1.2.7 - Regime de Marés

Podemos classificar a maré quanto ao seu período, ou seja, pode-se determinar se a maré é diurna, semi-diurna, mista principalmente diurna ou mista principalmente semi-diurna (POND; PICKARD, 1978).

Pond & Pickard (1978) classifica as marés em termos de um fator que leva em consideração a amplitude das principais componentes diurnas e semi-diurnas. Esse fator é definido por:

$$F = \left(\frac{(K_1 + O_1)}{(M_2 + S_2)} \right)$$

De acordo com essa classificação, temos:

F = 0 a 0,25: Maré semi-diurna, ou seja, a maré cujo período é de aproximadamente 12h. Neste caso, tem-se duas marés altas e duas marés baixas em 24 horas. A altura de uma preamar é praticamente igual a outra, o mesmo acontecendo com a baixamar.

F = 0,25 a 1,5: Maré mista, principalmente semi-diurna, ou seja, a maré com grandes diferenças de altura entre suas preamares e baixamares. Essa maré é, na maioria das vezes, semi-diurna, podendo ser diurna em algumas épocas do ano.

F = 1,5 a 3,0: Maré mista, principalmente diurna, ou seja, a maré com grandes diferenças de altura entre suas preamares e baixamares. Essa maré é, na maioria das vezes, diurna, podendo ser semi-diurna em algumas épocas do ano.

F > 3,0: Maré diurna, ou seja, a maré cujo período é de 24h, aproximadamente. Nesse caso, tem-se apenas uma maré alta e uma maré baixa em 24 horas.

Para a caracterização da maré na região do Campo de Espadarte foram utilizadas as constantes harmônicas obtidas do modelo global de marés FES-2004 (de “*Finite Element Solutions*”). Esta é uma versão completamente revisada do modelo hidrodinâmico global de marés iniciado por Le Provorst *et al.* (1994). Esta nova versão é baseada na resolução das equações barotrópicas de maré em uma nova grade global de elementos finitos (~1 milhão de nodos) que permitem a resolução independente de dados *in situ* e de sensoriamento remoto. A acurácia destas soluções têm sido otimizada pela assimilação de dados de marégrafos e de altímetros orbitais (TOPEX/Poseidon e ERS-2). São disponibilizados dados de amplitude e fase de 15 constituintes de maré em uma grade com resolução de $1/8^\circ$. Uma descrição mais detalhada do FES-2004 pode ser obtida em Lyard *et al.* (2006).

A partir destes, foram então retirados os dados de fase e amplitude de sete componentes (M2, S2, N2, K2, K1, O1 e Q1) para o ponto localizado na latitude $22,875^\circ\text{S}$ e longitude $40,5^\circ\text{W}$.

A localização desse ponto na Bacia de Campos pode ser observada na **Figura II.5.1.2-65** e as constantes harmônicas encontram-se na **Tabela II.5.1.2-16**.

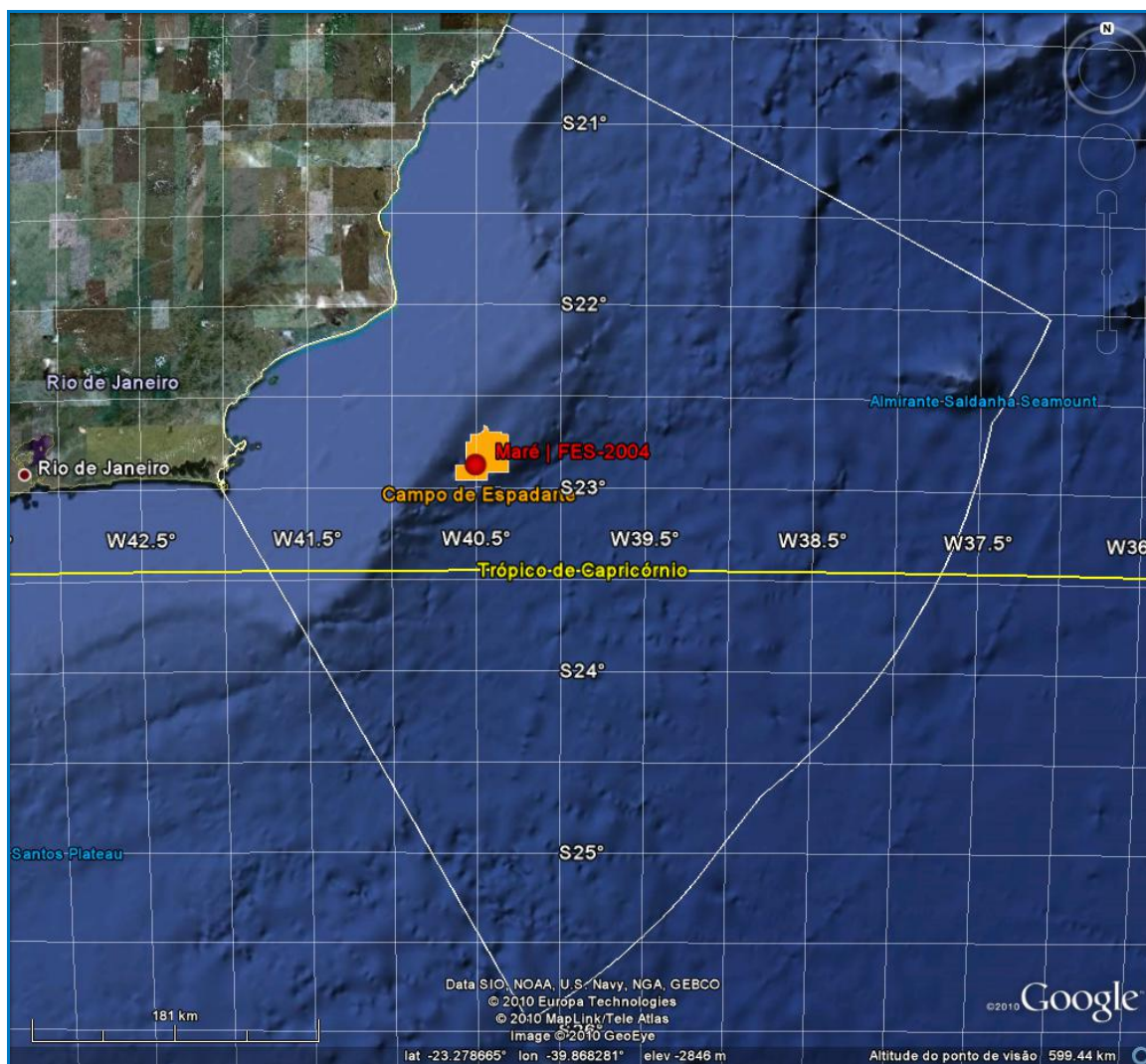


Figura II.5.1.2-65 - Posicionamento do ponto de grade do FES-2004 utilizado.

Tabela II.5.1.2-16 - Constantes harmônicas obtidas pelo modelo global de maré FES-95 no ponto de latitude 22.875°S e longitude 40.5°W.

Componente	Nome	Amplitude (m)	Fase (em relação a Greenwich)
Q1	Componente lunar elíptica diurna	0,02	100,58
O1	Componente lunar principal diurna	0,09	133,31
K1	Componente luni-solar principal diurna	0,06	202,23
N2	Componente lunar elíptica semi-diurna	0,05	183,93
M2	Componente lunar principal semi-diurna	0,35	169,80
S2	Componente solar principal semi-diurna	0,16	181,57
K2	Componente luni-solar semi-diurna	0,05	183,18

Fonte: FES-2004.

Exemplos dos campos de amplitude e fase da componente M2 (mais significativa na região) podem ser vistos na **Figura II.5.1.2-66** e na **Figura II.5.1.2-67**. A amplitude da componente M2 na região da Bacia de Campos apresenta um gradiente em direção ao norte da Bacia (menores valores ao sul, e maiores ao norte). Na região do Campo de Espadarte, a componente M2 apresenta amplitude de aproximadamente 0,35 m e fase de $\sim 170^\circ$.

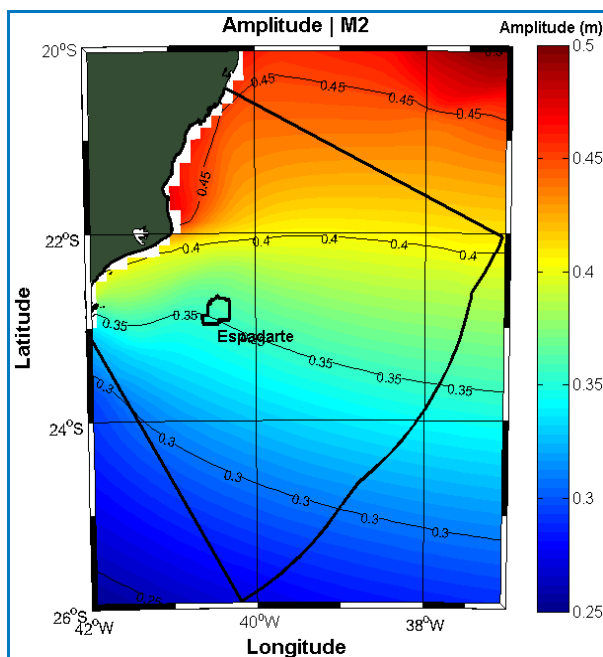


Figura II.5.1.2-66 - Amplitude da componente M2 para região da Bacia de Campos.

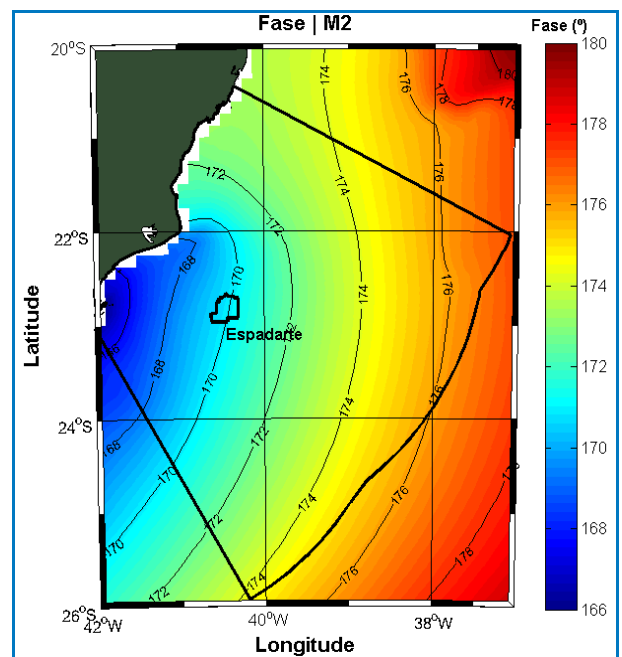


Figura II.5.1.2-67 - Fase da componente M2 para região da Bacia de Campos.

Fonte: FES-2004.

Utilizando os valores apresentados na **Tabela II.5.1.2-16**, pode-se concluir que na região de interesse temos:

$$F = (0,06+0,11) / (0,19+0,12) = 0,29$$

que corresponde à uma maré mista predominantemente semi-diurna.

É também possível calcular, segundo a formulação de Pond & Pickard (1978), a média da amplitude das marés de sizígia, que nesse caso será:

$$2(M2+S2) = 102 \text{ cm (considerando dados do FES-2004)}$$

A maré na região pode, portanto, ser classificada como mista, predominantemente semi-diurna com desigualdades diurnas, e com amplitudes médias de maré de sizígia variando em torno de 102 cm.

Na **Figura II.5.1.2-68** é apresentada a série de elevação para todo o ano de 2010. Foram verificadas alturas máximas de aproximadamente 0,6 m, e mínimas de -0,7 m. Através da figura, podemos concluir que as marés de quadratura na região possuem amplitudes médias da ordem de 50 cm.

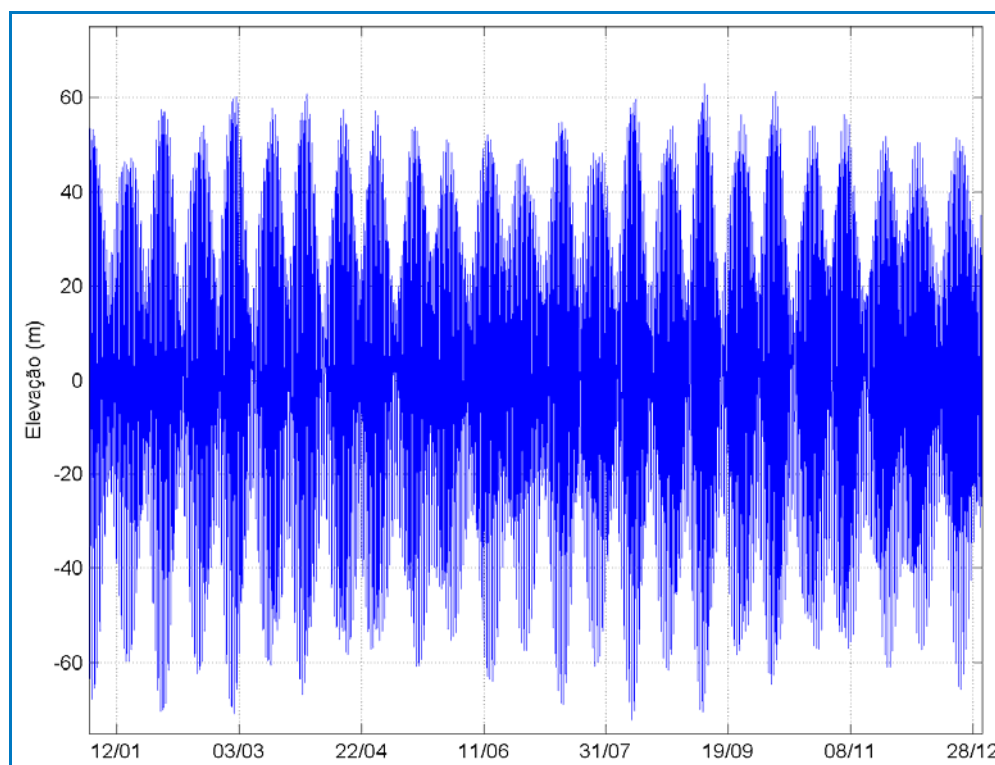


Figura II.5.1.2-68 - Elevação da superfície do mar (cm) para todo o ano de 2010.

Fonte: FES-2004.

II.5.1.2.8 - Elevação do Nível do Mar

Segundo Dias *et al.* (2009), diversos estudos sobre mudanças climáticas no litoral brasileiro ocorridas durante o holoceno (período atual da história geológica), demonstram o avanço do mar em diversas regiões costeiras. Entretanto, a maior parte destes estudos indica um ápice da elevação do nível do mar por volta de

5100 anos atrás. Tais autores, contudo, em estudo sobre a variação do nível do mar na costa do Rio de Janeiro, indicaram que devido a alterações antrópicas e outras variáveis, como por exemplo, tectono eustasia e glácio eustasia, há uma impossibilidade de avaliação de tendências lineares de transgressão ou regressão marítima nos dias de hoje.

II.5.1.2.9 - Condições Extremas

As regiões sul e sudeste do Brasil são influenciadas pela passagem de sistemas frontais, que possuem uma periodicidade de 3 a 5 dias. A influência desses sistemas no oceano é expressa em alterações substanciais no regime hidrodinâmico, seja em função de efeitos locais ou de fenômenos sinóticos, tais como a chegada de grandes ondulações do tipo *swell*, geradas por exemplo em altas latitudes.

As condições extremas de ondas observadas na região podem estar associadas a 3 sistemas sinóticos diferentes: ASAS, passagem de sistemas frontais ou deslocamento do anticiclone polar.

No caso de domínio do ASAS, ondas com direções de NE-E podem chegar a até 4,0 m de Hs, configurando um cenário crítico para operações no mar. Entretanto, as condições mais severas de mar observadas na região estão associadas à evolução de sistemas frontais, onde ondulações de SW a SE podem atingir a região com 5,0 m de Hs. A maior passagem de sistemas frontais na região durante o período de inverno e de primavera faz com que esses períodos sejam mais propícios à ocorrência de eventos extremos de ondas.

No regime hidrodinâmico, os valores máximos de corrente superficial observados na região próxima ao Campo de Espadarte apresentaram média de 0,51 m/s, tendo sido registrado um evento extremo com velocidade de 1,16 m/s com direção SW associada. Como demonstrado pelos dados do HYCOM, as médias no período de verão são mais elevadas, com velocidades médias de 0,6 m/s.

II.5.1.3 - Qualidade de Água e Sedimentos

Para caracterização da qualidade da água e do sedimento na área de influência do Teste de Longa Duração no Campo de Espadarte, foram utilizados dados obtidos em regiões próximas à área, na porção central da Bacia de Campos.

Foi primeiramente utilizado para esta caracterização os resultados obtidos no Programa de Monitoramento Ambiental Oceânico da Bacia de Campos, no qual foram realizadas coletas na região compreendida entre 21°30' S e 23°30' S e 39°30' W e 42°00' W (FUNDESPA, 1994).

Este programa apresentou três campanhas oceanográficas sazonais, que foram iniciadas no inverno de 1991. A malha amostral definida para a coleta de água e plâncton baseou-se em radiais a partir da costa, com amostragens entre as isóbatas de 20 e 2.000 m, tendo sido avaliados diversos parâmetros físicos, químicos, físico-químicos e biológicos na água.

Além deste estudo, que possui um caráter regional e exploratório, foram utilizados os dados das campanhas oceanográficas de diversos programas de levantamento de dados locais, para caracterização ou monitoramento ambiental de empreendimentos ligados à área petrolífera. O resumo dos estudos considerados estão apresentados no **Quadro II.5.1.3-1**, a seguir.

Quadro II.5.1.3-1 - Estratégia amostral adotada nos estudos realizados na região da Bacia Campos.

Estudos / Referências	Malha Amostral	Período de Coleta
Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994)	44 estações em profundidades variando de 10 e 200 metros.	Junho de 1991 a março de 1992
ETE Cabiúnas (Petrobras, 2002)	28 estações ao redor do emissário e paralelamente à costa, em aproximadamente 20 metros de profundidade.	Abril e julho de 1998
Complexo PDET/AMEG (Petrobras/Habtec, 2002)	18 estações entre as isóbatas de 10 e 150 metros.	Agosto 2002
SS-06 (Petrobras/Concremat, 2007)	4 estações de coleta localizadas em profundidade de aproximadamente 120 metros.	Novembro de 2001, Agosto de 2002, Abril e Setembro de 2003, Março e Setembro de 2004, Maio e, Setembro de 2005, Maio de 2006, Março de 2007
Pampo e Pargo (Petrobras, 2001)	42 estações ao redor das plataformas de Pampo e Pargo, entre 100 e 110 metros de profundidade.	Janeiro e julho de 1998
Espadarte (Petrobras/Cenpes, 2001a)	11 estações de coleta entre 700 e 1.000 metros de profundidade	Setembro de 2000

Continua

Quadro II.5.1.3-1 (Conclusão)

Estudos / Referências	Malha Amostral	Período de Coleta
Espadarte (Petrobras/Fundação BioRio, 2004)	5 estações de coleta entre 750 e 850 m de profundidade, ao redor do FPSO Espadarte.	Abril de 2004
Barracuda e Caratinga (Petrobras/Cenpes, 2002a)	11 estações sobre entre as isóbatas de 900 e 1.200 metros.	Mai de 2002
P-40 (Petrobras/Cenpes, 2002b)	4 estações no entorno da P-40, entre 1.000 e 1.100 metros de profundidade.	Novembro de 2001
BC-4 (Chevron/Ecologus, 2006)	22 estações de coleta em aproximadamente 1.300 metros de profundidade	Abril e agosto de 2001
Albacora (Petrobras/Cenpes, 2002c)	12 estações de coleta entre 1.200 e 1.900 m.	Mai de 2002
Roncador (Petrobras/Cenpes, 2002d)	5 estações dispostas entre as isóbatas de 1.200 e 1.700 metros.	Setembro de 2001

A **Figura II.5.1.3-2** apresenta a localização espacial dos locais de realização dos estudos acima mencionados, os quais foram considerados neste diagnóstico.

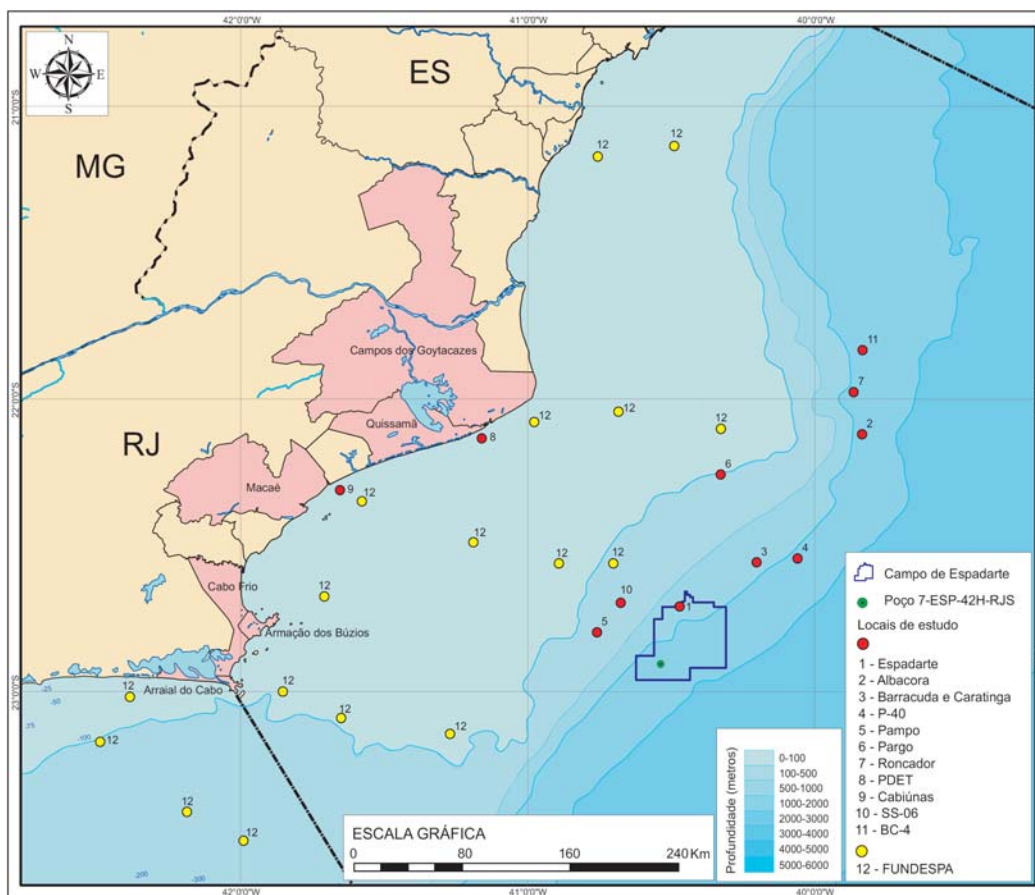


Figura II.5.1.3-1 - Localização espacial dos estudos realizados na região da Bacia Campos.

II.5.1.3.1 - Qualidade da Água Marinha

Para a caracterização da qualidade da água deste diagnóstico foi utilizado, primeiramente, o estudo realizado por Niencheski *et al.* (1999), que analisaram os dados existentes no Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), da Marinha do Brasil, e resumiram os valores concentração de nitrito, nitrato, fosfato e fósforo total, bem como de oxigênio dissolvido (OD) e pH, em águas brasileiras até 200 metros de profundidade, região diretamente influenciada pela interação entre a AT e a ACAS.

Para caracterização da qualidade da água na região ultraprofunda do campo de Espadarte (cerca de 1260m de profundidade) foram considerados os estudos realizados entre a isóbata de 1.000 e 2.000m de profundidade. Não foram utilizados nesta caracterização os dados dos estudos situados no campo de Espadarte (**Quadro II.5.1.3-1**), pois (i) os mesmos se localização em regiões menos profundas no campo e (ii) existem estudos na região ultraprofunda nas proximidades da área de estudos.

A metodologia utilizada nos estudos considerados seguiu rigorosamente os padrões de coleta preservação e análise das amostras de água. A coleta foi realizada através de garrafas Niskin e Go-Flo. O **Quadro II.5.1.3-2** apresenta um resumo das metodologias utilizadas nos estudos considerados para análise da qualidade da água da região ultraprofunda do campo de espadarte.

Quadro II.5.1.3-2 - Resumo das metodologias de preparo e análise das amostras de água nos estudos realizados na Bacia de Campos.

Parâmetro	Relatório	Método	Observações
Oxigênio Dissolvido (OD)	Barracuda e Caratinga	Winkler	In situ - Garrafa Niskin
	Albacora	Winkler	
	P-40	Winkler	
	Roncador	Oxímetro	
	BC-4	Não informado	
Potencial Hidrogeniônico (pH)	Barracuda e Caratinga	Potenciométrico	In situ - Garrafa Niskin
	Albacora		
	P-40		
	Roncador		
	BC-4		

Continua

Quadro II.5.1.3-2 (Conclusão)

Parâmetro	Relatório	Método	Observações
Carbono Orgânico Total (COT)	Barracuda e Caratinga	Combustão - Analisador de CHNS/O	Amostras preservadas em tudo estéril e análises (COD + COP)
	Albacora		
	P-40	Combustão TOC 5000	Amostra mantida refrigerada
	Roncador	Titrimetria	
	BC-4	Não informado	
Nutrientes (fosfato, nitrito, nitrato amônia)	Barracuda e Caratinga	Grashoff <i>et al.</i> , 1983	Amostra congelada em campo
	Albacora		
	P-40		
	Roncador		
	BC-4		
Clorofila-a	Barracuda e Caratinga	Extração com acetona/ Espectrofotometria	Filtração em campo/ Congelamento do filtro
	Albacora		
	P-40	Extração com acetona/ Espectrofotometria e fluorescência	Filtração em campo/ Congelamento do filtro
	Roncador		
	BC-4	Não informado	Não informado
HTP	Barracuda e Caratinga	Cromatografia gasosa com detector de ionização por chama	Garrafa Go-flo Extração a bordo com diclorometano
	Albacora	Cromatografia gasosa com detector de ionização por chama	Garrafa Go-flo Extração a bordo com diclorometano
	P-40	Cromatografia gasosa	Garrafa Go-flo Extração com n-hexano e acetona
	Roncador	Não analisado	Não analisado
	BC-4	Não informado	Não informado
HPA	Barracuda e Caratinga	Fluorescência UV	Garrafa Go-flo Extração a bordo com diclorometano
	Albacora		
	P-40	Cromatografia gasosa com espectrofotometria de massa	Garrafa Go-flo Extração com n-hexano e acetona
	Roncador	Não analisado	Não analisado
	BC-4	Não informado	Não informado
Fenóis	Barracuda e Caratinga	Cromatografia gasosa	Garrafa Go-flo Extração com n-hexano e acetona
	Albacora		
	P-40		
	Roncador	Não analisado	Não analisado
	BC-4	Não informado	Não informado
Sulfeto	Barracuda e Caratinga	Espectrofotometria	Amostra mantida refrigerada
	Albacora	Espectrofotometria	
	P-40	Titrimetria	
	Roncador	Não analisado	Não analisado
	BC-4	Não informado	Não informado

Como um panorama inicial das condições biogeoquímicas, Niencheski *et al.* (1999) analisaram os dados existentes no Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), da Marinha do Brasil, e resumiram os valores concentração de nitrito, nitrato, fosfato e fósforo total, bem como de oxigênio dissolvido (OD) e pH, em águas brasileiras até 200 metros de profundidade, região diretamente influenciada pela interação entre a AT e a ACAS (**Quadro II.5.1.3-3**).

Quadro II.5.1.3-3 - Valores máximos e mínimos de ocorrência de alguns parâmetros físicos e químicos na costa brasileira.

Profundidade (m)		Verão				Outono				Primavera				Inverno			
		0	50	100	200	0	50	100	200	0	50	100	200	0	50	100	200
pH	Max	8,40	8,45	8,25	8,40	8,25	8,35	8,25	8,20	8,00	8,00	8,00	8,00	8,35	8,40	8,40	8,35
	Min	7,50	7,85	7,80	7,60	7,75	7,75	7,75	7,75	*	*	*	*	7,85	7,90	7,80	7,65
OD (mL.L ⁻¹)	Max	6,00	6,20	6,40	6,00	5,60	5,40	5,20	5,00	5,50	5,50	5,30	4,70	5,80	5,50	5,40	5,20
	Min	4,40	3,80	3,60	3,00	4,00	3,90	3,60	3,00	*	*	*	*	3,80	4,30	4,20	2,80
Nitrito (µatg.L ⁻¹)	Max	0,18	0,18	0,32	0,15	0,46	0,40	0,85	0,35	0,95	0,90	0,90	0,75	0,28	0,30	0,30	0,28
	Min	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0,10	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,05	0,00	0,00	0,06	0,04
Nitrato (µatg.L ⁻¹)	Max	1,8	2,6	8,0	6,0	2,8	8,0	9,0	20,0	3,2	5,0	5,5	10,	3,5	5,5	10,0	16,0
	Min	0,2	0,2	0,5	0,5	0,2	1,0	1,0	1,0	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	2,0
Fosfato (µatg.L ⁻¹)	Max	0,5	0,5	0,8	1,4	0,8	0,7	1,4	1,9	0,90	1,0	1,1	1,5	0,7	0,7	0,8	1,6
	Min	0,05	0,05	0,10	0,30	0,05	0,05	0,10	0,20	0,05	0,05	0,10	0,30	0,05	0,05	0,05	0,10
Fósforo Total (µatg.L ⁻¹)	Max	1,8	2,4	1,6	2,2	1,1	1,0	1,0	0,8	0,9	0,9	1,1	1,6	0,9	0,9	1,2	1,2
	Min	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,2

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

* – valores não informados

De uma forma geral, a distribuição dos parâmetros que caracterizam a qualidade da água marinha na região é fortemente afetada pela interação da Água Tropical (AT) e da Corrente do Brasil (CB) com a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), a Água Intermediária Antártica (AIA) e a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN).

A - Oxigênio Dissolvido

Na bacia de Campos, as altas concentrações de OD estão associadas a regiões de ressurgência no verão, representadas por pequenos vórtices de ocorrência do composto (NIENCHESKI *et al.*, 1999). Na coluna d'água, na faixa de profundidade da AIA (Água Intermediária Antártica), à cerca de 800 m, os valores também são altos (4,40 mL.L⁻¹), o que é uma das características desta massa d'água (PETERSON & WHITWORTH, 1989 e REID, 1989).

Com o decréscimo das ressurgências no outono, os vórtices e os valores de OD diminuem. A primavera é marcada pela presença de núcleos com concentrações decrescentes, atingindo um máximo de $4,70 \text{ mL.L}^{-1}$ na costa do Espírito Santo (NIENCHESKI *et al.*, 1999). Alguns estudos (Programa REVIZEE – Central III, apresentado em Cupelo, 2000 e Niencheski *et al.*, 1999) indicam valores máximos de $5,50 \text{ mL.L}^{-1}$ durante a primavera, ao largo do Cabo de São Tomé, tendendo a diminuir após a profundidade de 100 m.

Através da comparação do **Quadro II.5.1.3-4**, que mostra um resumo dos valores de OD registrados nos levantamentos listados acima, com os valores reportados por Niencheski *et al.*, 1999 (**Quadro II.5.1.3-2**), verifica-se que o nível de OD na porção sul da Bacia de Campos está dentro do observado para outros estudos na costa brasileira.

Quadro II.5.1.3-4 - Valores de oxigênio dissolvido (OD), em mL.L^{-1} , de trabalhos realizados na região ultraprofunda da Bacia de Campos.

Local	OD (mL.L^{-1})		
	n	Mínimo – Máximo	Média \pm Desvio Padrão
Barracuda e Caratinga	18	4,24 – 4,63	4,46 \pm 0,10
Albacora	60	4,16 – 4,97	4,54 \pm 0,17
P-40	43	4,88 – 6,10	5,55 \pm 0,24
Roncador	56	3,35 – 6,07	4,63 \pm 0,68
BC-4	39	3,12 – 6,18	-

Na **Figura II.5.1.3-2**, é possível visualizar a distribuição da concentração média de OD por profundidade para alguns dos campos mencionados. Dessa forma é possível verificar maiores concentrações de OD no verão, com concentração máxima em subsuperfície.

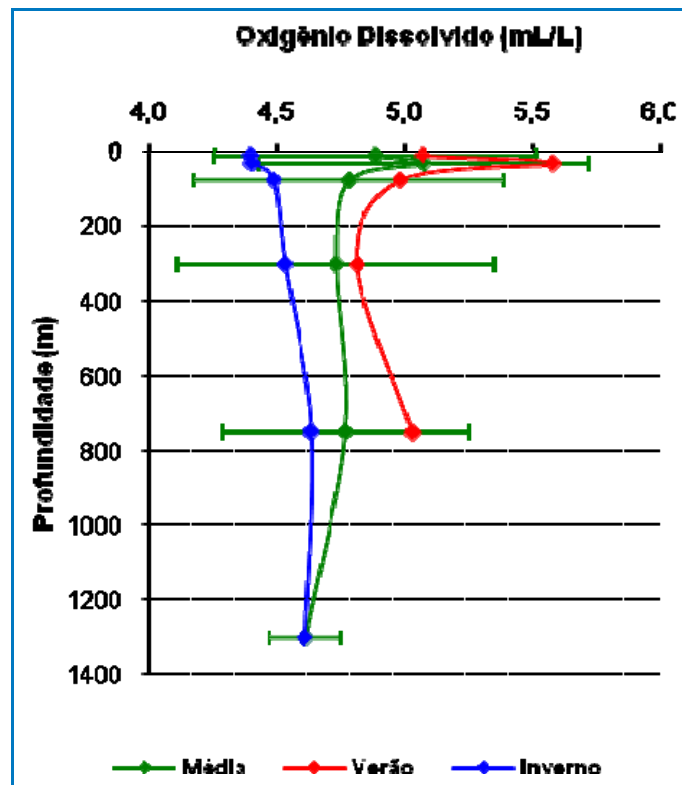


Figura II.5.1.3-2 - Distribuição vertical dos valores de oxigênio dissolvido (OD) na região ultraprofunda da Bacia de Campos.

B - pH

A distribuição dos valores de pH no verão é caracterizada pela convergência de núcleos de máxima concentração, em frente à costa dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. Este fenômeno também está associado à ocorrência de ressurgência na região. No outono, há um espalhamento de vórtices de máximos por toda a área, dispersando a referida alta concentração na costa do Rio de Janeiro (FUNDESPA, 1994).

Através da comparação do **Quadro II.5.1.3-5**, que mostra um resumo dos valores de pH registrados nos levantamentos listados acima, com os valores reportados por Niencheski *et al.*, 1999 (**Quadro II.5.1.3-2**), verifica-se que o nível do pH na porção sul da Bacia de Campos está dentro do observado para outros estudos na costa brasileira.

Quadro II.5.1.3-5 - Valores de pH de trabalhos realizados na região ultraprofunda da Bacia de Campos.

Local	pH		
	n	Mínimo – Máximo	Média ± Desvio Padrão
Barracuda e Caratinga	18	7,57 – 8,00	7,85 ± 0,17
Albacora	60	7,24 – 8,27	7,89 ± 0,23
P-40	43	7,31 – 8,24	8,06 ± 0,22
Roncador	56	7,00 – 8,00	7,74 ± 0,26
BC-4	39	7,99 – 8,34	-

Na **Figura II.5.1.3-3**, é possível visualizar a distribuição da concentração média de pH por profundidade para alguns dos campos mencionados.

De maneira geral os valores de pH apresentaram estratificação vertical, com maiores valores na superfície e diminuição dos valores com o aumento da profundidade (**Figura II.5.1.3-3**). Os valores de pH apresentaram pequena variabilidade espacial e temporal entre as estações de coleta, com os resultados permanecendo dentro da faixa de variação relatada para a região. Os valores de pH obtidos variaram de 7,00 a 8,34.

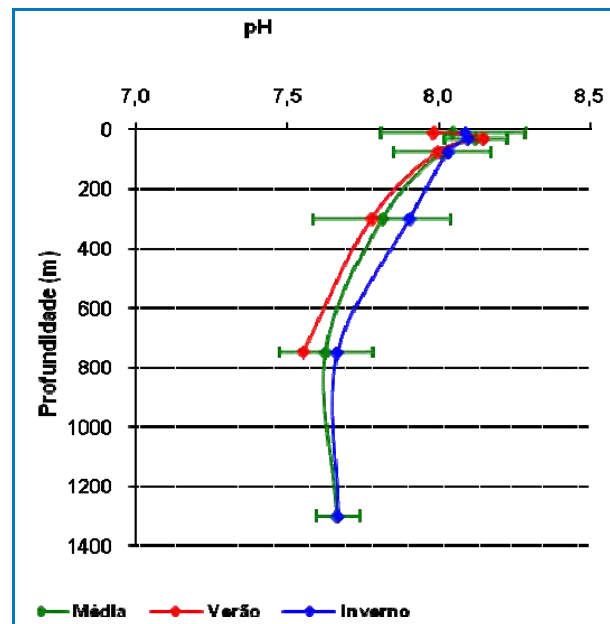


Figura II.5.1.3-3 - Distribuição vertical de pH de trabalhos realizados na região ultraprofunda da Bacia de Campos.

C - Carbono orgânico total (COT)

Dados coletados através do Programa REVIZEE – Central III demonstraram que as concentrações de COD na região oceânica brasileira, entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Baía de Todos os Santos, variam de 0,37 mg.L⁻¹ a 2,50 mg.L⁻¹ (CUPELO, 2000).

Os perfis verticais de distribuição do Carbono Orgânico Total (COT) na coluna d'água na região do TLD mostraram padrão decrescente, com mínimo na profundidade próximo à termoclina (**Figura II.5.1.3-4**). Esse padrão possivelmente está associado com a maior quantidade de organismos presentes nessa região, devido à barreira de densidade em função das características de temperatura e salinidade. Os valores de COT oscilaram entre 0,68 mg.L⁻¹ e 6,52 mg.L⁻¹.

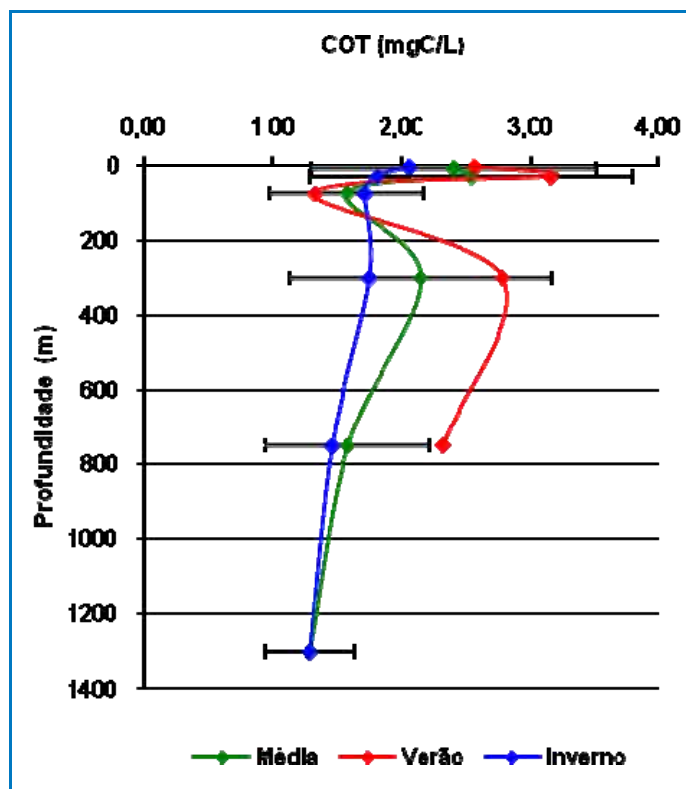


Figura II.5.1.3-4 - Distribuição vertical de Carbono Orgânico Total (COT), em mgC.L⁻¹, de trabalhos realizados na região ultraprofunda da Bacia de Campos.

Assim, observando o **Quadro II.5.1.3-6** (abaixo) percebe-se que os valores encontrados na área de estudo são ligeiramente superiores ao reportados para aquela faixa do litoral brasileiro.

Quadro II.5.1.3-6 - Valores de Carbono Orgânico Total (COT), em mg.L^{-1} , de trabalhos realizados na região ultraprofunda da Bacia de Campos.

Local	COT (mgC.L^{-1})		
	n	Mínimo – Máximo	Média \pm Desvio Padrão
Barracuda e Caratinga	18	0,68 – 2,24	1,32 \pm 0,41
Albacora	60	0,52 – 3,68	1,76 \pm 0,64
P-40	43	1,16 – 6,52	2,70 \pm 1,21

D - Nutrientes

1) Fosfato

No verão, da Bahia ao Rio de Janeiro, são observadas formações de vórtices e ressurgências locais. Estas últimas podem ocasionar um aumento nos valores de fosfato, que se traduzem em um aumento na produtividade biológica no local (Gaeta *et. al.*, 1994 *apud* Mahiques *et. al.*, 2002). Durante o inverno, em toda a plataforma da região leste do Brasil, as concentrações encontram-se relativamente mais reduzidas e homogêneas (Niencheski *et al.*, 1999).

Os valores de fosfato encontrados pelo Programa REVIZEE – Central III (em Cupelo, 2000) em águas oligotróficas da Bacia de Campos variaram entre 0,10 μM e 2,05 μM , enquanto Niencheski *et al.* (1999) reportam valores entre 0,05 e 1,90 μM para a costa brasileira (**Quadro II.5.1.3-1**).

A compilação dos dados de fosfato e fósforo total encontrados na Bacia de Campos é apresentada no **Quadro II.5.1.3-7**, a seguir. Observa-se que os valores encontrados na porção sul da Bacia de Campos estiveram de acordo com o esperado para a costa brasileira (Niencheski *et al.*, 1999).

Quadro II.5.1.3-7 - Valores de fosfato, em μM , de trabalhos realizados na região ultraprofunda da Bacia de Campos.

Local	Fosfato (μM)		
	n	Mínimo - Máximo	Média \pm Desvio Padrão
Barracuda e Caratinga	18	<0,02 – 2,15	0,81 \pm 0,85
Albacora	60	<0,02 – 2,63	0,91 \pm 0,89
P-40	43	0,04 – 2,18	0,36 \pm 0,60
Roncador	56	0,04 – 2,17	0,57 \pm 0,71
BC-4	39	<0,02 – 0,36	-

Na **Figura II.5.1.3-5**, é possível visualizar a distribuição da concentração média de fosfato por profundidade para alguns dos campos mencionados. Observa-se que no conjunto de dados analisados a distribuição vertical deste composto apresenta um padrão bem definido, com menores concentrações em superfície e aumento ao longo da coluna d'água.

Esse comportamento está sendo influenciado pela absorção desta forma de fósforo pelo fitoplâncton nas profundidades superficiais e pelo aporte de fósforo oriundo da ACAS e da resuspensão de sedimentos.

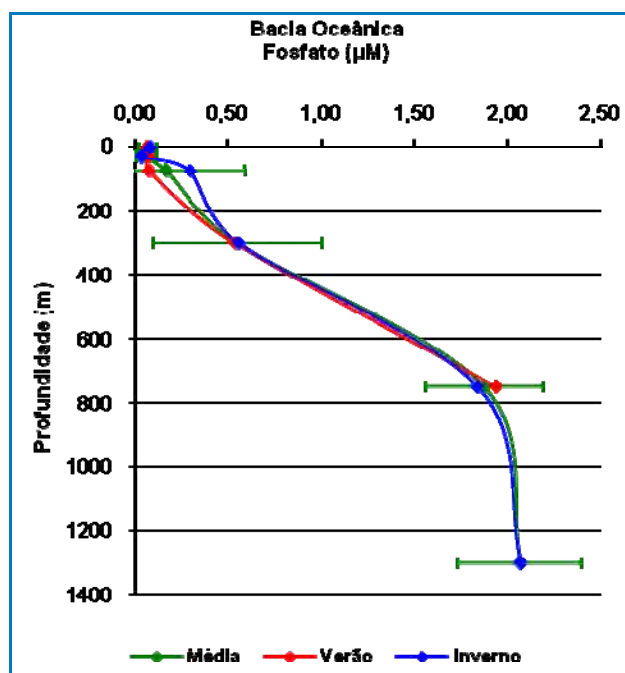


Figura II.5.1.3-5 - Distribuição vertical de fosfato, em μM , de trabalhos realizados na região ultraprofunda da Bacia de Campos.

E - Nitrito, nitrato e amônia

Os compostos nitrogenados são elementos importantes para o desenvolvimento fitoplanctônico, sendo limitantes da atividade fotossintética, pelo fato de sua velocidade de regeneração, através de reações bioquímicas, ser inferior à taxa de utilização pelos organismos fotossintéticos (Sverdrup, 1942).

No verão, nos 100 primeiros metros de profundidade, podem ser distinguidos vórtices na região leste da costa brasileira, possivelmente ressurgidos da ACAS, que flui em profundidades abaixo da Corrente do Brasil. No outono, com o enfraquecimento do fenômeno de formação de vórtices, o registro de nitrito fica muito tênue. No inverno, suas concentrações são pequenas, atingindo valores de 0,30 μM . Com a chegada da primavera e o reinício da ressurgência, voltam os vórtices, fazendo com que as concentrações de nitrito, ao longo da região leste, cheguem a um máximo de 0,90 μM (Weber *et al.*, 1994).

Em observações realizadas durante dois eventos de ressurgência, um em Cabo Frio e outro em Arraial do Cabo, as concentrações de nitrito atingiram 1,50 μM (Valentin, 1983) e 0,56 μM , respectivamente (Cupelo, 1997).

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

Os valores de concentração de nitrito obtidos na área ultraprofunda da Bacia de Campos apresentados neste diagnóstico estão de acordo com esses valores reportados na literatura (**Quadro II.5.1.3-8**).

Quadro II.5.1.3-8 - Valores de nitrito, em μM , de trabalhos realizados na região ultraprofunda da Bacia de Campos.

Local	Nitrito (μM)		
	n	Mínimo - Máximo	Média \pm Desvio Padrão
Barracuda e Caratinga	18	<0,02 – 0,13	0,04 \pm 0,03
Albacora	60	<0,02 – 0,40	0,05 \pm 0,06
P-40	43	0,02 – 0,15	0,05 \pm 0,03
Roncador	56	0,02 – 0,30	0,07 \pm 0,06
BC-4	39	<0,02 – 0,33	-

A presença de um padrão vertical nas concentrações de nitrito nos diversos estudos realizados na porção sul da Bacia de Campos pode ser observada na **Figura II.5.1.3-6**, onde estão plotadas as médias das concentrações deste nutriente em cada profundidade amostrada, por estudo. Percebe-se que, na maioria dos estudos, as maiores concentrações de nitrito são encontradas nas camadas intermediárias da coluna d'água, sem padrão sazonal bem definido.

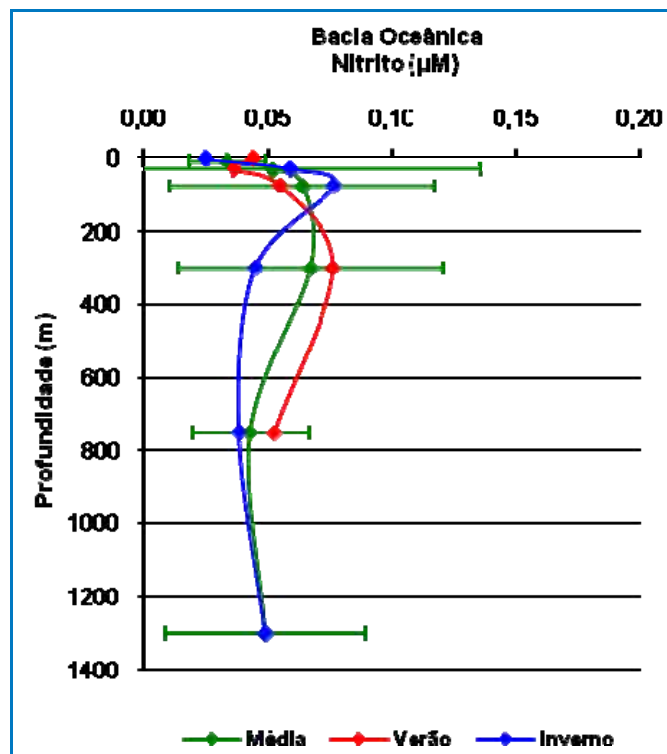


Figura II.5.1.3-6 - Distribuição vertical dos valores de nitrito, em μM , de trabalhos realizados na região ultraprofunda da Bacia de Campos.

Com relação ao nitrato, Niencheski *et al.* (1999) reportam baixos valores durante o verão, nas regiões de domínio da Corrente do Brasil (áreas costeiras e oceânicas, até 100 metros de profundidade). No outono, a ocorrência de maiores valores de nitrato no ponto de localização da ACAS na coluna d'água (geralmente por volta dos 200 m de profundidade) sugere uma relação direta com o fenômeno da ressurgência, enquanto que na primavera, suas isolinhas alinham-se em ordem crescente, paralelas à costa, com registro de altas concentrações nas proximidades de áreas de água ressurgida (Weber *et al.*, 1994).

Na região de Cabo Frio e Arraial do Cabo, a ressurgência da ACAS pode ser comprovada pelo aumento das concentrações de nitrato na coluna d'água, que podem atingir até 15,0 μM em Cabo Frio (Valentin, 1983) e 4,70 μM em Arraial do Cabo (Cupelo, 1997).

Dados pretéritos de nitrato na costa brasileira apontam variações entre 0,20 μM e 20,0 μM (Niencheski *et al.*, 1999). O **Quadro II.5.1.3-9** apresenta o resumo dos dados de nitrato reportados neste diagnóstico para a porção sul da Bacia de Campos. Observa-se que as concentrações de nitrato nestes estudos estão na mesma ordem de grandeza dos dados reportados na literatura.

Quadro II.5.1.3-9 - Valores de nitrato, em μM , de trabalhos realizados na região ultraprofunda da Bacia de Campos.

Local	Nitrato (mL.L^{-1})		
	n	Mínimo - Máximo	Média \pm Desvio Padrão
Barracuda e Caratinga	18	0,27 – 37,8	11,4 \pm 13,0
Albacora	60	0,21 – 27,2	8,02 \pm 7,88
P-40	43	0,07 – 25,3	3,90 \pm 7,10
Roncador	56	0,17 – 48,6	7,18 \pm 11,1
BC-4	39	0,22 – 4,16	-

Na **Figura II.5.1.3-7** são apresentados os perfis verticais de nitrato registrados para os diferentes trabalhos acima citados. Através desta figura pode-se inferir que a distribuição deste nutriente na região ultraprofunda da Bacia de Campos tem um padrão de estratificação constante e bem definido, com valores mais elevados nas profundidades superiores devido à presença da ACAS.

Os baixos valores superficiais podem estar relacionados com a assimilação desta forma nitrogenada pelo fitoplâncton.

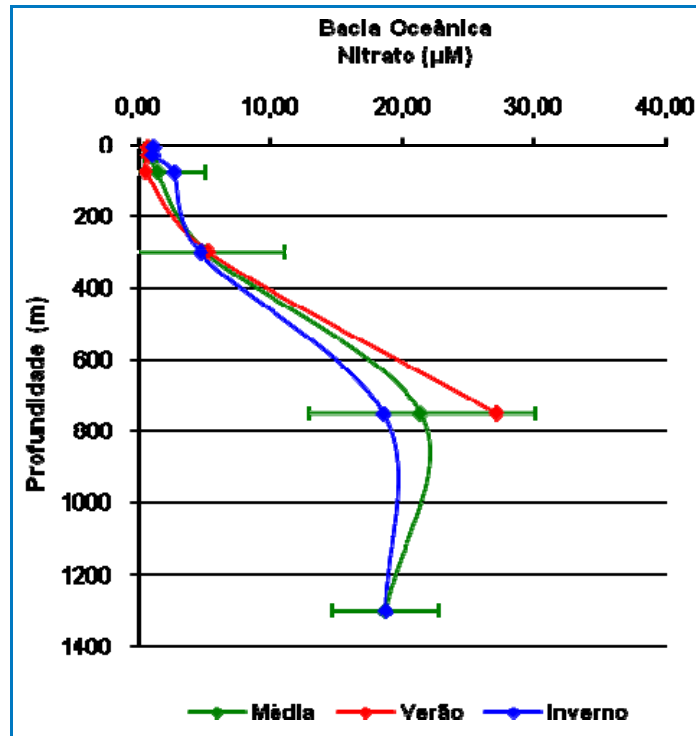


Figura II.5.1.3-7 - Distribuição vertical de nitrato, em μM , de trabalhos realizados na região ultraprofunda da Bacia de Campos.

A amônia é normalmente encontrada em baixas quantidades na região da Bacia de Campos, principalmente devido a sua rápida mineralização e consumo pelos produtores primários (FUNDESPA, 1994). O registro de altas concentrações de amônia, assim como de nitrito, em águas oceânicas pode indicar a ocorrência de ressurgências (Grasshoff *et al.*, 1983), o que é evidenciado pelos máximos registrados por Valentin (1983), de $1,50 \mu\text{M}$, e Cupelo (1997), $2,76 \mu\text{M}$, durante eventos de ressurgência em Arraial do Cabo.

A maioria dos resultados de concentração de amônia observados na região ultraprofunda da Bacia de Campos foram menores que o limite de detecção analítico encontrado. Dos estudos considerados, somente no bloco BC-04 foram encontrados valores detectáveis, chegando a $0,48 \mu\text{M}$.

F - Clorofila a

A análise do teor de clorofila na água é um importante indicativo da biomassa fitoplanctônica. Sua maior concentração na profundidade relativa à termoclina corrobora a hipótese desta feição oceanográfica representar uma barreira física à sedimentação dos organismos fitoplanctônicos. Ressalta-se que esta região é considerada a mais produtiva da zona fótica dos oceanos tropicais estratificados (Mann & Lazier, 1991; Cupelo, 2000). Este mesmo padrão com maiores concentrações de clorofila associados à termoclina foi encontrado nos dados analisados (Figura II.5.1.3-8).

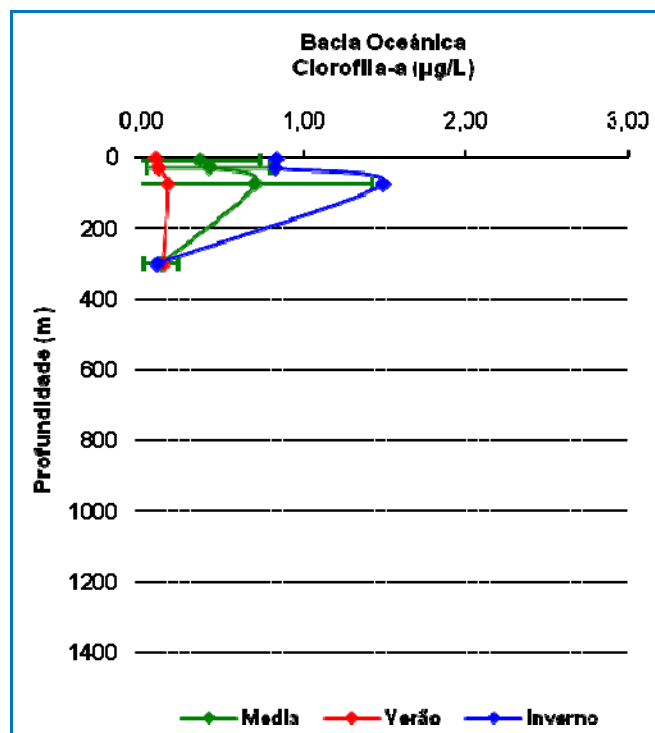


Figura II.5.1.3-8 - Distribuição vertical de Clorofila-a, em $\mu\text{g.L}^{-1}$, de trabalhos realizados na região ultraprofunda da Bacia de Campos.

Dados do Programa REVIZEE – Central III (apresentado em Cupelo, 2000) apontaram valores de clorofila entre $0,04 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $1,63 \mu\text{g.L}^{-1}$ para a região da costa central, valores estes característicos de regiões oligotróficas, sustentadas pela produção primária regenerada. Essa produção primária é basicamente

mantida pelos nutrientes oriundos da degradação bacteriana do material orgânico na própria coluna d'água, chama de looping microbiano.

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

Os valores de clorofila *a* encontrados na porção sul da Bacia de Campos encontram-se sumarizados no **Quadro II.5.1.3-10**, abaixo. Analisando-se esta tabela, verifica-se que, os valores de clorofila *a* de todos os campos estudados encontram-se na mesma ordem de grandeza registrada na literatura.

Quadro II.5.1.3-10 - Valores de Clorofila-*a*, em $\mu\text{g.L}^{-1}$, de trabalhos realizados na região ultraprofunda da Bacia de Campos.

Local	Clorofila- <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$)		
	n	Mínimo - Máximo	Média \pm Desvio Padrão
Barracuda e Caratinga	10	0,05 – 2,06	0,82 \pm 0,61
Albacora	30	0,03 – 2,40	0,86 \pm 0,53
P-40	31	<0,01 – 0,27	0,12 \pm 0,07
Roncador	32	<0,02 – 0,27	0,12 \pm 0,07
BC-4	39	<0,02 – 0,33	-

G - Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)

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

As três campanhas realizadas (inverno-verão-inverno) demonstraram que a região levantada não apresentava características de águas marinhas significativamente impactadas por óleo (FUNDESPA, 1994).

Entretanto, durante a campanha de verão, foram encontradas concentrações de até 26,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (superfície) e 31,2 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (fundo) de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTPs dispersos e/ou dissolvidos), na região próxima a Macaé

(FUNDESPA, 1994), o que sugere uma contaminação gerada pelo transporte de águas costeiras contaminadas para a plataforma continental pelas chuvas de verão. O **Quadro II.5.1.3-11**, a seguir, sintetiza as informações obtidas nas três campanhas:

Quadro II.5.1.3-11 - Síntese dos resultados de hidrocarbonetos nas amostras de água das 3 campanhas de monitoramento realizadas por FUNDESPA (1994).

Campanha	Nº de Amostras	Evidências
Inverno 91	33 de água	0,16 – 1,88 $\mu\text{g.L}^{-1}$ típicas de águas não contaminadas
Verão 92	265 de água	121 amostras > 2,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$; 23 amostras > 10,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$
Inverno 92	222 de água	193 amostras < 2,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$ 26 amostras > 2,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 3 amostras > 10,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$

Fonte: FUNDESPA (1994).

Os resultados de HTPs acima de 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$ são típicos de ambientes influenciados por introdução antropogênica de hidrocarbonetos de petróleo, tendo sido encontrados em áreas costeiras próximas a terminais petrolíferos (FUNDESPA, 1994).

Nos estudos considerados as concentrações totais de hidrocarbonetos na água foram encontradas menores que o limite de detecção analítico, exceto nos estudos realizados próximo à região da Plataforma P-40, que apresentaram valor máximo de n-alcenos de 8,30 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Já nos estudos no Bloco BC-4, os valores máximos chegaram a 74,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em uma das estações de coleta.

H - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA)

A título de comparação, podem ser citados os níveis de HPAs (somatório de 15 ou 16 compostos individuais), para águas oceânicas, sem a presença de contaminação por petróleo. Geralmente eles ficam abaixo do nível de detecção dos métodos usados (entre 0,01 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 0,03 $\mu\text{g.L}^{-1}$) (Laws, 1993), embora possam chegar a 0,05 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Utvik, 1999). Esta variabilidade encontrada para o que seriam valores de referência (*background*) está associada às dificuldades analíticas de trabalho em baixas concentrações, aos métodos de coleta e de análise usados e a variáveis ambientais, tal como o teor de material particulado em suspensão, que podem interferir nos resultados devido à tendência dos HPAs estarem associados a fases sólidas (Karickhoff *et al*, 1979 *apud* Ko & Baker, 2004)

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

É importante ressaltar que a análise de hidrocarbonetos por fluorescência UV não corresponde somente a HPAs, podendo apresentar vestígios de outros compostos, além de ser uma técnica meramente qualitativa. A análise utilizando a cromatografia gasosa de alta resolução (HPLC), juntamente com a identificação em espectrofotômetro de massa, é a ferramenta analítica mais recomendada para análise de hidrocarbonetos aromáticos, uma vez que permite a quantificação e a caracterização dos hidrocarbonetos existentes na água (GESAMP, 1993).

Considerando o que se conhece sobre a distribuição de HPAs em águas oceânicas e em águas próximas a campos de produção de petróleo, são poucos os dados disponibilizados sobre a distribuição de HPAs individuais para águas brasileiras.

Nos estudos considerados na região ultraprofunda da Bacia de Campos, os níveis de concentração de HPAs máximos foram encontrados nas proximidades da plataforma P-40, chegando a $3,67 \mu\text{g.L}^{-1}$. Nos demais os níveis de concentração foram encontrados abaixo do limite de detecção analítico.

I - Fenóis

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

A maioria das amostras analisadas para quantificação de fenóis em Barracuda e Caratinga apresentou valores abaixo do limite de detecção do método, que foi de $0,080 \mu\text{g.L}^{-1}$.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) não estabelece critérios para fenóis em água do mar, por outro lado a Comunidade Européia estabelece que a concentração deve ser $<0,005\text{mg/L}$ (CDTN, 1990), e legislação CONAMA 357 admite nível de até $0,003\text{mg/L}$ para águas doces de Classe 1 (destinadas inclusive ao abastecimento doméstico).

Sendo assim, a concentração de fenóis encontrada nos estudos da região ultraprofunda da Bacia de Campos pode ser considerada baixa, embora os resultados sejam pontuais tanto no tempo quanto no espaço.

J - Sulfetos

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

Foram encontradas concentrações detectáveis de sulfeto somente na região da Plataformas P-40, com valores chegando a $1,60 \text{mg.L}^{-1}$. Nos demais estudos, todas as amostras apresentaram valores de sulfeto inferiores a $0,02 \text{mg.L}^{-1}$. Esse comportamento com valores de concentração de sulfeto baixos é esperado, uma vez que em condições oxidantes e de alta renovação de águas, como é o caso da Bacia de Campos, os sulfetos presentes no ambiente são rapidamente convertidos para sulfato.

II.5.1.3.2 - Qualidade do Sedimento

Para elaboração do diagnóstico da qualidade do sedimento da região do Campo de Espadarte foram utilizados os dados das campanhas oceanográficas das mesmas campanhas de monitoramento apresentadas para o diagnóstico da qualidade da água (**Quadro II.5.1.3-1**) os quais foram realizados para caracterização ou monitoramento ambiental de empreendimentos ligados à área petrolífera.

Cabe ressaltar que toda a discussão dos resultados das análises de sedimento será realizada levando-se em conta principalmente a profundidade das estações de coleta, já que este é um dos principais fatores controladores da distribuição dos parâmetros considerados no sedimento.

Como a taxa de sedimentação na região é baixa, da ordem de 0,005 a 0,03 cm.ano⁻¹ (Mahiques *et al.*, 2002; Macario *et al.*, 2004; Mollenhauer *et al.*, 2004) e a camada de sedimento avaliada na maioria dos estudos é de 2 cm de espessura, as pequenas variações sazonais que ocorrem no sedimento não serão detectadas. Contudo, foi verificada essa variação através da comparação dos valores de teor de finos e de matéria orgânica, obtidos na Bacia de Campos por FUNDESPA (1994). O estudo escolhido mostrou-se melhor para verificação desta variação devido principalmente: (i) ao fato das duas campanhas terem sido realizadas em um período anterior à intensa atividade petrolífera na Bacia de Campos e (ii) a ampla distribuição espacial das estações de coleta na região. A variação média obtida foi menor que 10%, e podendo ocorrer naturalmente entre as amostras, já que o posicionamento das estações não é exatamente o mesmo, podendo variar em função da deriva da embarcação e do lançamento do próprio Box-corer.

O **Quadro II.5.1.3-12** lista as diferentes metodologias analíticas utilizadas em cada estudo, bem como os parâmetros analisados.

Quadro II.5.1.3-12 - *Resumo das metodologias de preparo e análise das amostras de sedimento nos estudos realizados na Bacia de Campos.*

Parâmetro	Relatório	Método	Observações
Carbonato	Barracacuda e Caratinga	Gravimetria	Digestão HCl (1,0N)
	Pargo e Pampo		
	Cabiúnas		
	Albacora		
	Roncador		
	Espadarte	Não analisado	Não analisado
	PDET/AMEG	Gravimetria	Digestão HCl (1,0N)
	PCE-01		
	P-40		
	P-47		
SS-06		HCl (1,0N)	
		Digestão HCl (1,0N)	

Continua

Quadro II.5.1.3-12 (Continuação)

Parâmetro	Relatório	Método	Observações
Matéria orgânica	Barracacuda e Caratinga	Gravimetria	Calcinação 450°C/24h
	Pargo e Pampo	Não analisado	Não analisado
	Cabiúnas	Não analisado	Não analisado
	Albacora	Gravimetria	Calcinação 450°C/24h
	Roncador	Não analisado	Não analisado
	Espadarte	COT x 2,2	Estimativa
	PDET/AMEG	Gravimetria	Calcinação 450°C/24h
	PCE-01	Calcinação	Secagem
	P-40	Gravimetria	Calcinação 450°C/24h
	P-47	Volumetria	Oxidação/Absorção NaOH
	SS-06	Calcinação	Secagem
Granulometria	Barracacuda e Caratinga	Peneiramento, pipetagem e gravimetria	Secagem Digestão HCl e H ₂ O ₂
	Pargo e Pampo		
	Cabiúnas		
	Albacora		
	Roncador		
	Espadarte		
	PDET/AMEG		
	PCE-01		
	P-40		
	P-47		
	SS-06		
Hidrocarbonetos Totais de Petróleo	Barracacuda e Caratinga	GC-FID	Extração Soxhlet com diclorometano
	Pargo e Pampo		
	Cabiúnas		
	Albacora	GC-Whole Oil	Extração hexano+acetona
	Roncador		
	Espadarte	GC-FID	Extração Ultrassom com diclorometano
	PDET/AMEG	GC-FID	Extração Ultrassom n hexano
	PCE-01	GC-DIC	Extração Soxhlet com diclorometano
	P-40	GC-Whole Oil	Extração hexano + acetona
	P-47	GC-MS	"Head Space" (EPA 8260)
	SS-06	GC	Extração diclorometano
Barracacuda e Caratinga	Barracacuda e Caratinga	Fluorescência UV	Extração Soxhlet com diclorometano
	Pargo e Pampo	GC-MS fluorescência UV	
	Cabiúnas	GC-MS	
	Albacora	Fluorescência UV	Extração hexano + acetona
	Roncador	GC-MS	
	Espadarte	GC-MS fluorescência UV	

Continua

Quadro II.5.1.3-12 (Continuação)

Parâmetro	Relatório	Método	Observações
Hidrocarbonetos Polícíclicos Aromáticos	PDET/AMEG	GC-MS	Extração Ultrassom n hexano:tolueno (1:1)
	PCE-01		Extração Soxhlet com diclorometano
	P-40		Extração hexano + acetona
	P-47		Extração Ultrassom hexano e tolueno
	SS-06		Extração hexano + acetona
Metais Pesados	Barracacuda e Caratinga	ICP-AES (Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn)	Digestão HF:HNO ₃
		ICP-AES + geração de hidretos (Hg)	Digestão (1HNO ₃ + 3HCl)
	Pargo e Pampo	ICP-AES (Fe, Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn)	Digestão HF:HNO ₃
		ICP-AES + geração de hidretos (Hg, Se, As)	Digestão (1HNO ₃ +3HCl) Digestão HF:HNO ₃ Digestão HNO ₃
	Cabiúnas	ICP-AES (Fe, Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn)	Digestão HF:HNO ₃
		ICP-AES + geração de hidretos (Hg, Se, As)	Digestão (1HNO ₃ +3HCl) Digestão HF:HNO ₃ Digestão HNO ₃
	Albacora	ICP-AES (Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn)	Digestão HF:HNO ₃
		ICP-AES + geração de hidretos (Hg)	Digestão (1HNO ₃ + 3HCl)
	Roncador	ICP-AES (Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn)	Digestão HF:HNO ₃ :HCl
		ICP-AES + geração de hidretos (Hg)	Digestão (1HNO ₃ + 3HCl)
	Espadarte	ICP-AES (Ba, V)	Digestão HNO ₃
	PDET/AMEG	ICP-AES (Ba, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Fe, V, Zn)	Digestão (1HNO ₃ + 3HCl)
		ICP-AES + geração de hidretos (Hg)	
	PCE-01	ICP-OES e HG/AAS	HCl:HNO ₃ :H ₂ O ₂ ; para Hg – HNO ₃ :H ₂ SO ₄ : KMnO ₄ :K ₂ S ₂ O ₈ .
	P-40	ICP-AES (Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn)	Digestão HF:HNO ₃ :HCl
		ICP-AES + geração de hidretos (Hg)	Digestão (1HNO ₃ + 3HCl)
	P-47	ICP-OES	Digestão completa
	SS-06	ICP	Digestão completa

Continua

Quadro II.5.1.3-12 (Continuação)

Parâmetro	Relatório	Método	Observações
Carbono total	Barracuda e Caratinga	Determinador de carbono	Acidificação
	Pargo e Pampo	Analizador elementar	Descarbonatação Acidificação
	Cabiúnas	Analizador elementar (combustão a seco)	Descarbonatação
	Albacora	Determinador de carbono	Acidificação
	Roncador	Determinador de carbono	Acidificação
	Espadarte	Analizador elementar	Descarbonatação Acidificação
	PDET/AMEG	Não analisado	Não analisado
	PCE-01	Titulação com dicromato	Secagem
	P-40	Hedges & Stern, 1984	Acidificação
	P-47	Volumetria	Oxidação/ Absorção NaOH
	SS-06	Titulação com dicromato/Analizador elementar	Secagem
Nitrogênio total	Barracuda e Caratinga	Analizador elementar CHNS/O	Oxidação a 925°C
	Pargo e Pampo	Analizador elementar	Descarbonatação Acidificação
	Cabiúnas	Analizador elementar (combustão a seco)	Descarbonatação
	Albacora	Analizador elementar CHNS/O	Oxidação a 925°C
	Roncador	Analizador elementar CHNS/O	Oxidação a 925°C
	Espadarte	Analizador elementar	Descarbonatação Acidificação
	PDET/AMEG	Não analisado	Não analisado
	PCE-01	Cromatografia de íons	Combustão adiabática
	P-40	Analizador elementar CHNS/O	Oxidação a 925°C
	P-47	Não analisado	Não analisado
	SS-06	Não analisado	Não analisado
Fósforo	Barracuda e Caratinga	Grasshoff <i>et al.</i> , 1983	Incineração Digestão HCl conc
	Pargo e Pampo		
	Cabiúnas		
	Albacora		
	Roncador		
	Espadarte		
	PDET/AMEG	Não analisado	Não analisado
	PCE-01	Colorimetria	Oxidação com persulfato
	P-40	Grasshoff <i>et al.</i> , 1983	Incineração Digestão HCl conc
	P-47	Não analisado	Não analisado
SS-06	Não analisado	Não analisado	

K - Textura sedimentar (granulometria, teor de carbonatos e matéria orgânica)

Levando-se em consideração os dados obtidos nas campanhas de caracterização ambiental descritas anteriormente, observa-se na Bacia de Campos que a composição granulométrica parece estar sendo controlada principalmente pela variação batimétrica, onde a presença de areia está associada à plataforma continental. Na maior parte das amostras analisadas na plataforma continental foram encontrados sedimentos caracterizados pela presença de areia média ou grossa e grande variação no teor de carbonatos, com valores de até 85%. Conforme relatado por FUNDESPA (1994), os sedimentos da plataforma continental com esta granulometria acumulam baixíssimos níveis de hidrocarbonetos, sejam esses biogênicos ou de petróleo.

Na plataforma continental entre 50 a 200 m de profundidade observa-se uma faixa de biodetritos na região central com elevados teores de carbonato e matéria orgânica, com valores médios de $44,3 \pm 23,1\%$ e $7,15 \pm 5,68\%$, respectivamente. Ainda na plataforma, encontra-se uma faixa de sedimentos contendo entre 50 e 75% de lamas na porção sul (sudoeste de Cabo Frio) e ao norte (próximo à desembocadura do Rio Paraíba do Sul). Uma outra região que merece destaque é a desembocadura do Canal das Flechas, que é a ligação da Lagoa Feia com o oceano, situada ao sul do Cabo de São Tomé, onde foram encontradas maiores concentrações da fração fina do sedimento (**Figura II.5.1.3-9**).

Na região do talude os sedimentos são caracterizados por um elevado teor de finos (silte + argila), com valores de até 94% de lama. A fração carbonática torna-se menos expressiva que na plataforma, com valor médio de $27,9 \pm 8,79\%$. Os resultados de teor de matéria orgânica no talude apresentaram valor médio de $3,77 \pm 5,28\%$, com alta variabilidade devido à diferença na profundidade das estações de coleta nos estudos realizados no entorno da P-47 e nos Campos de Barracuda e Caratinga, sendo de aproximadamente 250 e 950 m, respectivamente.

Nas profundidades maiores que 1.000 m foram encontrados os maiores valores médios da fração fina do sedimento (silte + argila) e matéria orgânica ($11,7 \pm 2,87\%$).

Analisando os dados da região (**Quadro II.5.1.3-13**), observa-se que a granulometria até a isóbata de 200 m é caracterizada por complexos de fácies sedimentares. À medida que a profundidade aumenta observa-se a presença de uma granulometria mais fina e homogênea, ou seja, com baixo desvio padrão entre as amostras.

No geral, este padrão de distribuição granulométrica, com sedimentos mais grosseiros próximos à fonte (continente) e sedimentos mais finos na área mais profunda, já foi registrado por Satyanarayana & Ramana (1994), para o mar da Arábia, além de ser amplamente descrito na literatura (Summerhayes & Thorpe, 1996 *apud* Petrobras/Cenpes, 2002c).

Quadro II.5.1.3-13 - Teor médio da fração fina (silte+argila), de carbonato e da matéria orgânica na Bacia de Campos (média e desvio padrão).

Profundidade (m)	Silte+Argila (%)	Carbonato (%)	Matéria Orgânica (%)
0 a 50 m	16,2 ± 30,7 - (75)	20,8 ± 25,2 - (70)	0,63 ± 0,45 - (9)
50 a 200 m	37,5 ± 32,4 - (139)	44,3 ± 23,1 - (139)	7,15 ± 5,68 - (64)
200 a 1.000 m	73,5 ± 27,2 - (20)	27,9 ± 8,79 - (22)	3,77 ± 5,28 - (28)
Maior que 1.000m	80,8 ± 12,1 - (26)	31,4 ± 17,0 - (21)	11,7 ± 2,87 - (21)

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

A **Figura II.5.1.3-9** apresenta um mapa da distribuição espacial da granulometria ao longo plataforma continental sul e sudeste Brasileira, onde é possível observar o sedimento mais arenoso próximo à costa e com tendência de diminuição do tamanho de grão, com presença de lama, em profundidades mais elevadas.

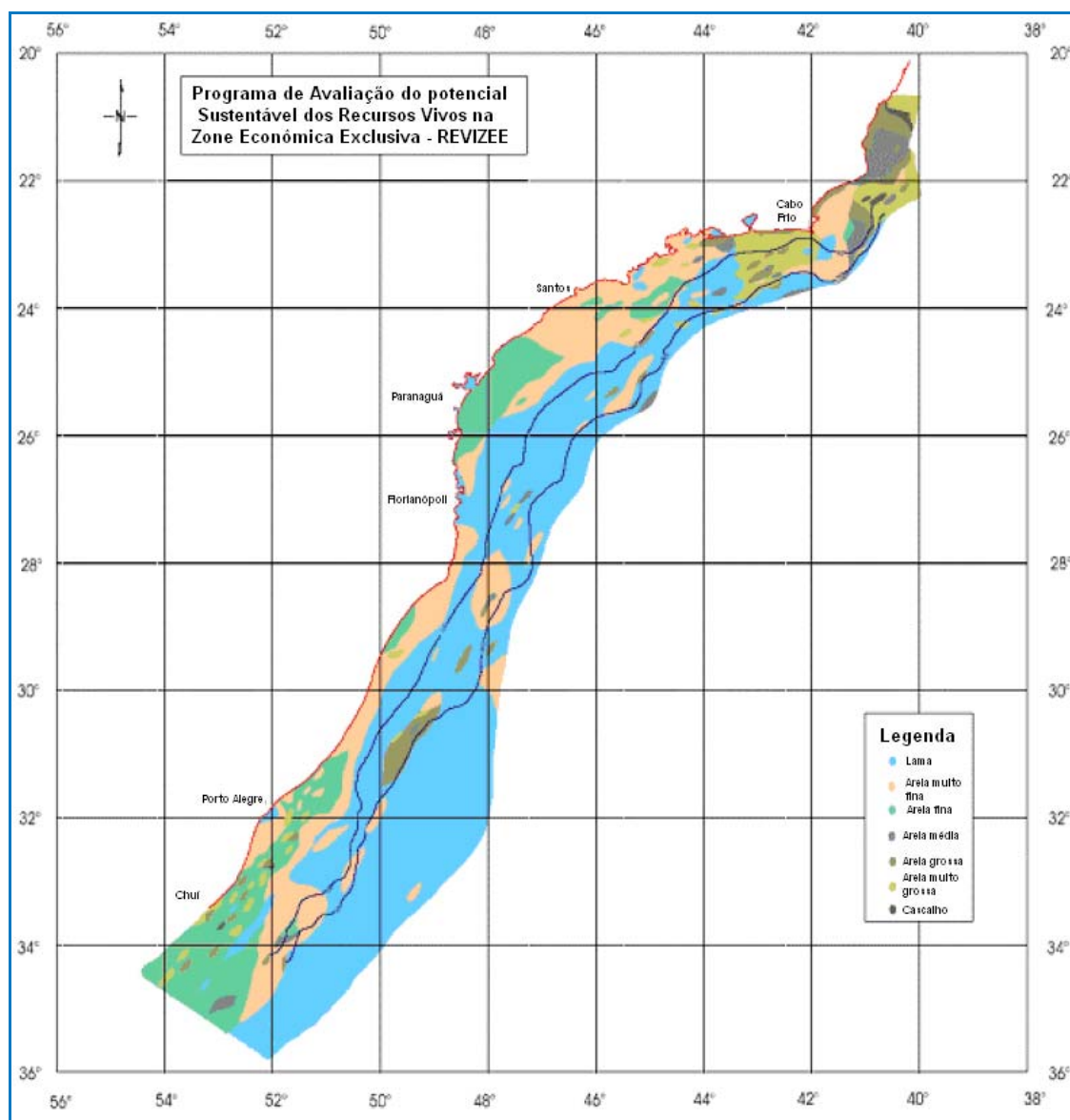


Figura II.5.1.3-9 - Distribuição espacial do teor de finos no sedimento da plataforma continental sul e sudeste.

Fonte: Modificado de Figueiredo & Tessler (2004).

L - Carbono orgânico, Nitrogênio e Fósforo

A caracterização química dos componentes da matéria orgânica tem elucidado alguns aspectos da geoquímica orgânica. Normalmente, isso envolve a determinação, no sedimento, de parâmetros tais como percentual de Carbono (C), Nitrogênio (N) e Fósforo (P) (Libes, 1992), já que estes são os principais elementos constituintes da matéria orgânica.

Os valores obtidos de carbono orgânico na região da Bacia de Campos apresentaram maiores valores na porção média e externa da plataforma continental (entre 50 e 200 m), com média de $1,41 \pm 0,99\%$, enquanto o nitrogênio total apresentou menores valores nesta mesma região ($0,08 \pm 0,06\%$). Já na região do talude (200 a 1.000 m) o comportamento observado foi o inverso, com menores concentrações de carbono e maiores concentrações de nitrogênio (**Quadro II.5.1.3-14**). O fósforo total apresentou uma tendência de aumento em direção ao fundo, com máximo valor médio na região mais profunda ($512 \pm 63,7 \mu\text{g.g}^{-1}$).

Quadro II.5.1.3-14 - Teores de carbono orgânico (C org), nitrogênio total (N total) e fósforo total (P total) na Bacia de Campos (média e desvio padrão).

Profundidade (m)	C org (%)	N total (%)	P total ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
0 a 50 m	$1,30 \pm 0,91$ - (19)	$0,17 \pm 0,10$ - (13)	$225 \pm 209^{**}$ - (18)
50 a 200 m	$1,41 \pm 0,99$ - (94)	$0,08 \pm 0,06$ - (41)	$87,7 \pm 96,1$ - (41)
200 a 1.000 m	$1,08 \pm 0,39$ - (28)	$0,17 \pm 0,06$ - (12)	324 ± 264 - (12)
Maior que 1.000m	$1,15 \pm 0,33$ - (26)	$0,16 \pm 0,06$ - (26)	$512 \pm 63,7$ - (26)

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

** valores de fósforo orgânico.

As razões entre os elementos constituintes da composição elementar da matéria orgânica (C, N e P) é uma importante ferramenta nos estudos ambientais, pois podem fornecer indicações da origem da matéria orgânica.

Os valores obtidos de fósforo na maioria dos estudos realizados na Bacia de Campos determinaram a fração total do elemento no sedimento. Porém, para determinação da razão C:P, o correto seria a utilização dos dados de fósforo orgânico, logo existe uma certa sub-estimativa nos valores desta razão. Ressalta-se ainda que, provavelmente, a diferença ocasionada pelo método de determinação utilizado não é elevada, devido à distância da principal fonte de fósforo inorgânico para o ambiente marinho, que é o continente.

Os resultados obtidos para razão C:N e C:P apresentaram uma certa tendência de diminuição em direção ao fundo, indicando uma menor contribuição terrestre à medida que a profundidade aumenta (**Quadro II.5.1.3-15**).

O valor da razão C:P na plataforma continental média/externa (50-200 m) possui alta variabilidade dos resultados, provavelmente em função da diferença entre a metodologia utilizada para determinação destes elementos nos diferentes estudos.

Os valores das razões C:N:P encontram-se dentro da faixa de variação esperada para o ambiente marinho obtido na literatura (LERMAN *et al.*, 2004).

Quadro II.5.1.3-15 - Razões C:N, N:P e C:P na Bacia de Campos (média e desvio padrão) e outros compartimentos marinhos (LERMAN *et al.*, 2004).

Compartimento		C:N	N:P	C:P
Bacia de Campos	0 a 50 m	20,8 ± 21,9 - (13)	20,9 ± 22,5 - (17)	285 ± 324 - (11)
	50 a 200 m	11,6 ± 2,90 - (41)	57,3 ± 99,3 - (38)	719 ± 1170 - (40)
	200 a 1.000 m	11,1 ± 4,72 - (12)	19,0 ± 17,1 - (10)	225 ± 236 - (10)
	Maior que 1.000m	9,28 ± 4,79 - (26)	7,30 ± 2,49 - (26)	60,5 ± 20,6 - (26)
Ambiente Marinho	Sedimento	12,5	20	250
	Fitoplâncton	6,97	15,5	108
	Zooplâncton	6,24	16,5	103
	Plâncton médio	6,62	16	106
	Plantas Bentônicas	18,3	30	550
	M.O. em Suspensão	7,69	47,6	366
	Particulado Orgânico	Superfície	55,3	1,9
Fundo		8,15	13	106
Ambiente Terrestre	Plantas Vasculares	91,3	9	822
	Gimnospermas	5,45 - 48,3	24-71	387-1160
	Angiospermas	até 44,6	13-42	até 580

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

M.O. – Matéria orgânica.

M - Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP), n-alcanos e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA)

Durante o Programa de Monitoramento Ambiental da Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994), foram avaliados os valores de hidrocarbonetos (n-alcanos) obtidos através de cromatografia gasosa de alta resolução. Ao longo da campanha realizada durante o inverno de 1991, os sedimentos apresentaram valores na faixa de não detectável (<0,02 µg.g⁻¹ para parafinas individuais) até um máximo de 2,08 µg.g⁻¹. Na campanha do verão de 1992, as concentrações de hidrocarbonetos saturados oscilaram entre <0,02 µg.g⁻¹ a 5,49 µg.g⁻¹. Ressalta-se que na região costeira, onde são grandes os aportes de matéria orgânica e de

diversos poluentes provenientes do continente, maiores concentrações de hidrocarbonetos são esperadas (NISHIGIMA *et al.*, 2001).

No **Quadro II.5.1.3-16**, encontram-se resumidos os valores de HTP, *n*-alcanos e HPA registrados nos estudos realizados na área da Bacia de Campos.

Quadro II.5.1.3-16 - Concentração de HTP, *n*-alcanos e HPA na região da Bacia de Campos (média e desvio padrão).

Profundidade (m)	<i>n</i> -alcanos ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	HTP ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	HPA ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
0 a 50 m	1,61 \pm 1,42 - (23)	-	0,09 \pm 0,09 - (23)
50 a 200 m	2,17 \pm 2,38 - (30)	-	16,2 \pm 13,7 - (40)
200 a 1.000 m	3,08 \pm 4,58 - (16)	-	30,6 \pm 58,1 - (22)
Maior que 1.000m	0,43 \pm 0,20 - (9)	13,5 \pm 11,5 - (12)	0,11 \pm 0,09 - (21)

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

Com relação aos valores de *n*-alcanos, é observada uma diminuição nos valores de concentração nas profundidades maiores que 1.000 m. Ressalta-se ainda que grande parte das amostras apresentou valor de concentração inferior ao limite de detecção analítico. O maior valor médio foi de 30,6 \pm 58,1 $\mu\text{g.g}^{-1}$, encontrado na região do talude.

N - Metais Pesados

Para avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento da Bacia de Campos, os mesmos foram agrupados em função de suas características biogeoquímicas, tipos de fontes e comportamento no ambiente. Esse agrupamento foi realizado exclusivamente para facilitar a discussão dos resultados obtidos de forma clara e sintetizada, e não representa o consenso da comunidade científica.

1) Suportes Geoquímicos (Fe, Al e Mn)

Os Fe e Al possuem uma origem litogênica e apresentaram menores concentrações em profundidades maiores que 1.000m. Já na plataforma continental e no talude apresentaram grande variação entre as amostras analisadas.

O manganês que é um metal redoxsensível apresentou menores valores na região da plataforma continental, com uma média de $115 \pm 68,8 \mu\text{g.g}^{-1}$.

No **Quadro II.5.1.3-17** faz-se uma comparação entre as concentrações de Fe encontradas nos estudos da Bacia de Campos e aquelas registradas em outros tipos de ambientes sedimentares, onde se verifica que, apesar da alta variação encontrada em alguns pontos, a média obtida para a região está dentro da faixa encontrada para sedimentos carbonáticos e arenito.

Quadro II.5.1.3-17 - Concentração Fe, Al e Mn na região da Bacia de Campos (média e desvio padrão) e comparação com outros ambientes.

Compartimento		Fe - (mg.g^{-1})	Al - (mg.g^{-1})	Mn - ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
Bacia de Campos	0 a 50 m	$11,1 \pm 7,89$ - (37)	$14,9 \pm 11,0$ - (28)	192 ± 129 - (28)
	50 a 200 m	$9,80 \pm 6,32$ - (94)	$14,2 \pm 11,2$ - (82)	$115 \pm 68,8$ - (88)
	200 a 1.000 m	$33,0 \pm 8,43$ - (13)	$38,7 \pm 7,37$ - (13)	338 ± 144 - (22)
	Maior que 1.000m	$9,57 \pm 3,36$ - (17)	$11,8 \pm 3,18$ - (17)	$271 \pm 89,2$ - (26)
Rocha Sedimentar *		47	92	850
Argila de Mar Profundo *		-	-	6700
Arenito *		9,8	25	390
Sedimento Carbonático *		3,8	4,2	1100

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

* Förstner e Wittmann (1983).

2) Metais associados principalmente ao descarte da indústria do petróleo (Ba e V)

O Ba, principal componente da Baritina, que é utilizada durante a perfuração de poços petrolíferos, apresentou maiores valores de concentração na região da plataforma continental e talude.

Já o V, comumente encontrado no petróleo como impureza, também apresentou mesmo comportamento, apresentando maiores valores de concentração na plataforma e talude. Na crosta terrestre, as concentrações de vanádio estão em torno de $150 \mu\text{g.g}^{-1}$ (WHO, 2000), sendo o intemperismo da crosta o principal caminho de entrada natural deste elemento no ambiente marinho (Bishop, 1983; WHO, 2000).

No geral, as concentrações de Ba e V se mostraram dentro da faixa de variação encontrada na literatura, embora relativamente superiores ao esperado para sedimentos carbonáticos (**Quadro II.5.1.3-18**). Ressalta-se ainda que o Ba apresentou maiores valores de concentração na região da plataforma e do talude, indicando uma provável contribuição deste metal devido à atividade petrolífera na região, conforme apontado em estudos pretéritos na Bacia de Campos (Rezende et al., 2002; Pozebon, et al., 2005).

Quadro II.5.1.3-18 - Concentração Ba e V na região da Bacia de Campos (média e desvio padrão) e comparação com outros ambientes.

Compartmento		Ba - ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	V - ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
Bacia de Campos	0 a 50 m	82,3 \pm 56,1 - (35)	32,9 \pm 25,5 - (37)
	50 a 200 m	280 \pm 263 - (103)	31,4 \pm 29,7 - (94)
	200 a 1.000 m	338 \pm 260 - (28)	92,8 \pm 37,4 - (28)
	Maior que 1.000m	185 \pm 72,0 - (26)	45,1 \pm 10,2 - (26)
Rocha Sedimentar *		580	130
Argila de Mar Profundo *		2,3	120
Arenito *		190	20
Sedimento Carbonático *		10	20

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

* Förstner e Wittmann (1983).

3) Metais Associados ao Descarte de Efluentes Domésticos (Pb, Cu e Zn)

A distribuição do Pb apresentou maiores valores de concentração na região do talude ($29,4 \pm 16,3 \mu\text{g.g}^{-1}$) e menor valor médio em regiões mais profundas ($8,06 \pm 2,27 \mu\text{g.g}^{-1}$). Foi observado certo enriquecimento em Pb na região da Bacia de Campos, quando comparado com arenito e sedimentos carbonáticos.

Os valores de concentração obtidos para o Cu não indicam este enriquecimento, observando-se ainda uma tendência de aumento com a profundidade, chegando a $16,4 \pm 4,90 \mu\text{g.g}^{-1}$.

O Zn apresentou-se dentro do esperado para regiões de sedimento carbonático, com uma leve tendência de aumento em direção a regiões mais profundas.

O **Quadro II.5.1.3-19** apresenta os valores de concentração obtidos de Pb, Cu e Zn, comparando com dados da literatura.

Quadro II.5.1.3-19 - Concentração Pb, Cu e Zn na região da Bacia de Campos (média e desvio padrão) e comparação com outros ambientes.

Compartimento		Pb - ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Cu - ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Zn - ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
Bacia de Campos	0 a 50 m	12,7 \pm 7,30 - (29)	7,57 \pm 5,52 - (37)	18,8 \pm 14,7 - (37)
	50 a 200 m	13,5 \pm 15,3 - (90)	9,33 \pm 6,52 - (102)	36,1 \pm 71,9 - (98)
	200 a 1.000 m	29,4 \pm 16,3 - (22)	14,2 \pm 3,36 - (22)	52,0 \pm 20,9 - (22)
	Maior que 1.000m	8,06 \pm 2,27 - (26)	16,4 \pm 4,90 - (26)	32,4 \pm 5,40 - (26)
Rocha Sedimentar *		20	45	95
Argila de Mar Profundo *		80	250	165
Arenito *		7	15	16
Sedimento Carbonático *		9	4	20

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

* Förstner e Wittmann (1983).-

4) Metais que Possuem Efeito Tóxico sobre a Biota (Hg, Cd e As)

Os valores de Cd encontrados no talude foram relativamente elevados, chegando a até $2,11 \pm 0,85 \mu\text{g.g}^{-1}$, quando comparados aos valores da literatura para sedimentos carbonáticos e àqueles observados em outros estudos realizados na Bacia de Campos (**Quadro II.5.1.3-20**).

O Hg também apresentou maiores valores de concentração na região do talude. O estudo realizado em Barracuda e Caratinga apresentou maiores valores tanto de Hg quanto de Cd na região da Bacia de Campos.

Na maioria dos estudos consultados o As não foi analisado nas amostras de sedimento. Somente para os estudos realizados em Cabiúnas (PETROBRAS,2001) e nas plataformas de Pampo e Pargo (PETROBRAS, 2001) foi realizada essa análise, e em todas as amostras analisadas foram encontrados valores abaixo do limite de detecção analítico ($0,05 \mu\text{g.g}^{-1}$).

Ressalta-se ainda que grande parte dos resultados obtidos nas demais regiões de Cd e Hg obtiveram valores abaixo do limite de detecção analítico.

Quadro II.5.1.3-20 - Concentração Hg e Cd na região da Bacia de Campos (média e desvio padrão) e comparação com outros ambientes.

Compartmento		Hg - ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Cd - ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
Bacia de Campos	0 a 50 m	0,06 \pm 0,06 - (37)	0,57 \pm 0,23 - (8)
	50 a 200 m	0,06 \pm 0,06 - (42)	1,27 \pm 1,39 - (38)
	200 a 1.000 m	0,66 \pm 2,44 - (16)	2,11 \pm 0,85 - (22)
	Maior que 1.000m	0,02 \pm 0,01 - (26)	0,74 \pm 0,46 - (8)
Rocha Sedimentar *		0,40	0,30
Argila de Mar Profundo *		<0,01 a 0,40	0,43
Arenito *		0,03	0,02
Sedimento Carbonático *		0,04	0,04

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

* Förstner e Wittmann (1983).

5) Outros metais (Cr e Ni)

Os dados de Cr e Ni apresentaram comportamento similar, com valores de concentração elevados na região do talude, mais especificamente nos Campos de Barracuda e Caratinga. Os menores valores foram encontrados na região mais rasa, estando em consonância com os dados obtidos para arenitos e sedimentos carbonáticos (**Quadro II.5.1.3-21**).

Quadro II.5.1.3-21 - Concentração Cr e Ni na região da Bacia de Campos (média e desvio padrão) e comparação com outros ambientes.

Compartmento		Cr - ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Ni - ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
Bacia de Campos	0 a 50 m	22,6 \pm 21,6 - (37)	12,1 \pm 9,87 - (31)
	50 a 200 m	23,7 \pm 17,8 - (100)	13,7 \pm 16,6 - (94)
	200 a 1.000 m	50,3 \pm 17,7 - (22)	46,4 \pm 16,8 - (16)
	Maior que 1.000m	28,5 \pm 7,29 - (26)	22,1 \pm 7,55 - (16)
Rocha Sedimentar *		90	68
Argila de Mar Profundo *		90	225
Arenito *		35	2,00
Sedimento Carbonático *		11	20,0

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

* Förstner e Wittmann (1983).

II.5.1.4 - Geologia e Geomorfologia

Nesse item estão caracterizadas a geologia e geomorfologia da Bacia de Campos. 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.

O - Características Regionais

A Bacia de Campos localiza-se no litoral norte do Estado do Rio de Janeiro e a sul do Estado do Espírito Santo, limitada a norte pelo Arco de Vitória e, a sul pelo Arco de Cabo Frio. Possui uma área aproximada de 100.000 km², com mais de 1.600 poços perfurados ao longo de mais de três décadas de exploração petrolífera. Economicamente, é a bacia brasileira mais prolífica, contendo mais de 90% das reservas petrolíferas brasileiras atuais.

Na parte referente à plataforma continental, a Bacia de Campos possui largura que pode atingir 105 km de extensão máxima e profundidade de quebra de talude variando entre 110 a 200 m. A largura máxima da plataforma continental é observada próximo à cidade de Arraial do Cabo atingindo cerca de 105 km de extensão, e a mínima, com 55 km de extensão, em frente à cidade de Marataízes (ES).

A Bacia de Campos limita-se ao norte pelo Alto Vitória, que a separa da Bacia do Espírito Santo e ao sul pelo Alto de Cabo Frio, que a separa da Bacia de Santos (**Figura II.5.1.4-1**). A porção mais a leste é caracterizada por uma série de domos de sal, onde uma delgada crosta continental se encontra com a crosta oceânica. Na porção oeste, sedimentos relativamente pouco espessos do Terciário recobrem o embasamento (crosta continental). O preenchimento sedimentar grada na direção leste para uma cunha sedimentar depositada sobre a crosta oceânica do Atlântico Sul. O limite ao oeste é contra rochas metamórficas do embasamento.

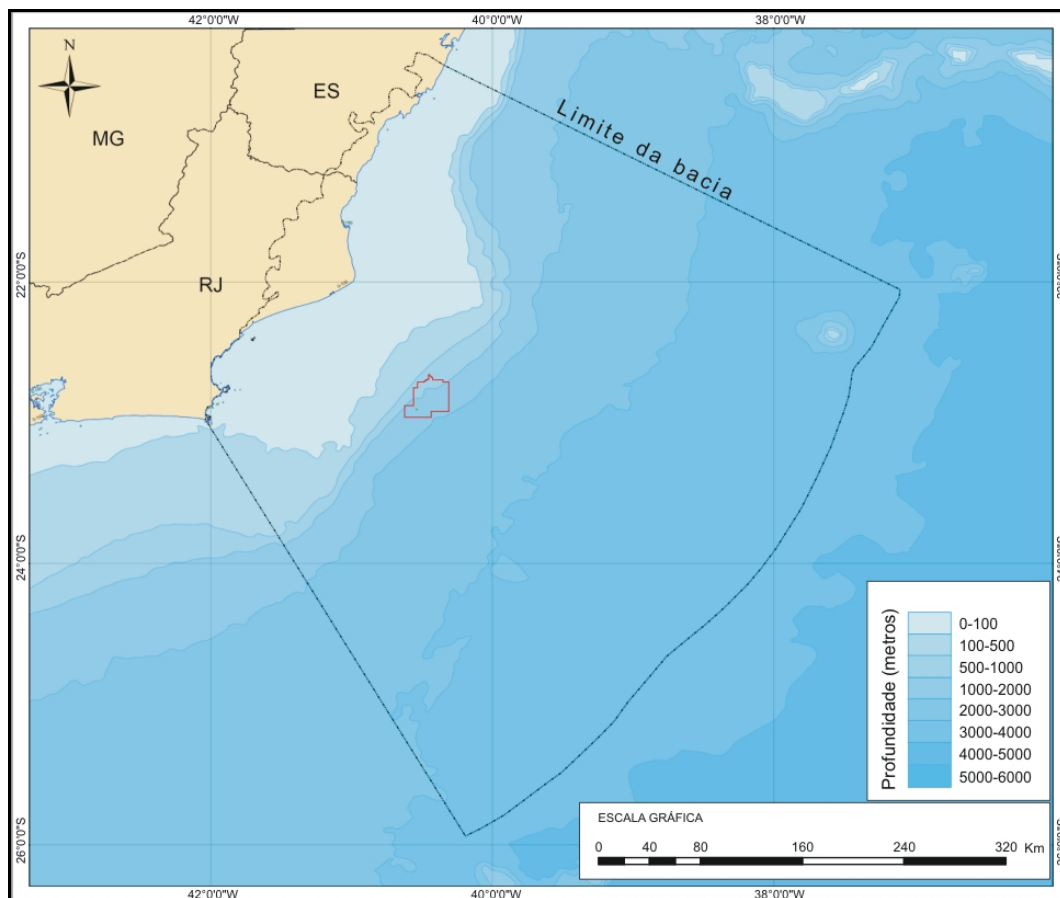


Figura II.5.1.4-1 - Área abrangida pela Bacia de Campos.

Fonte: Adaptado de BDEP/ANP (2010).

As modificações que ocorreram no embasamento por reativação tectônica, no Cretáceo Superior, foram responsáveis pelo estabelecimento das falhas e, posteriormente, pela estruturação da tectônica adiastrófica, importante na orientação das áreas preferenciais de captação de turbiditos e no controle da migração e acumulação de grande volume de hidrocarbonetos.

1) Origem e Evolução

A origem da Bacia de Campos 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 está relacionada ao processo de abertura do Atlântico Sul (ASMUS & PORTO, 1972; VIRO, 1985), que (**Figura II.5.1.4-2**).

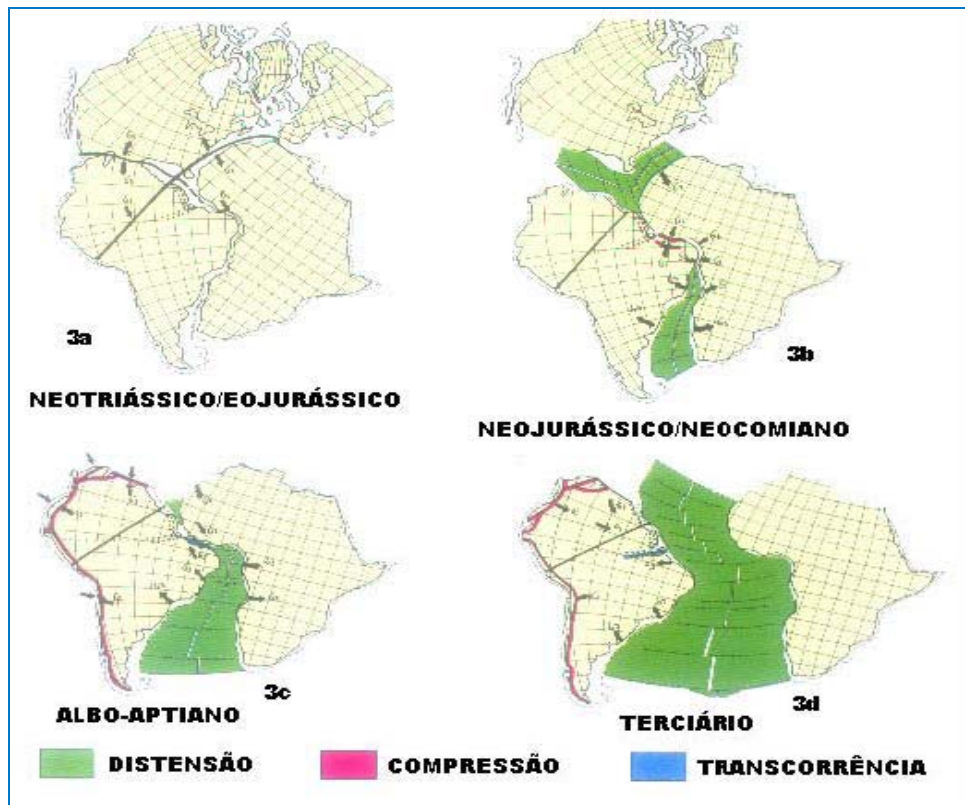


Figura II.5.1.4-2 - Evolução do processo de abertura do Atlântico Sul.

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 Campos identificam-se cinco estágios evolutivos: pré-*rift*, formação de gráben, *rift*, proto-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.*, 1978 e 1980; ASMUS & PORTO, 1972; CAINELLI & MOHRIAK, 1998).

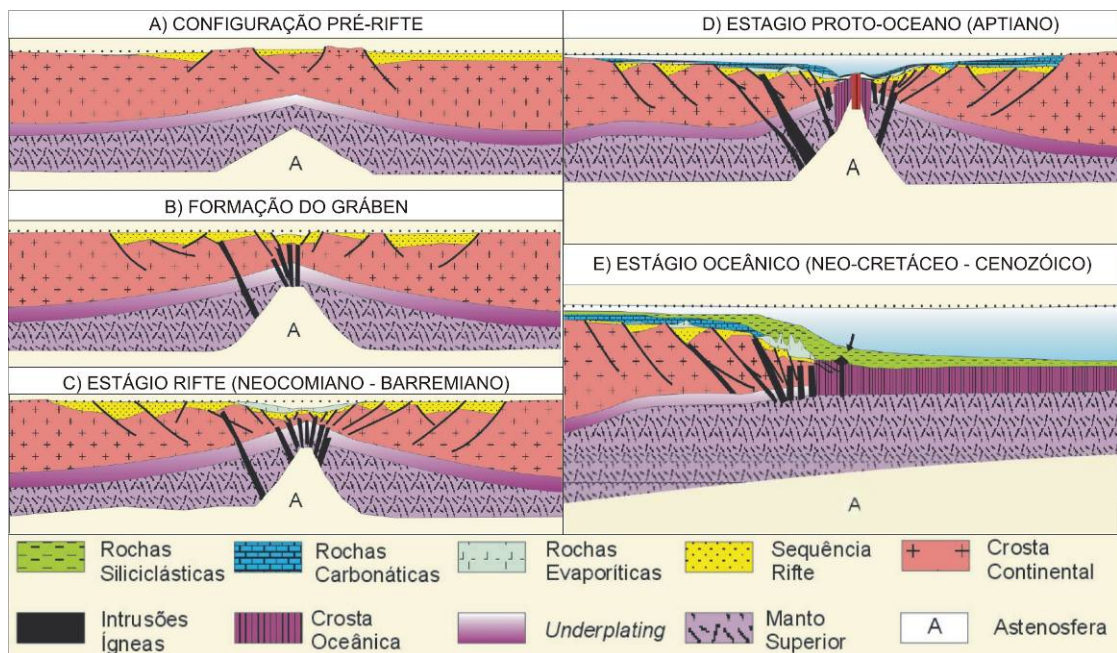


Figura II.5.1.4-3 - Modelo evolutivo das Bacias da Margem Leste Brasileira, mostrando a formação da margem continental divergente.

Fonte: Modificado de CPRM, 2003.

2) Fisiografia e Faciologia

Durante o Período Quaternário, a plataforma continental brasileira foi palco de um grande ciclo de regressão e transgressão marinha que influenciaram e determinaram os processos que moldaram a topografia atual da plataforma continental em toda sua extensão. Este ciclo teve início com um processo de regressão marinha, correspondente ao período glacial denominado de “Wisconsiniano”, e que teve seu máximo regressivo há, aproximadamente 18.000 anos, com o subsequente máximo transgressivo há 5.100 anos, no qual o nível do mar chegou a 5m acima do nível atual.

Ao longo do litoral da Bacia de Campos, a plataforma continental apresenta largura que varia de cerca de 100 km próximo ao Alto de Cabo Frio estreitando em direção ao seu limite norte com a Bacia do Espírito Santo onde apresenta largura aproximada de 50 km com relevo suave e monótono. Toda a plataforma desse setor apresenta-se recortada, perpendicularmente, por canais estreitos e rasos, cuja origem está relacionada a regressões do nível do mar (**Mapa II.5.1-1 - Mapa Fisiográfico Regional**).

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

Talude Continental

O Talude Continental apresenta variações na sua declividade média de cerca de três graus. As variações morfológicas decorrem da presença de cânions, ravinas e sulcos, cujas escarpas podem atingir declividades maiores do que 30 graus. O limite externo do Talude Continental pode chegar a 2000 metros de profundidade. Este compartimento morfológico apresenta mergulho para sudeste, com declividades médias que variam de 0 a 6 graus.

A quebra da plataforma continental se dá entre cerca de 110 e 200 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 largura (ARTUSI & FIGUEREDO JR, 2007), uma área erosiva onde são encontradas várias ravinas submarinas, restritas localmente, e com um relevo de no máximo 20 m, cicatrizes de deslizamentos e vales submarinos.

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.

Platô de São Paulo

O Platô de São Paulo possui relevo no geral plano, os domos ocorrem de forma localizada ocasionado pela movimentação de camadas de sal em subsuperfície (halocinese). Nele ocorrem grandes desníveis localizados e declividades que podem variar de 0,5 graus a valores acima de 20 graus.

É uma feição bastante ampla, situada desde a base do talude continental, numa profundidade de 2.500 m, prolongando-se 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 limitado a leste por uma grande escarpa que ocorre a uma profundidade aproximada de 3000 metros coincide com o limite do sal Aptiano (GORINI & CARVALHO, 1984).

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 acompanha os contornos do talude continental, com uma área aproximada de 70.000 km². Nesta porção, as características relativas à feição de platô marginal são pequenas, tendo larguras que variam entre 180 e 280 km 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 Plataforma Continental predominam sedimentos arenosos de composição siliciclástica e sedimentos carbonáticos representados por areias bioclásticas / biodetríticas e bioconstruções. Na porção sudoeste da Plataforma Continental observa-se uma grande concentração de sedimentos lamosos. Também no Platô de São Paulo e no Talude Continental são as lamas (argila + silte) que predominam (**Mapa II. 5.1-3 – Mapa Batimétrico/Faciológico Regional**).

A faciologia da plataforma do litoral sudeste, entre o Alto de Cabo Frio e o Arco de Vitória apresenta constituição variada (REMAC, 1979). No trecho situado entre Cabo Frio e Macaé a faciologia é constituída de lama, areia e cascalho biodetríticos na porção interna, por lama de plataforma e areia fluvial na porção média e por areia e cascalho carbonáticos na porção externa.

No trecho da plataforma situada entre Macaé e Presidente Kennedy a faciologia é constituída por areia e/ou cascalho biodetríticos na porção interna, areia e cascalho biodetríticos, e areia e cascalho carbonáticos na porção interna, e por areia e cascalho carbonáticos na porção externa. No trecho da plataforma situada entre Presidente Kennedy e Vila Velha a faciologia é constituída por areia e cascalho biodetríticos na porção interna, areia e cascalho carbonáticos nas porções média e externa.

Na plataforma externa, a fácies principal dos sedimentos carbonáticos são areias e/ou cascalhos de recifes de algas calcárias e misturas de foraminíferos bentônicos, moluscos e briozoários.

Próximo ao Alto de Cabo Frio observa-se uma grande área de sedimentos finos, especialmente areias e siltes argilosos. Abaixo da isóbata de 110m, os depósitos lagunares costeiros localizados na plataforma média constituem uma extensa fácies lamosa com predominância de silte e argila (ROCHA *et al.*, 1975). 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%.

3) Estratigrafia e Sistema Petrolífero

A Bacia de Campos teve uma evolução típica de bacia de margem passiva, semelhante às demais bacias da costa leste brasileira. O embasamento cristalino da Bacia de Campos é caracterizado por gnaisses de idade pré-cambriana pertencente à Província Proterozóica da Ribeira (Winter et al, 2007). O embasamento econômico da Bacia de Campos é definido pelos basaltos da Formação Cabiúnas (equivalentes às seqüências K20-K34), depositado nos andares Rio da Serra e Aratu inferior (Halteriviano), que cobrem discordantemente o embasamento pré-Cambriano.

A seção sedimentar da Bacia de Campos pode ser subdividida em três superseqüências: 1) superseqüência não marinha da fase *Rift*, depositada durante o Hauteriviano-Barremiano; 2) superseqüência da fase transicional, depositada durante o Aptiano; 3) superseqüência marinha da fase *Drift*, compreendendo sedimentos depositados desde o Albiano até o Holoceno.

O registro sedimentar da fase rifte da Bacia de Campos está subdividido em três seqüências deposicionais (Winter et al, 2007). Uma de idade Hauteriviana formada pela porção inferior do Andar Aratu, uma de idade Barremiana contemplando desde a porção superior do Andar Aratu até porção inferior do Andar Jiquiá, e uma de idade Eoaptiana formada pela Porção superior do Andar Jiquiá.

A supersequência da fase Rift é composta inteiramente por sedimentos não marinhos (lacustres) e flúvio-deltáicos do Grupo Lagoa Feia, que podem atingir até cerca de 4.000m de espessura. Os folhelhos negros do Grupo Lagoa Feia são os geradores primários de óleos na bacia. A seqüência das coquinas, composta principalmente por fragmentos de conchas de pelecípodes depositados em altos estruturais, são importantes reservatórios, bem como rochas geradoras.

A supersequência da fase transicional é constituída por duas seqüências: uma inferior de conglomerados de leques aluviais e folhelhos, e uma superior de evaporitos (sabkha), predominantemente anidrita e halita.

Esta supersequência corresponde à seção sedimentar disposta discordantemente sobre a seqüência de rochas de origem lacustre que foi depositada em ambiente tectonicamente brando. Essa supersequência possui em sua base rochas argilosas (folhelho Alagoas), ricas em sílica, alumínio e ferro, além de estratos originados pelo retrabalhamento de coquinas Jiquiá.

Predominam conglomerados e arenitos nas porções proximais, com típico padrão progradacional. A base do sistema exhibe maiores variações de espessura, reflexo da rugosidade do relevo herdado do substrato exposto à erosão e condicionadas às raras falhas sindeposicionais. A porção superior exhibe padrão retrogradacional, caracterizando uma subida eustática, conforme registrado pela análise isotópica de oxigênio.

Na seção *Rift*, os sistemas principais de falhas normais seguem uma tendência geral de NE-SW, com geometria planar. A maior parte da atividade tectônica dessas falhas cessou antes do desenvolvimento da discordância pre-Aptiana. Na seção pos-rift, a atividade tectônica é originada principalmente pela halocinese, que produz sistemas de falhas normais lístricas em uma tendência de NE-SW.

MOHRIAK *et al.*, 2008, identifica na Bacia de Campos cinco compartimentos associados à tectônica do sal (**Figura II.5.1.4-4**). O domínio I e o domínio II, ambos de caráter extensional, apresentam como características marcantes

estruturas do tipo almofadas de sal com espessura reduzida (domínio I), anticlinais e cascos de tartaruga associados a diápiros de sal (domínio II). O domínio III marca o início da inversão extensional/compressional, sendo caracterizado por grandes diápiros de sal. O domínio IV de caráter fortemente compressional, apresenta diápiros de sal comprimidos associados a estruturas do tipo falhas de empurrão e *nappes*. O domínio V, característico de crosta oceânica, apresenta sedimentos depositados diretamente acima do substrato vulcânico.

Estes sistemas de falhas controlaram o desenvolvimento da geometria dos principais campos de petróleo na bacia, assim como os padrões da migração. Os exemplos brasileiros de campos petrolíferos são associados geralmente com grandes falhas lítricas ou planas que rompem o sal autóctone. A migração pode ocorrer acima destas falhas e nos reservatórios sobrejacentes. A migração hidrodinâmica diretamente do syn-rift aos reservatórios é possível nas áreas onde não há nenhuma estrutura de sal.

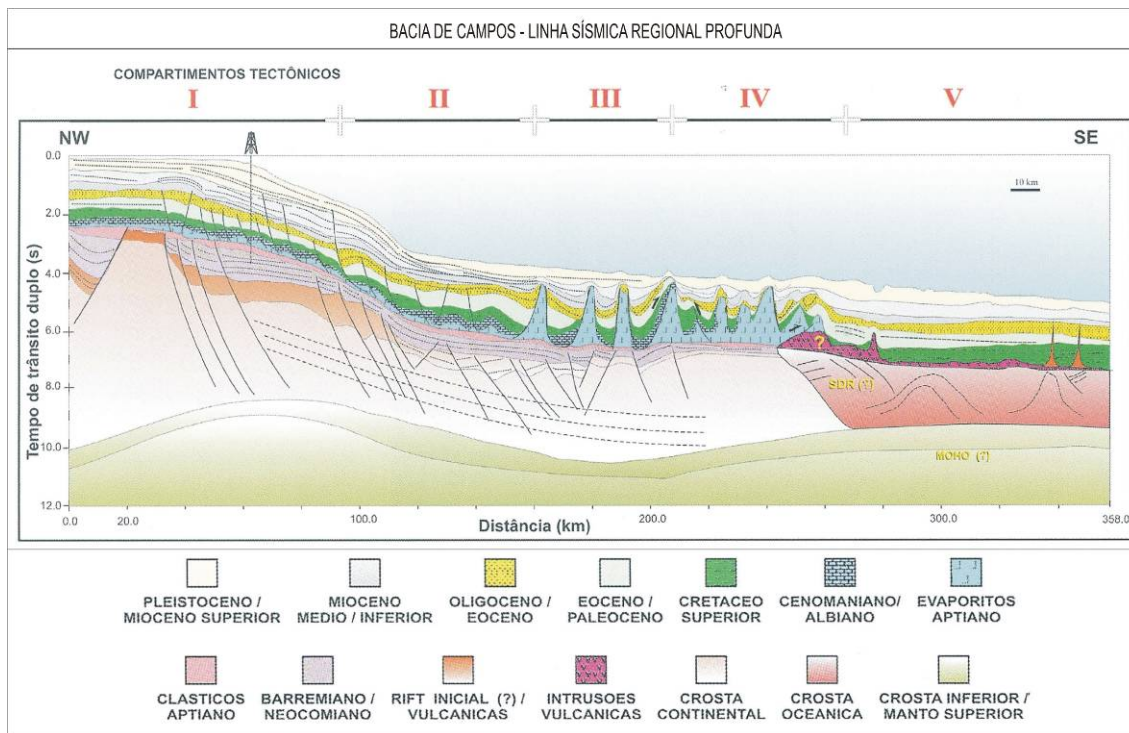


Figura II.5.1.4-4 - Seção geológica/estrutural esquemática da Bacia de Campos.

Fonte: Modificado de Mohriak *et al* (1998).

O registro fossilífero é pobre, representado por ostracodes e rochas de origem microbiana, denotando o stress ambiental que prevaleceu durante sua acumulação.

A supersequência da fase Drift compreende os sedimentos marinhos depositados sob um regime de subsidência térmica associada a tectonismo adiastrófico. Pode ser dividida em duas fases; a fase pré-oceânica (Albiano a Cenomaniano superior), que começa com a deposição da Grupo Macaé, predominantemente carbonática e com cerca de 1000 m de espessura, que grada para sedimentos silicicláticos depositados numa fácies mais proximal. A fase oceânica se iniciou no Turoniano Superior, quando condições anóxicas favoreceram a deposição e preservação de rochas potencialmente geradoras. A posterior deposição de folhelhos marinhos e turbiditos (excelentes reservatórios) ocorreu do Cretáceo superior até o Holoceno.

Reservatórios de hidrocarbonetos ocorrem ao longo de quase toda a coluna estratigráfica da Bacia de Campos. As principais seqüências de reservatórios compreendem basaltos fraturados (Fm. Cabiúnas), coquinas (Grupo Lagoa Feia), rochas carbonáticas (Grupo Macaé) e turbiditos (Grupo Macaé e Fm Carapebus).

A estratigrafia e o estilo estrutural da Bacia de Campos, da plataforma continental em direção à região oceânica mais profunda, encontram-se ilustrados na **Figura II.5.1.4-5**. A Carta Estratigráfica da Bacia de Campos, representando a síntese da estratigrafia da bacia está representada na **Figura II.5.1.4-5**.

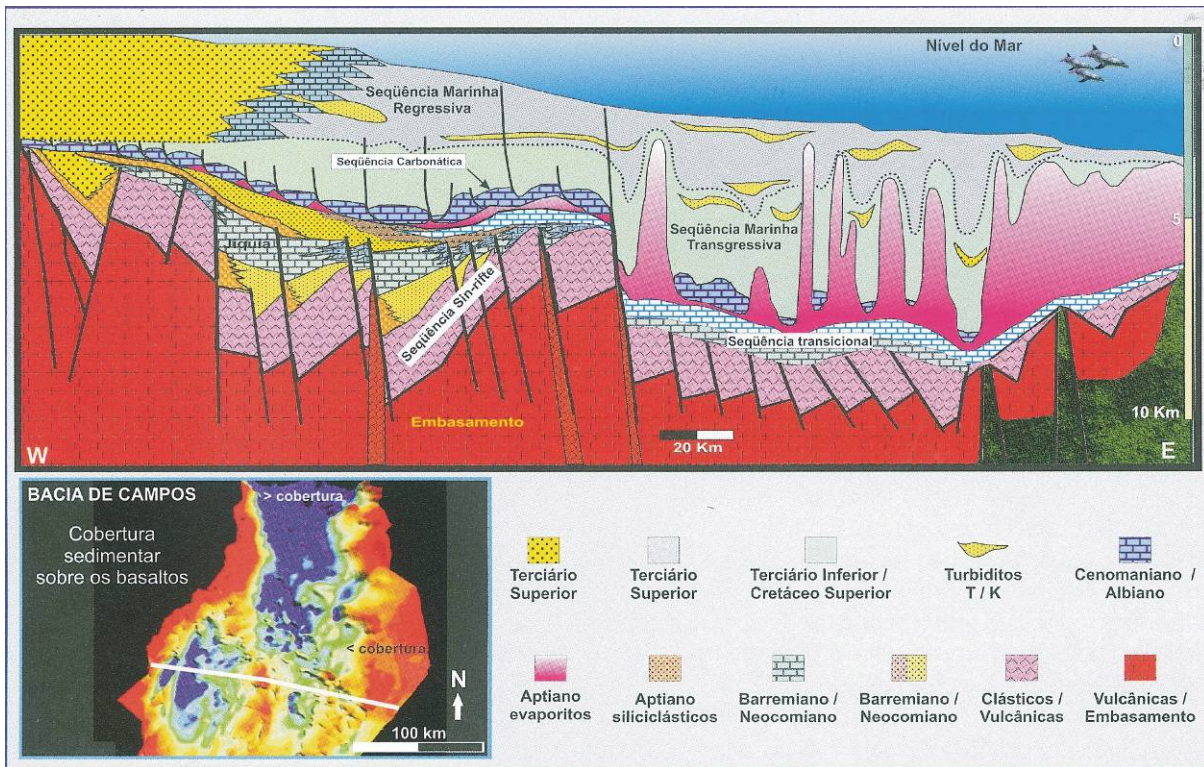


Figura II.5.1.4-5 - Seção Geológica da Bacia de Campos com as unidades e seqüências estratigráficas.

Fonte: Mohriak *et al* (2008).

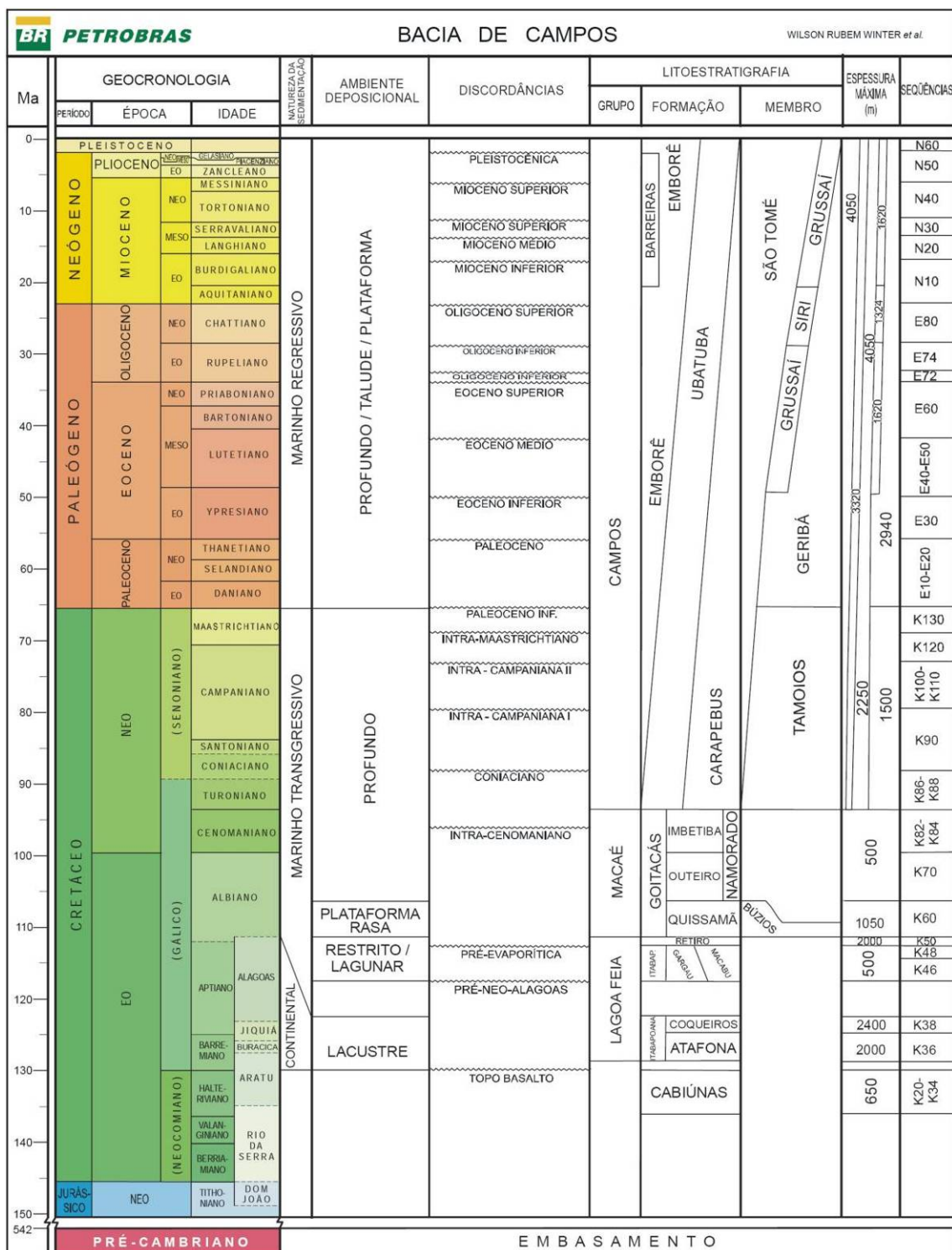


Figura II.5.1.4-6 - Coluna estratigráfica esquemática da Bacia de Campos.

Fonte: Winter et al (2007).

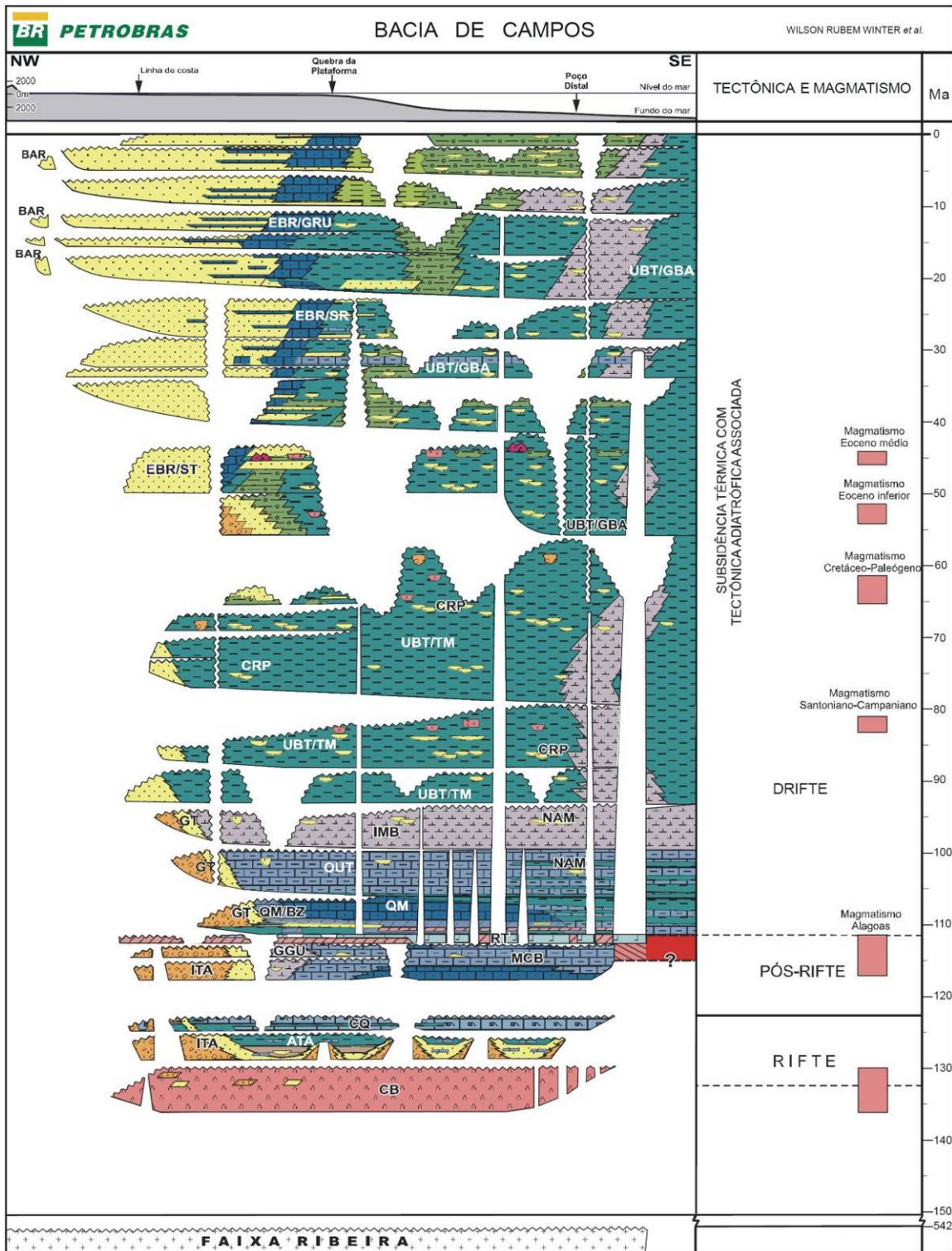


Figura II.5.1.4-7 - Coluna estratigráfica esquemática da Bacia de Campos.

Fonte: Winter et al (2007).

Os modelos de acumulação consideram os folhelhos e margas da Formação Gargaú (Grupo Lagoa Feia) como o principal gerador de hidrocarbonetos para reservatórios turbidíticos da Formação Carapebus, para os carbonatos e arenitos Namorado da Formação Macaé e as coquinas da Formação Lagoa Feia. A migração principal ocorre através de falhas lístricas (**Figura II.5.1.4-8**).

O selo é formado por folhelhos e calcilutitos 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).

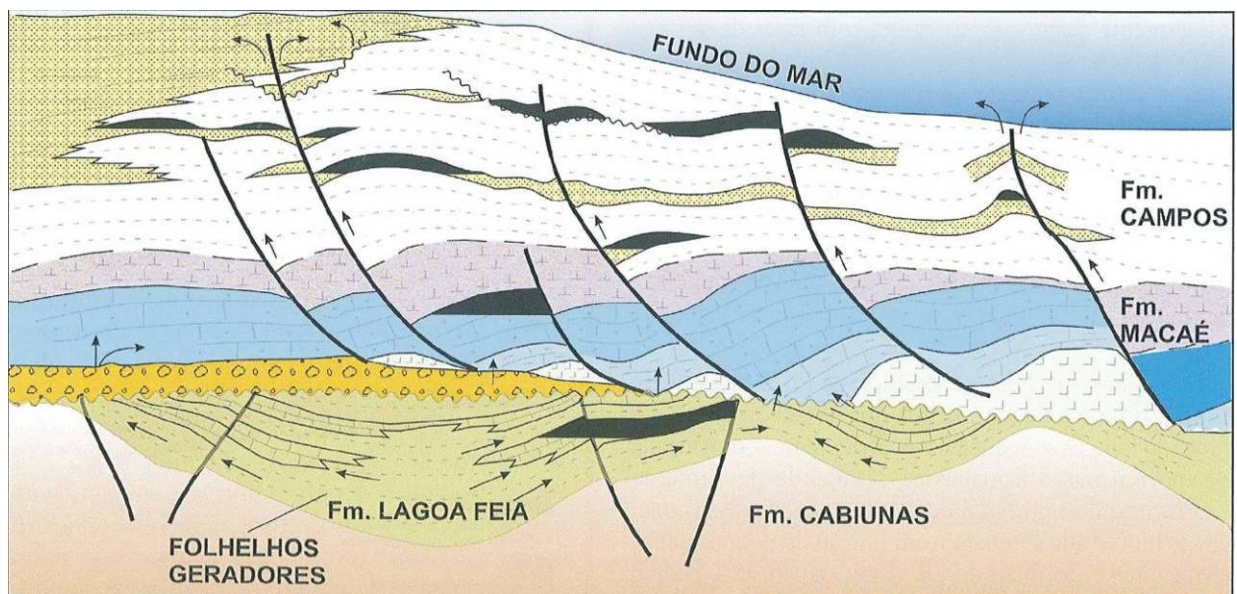


Figura II.5.1.4-8 - Modelo de geração, migração e acumulação de petróleo na Bacia de Campos.

Fonte: Mohriak *et al* (2008).

P - Caracterização Local

1) Fisiografia e faciologia

A área de concessão de Espadarte situa-se no Talude Continental, entre as isóbatas de 500 e 1600 metros, com aumento da profundidade para sudeste (). O relevo marinho é, em grande parte, irregular marcado por feições erosivas e onduladas com a declividade variando em média, entre 0 e 15°. As maiores declividades são encontradas nas paredes dos cânions, geralmente entre 9° e 15°, podendo chegar a 65° em alguns pontos. Na região intercânion e nos talwegues dos cânions o relevo é suave e suas declividades variam entre 0 e 6°.

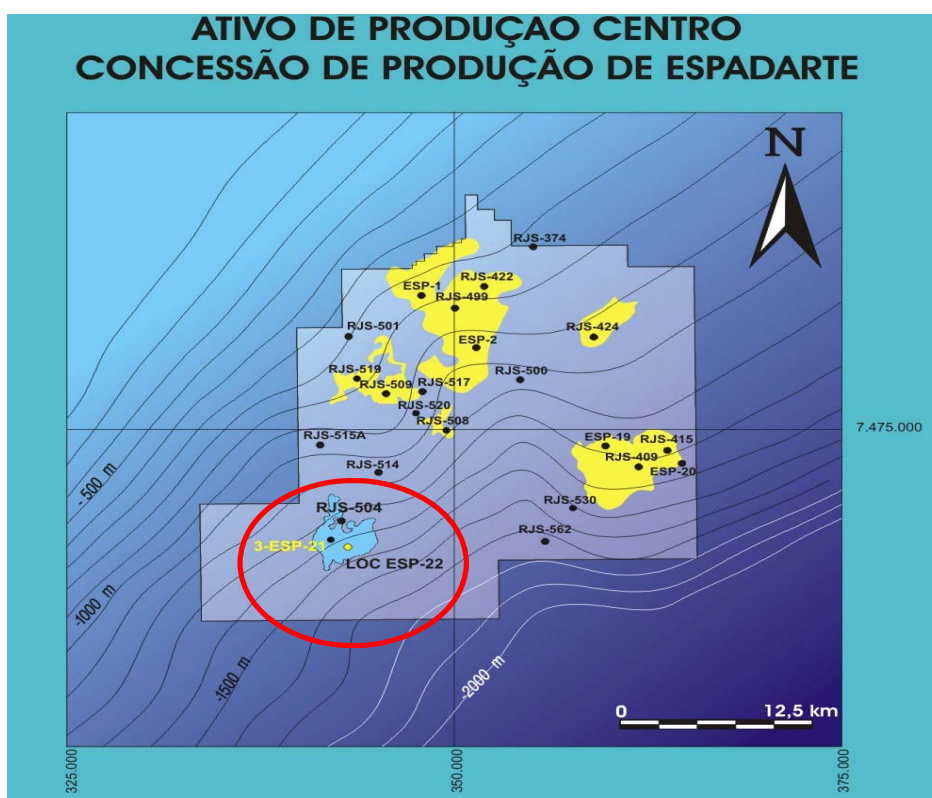


Figura II.5.1.4-9 - Mapa de localização da Área do poço 3-ES-22D-RJS no Ring Fence de Espadarte.

Fonte: Petrobras, 2008.

A análise integrada do mapa de relevo e mapa de declividade elaborados com base no Modelo Digital de Terreno gerado a partir do mapa batimétrico local (Petrobras, 2010), permitiu delimitar três domínios fisiográficos para a área do

TLD denominados no presente estudo de: Cânions Submarinos, Elevação Submarina ou Platôs e Vertentes (**Figura II.5.1.4-10 e Mapas II. 5.1-2 – Mapa Fisiográfico Local**).

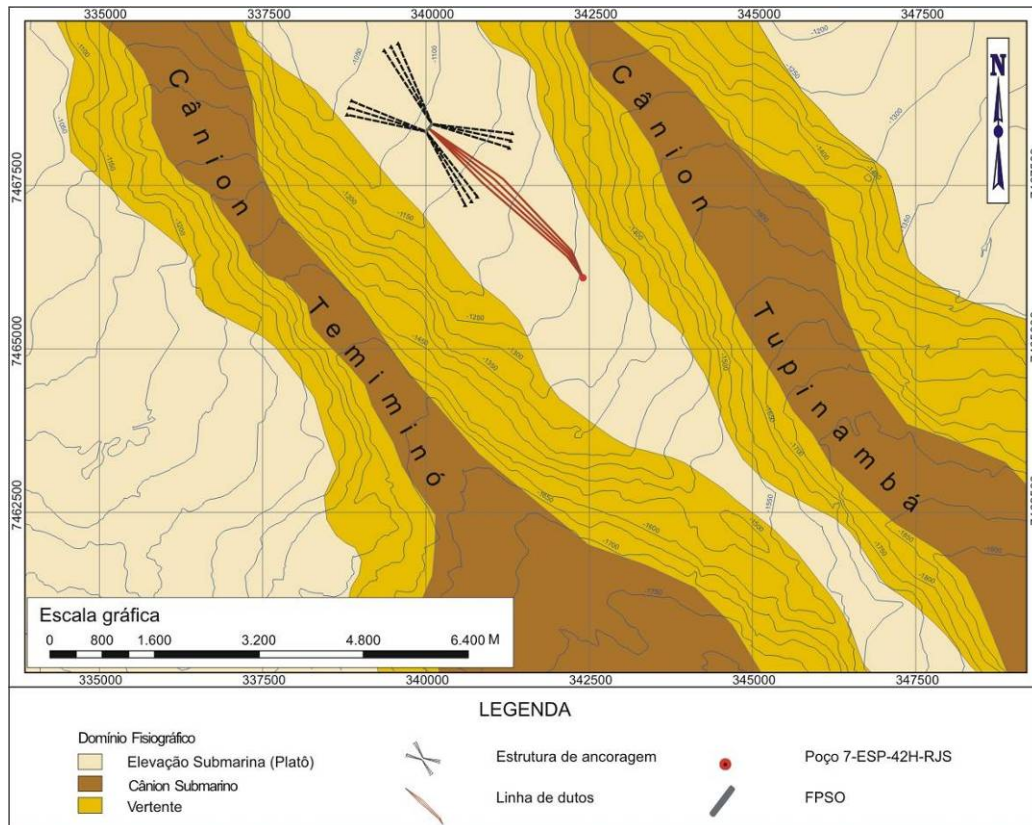


Figura II.5.1.4-10 - Características fisiográficas da área do TLD.

Fonte: ICF, 2011. Base de dados, mapa batimétrico local do campo de Espadarte - Petrobras, 2010.

A área do TLD está situada numa elevação entre os cânions Tupinambá e Temiminó, que estão situados respectivamente a nordeste e a sudoeste. Este domínio apresenta relevo pouco movimentado com declividade média bem característica da região entre os cânions, com gradientes médios de 3° (**Figura II.5.1.4-11 e Figura II.5.1.4-12**).

Os Cânions Temiminó e Tupinambá representam a feição mais marcante da área. Ambos apresentam orientação do talvegue na direção NW-SE, estando o poço situado respectivamente, a 620 m da borda do cânion Tupinambá e 1400 m da borda do cânion Termiminó. O desnível vertical entre a borda e a base da parede dos cânions é em torno de 300 m, com gradiente de declividade variando de 3° a 6° .

O Domínio de Vertentes marca a interface entre os Domínios de Elevação e Cânions Submarinos. Esta interface é caracterizada por relevo bem acidentado, com a declividade média de 15°, podendo atingir gradientes superior a 30° (Figura II.5.1.4-11 e Figura II.5.1.4-12). A geometria das vertentes varia de côncava nas vertentes NE a convexa nas vertentes SW (Figura II.5.1.4-12).

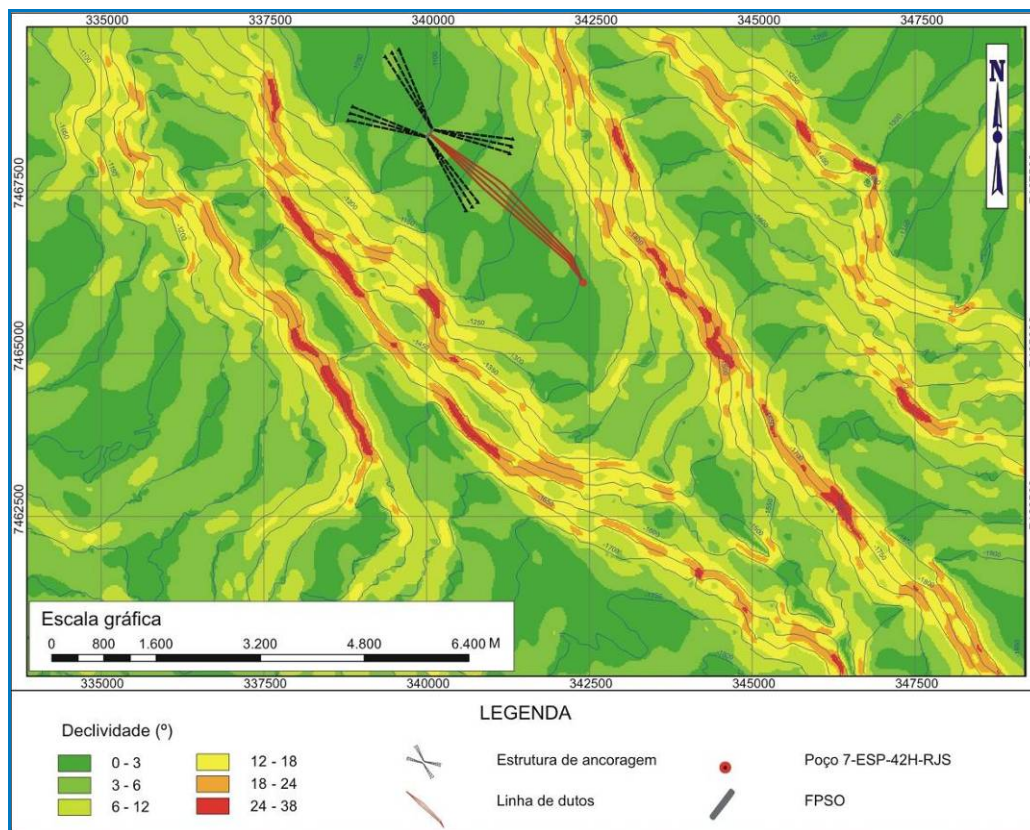


Figura II.5.1.4-11 - Mapa de declividade da área do TLD.

Fonte: ICF, 2011. Base de dados, mapa batimétrico local do campo de Espadarte Petrobras, 2010.

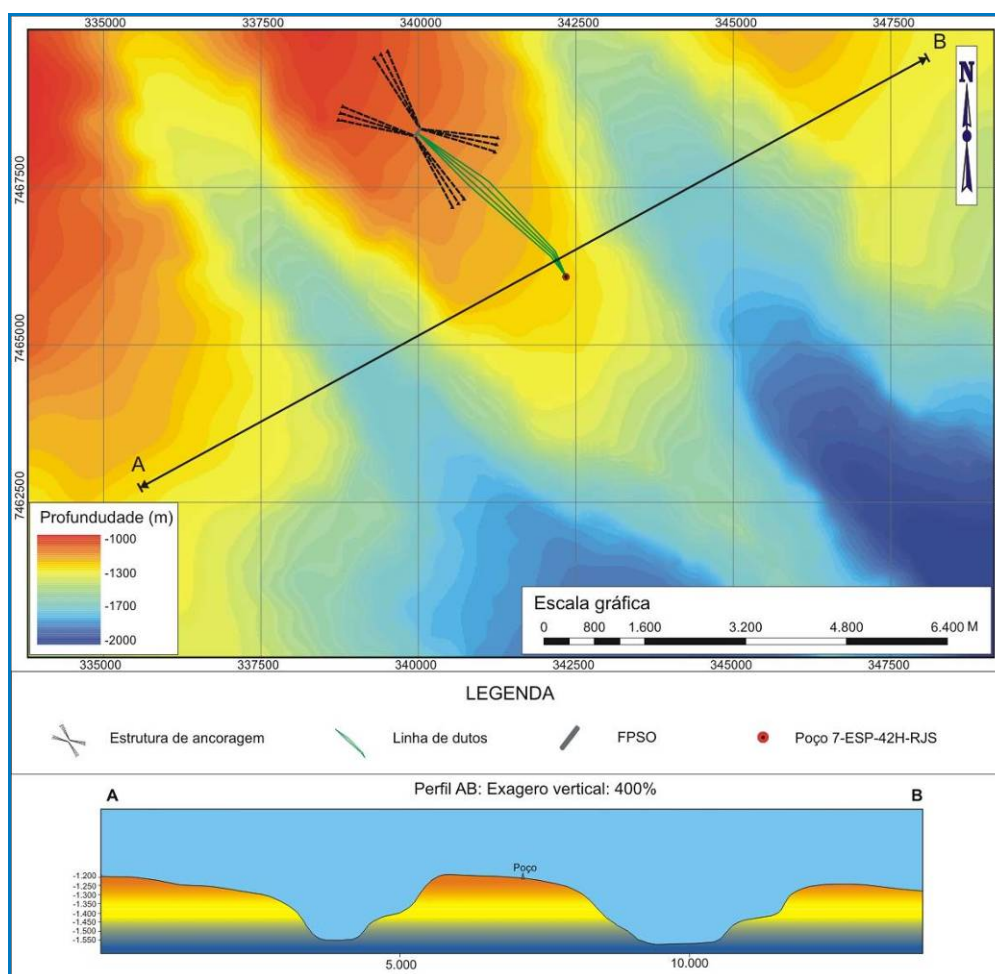


Figura II.5.1.4-12 - Mapa de relevo da área do TLD.

Fonte: ICF, 2011. Base de dados, mapa batimétrico local do campo de Espadarte Petrobras, 2010.

A Faciologia dos sedimentos de fundo na área do TLD é caracterizada a partir da interpretação integrada dos dados geofísicos (sísmica 3D, SBP e sonar) e geológicos (amostras geológicas e geotécnicas), e resultou na identificação de três unidades: lama normalmente adensada, lama heterogênea (diamictito) e lama pré-adensada (Petrobras, 2010).

O fundo marinho na área do TLD é constituído predominantemente por lama normalmente adensada (argila + silte). Este sedimento é composto pela mistura das frações granulométricas de tamanho silte e argila, ocorrendo predominantemente sob a forma de uma cobertura lamosa, também denominada de *drape* (Figura II.5.1.4-13 e Mapa II. 5.1-4 – Mapa Faciológico Local).

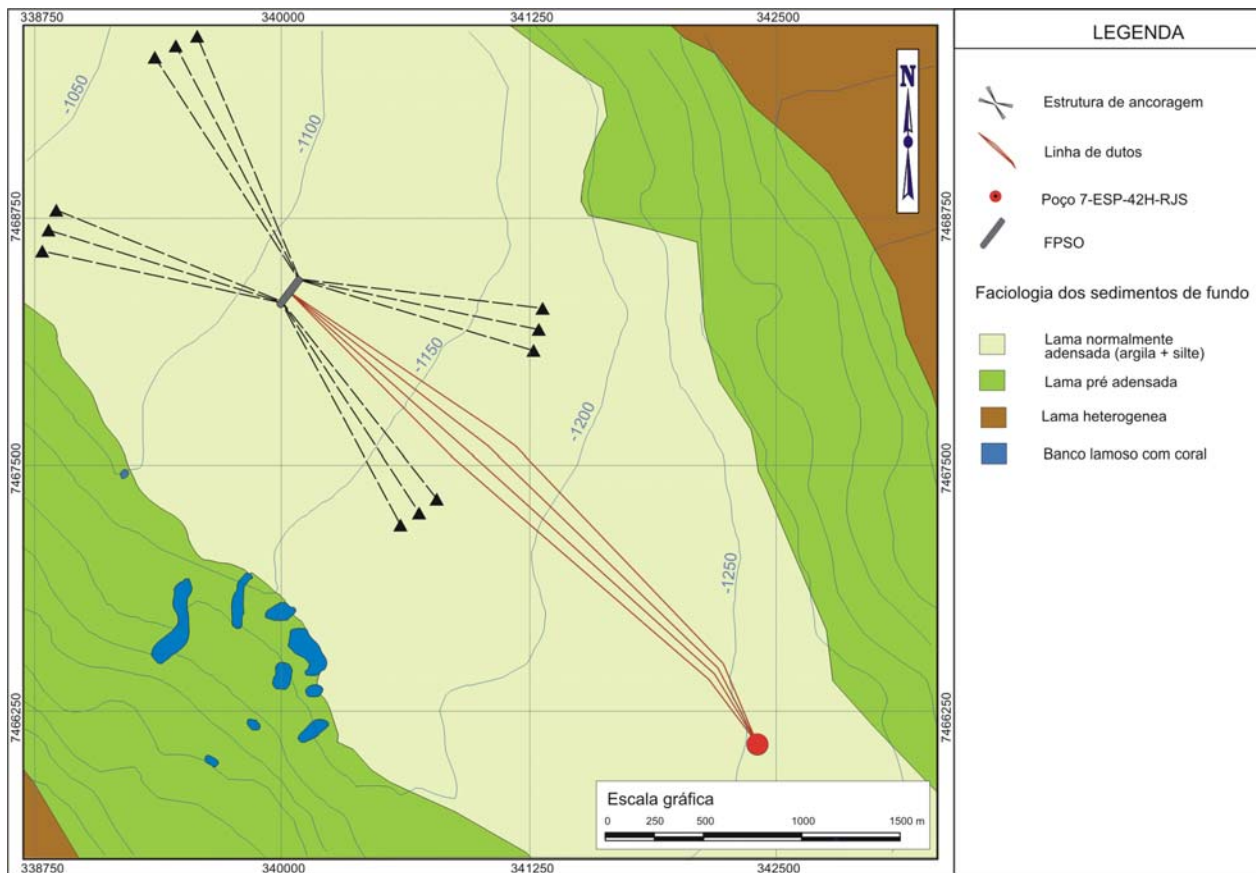


Figura II.5.1.4-13 - Facilogia dos sedimentos de fundo da área do TLD.

Fonte: Modificado de Petrobras, 2010.

Associada a esta facilogia ocorre a fácies lama pré-adensada que aflora em regiões de alta declividade, onde a cobertura sedimentar superficial não consegue se fixar. O sobre-adensamento deste material é atribuído ao carregamento que este solo sofreu no passado geológico devido ao peso das camadas sobrejacentes.

Os diamictitos que caracterizam a fácies lama heterogênea encontram-se restritos ao fundo dos cânions (talvegues). Sua origem pode estar associada a depósitos de massa formados pelo desabamento das paredes e das cabeceiras dos cânions Tupinambá e Temiminó, principalmente até o Pleistoceno. O termo diamictito é descritivo, caracterizando depósitos constituídos por clastos de lama imersos em matriz também lamosa.

Bancos lamosos possivelmente com coral encontram-se distribuídos ao longo de toda a porção sudoeste da área do TLD, deste a vertente NW do Cânion Temiminó até o limite SW da área, onde apresentam maior concentração.

2) Estratigrafia e sistema petrolífero

A acumulação de hidrocarbonetos de idade Albiana, objeto do Desenvolvimento da Fase III da Concessão de Espadarte, foi descoberta pelo poço de extensão 3-ESP-21-RJS, perfurado inicialmente para reservatórios de idade Cenomaniana. Nesse poço, foi constatado 12,5 metros de arenito poroso com óleo de 19,5° API. Foi proposto o aprofundamento do poço, tendo sido atravessados 180 metros de coluna, dos quais 122,5 metros representam espessura porosa com óleo em calcarenitos oncolíticos/oolíticos e dolomitos. Análises de PVT (nas condições de reservatório) apontaram óleo de 17,7°API e 27,77 cP nos calcarenitos e óleo de 15,4°API e 65 cP nos dolomitos. Em seguida foi perfurado o poço de extensão 3-RJS-22D-RJS que confirmou a acumulação.

O Poço 7-ESP-42H-RJS proposto para testar esta acumulação está localizado no talude médio da porção centro sul da Bacia de Campos em Lâmina de Água de 1260m. O fundo marinho desta região é cortado por cânions alinhados na direção NW, ortogonais as isóbatas. Os cânions próximos à locação chamam-se Tupinambá e Temininó. O seu relevo é em grande parte irregular. Esta locação atravessará as rochas argilosas e siliciclásticas do Grupo Campos, Formação Ubatuba e Formação Carapebus respectivamente conforme carta estratigráfica da figura 1 e sua seção horizontal, objetivo da locação, será dentro dos carbonatos da Formação Quissamã do Grupo Macaé.

O óleo desta área teria se acumulado primariamente em coquinas e migrado por falhas de direção NW-SE e N-S e em janelas de sal para a seção pós-sal durante o intervalo do Mioceno Médio a Superior. Isto fez com que houvesse nesta região acumulação de óleo na Formação Quissamã do Grupo Macaé assim como as areias Cenomanianas da Formação Imbetiba e Formação Carapebus de idade Maastrichianas, Santonianas e Paleocênicas do Grupo Campos. Existe uma clara deterioração dos óleos com a diminuição do soterramento. Estes reservatórios siliciclásticos estão previstos conforme mostra o quadro de previsões geológicas (**Figura II.5.1.4-14**).

Ao final da deposição dos carbonatos que compõem o principal reservatório da locação começou a halocinese, que causou ruptura da plataforma carbonática

e criou espaço (gap de falha N-S) para a deposição de espessa (> 250m) seção de folhelhos e margas cenomanianos. Essas rochas enveloparam completamente a estrutura (com *touchdown* das margas diretamente sobre o topo dos evaporitos), contra o mergulho regional da bacia, formando uma trapa efetiva para a acumulação de óleo.

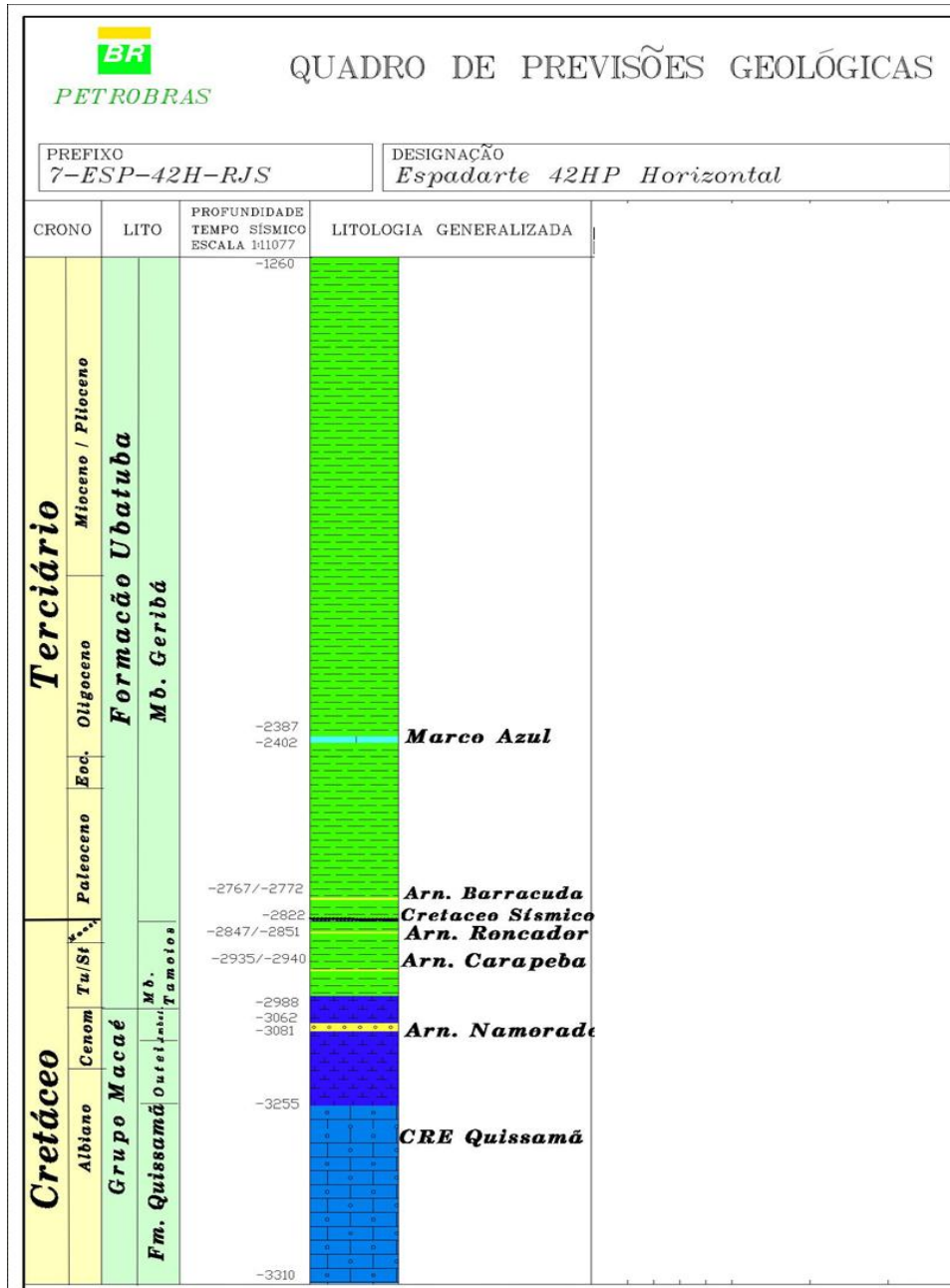


Figura II.5.1.4-14 - Quadro de Previsões Geológicas do Poço 7-ESP-42H-RJS.

Fonte: Petrobras, 2011.

Os reservatórios do Albiano Inferior do Campo de Espadarte são representados por estruturas isoladas, que correspondem a depósitos carbonáticos de plataforma rasa, controlados estruturalmente pela tectônica salífera (**Figura II.5.1.4-15**), formados durante um regime transgressivo do Albiano Inferior.

Estruturalmente o trapeamento principal aparece contra uma falha extensional orientada segundo a direção norte-sul com gap preenchido por margas cenomanianas do Membro Outeiro / Formação Macaé. Lateralmente e mergulho abaixo o fechamento ocorre por espessamento da seção de calcilutitos - que são a rocha selante dos calcarenitos (**Figura II.5.1.4-16**), e por mergulho estrutural. Nota-se o alinhamento da falha norte-sul com o alto estrutural do embasamento, mostrando a possibilidade de que esta seja oriunda da reativação de uma falha mais antiga, relacionada a fase rift da Bacia de Campos.

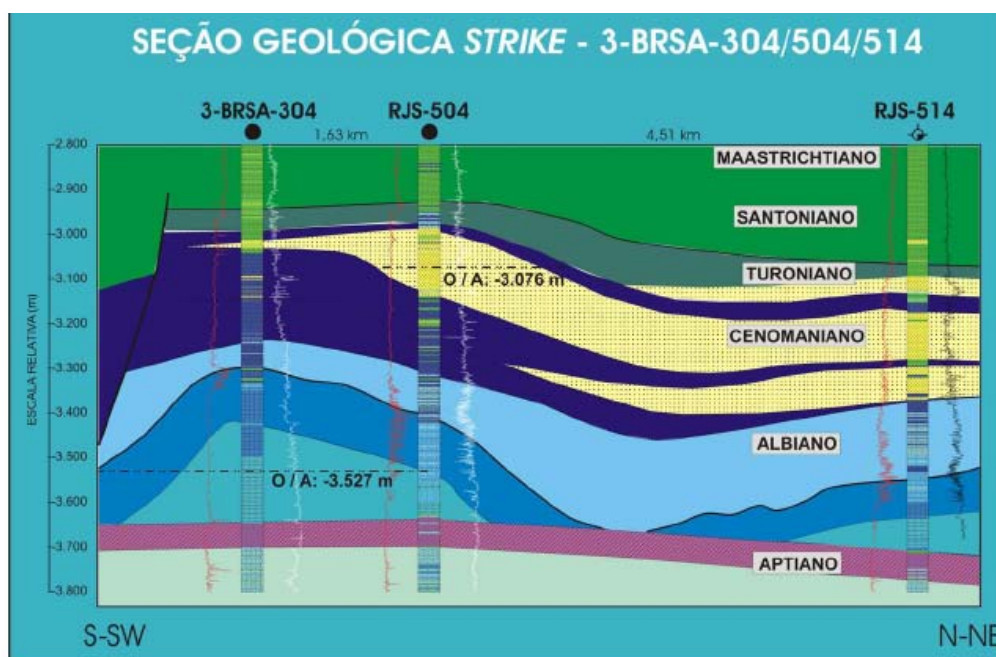


Figura II.5.1.4-15 - Seção Geológica esquemática destacando os reservatório da acumulação descoberta pelo poço 3-ESP-21-RJS.

Fonte: Petrobras, 2011.

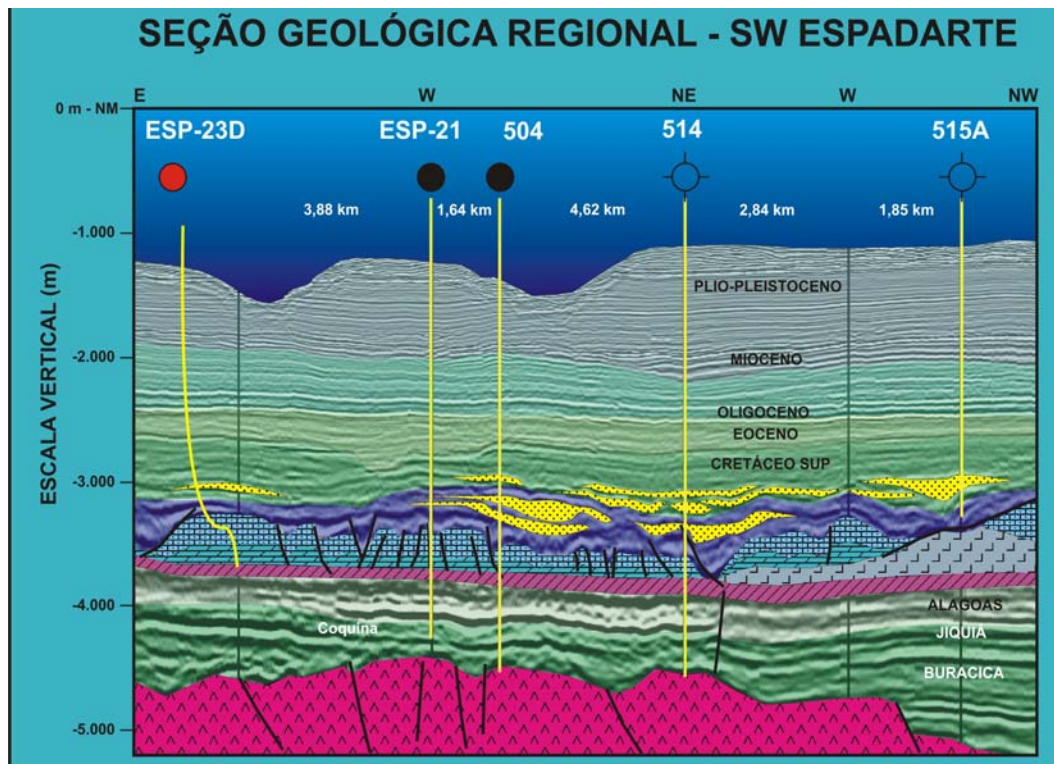


Figura II.5.1.4-16 - Seção Sísmica Interpretada dos reservatórios do Albiano Inferior do campo de Espadarte.

Fonte: Petrobras, 2011.

Análises feitas através de sísmica 3D indicaram a presença de possíveis barras carbonáticas de alta energia sotopostas a uma seção de calcilitos radioativos, que constitui um marco estratigráfico (**Figura II.5.1.4-17**). Nestes reservatórios reconhecem-se três seqüências carbonáticas retrogradacionais de terceira ordem inseridas em um ambiente de plataforma rasa. A **Figura II.5.1.4-18** mostra o topo estrutural da acumulação.

Na base da zona Alfa destacam-se os dolomitos com alta porosidade móldica e vugular e no topo os grainstones oolíticos/ oncolíticos com alta porosidade intergranular. A unidade basal está assentada sobre a seção evaporítica da Fm.Lagoa Feia e marca o início da transgressão carbonática na bacia e mostra-se dolomitizada. Representa a deposição de barras onshore oolíticas/ oncolíticas, em ciclos de raseamento para o topo (shoaling upward) e é subaquática em praticamente todo o campo.

A seqüência intermediária representa a deposição de bancos de média e baixa energia, parcial a totalmente de composição dolomítica e bastante heterogêneo em termos de reservatório. Apresenta também intensa cimentação em bancos de alta energia.

A seqüência superior encontra-se na base de bancos de alta energia em ciclos de raseamento, onde estão os reservatórios de melhor qualidade. Na sua porção superior ocorrem margas e calcilitos que representam o afogamento final da plataforma carbonática, sem reservatório.

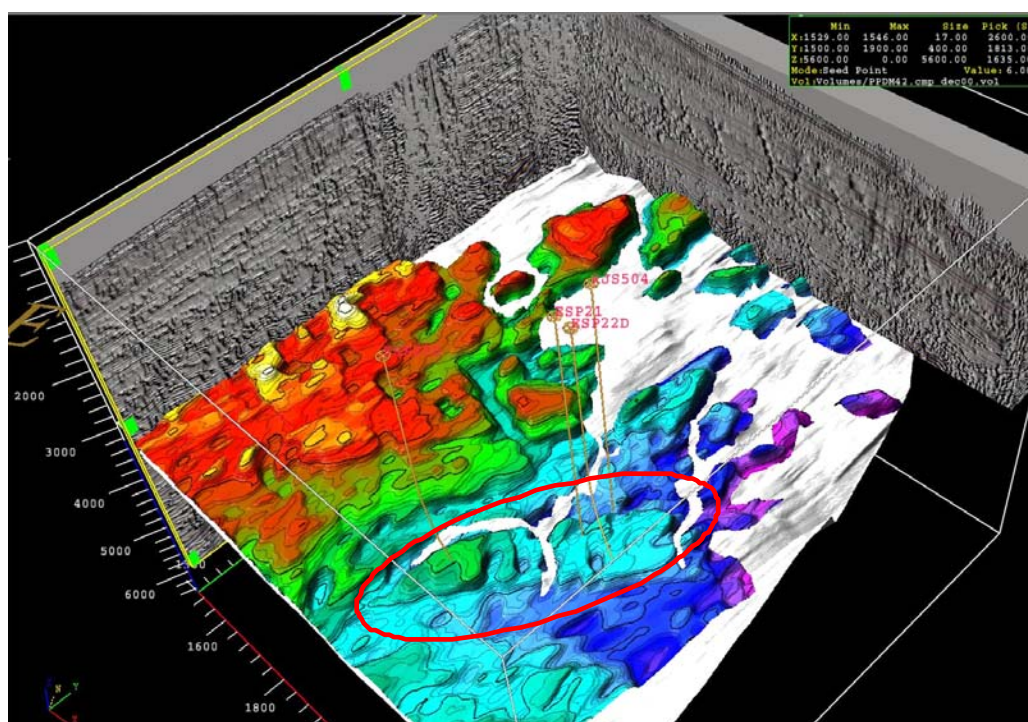


Figura II.5.1.4-17 - Visualização 3D do topo da zona Alfa do Mb. Quissamã da Fm. Macaé e topo sal (limite inferior do reservatório, em branco). Na elipse a área de ocorrência dos reservatórios.

Fonte: Petrobras, 2011.

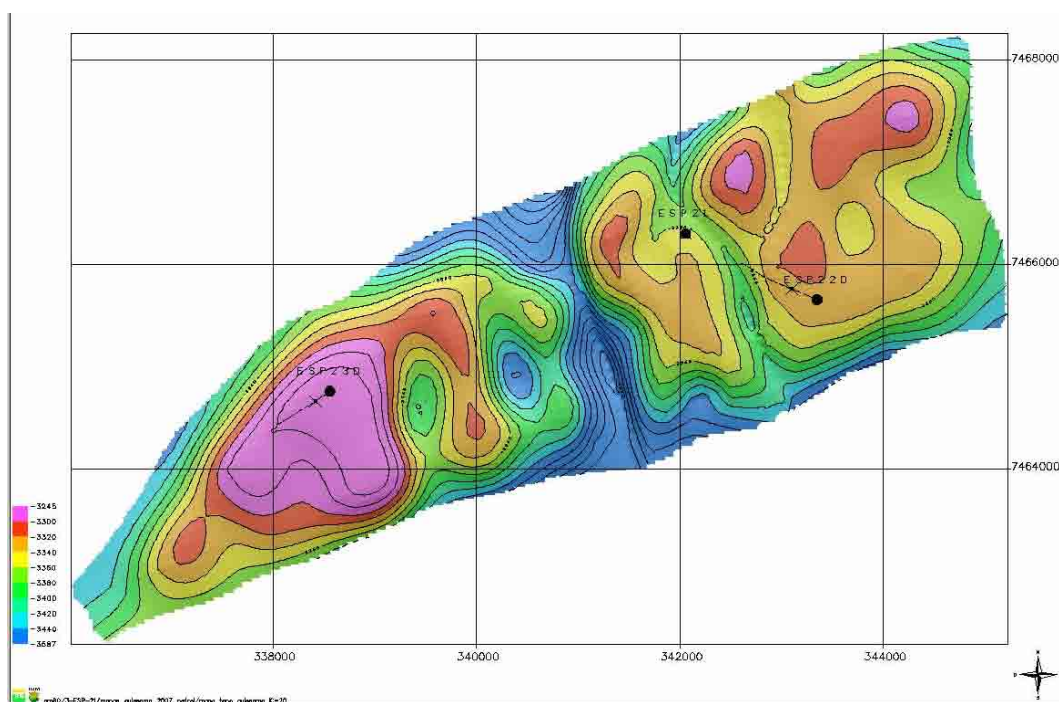


Figura II.5.1.4-18 - Mapa estrutural do Topo da Zona Alfa do Reservatório Quissamã do Campo de Espadarte nas áreas dos poços 3-ESP-21-RJS, 3-ESP 22D-RJS e 4-ESP-23D-RJS.

Fonte: Petrobras, 2011.

3) Sismicidade

O padrão de sismicidade observado na Bacia de Campos, 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 os 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.5.1.4-19**) apresenta a distribuição epicentral da Bacia de Campos. Nessa figura, é apresentado um conjunto de eventos sísmicos com magnitudes variando entre 2,0 e 4,8 (escala Richter), com a maior concentração de focos epicentrais ocorrendo nos domínios da Plataforma Continental. A maior magnitude registrada nesta bacia, de 4,8 graus na escala Richter, teve seu epicentro localizado a cerca de 130 km ao norte da área do TLD, como pode ser observado no mapa de sismicidade da Bacia (**Figura II.5.1.4-19**).

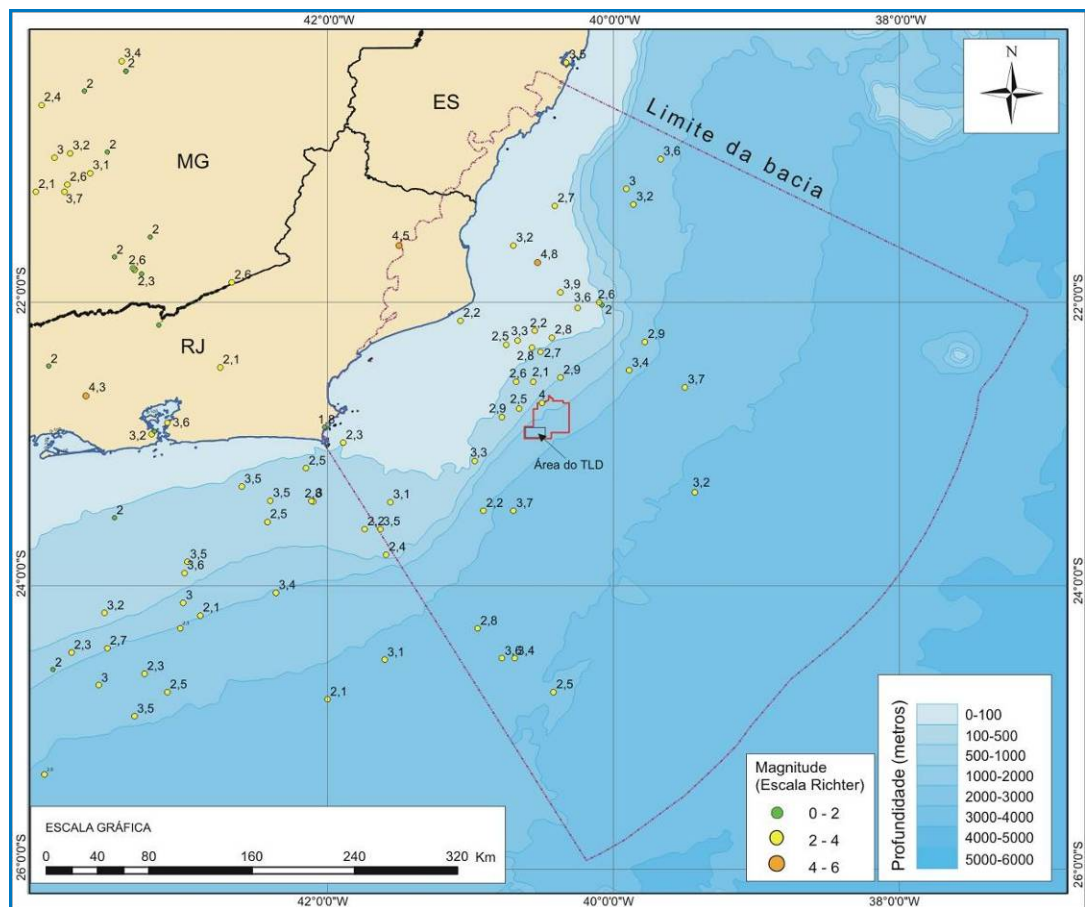


Figura II.5.1.4-19 - Mapa de Sismicidade da Bacia de Campos.

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 **Tabela II.5.1.4-1**, 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 II.5.1.4-1**:

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

Onde ΣN 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.5.1.4-1**).

Tabela II.5.1.4-1 - *Freqüência anual e intervalo de recorrência para sismos com magnitudes acumulativas na Província Sismotectônica do Sudeste.*

Magnitude	$M_b \geq 3,0$	$M_b \geq 3,5$	$M_b \geq 4,0$	$M_b \geq 4,5$	$M_b \geq 5,0$	$M_b \geq 6,0$	$M_b \geq 7,0$
Freqüência 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 à sismicidade nas bacias do sudeste brasileiro ou qualquer acidente envolvendo instalações da Petrobras dispostas no solo oceânico.

4) 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, tais como as zonas de quebra da Plataforma, Talude Continental e Sopé Continental.

Movimentos de massa referem-se a todos os processos de ressedimentação, que movem sedimentos sobre o assoalho oceânico. Direcionados por forças gravitacionais, esses movimentos abrangem desde pequenos deslizamentos e rastejos, 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 ligado 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.

Segundo Caddah *et al* (1998), os grandes processos hidrodinâmicos do Atlântico Sul não sofreram modificações significativas desde as Épocas Oligoceno/Mioceno. Com isso, os processos sedimentares observados no Quaternário podem, genericamente, ser extrapolados para períodos pretéritos, assumindo-se sua atuação para todo o Cenozóico.

Na Bacia de Campos, o transporte de sedimentos de fundo na plataforma externa é relacionado à influência de diversos fatores oceanográficos, resultando em deslocamentos tanto paralelos quanto perpendiculares às isóbatas. Os dados registrados por Caddah *et al* (*op cit*) caracterizam a ocorrência de deslocamentos perpendiculares de material, evidenciando fluxos que cruzam o talude continental. Dessa forma, o deslocamento de sedimentos para o talude superior ocorre preferencialmente através de fluxos de gravidade de baixa densidade, com materiais carregados em suspensão.

5) Caracterização Geotécnica Local

Para a avaliação das condições de estabilidade do fundo do mar de modo a identificar e classificar eventuais riscos geológico-geotécnicos, como deslizamento de taludes submarinos na área do Campo de Espadarte, foi realizada uma avaliação geotécnica de estabilidade do leito marinho (BORGES & BAGLI, 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 na área do Campo de Espadarte.

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 km² 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 abaixo, 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. Esta equação representa a formulação clássica de talude infinito para a análise de estabilidade de taludes de solos granulares.

$$FS = \frac{\tan \phi'}{\tan \alpha}$$

Onde:

- FS = fator de segurança estático contra deslizamentos para material de Mohr-Coulomb;
- ϕ' = ângulo de atrito interno efetivo da areia;
- α = declividade do fundo do mar.

O dado relacionado à morfologia do fundo do mar (α) foi obtido a partir do modelo numérico do terreno. Para cada cela do mapa de declividade, o valor do ângulo de inclinação α está armazenado.

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 Campo de Espadarte.

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.5.1.4-20**). 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.5.1.4-1**). Esta classificação define as áreas potenciais a 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.5.1.4-2 - 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.
$1,30 < FS \leq 1,50$	4	Carregamentos externos importantes são necessários para promover a instabilidade.
$1,15 < FS \leq 1,30$	3	Carregamentos externos moderados são necessários para promover a instabilidade.
$1,00 < FS \leq 1,15$	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).

O mapa de suscetibilidade a movimentos de massa apresentando a distribuição espacial dos valores de FS indica para todos os pontos de locação de instalações submarinas previstos para o Campo de Espadarte, valores de fator de segurança acima de 1,50, identificando essas áreas como de baixo risco à ocorrência de movimentos de massa.

O fator de segurança considerado como mínimo requerido para garantir a segurança dos taludes da área da Fase III do Campo de Espadarte é de 1,30, de acordo com padrões recomendáveis de engenharia, encontrando suporte nas diretrizes da CANADIAN DAM ASSOCIATION (1999) e ONTARIO DAM SAFETY (1999). Este fator, de acordo com padrões recomendáveis de engenharia citados, considera as incertezas, que podem ser atribuídas a mecanismos de disparo de movimentos de massa diversos, de parâmetros pouco conhecidos na área em estudo.

Os padrões acima citado referem-se ao fator de segurança para o caso de barragens de terra, diferindo do caso aqui analisado, a estabilidade de taludes naturais submarinos. Tais referências foram utilizados neste trabalho em virtude da ausência de critérios a respeito da segurança de taludes contra deslizamentos na condição *offshore*, valendo ressaltar que a instabilidade real de um talude se dá para um fator de segurança menor ou igual a 1.

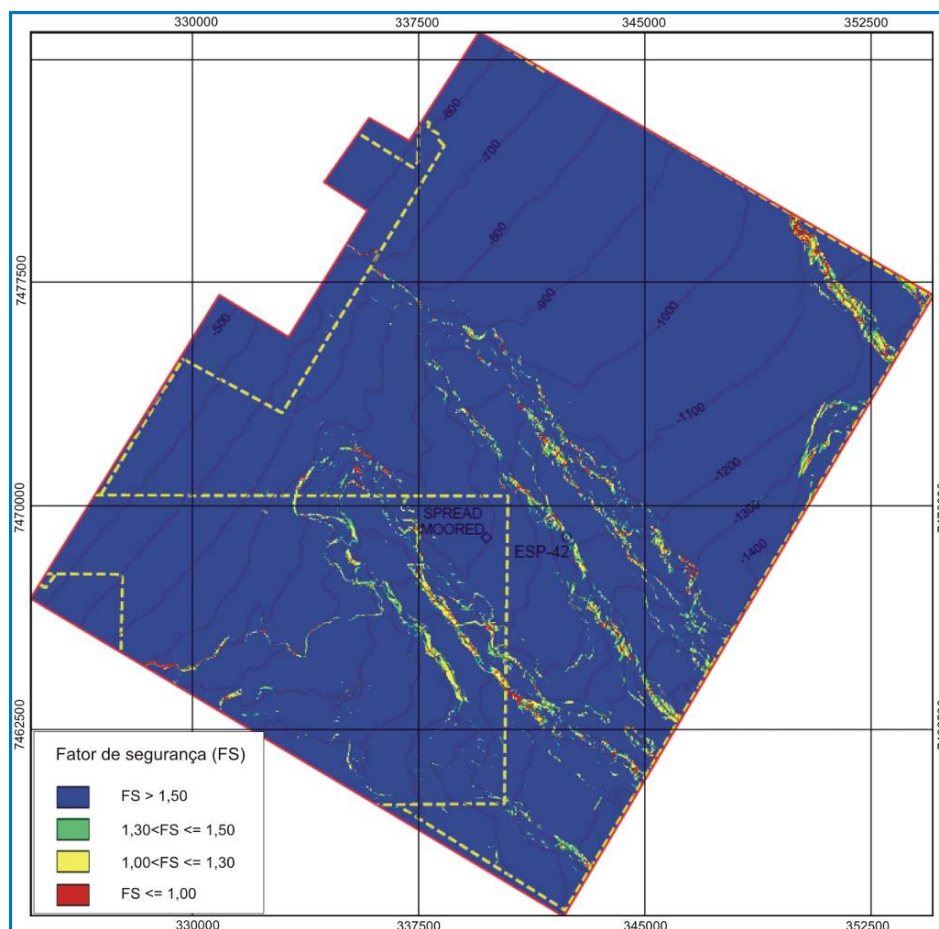


Figura II.5.1.4-20 - Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa submarinos do Campo de Espadarte.

Fonte: BORGES & BAGLI, 2010.

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 no Campo de Espadarte.

6) Geopressões de poros

Os dados de testes de pressão dos poços realizados no Campo de Espadarte (**Figura II.5.1.4-21**), disponibilizados pela Petrobras indicaram que o regime deste campo é hidrostático com valores não superiores a 9,8 lb/Gal, como pode ser visualizado na **Figura II.5.1.4-22** que representa o gráfico dos dados de gradientes de pressão medidos nos poços pela profundidade. Esses valores indicam que as pressões de poros na área de Espadarte não oferecem riscos às instalações submarinas.

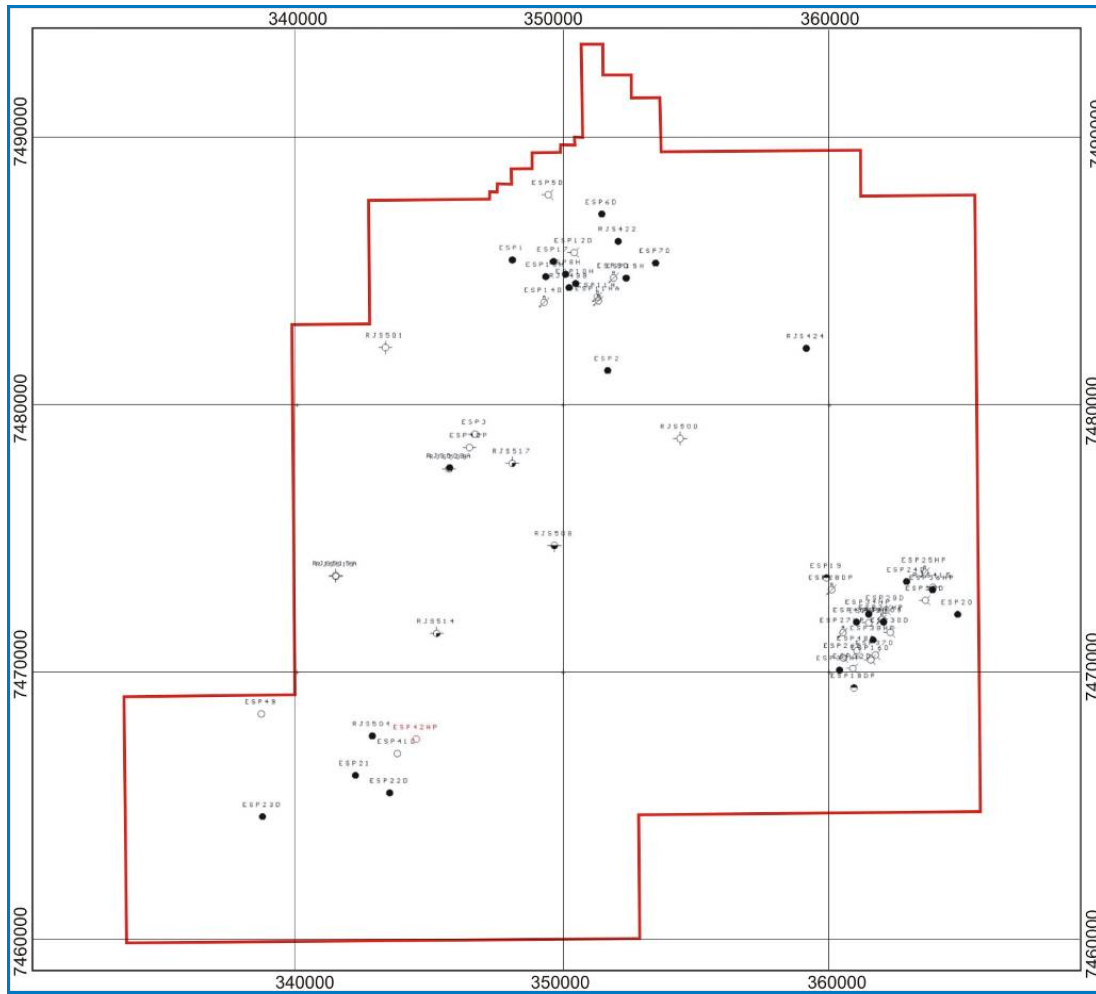


Figura II.5.1.4-21 - Localização dos ensaios de pressão de poros no Campo de Espadarte.

Fonte: Modificado de Petrobras, 2011.

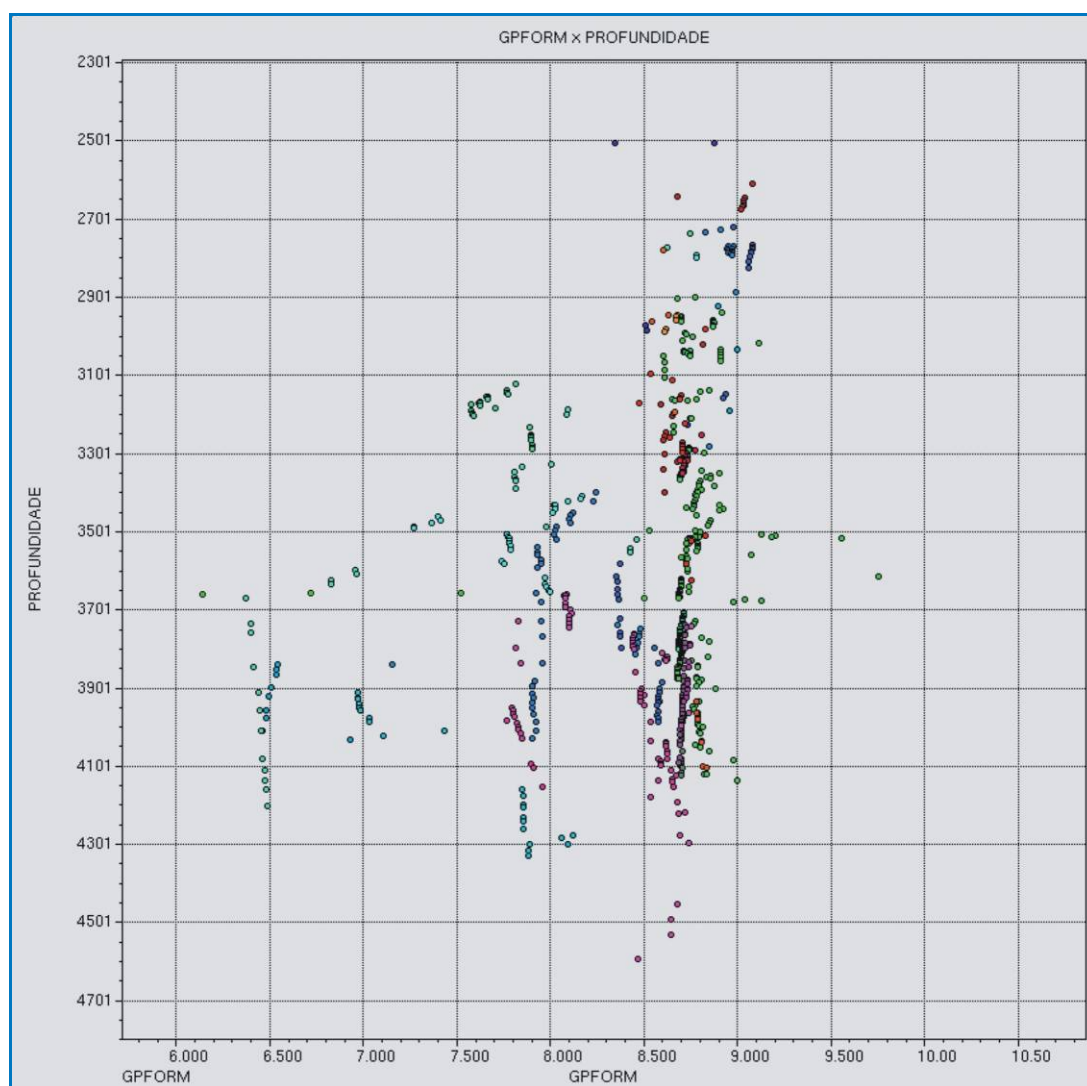


Figura II.5.1.4-22 - Gráfico de gradientes de pressão medidos nos poços pela profundidade no Campo de Espadarte.

Fonte: Petrobras, 2011.

Q - Mapa Batimétrico/Faciológico

O Mapa Batimétrico/Faciológico Regional da Bacia de Campos e o Mapa Faciológico Local referente à área do TLD, bem como as feições geomorfológicas, estão apresentadas nos **Mapas II. 5.1-3** e **Mapas II.5.1-4** ao final dessa seção.