

II.5.1 - MEIO FÍSICO

Este item contempla as caracterizações meteorológicas, oceanográficas, de qualidade de água e sedimentos e geológicas da área de estudo do meio físico-biótico do Projeto Etapa 2, descrito anteriormente na **seção II.4 – Área de Estudo**.

Os subitens que compõem este diagnóstico, **II.5.1.1 - Meteorologia**, **II.5.1.2 - Oceanografia**, **II.5.1.3 - Qualidade de Água e Sedimento** e **II.5.1.4 - Geologia e Geomorfologia** foram elaborados descrevendo-se as características intrínsecas e os processos do meio físico que são influenciados ou que podem influenciar as atividades, normais ou decorrentes de acidentes, das atividades do Projeto Etapa 2.

Por se tratar de uma área de estudo de grande extensão, os processos físicos meteorológicos e oceanográficos atuantes na região do empreendimento têm diversas escalas espaciais e temporais, e podem incidir em regiões específicas desta área. Um exemplo dessa variação está no compartimento oceanográfico: considerando-se toda a área de estudo, nota-se que tanto as massas de água quanto as forçantes hidrodinâmicas são diferentes para a região mais próxima à linha de costa (plataforma continental), para o talude e para o oceano profundo. Desta maneira fez-se necessário uma caracterização compartimentada para as descrições meteorológicas e oceanográficas, todavia, focada nos aspectos importantes e que influenciam as condições na área de estudo.

Assim, o subitem **II.5.1.1 - Meteorologia**, foi elaborado de forma a caracterizar os mecanismos da circulação atmosférica considerando-se os sistemas de macroescala (América do Sul e Oceano Atlântico), escala regional ou mesoscala e local. Estas três escalas espaciais são importantes para o entendimento das variações atmosféricas na área de estudo.

Já para o subitem **II.5.1.2 - Oceanografia**, a descrição foi elaborada para os compartimentos fisiográficos plataforma continental, talude continental e oceano profundo, sendo que para cada uma destas feições foram descritos os processos oceanográficos principais e que são importantes para o completo entendimento dos movimentos e das características das águas marinhas na área de estudo.

Principalmente para os itens **II.5.1.1 - Meteorologia** e **II.5.1.2 - Oceanografia**, parâmetros como direção de ventos, correntes, ondas e as variações sazonais (estações do ano) seguiram algumas convenções, descritas a seguir:

Convenções adotadas

Ao longo do texto, as direções de ventos, ondas e correntes apresentadas em figuras e tabelas referem-se ao Norte verdadeiro, e são indicadas de acordo com seus subquadrantes. As respectivas siglas estão de acordo com a língua inglesa e estão listadas no **Quadro II.5.1-1**, que também mostra os intervalos numéricos que compõem cada um dos quadrantes. O 0° representa o Norte, com incrementos em rotação horária (90° Leste).

Quadro II.5.1-1 - *Intervalos numéricos para os quadrantes de direções, utilizados no diagnóstico do meio físico.*

Direção	Sigla	Intervalo Numérico
Norte	N	337,5° - 22,5°
Nordeste	NE	22,5° - 67,5°
Leste	E	67,5° - 112,5°
Sudeste	SE	112,5° - 157,5°
Sul	S	157,5° - 202,5°
Sudoeste	SW	202,5° - 247,5°
Oeste	W	247,5° - 292,5°
Noroeste	NW	292,5° - 337,5°

Para representar a direção das propriedades vetoriais, como no caso das velocidades do vento e correntes, foram utilizadas duas convenções: vetorial e meteorológica.

Na convenção vetorial a direção indica o destino. Por exemplo, em uma citação corrente Sudoeste, a corrente está se deslocando para o quadrante Sudoeste. A convenção meteorológica indica a origem. Assim, em uma citação vento Nordeste, o vento vem do quadrante Nordeste.

Desta maneira, a direção das correntes marinhas segue a convenção vetorial, enquanto a direção do vento e ondas segue a convenção meteorológica.

Outra convenção adotada refere-se às estações do ano. Para caracterizar a sazonalidade das propriedades, estas são descritas considerando-se a média anual e as médias nos meses de verão e meses de inverno. Os meses de verão aqui adotados são dezembro, janeiro e fevereiro e os meses de inverno são junho, julho e agosto. A seleção dos meses para representar as estações de verão e inverno baseou-se no fato das fontes secundárias de informação consultadas utilizarem tal definição. Entretanto variações, principalmente na estação de verão, entre autores que consideram os meses de dezembro-fevereiro e outros que consideram janeiro-março são comuns, e não apresentam diferenças significativas nos resultados das análises dos dados.

II.5.1.1 - Meteorologia

Para o completo entendimento de todos os processos atmosféricos que podem influenciar a área de estudo, é necessária a descrição de fenômenos de diferentes escalas espaciais. Devido às características da área de estudo, as escalas que influenciam diretamente a meteorologia são: macroescala (América do Sul e Oceano Atlântico), mesoescala (circulações regionais) e escala local (áreas costeiras influenciadas por características orográficas, por exemplo).

Para realizar a caracterização meteorológica dos fenômenos de escalas espaciais de macro e mesoescala que influenciam diretamente a área de estudo, foi necessário extrapolar os limites geográficos desta, englobando a América do Sul e o Atlântico Sul. Esta caracterização foi feita por meio de revisão bibliográfica e descritiva dos fenômenos atmosféricos importantes, selecionando os principais mecanismos de circulação atmosférica que exercem influência nas condições de tempo na área de estudo, mostrando as variações espaço-temporais mais relevantes. Foram descritas as variações mensais, sazonais (verão e inverno) e anuais dos parâmetros temperatura, pressão atmosférica, ventos, precipitação, evaporação, umidade relativa, insolação e radiação solar. Tais parâmetros foram obtidos a partir de séries recentes e históricas de dados coletados por instituições de pesquisas e estações meteorológicas localizadas na área de estudo, inclusive de outros empreendimentos da PETROBRAS.

Adicionalmente, foram utilizados dados do modelo meteorológico de circulação geral da atmosfera do *National Center for Environmental Prediction* - NCEP e *National Center for Atmospheric Research* - NCAR, disponibilizados pelo *Climate Diagnostics Center* - CDC da *National Oceanic and Atmospheric Administration* - NOAA, ambos dos Estados Unidos da América.

Desta maneira, este subitem apresenta 2 tópicos: **A) Sistemas de macroescala e mesoescala e B) Meteorologia na área de estudo**. O tópico **A** mostra os fenômenos de escalas espaciais de macro e mesoescala que influenciam diretamente a área de estudo. No tópico **B** é apresentada a metodologia adotada para descrição dos parâmetros na área de estudo, descrevendo as características das séries obtidas, contemplando frequência de amostragem, abrangência temporal e locais de coleta. Sistemas de macroescala e mesoescala

A) Sistemas de Macroescala e mesoescala

Os sistemas de macroescala têm dimensões da ordem de algumas centenas de quilômetros e duração da ordem de um dia a meses. Neles se enquadram, por exemplo, frentes frias, ciclones e anticiclones. Esses são importantes também na definição das características climáticas e sazonais nas diversas regiões do globo, incluindo a área de estudo.

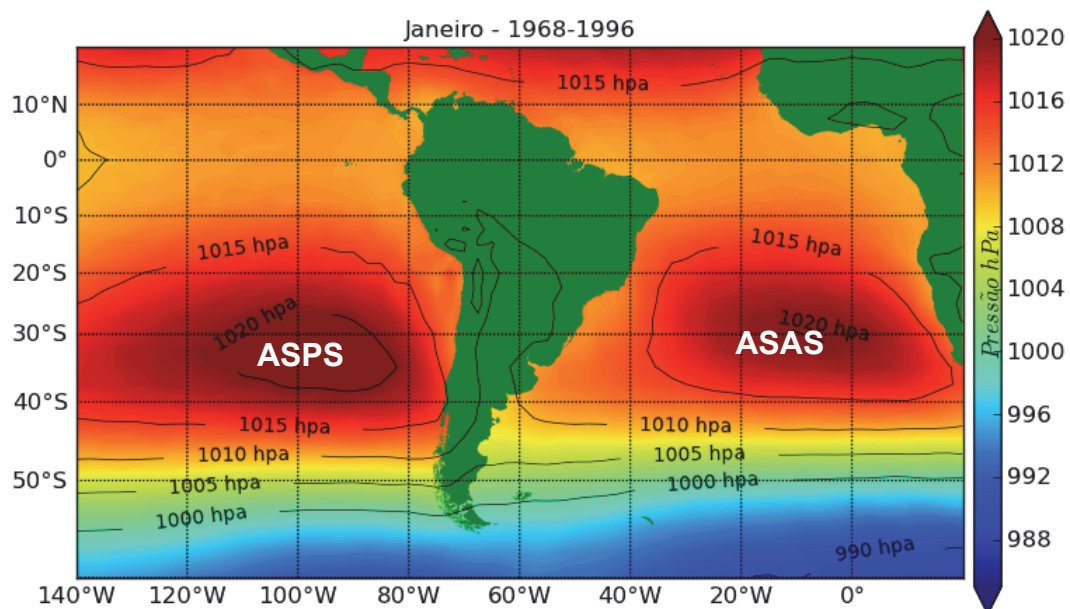
Os sistemas de mesoescala têm dimensões da ordem de 1 km até cerca de 100 km. A duração característica é da ordem de 1 h a 1 dia. Nessa categoria são enquadrados os fenômenos: tornados, linhas de instabilidade, tempestades isoladas, conjuntos ou sistemas de nuvens, ilhas de calor e brisas.

As atividades do Projeto Etapa 2 estão localizadas na Bacia de Santos - região Sudeste do Brasil, Oceano Atlântico. Deste modo a meteorologia na área de estudo é influenciada pela presença de dois sistemas de macroescala: o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul - ASAS e o Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul - ASPS, com destaque para o primeiro.

Esses sistemas de alta pressão (que têm ventos girando no sentido anti-horário) são responsáveis por parte das condições de tempo sobre o continente sul-americano, pois do posicionamento deles dependem os

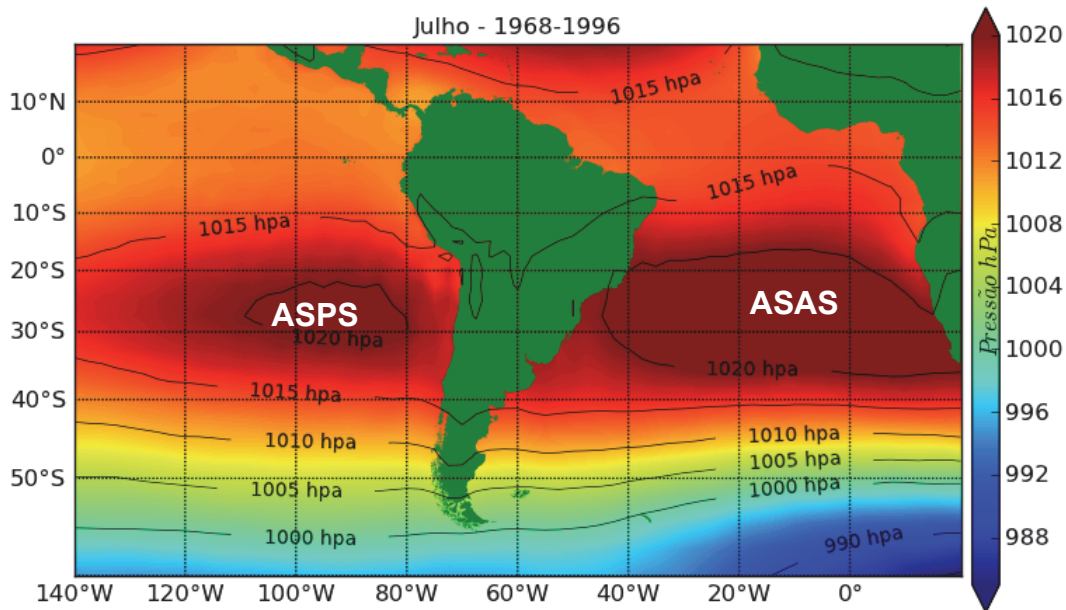
mecanismos de penetração de massas de ar provenientes do Sul e a geração de sistemas de mesoescala continentais, como o desenvolvimento de sistemas convectivos, que são responsáveis por grande parte da precipitação (VAREJÃO, 2000).

Para entender como estes centros de alta pressão atuam sobre a atmosfera na área de estudo estão apresentadas na **Figura II.5.1.1-1** e na **Figura II.5.1.1-2** os posicionamentos dos referidos anticiclones nos meses de janeiro e julho, sendo estes meses representativos das estações verão e inverno, respectivamente. Estas figuras foram confeccionadas de acordo com Reanálises do NCEP (NOAA, 2002), a partir de dados de pressão atmosférica referentes ao período entre 1968 e 1996.



Fonte: NOAA (2002).

Figura II.5.1.1-1 – Pressão atmosférica indicando o posicionamento dos sistemas de Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul - ASPS e do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul - ASAS no verão.



Fonte: NOAA (2002).

Figura II.5.1.1-2 – Pressão atmosférica indicando o posicionamento dos sistemas Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul - ASPS e do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul - ASAS no inverno.

O ASPS tem a circulação dos ventos em sua borda Leste induzida pela orientação da Cordilheira dos Andes, tendo portanto, sobre a América do Sul direção predominante de Sul para Norte, induzindo assim um escoamento de ar frio e seco e determinando uma condição de grande estabilidade atmosférica em baixos níveis (STULL, 2000).

O ASAS apresenta variação de seu posicionamento quando comparados os meses de verão e de inverno: no mês de janeiro, seu centro encontra-se posicionado mais próximo ao continente Africano e no mês de julho mais próximo ao continente Sul-americano. Assim, o ASAS está mais distante da área de estudo nos meses de verão e mais próximo nos meses de inverno. Esta maior penetrabilidade na área de estudo nos meses de inverno, conota uma condição de maior estabilidade atmosférica (VAREJÃO, 2000).

Portanto, para a área de estudo, as condições da meteorologia são impostas pelo ASAS, com ventos de origem Nordeste-Leste, com maiores pressões e estabilidade atmosférica nos meses de inverno. Estas condições padrões de tempo sofrem influências de perturbações ondulatórias que modificam as

condições meteorológicas na área de estudo. Dentre tais sistemas destacam-se: frentes (frias, quentes e estacionárias), ciclones extratropicais e anticiclones polares.

A área de estudo do Projeto Etapa 2 é também influenciada pelo mecanismo conjunto El Niño/Oscilação Sul, denominado por ENSO - *El Niño-Southern Oscillation*. Este é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, e pela La Niña, que também é um fenômeno oceânico-atmosférico, contudo com propriedades opostas ao El Niño, e que se caracteriza por um esfriamento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical (CPTEC/INPE, 2012).

Estudos indicam que, para a área de estudo, as principais alterações provocadas pelo El Niño são:

- A região Sul do Brasil é afetada por um aumento de precipitação, particularmente durante a primavera no primeiro ano do evento e, posteriormente, no fim do outono e início do inverno no segundo ano do evento (CPTEC/INPE, 2012).
- O Sudeste do Brasil apresenta temperaturas mais altas, tornando o inverno mais ameno (CPTEC/INPE, 2012).

Alguns dos impactos da La Niña tendem a ser opostos aos do El Niño, mas nem sempre uma região afetada pelo El Niño apresenta impactos significativos no tempo e clima devido à La Niña. Para a área de estudo, a região Sul do Brasil é atingida por severas secas, enquanto a região Sudeste tem suas características atmosféricas alteradas com pouca previsibilidade (CPTEC/INPE, 2012).

As Frentes Frias - FF que afetam a área de estudo são geradas em latitudes médias e se caracterizam por movimentos no sentido polo–Equador (Sul para Norte), embora também existam forças de componente Oeste–Leste que promovem uma trajetória final predominante Sudoeste–Nordeste, com pequenas variações sazonais em torno dessa trajetória. No verão, as FF deslocam-se predominantemente de Sul–Sudoeste para Norte–Nordeste. No inverno, seus deslocamentos tendem a ser de Oeste–Sudoeste para Leste–Nordeste. As condições de tempo associadas a esses sistemas apresentam, normalmente,

nuvens cumuliformes, com precipitações nas suas bandas frontais (VAREJÃO, 2001).

As Frentes Quentes – FQ, assim como as chamadas Linhas de Instabilidade – LI, ocorrem, em especial, nas latitudes tropicais, embora essas regiões estejam principalmente sujeitas aos mecanismos convectivos, tendo nas nuvens cumuliformes seus mais importantes agentes potenciais de ocorrência de tempo meteorológico. No caso das FQ, o ar quente é que substitui o ar frio na superfície e o movimento é do Equador para os polos, no sentido Noroeste-Sudeste (VAREJÃO, 2001).

Na situação em que a massa de ar frio não consegue avançar sobre a massa de ar quente, surge a denominada Frente Estacionária - FE. A precipitação associada a este sistema é geralmente fraca e de origem estratiforme.

Durante o verão os sistemas frontais podem se manter “semiesticionados” na área de estudo devido à presença de vórtices ciclônicos em altos níveis, na região Nordeste do Brasil

Nos meses de verão pode ocorrer a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A ZCAS é uma persistente faixa de nebulosidade orientada no sentido Noroeste-Sudeste, que se estende do Sul da Amazônia ao Atlântico Sul-Central (área de estudo do empreendimento) por alguns milhares de km, orientada no sentido NW-SE (KOUSKY, 1988, FIGUEROA (1997). A ZCAS pode ser caracterizada por sua estacionaridade por, pelo menos quatro dias, provocando assim, a alteração no regime de chuvas das regiões afetadas (QUADRO, 1994).

Os Ciclones Extratropicais - CE são áreas de baixa pressão que ocorrem sobre a área de estudo, apresentando circulação ciclônica (sentido horário dos ventos), com ventos intensos e grande índice pluviométrico. São mais comuns no inverno, embora comecem a aparecer no outono e ainda sejam encontrados na primavera. É um sistema cujo deslocamento predominante se dá no sentido Sudoeste–Nordeste e de Oeste–Leste sobre a área de estudo (STULL, 2000).

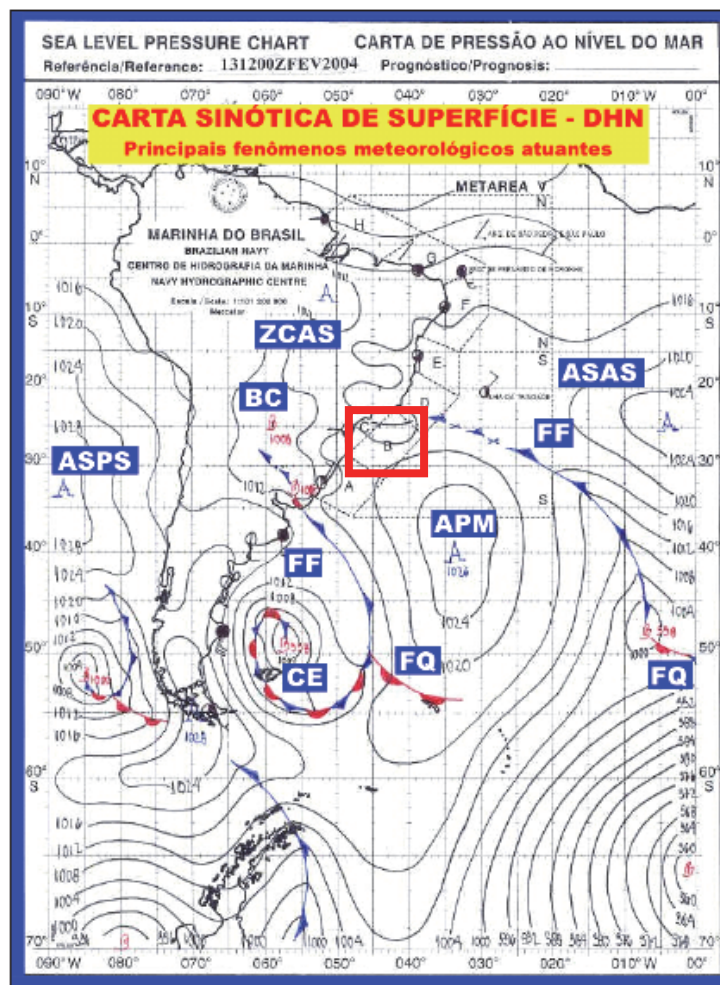
Os Anticiclones Polares que ocorrem na área de estudo constituem-se numa massa de ar frio que tem origem no continente Antártico. O Anticiclone Polar Migratório - APM é caracterizado por ser uma extensa área de alta pressão, constituída de ar muito frio, denso e seco. O APM apresenta um alto grau de

estabilidade em sua porção central devido à subsidência, proporcionando condições de céu claro e boa visibilidade. À medida que se desloca para latitudes mais baixas, um APM absorve calor e umidade da superfície do mar, relativamente mais quente, mudando gradativamente suas características iniciais e se tornando cada vez mais instável, de acordo com sua trajetória (STULL, 2000).

Durante o inverno, um APM se apresenta mais frequente e intenso e com dimensões superiores às aquelas normalmente identificadas no verão. Ao atingir o continente, APM sofre grandes efeitos de atrito, face à topografia acidentada da superfície, sujeitando-se a frequentes bloqueios em seu deslocamento, enfraquecendo-se ou dissipando-se ao entrar em contato com a convergência da baixa continental ou com o ASAS (STULL, 2000).

A Alta da Bolívia - AB ocupa, preferencialmente, a Região Centro-Oeste, de 10° S a 25° S e de 52° W a 72° W, com centro posicionado em torno de 17° S/ 62° W. É gerada no verão, a partir da liberação de calor latente pelo forte aquecimento convectivo da atmosfera sobre a Região do Chaco, formando uma área de baixa pressão denominada “Baixa do Chaco”, que afeta diretamente o Sul da Região Centro-Oeste e parte do estado de São Paulo. No inverno, entretanto, a “baixa continental” posiciona-se no extremo Noroeste do continente Sul-americano (VAREJÃO, 2001).

A **Figura II.5.1.1-3** mostra uma carta sinótica meteorológica de superfície com as ilustrações dos principais fenômenos meteorológicos descritos que atuam sobre a área de estudo.



Fonte: Marinha do Brasil

Figura II.5.1.1-3 - Carta Sinótica ilustrativa de 12:00Z (horário do Meridiano de Greenwich), do dia 13/02/2004, com indicações dos principais sistemas meteorológicos, que correspondem a: ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul; BC – Baixa do Chaco; ASPS – Alta Subtropical do Pacífico Sul; FF – Frente Fria; APM – Anticiclone Polar Migratório; FQ – Frente Quente; ASAS – Alta Subtropical do Atlântico Sul; CE – Ciclone extratropical. O quadrado vermelho indica a localização aproximada das atividades do Projeto Etapa 2. As isolinhas indicam a pressão em hPa.

A área de estudo também está submetida aos chamados Sistemas Convectivos de Mesoescala - SCM ou de Escala Regional, que são definidos como qualquer agrupamento de nuvens convectivas com forma linear ou circular e que, em algum estágio do ciclo de vida, contenha núcleos convectivos nas regiões adjacentes (DURIGON & FOSTER, 2004).

No espectro dos SCM, destacam-se as Linhas de Instabilidade Tropicais - LIT, os Complexos Convectivos de Mesoescala - CCM e os sistemas de circulações locais (STULL, 2000).

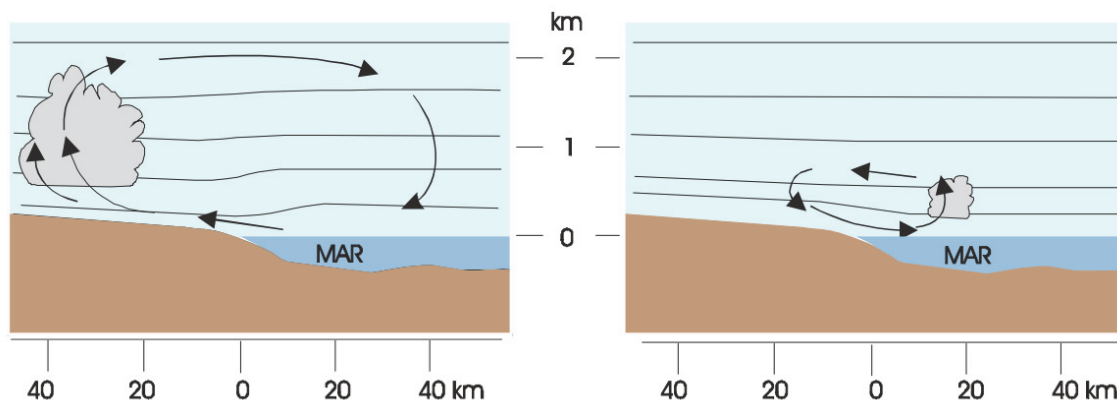
As LIT são depressões barométricas, na forma de linhas organizadas em pequenas dorsais, associadas aos sistemas de alta pressão originários do interior do continente, em especial nos meridianos de 45° a 40° W, sendo muito frequentes durante o verão e raras durante o inverno (STULL, 2000). A formação e existência das LIT coincidem com a grande disponibilidade de umidade na Amazônia. Esta umidade, em função do ASAS sobre a área de estudo e da barreira formada pela Cordilheira Andina, é transportada, predominantemente, para Sudeste (VAREJÃO, 2001).

Os CCM constituem-se conjuntos de nuvens cúmulos-nimbos cobertos por densa camada de cirrus que podem ser facilmente identificados em imagens de satélites, como sendo sistemas de nuvens aproximadamente circulares e com um crescimento explosivo num intervalo de tempo de 6 a 12 h. Durante o verão, tais sistemas surgem, preferencialmente, nas regiões serranas da região Sul, onde os fluxos de calor e umidade provenientes da região amazônica passam a fornecer condições necessárias para que esses sistemas cresçam. A trajetória de um CCM tem início, geralmente, a Leste dos Andes, a aproximadamente 25° S, e sobre os vales dos rios Paraná e Paraguai (VAREJÃO, 2001).

Já as circulações locais podem ser de dois tipos: brisa marítima e terrestre e circulação do tipo vale-montanha, sendo que a primeira é a relevante para a área de estudo do Projeto Etapa 2.

A brisa marítima e terrestre (**Figura II.5.1.1-4**), é um fenômeno de mesoescala, gerada pelo aquecimento diferenciado entre o oceano e o continente, devido à diferença de calor específico destes. Durante o dia, a terra aquece de forma mais rápida que a água do oceano, e o ar ascende. O ar sobre o oceano, mais frio e mais denso do que o ar sobre a terra, desloca-se para a terra, iniciando a brisa marítima. À noite, a terra resfria-se mais rapidamente que o oceano, provocando uma circulação atmosférica em sentido oposto (brisa terrestre). Assim, quanto maior o contraste entre as temperaturas do ar sobre a terra e sobre o oceano, mais intensos são os ventos. Durante a noite, o contraste de temperatura é geralmente menor do que durante o dia. Logo, a brisa terrestre

é mais fraca do que a brisa marítima. Pelo mesmo motivo, a brisa marítima tende a ser mais intensa no verão do que no inverno.



Fonte: Varejão (2001).

Figura II.5.1.1-4 – Seção vertical da atmosfera próxima à costa mostrando as brisas marítima (esquerda) e terrestre (direita). As linhas horizontais representam isóbaras esquemáticas e as setas, a direção do vento.

B) Meteorologia na área de estudo

A meteorologia da área de estudo foi caracterizada pelos parâmetros temperatura, pressão atmosférica, ventos, precipitação, evaporação, umidade relativa, insolação e radiação solar. Tais parâmetros foram obtidos a partir de séries recentes e históricas de dados coletados por instituições de pesquisas e estações meteorológicas na área de estudo, inclusive em outros empreendimentos da PETROBRAS.

A descrição destes parâmetros, quando possível, foi correlacionada com os sistemas de macro e mesoescalas descritos no tópico anterior. Ao final deste tópico é apresentado um estudo sobre as frentes frias que passam sobre a área de estudo, com análise estatística destes sistemas frontais, contemplando as variações anuais e sazonais, suas durações médias e o intervalo entre dois eventos consecutivos, abordando-se de forma quali-quantitativa a influência sobre a área de estudo.

A seguir é apresentada a metodologia utilizada para a obtenção dos dados utilizados nesta caracterização e o tratamento dado a estes.

Metodologia

Para a obtenção dos dados utilizados na caracterização meteorológica da área de estudo deu-se preferência para dados que apresentem abrangência temporal e histórica relevantes (séries maiores e mais recentes) e que estão nos limites geográficos desta área de estudo.

O **Quadro II.5.1.1-1** mostra as propriedades dos dados utilizados na caracterização meteorológica, bem como a fonte e localização das estações e pontos de modelagem, enquanto que a **Figura II.5.1.1-5** apresenta a localização dos pontos de amostragem dos parâmetros listados.

Quadro II.5.1.1-1 - Dados utilizados na caracterização meteorológica da área de estudo.

Parâmetro	Fonte	Coordenadas (SIRGAS 2000)		Intervalo de amostragem	Abrangência temporal
		Lat (°S)	Lon (°W)		
Temperatura atmosférica	PCD - CPTEC/INPE ¹	23,690	45,420	3 h	2000-2011
	METAR ² - Florianópolis	27,671	48,547	Diário – valores máximos, mínimos e médios	1996-2011
	METAR ² - Rio de Janeiro	22,910	43,163		
	NCEP/NCAR ³	25,500	43,400	6 h	1961-2011
Pressão atmosférica	METAR ² - Florianópolis	27,671	48,547	Diário – valores máximos, mínimos e médios	1996-2011
	METAR ² – Rio de Janeiro	22,910	43,163		
	NCEP/NCAR ³	25,500	43,400	6 h	1961-2011
Umidade Relativa	PCD - CPTEC/INPE ¹	23,690	45,420	3 h	2000-2011
	METAR ² - Florianópolis	27,671	48,547	Diário – valores máximos, mínimos e médios	1996-2011
	METAR ² – Rio de Janeiro	22,910	43,163		
	NCEP/NCAR ³	25,500	43,400	6 h	1961-2011
Precipitação	DAEE ⁴ - F4-029 (Cananéia)	24,933	47,950	Diário	1954-2004
	DAEE ⁴ – E2-046 (Caraguatatuba)	23,633	45,433		1943-2004
	DAEE ⁴ – E3-041 (Santos)	23,883	46,216		1937-2004
	DAEE ⁴ – E1-004 (Ubatuba)	23,383	44,833		1944-2000
	NCEP/NCAR ³	25,500	43,400	Médias mensais	1979-2011
Vento	PCD - CPTEC/INPE ¹	23,690	45,420	3 h	2000-2011
	METAR ² - Florianópolis	27,671	48,547	Diário – valores máximos, mínimos e médios	1996-2011
	METAR ² – Rio de Janeiro	22,910	43,163		
	NCEP/NCAR ³	25,500	43,400	6 h	1961-2011
	PETROBRAS – Plataforma MLZ1	25,265	45,254	1 h	04/2006-03/2007
	PETROBRAS – FPSO Angra dos Reis	25,545	42,840	1 h	06/2008 – 02/2009

Parâmetro	Fonte	Coordenadas (SIRGAS 2000)		Intervalo de amostragem	Abrangência temporal
		Lat (°S)	Lon (°W)		
Radiação Solar	NCEP/NCAR ³	25,500	43,400	6 h	1961-2011
Insolação	INMET ⁵	Ubatuba (SP)		Climatologia mensal	1961-1991
Evaporação	NCEP/NCAR ³	21,904	43,125	6 h	1961-2011
	NCEP/NCAR ³	23,809	46,875		
	INMET ⁵	Florianópolis (SC)		Climatologia mensal	1961-1991
		Rio de Janeiro (RJ)			

- ¹ - PCD: Plataforma de Coleta de Dados do CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Dados disponíveis em <http://www.cptec.inpe.br/>
- ² - METAR: “METeorological Aerodrome Report” (Relatório Meteorológico de Aeródromo). Dados disponíveis em <http://www.wunderground.com/>
- ³ - Modelo meteorológico do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) e National Center for Atmospheric Research (NCAR). Dados disponíveis em <http://www.esrl.noaa.gov/psd>.
- ⁴ - DAEE: Departamento de Água e Energia Elétrica do estado de São Paulo. Dados disponíveis em <http://www.daee.sp.gov.br/>
- ⁵ - INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – INMET(2002)

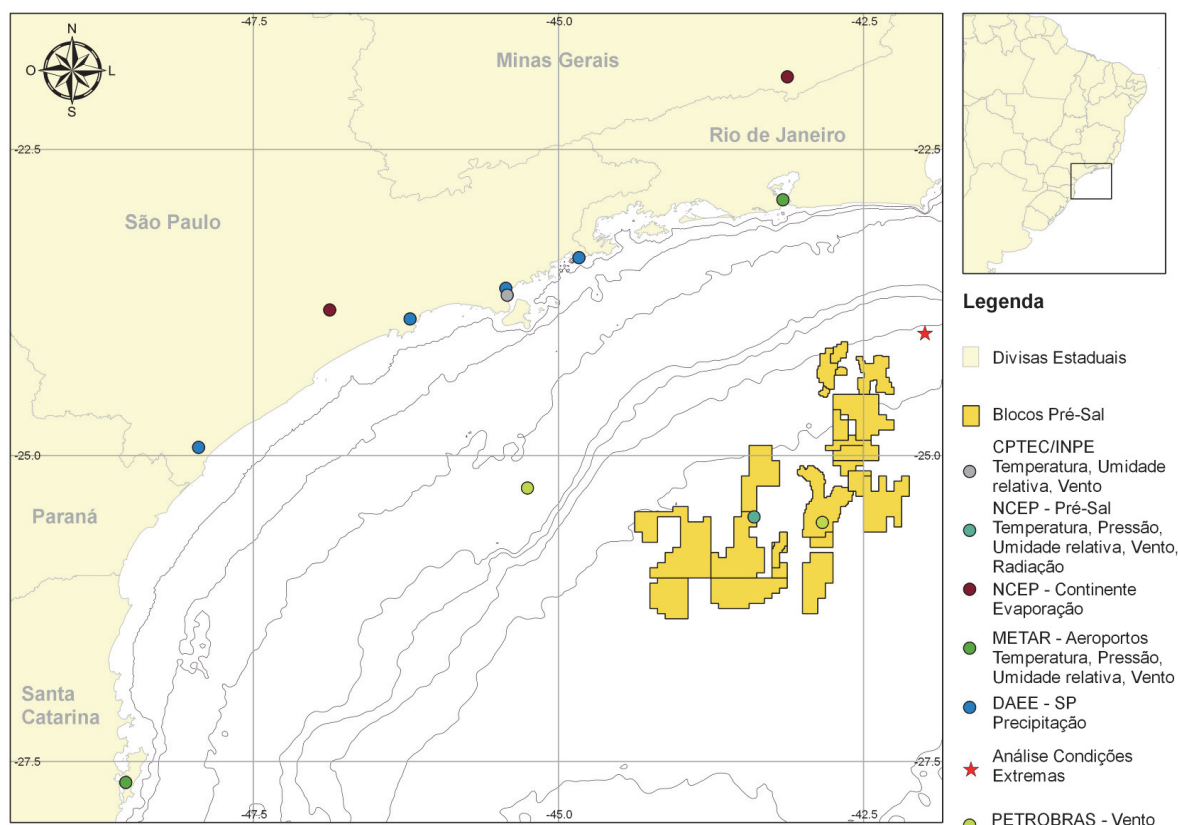


Figura II.5.1.1-5 – Localização dos pontos de amostragem dos parâmetros utilizados para a caracterização meteorológica da região de estudo.

Além dos dados apresentados no **Quadro II.5.1.1-1**, para descrever a variação espacial ao longo de toda a área de estudo, foram utilizados dados de

diversos pontos de grade (todos disponíveis para a região) da reanálise do NCEP para os parâmetros temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa, precipitação, ventos e radiação solar.

O parâmetro evaporação potencial é calculado, neste modelo, somente sobre os continentes e, desta maneira, não se pode obter sua variação espacial sobre a área de estudo. Os dados utilizados para esta caracterização espacial englobaram anos de 1961 a 2011, com intervalo temporal de 6 h. Foram confeccionados mapas com a variação espacial em média anual, média dos meses de verão e média dos meses de inverno.

Para cada um dos parâmetros analisados foram selecionados os valores mínimos e máximos, além de serem calculados os valores médios e respectivos desvios-padrão. Estas seleções e cálculos foram realizados para se verificar as variações histórica mensal e interanual.

Exclusivamente para o parâmetro vento foi realizado um estudo de análise de eventos extremos. Também foram analisados estatisticamente os sistemas frontais que passaram sobre a área de estudo, contemplando as variações anuais e sazonais da quantidade de frentes, suas características quanto as alterações de ventos, temperatura e pressão, durações médias e o intervalo entre dois eventos consecutivos, abordando-se de forma quali-quantitativa a influência destes sistemas frontais.

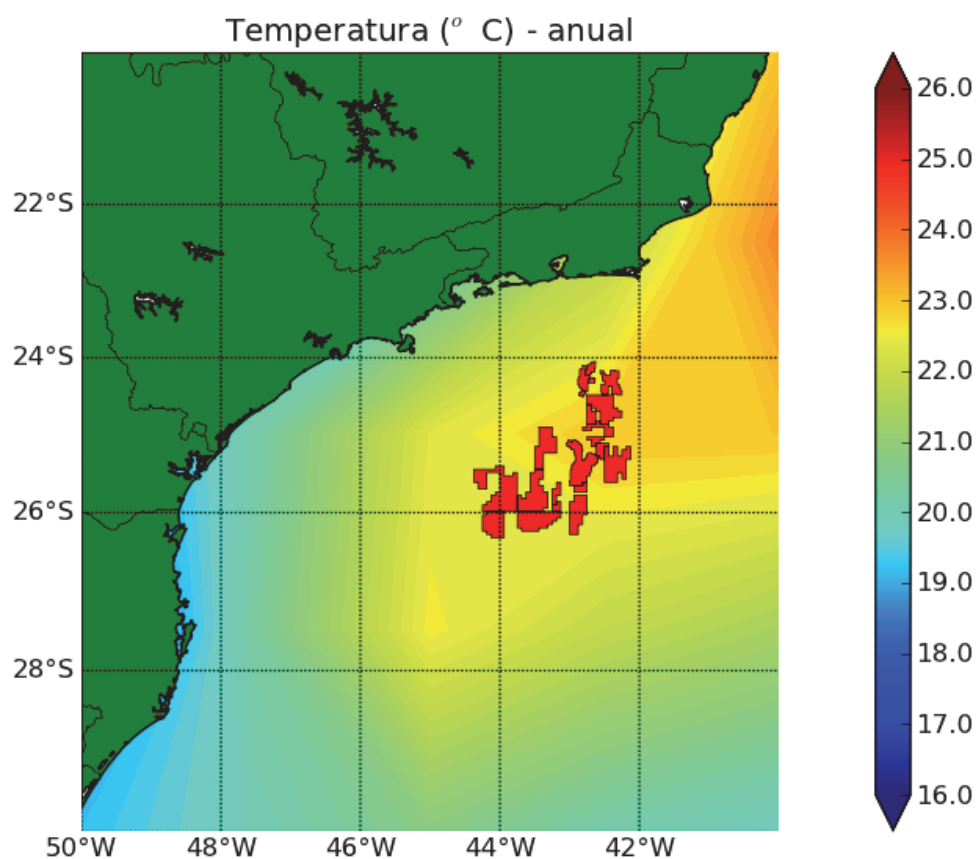
Temperatura atmosférica

Para caracterizar a temperatura atmosférica na área de estudo foram utilizados dados espaciais do modelo de circulação geral do NCEP/NCAR, e pontuais coletados nas cidades de Caraguatatuba/SP, Florianópolis/SC, Rio de Janeiro/RJ, além de um ponto de grade proveniente do modelo do NCEP/NCAR na região dos blocos do Pré-Sal da Bacia de Santos.

Esta variação da temperatura atmosférica foi analisada em termos espaciais para o período anual, de verão e de inverno. Nas localidades listadas acima, foram analisadas as estatísticas básicas (mínima, média, máxima e desvio padrão) para as variações mensais e interanuais.

Estas análises são importantes para se determinar qual é a temperatura média na área de estudo, como ela varia espacialmente, quais são os meses mais quentes, os mais frios, aqueles que sofrem maiores variações, se a temperatura ao longo dos anos analisados se manteve constante ou apresenta alguma tendência de aquecimento ou resfriamento. Estas informações podem indicar períodos mais frios que, por exemplo, afetem a degradação de óleo em um possível acidente ambiental, ou influenciem as atividades de exploração de petróleo.

As figuras a seguir mostram a caracterização da temperatura atmosférica de forma espacial entre 1961 e 2011, para o período anual, verão e inverno (**Figura II.5.1.1-6 a Figura II.5.1.1-8**).



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-6 – Temperatura atmosférica em superfície (°C) proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1961 e 2011. Média anual. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.

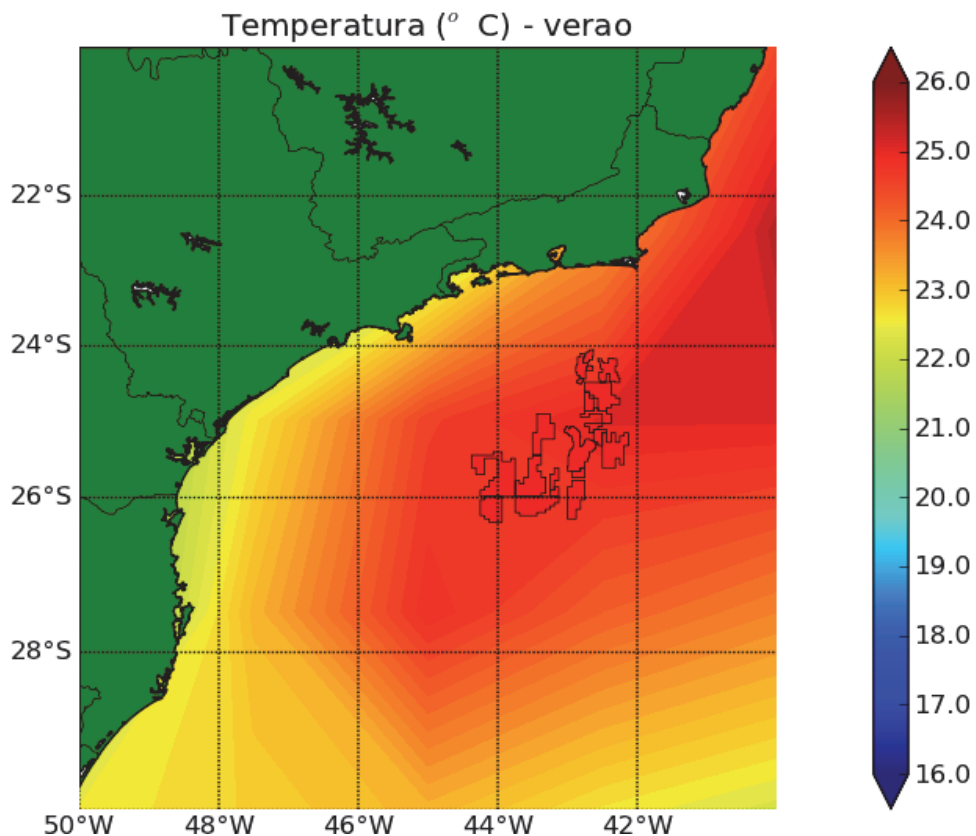
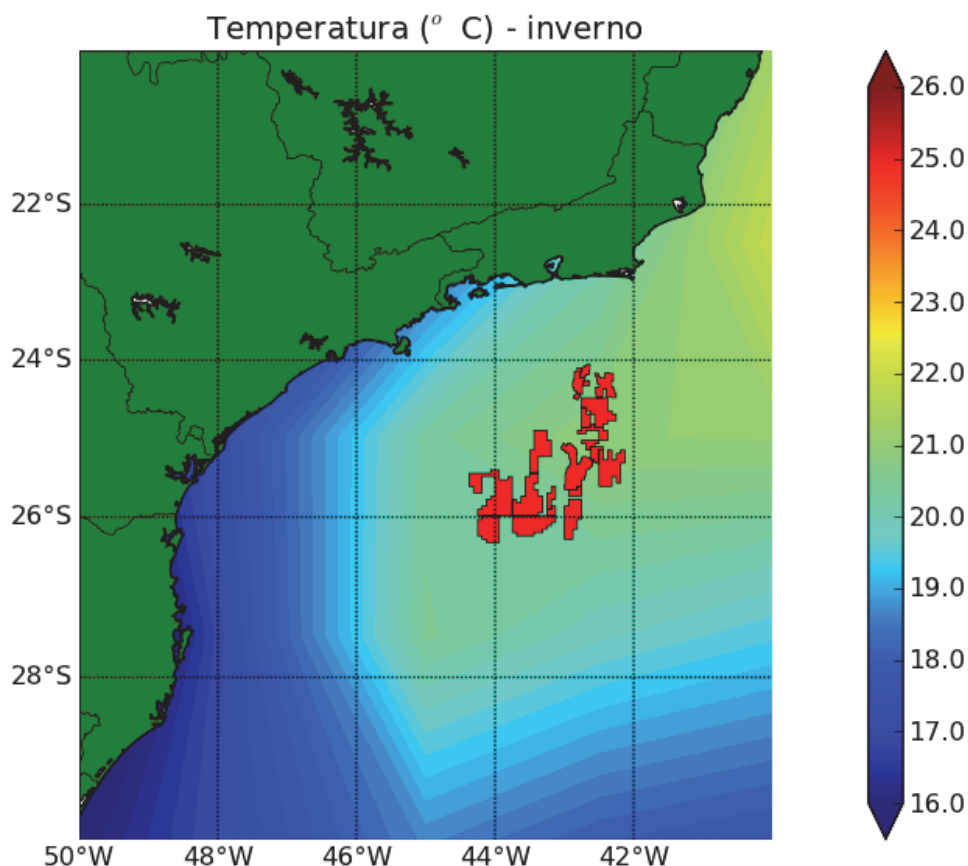


Figura II.5.1.1-7 – Temperatura atmosférica em superfície (°C) proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1961 e 2011. Média para os meses de verão. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.



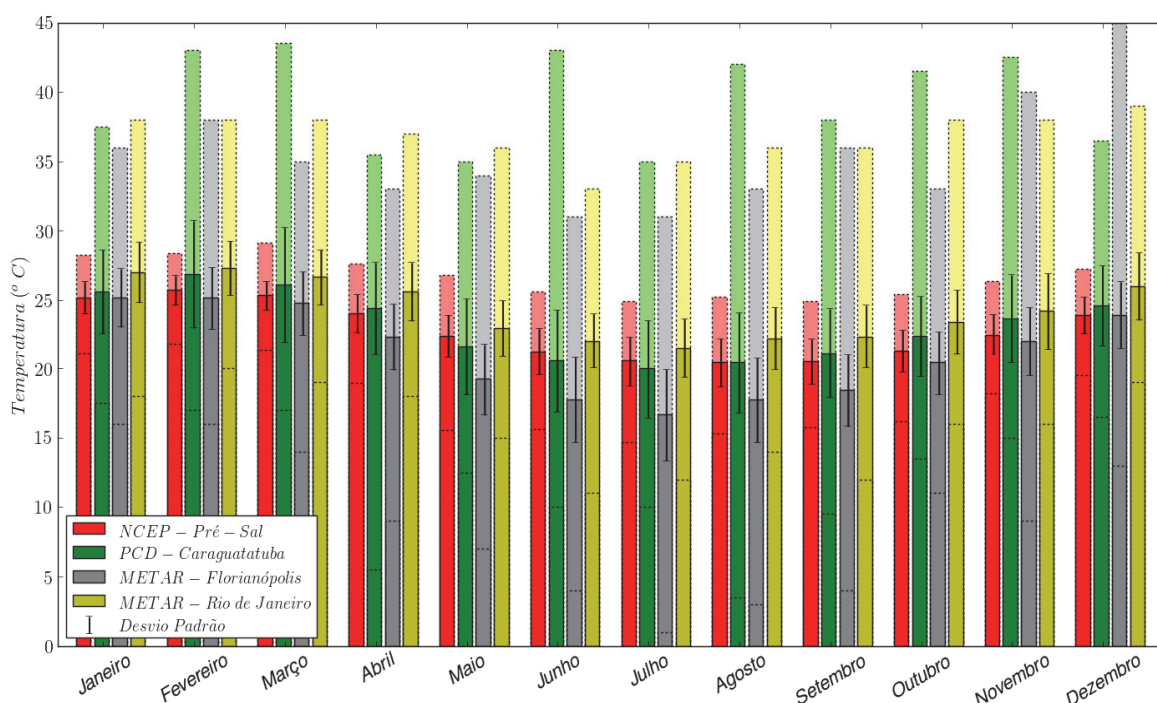
Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-8 – Temperatura atmosférica em superfície (°C) proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1961 e 2011. Média para os meses de inverno. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.

Para a média anual, a **Figura II.5.1.1-6** mostra que no local onde estão os Blocos do Pré-Sal a temperatura atmosférica é de 22,8° C, aproximadamente. Na região costeira este valor é próximo a 20° C ao Sul do estado do Rio de Janeiro. Em meses de verão (**Figura II.5.1.1-7**), na região dos blocos do Pré-Sal a temperatura média é de 24,5° C, aproximadamente, e na região costeira, 22° C. No inverno (**Figura II.5.1.1-8**) estes valores são inferiores, 21° C e 18,5 °C, aproximadamente, para a região do Pré-Sal e costeira, respectivamente.

Avaliando-se as temperaturas médias mensais obtidas para os períodos e localizações descritas no **Quadro II.5.1.1-1**, a **Figura II.5.1.1-9** mostra que, em todos os meses, a temperatura média mensal mais elevada dentro das estações analisadas na área de estudo é no Rio de Janeiro e a mais fria em Florianópolis.

O mês mais quente para todas as localizações analisadas dentro da área de estudo é o mês de fevereiro, com valores médios de 25,7 °C, 26,9 °C, 25,2 °C e 27,3 °C para as estações do Pré-Sal, Caraguatatuba, Florianópolis e Rio de Janeiro, respectivamente. Com exceção da região dos blocos do Pré-Sal, o mês de julho é o mais frio para todas as demais, com temperaturas climatológicas médias de 20,0 °C, 16,7 °C e 21,5 °C em Caraguatatuba, Florianópolis e Rio de Janeiro, respectivamente. Em julho, o ponto do Pré-Sal tem temperatura média climatológica de 20,6 °C. Neste local o mês com menor temperatura climatológica é o de agosto, com 20,5 °C.



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); PCD – Caraguatatuba (2013); METAR Florianópolis (2013); METAR Rio de Janeiro (2013).

Figura II.5.1.1-9 – Temperaturas atmosféricas mensais médias (°C) de acordo com locais de coleta descritos no **Quadro II.5.1.1-1**. As barras com cores escuras representam os valores médios, as cores claras (com bordas tracejadas) indicam os valores máximos e mínimos e as linhas verticais cheias, o desvio padrão.

Avaliando-se as temperaturas máximas e mínimas absolutas em cada uma das localizações, no Pré-Sal e em Caraguatatuba os valores máximos ocorreram no mês de março (29,1 °C e 43,5 °C, respectivamente). O valor mínimo no Pré-

Sal ocorreu em julho e em Caraguatatuba, em agosto (14,7 °C e 3,5 °C, respectivamente). Em Florianópolis, o mínimo (1 °C) foi registrado no mês de julho, e o máximo (45 °C) em dezembro. Na estação do Rio de Janeiro o mínimo foi registrado em junho, com 11 °C, e o máximo (39 °C), em dezembro.

O maior desvio padrão entre as estações foi observado em Caraguatatuba, com 4,1 °C no mês de março. Já os desvios obtidos no ponto de grade do NCEP/NCAR no Pré-Sal são os menores entre todas as localidades analisadas.

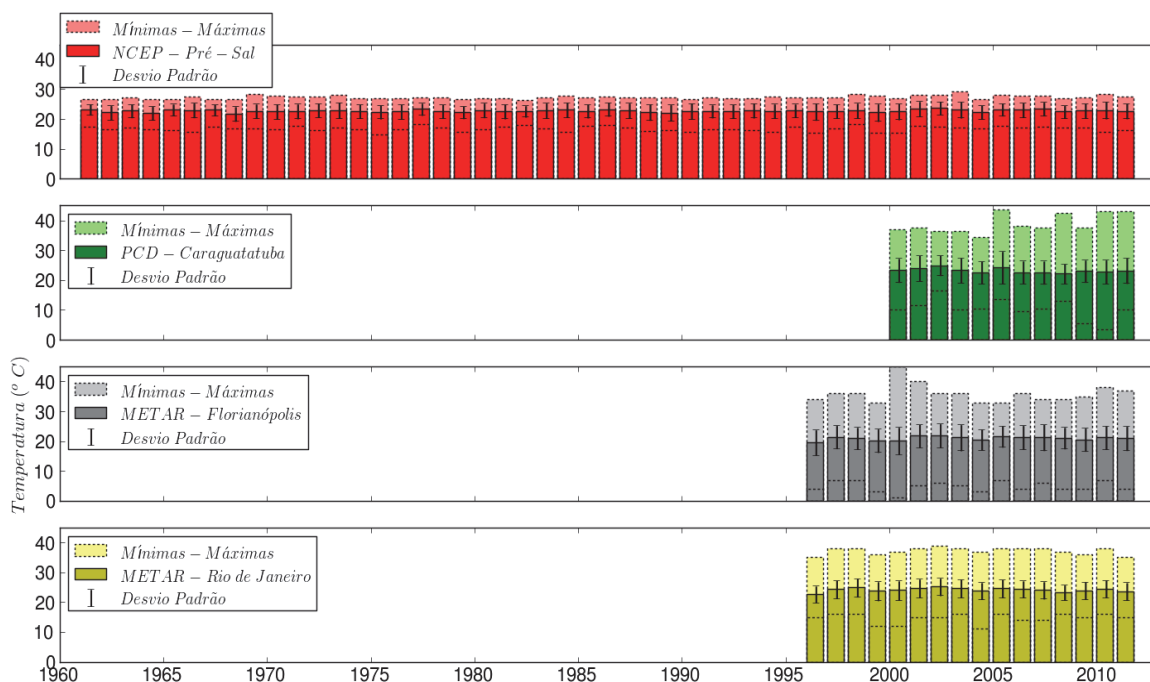
A **Tabela II.5.1.1-1** lista os valores descritos e apresentados na **Figura II.5.1.1-9**.

Tabela II.5.1.1-1 - Estatística básica mensal da temperatura atmosférica de acordo com locais de coleta descritos no Quadro II.5.1.1-1.

Temperatura atmosférica (°C)																
Mês	NCEP - Pré-Sal (1961-2011)				PCD – Caraguatatuba (2000-2011)				METAR – Florianópolis (1996-2011)				METAR - Rio de Janeiro (1996-2011)			
	Média	Mínima	Máxima	Desvio	Média	Mínima	Máxima	Desvio	Média	Mínima	Máxima	Desvio	Média	Mínima	Máxima	Desvio
Janeiro	25,2	21,2	28,3	1,2	25,6	17,5	37,5	3,0	25,2	16,0	36,0	2,1	27,0	18,0	38,0	2,2
Fevereiro	25,7	21,8	28,4	1,0	26,9	17,0	43,0	3,9	25,2	16,0	38,0	2,2	27,3	20,0	38,0	2,0
Março	25,3	21,4	29,1	1,0	26,1	17,0	43,5	4,1	24,8	14,0	35,0	2,3	26,7	19,0	38,0	2,0
Abril	24,0	19,0	27,6	1,4	24,4	5,5	35,5	3,3	22,3	9,0	33,0	2,4	25,6	18,0	37,0	2,1
Mai	22,4	15,6	26,8	1,5	21,6	12,5	35,0	3,5	19,2	7,0	34,0	2,6	23,0	15,0	36,0	2,0
Junho	21,3	15,6	25,6	1,7	20,6	10,0	43,0	3,7	17,8	4,0	31,0	3,1	22,1	11,0	33,0	2,0
Julho	20,6	14,7	24,9	1,8	20,0	10,0	35,0	3,6	16,7	1,0	31,0	3,3	21,5	12,0	35,0	2,1
Agosto	20,5	15,3	25,2	1,8	20,5	3,5	42,0	3,7	17,7	3,0	33,0	3,0	22,2	14,0	36,0	2,3
Setembro	20,5	15,8	24,9	1,7	21,2	9,5	38,0	3,2	18,5	4,0	36,0	2,6	22,4	12,0	36,0	2,3
Outubro	21,3	16,2	25,4	1,5	22,4	13,5	41,5	2,9	20,4	11,0	33,0	2,3	23,4	16,0	38,0	2,3
Novembro	22,5	18,2	26,4	1,5	23,6	15,0	42,5	3,2	22,0	9,0	40,0	2,5	24,2	16,0	38,0	2,7
Dezembro	23,9	19,5	27,3	1,3	24,6	16,5	36,5	2,9	23,9	13,0	45,0	2,4	26,0	19,0	39,0	2,4

Fonte: NCEP/NCAR (2013); PCD – Caraguatatuba (2013); METAR Florianópolis (2013); METAR Rio de Janeiro (2013).

Os valores descritos para a temperatura na área de estudo mostram médias mensais ao longo de diversos anos, entretanto, podem ocorrer flutuações das médias interanuais. A **Figura II.5.1.1-10** mostra graficamente os valores médios anuais, valores máximos e mínimos absolutos assim como os desvios-padrão para cada uma das localizações analisadas dentro da área de estudo, mostrando conjuntamente os valores máximos e mínimos absolutos.



Fonte: NCEP/NCAR (2013); PCD - Caraguatatuba (2013); METAR Florianópolis (2013); METAR Rio de Janeiro (2013).

Figura II.5.1.1-10 – Temperaturas atmosféricas anuais médias (°C) de acordo com locais de coleta descritos no **Quadro II.5.1.1-1**. As barras com cores escuras representam os valores médios, as cores claras (com bordas tracejadas) indicam os valores máximos e mínimos e as linhas verticais cheias, o desvio padrão.

A partir da **Figura II.5.1.1-10** é possível inferir que nos Blocos do Pré-Sal a temperatura média anual é de 22,8 °C, com média mínima de 21,8 °C no ano de 1968. A temperatura anual média mais elevada foi registrada em 2002 (23,7 °C). Nota-se ainda que o valor mínimo de 14,7 °C ocorreu no ano de 1975 e o valor máximo de 29,1 °C, no ano de 2003.

Para a estação de Caraguatatuba, a temperatura média anual é de 23,3 °C, com média mínima ocorrendo em 2008 (22,1 °C) e média máxima em 2002

(25,0 °C). A temperatura mínima de 3,5 °C ocorreu no ano de 2010 e a máxima (43,5 °C), em 2005.

Nas estações de Florianópolis e Rio de Janeiro, a temperatura anual média é de 21,0 °C e 24,2 °C. Na estação Florianópolis, o ano de 2000 registrou os valores mínimo (1,0 °C) e máximo (45,0 °C) absolutos. Já na estação do Rio de Janeiro o valor mínimo absoluto de 11,0 °C foi registrado em 2004 e o máximo (39,0 °C), em 2002.

Estas estatísticas interanuais estão sintetizadas na **Tabela II.5.1.1-2**, e indicam que não foi identificada, nestes conjuntos de dados analisados, nenhuma tendência de aquecimento ou resfriamento, inclusive com valores absolutos máximos e mínimos ocorrendo em anos diferentes para as diversas localidades analisadas dentro da área de estudo.

Tabela II.5.1.1-2 - Temperaturas atmosféricas médias, mínimas e máximas anuais nos locais de coleta descritos no Quadro II.5.1.1-1.

Fonte de Dados	Temperatura anual média					Temperatura mínima absoluta		Temperatura máxima absoluta	
	Média	Mínima		Máxima		°C	ano	°C	ano
	°C	°C	ano	°C	ano				
NCEP - Pré-Sal	22,8	21,8	1968	23,7	2002	14,7	1975	29,1	2003
PCD - Caraguatatuba	23,3	22,1	2008	25,0	2002	3,5	2010	43,5	2005
METAR - Florianópolis	21,0	19,6	1996	21,9	2002	1,0	2000	45,0	2000
METAR - Rio de Janeiro	24,2	22,7	1996	25,2	2002	11,0	2004	39,0	2002

Fonte: NCEP/NCAR (2013); PCD – Caraguatatuba (2013); METAR Florianópolis (2013); METAR Rio de Janeiro (2013).

Pressão Atmosférica

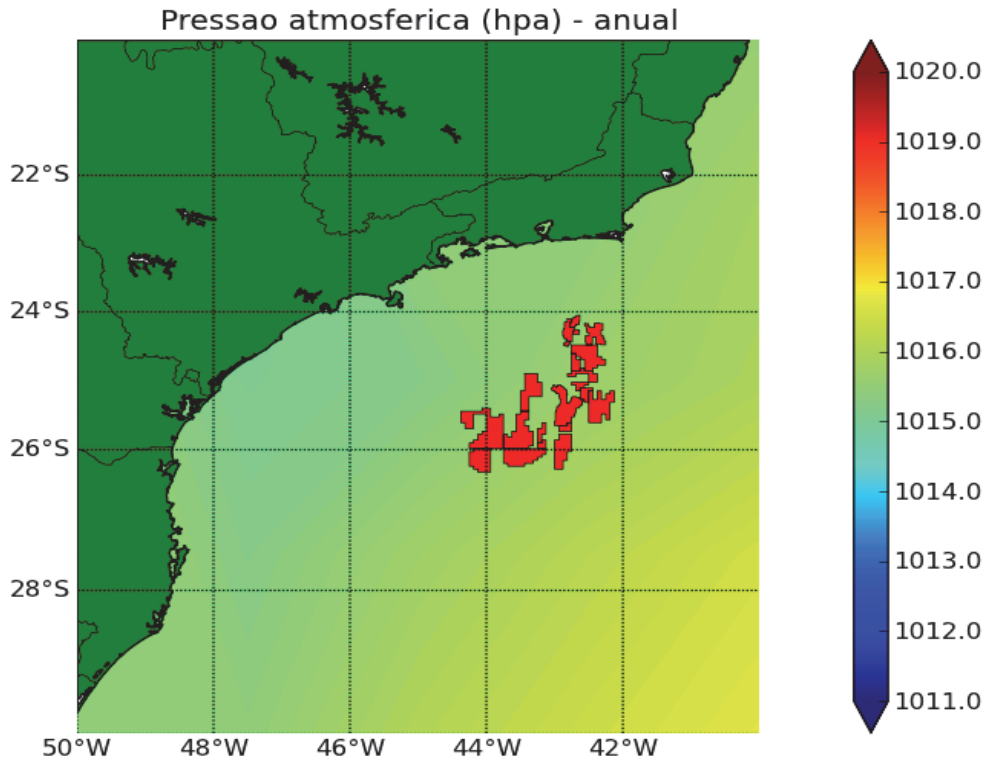
Para caracterizar a pressão atmosférica na área de estudo foram utilizados dados espaciais do modelo de circulação geral do NCEP/NCAR e pontuais coletados nas cidades de Florianópolis/SC e Rio de Janeiro/RJ, além de pontual na região dos Blocos do Pré-Sal da Bacia de Santos, indicando o local do Projeto Etapa 2.

Esta variação da pressão atmosférica foi analisada em termos espaciais para o período anual, de verão e de inverno. Nas localidades listadas acima, foram analisadas as estatísticas básicas (mínima, média, máxima e desvio padrão) para as variações mensais e interanuais.

Estas análises são importantes para se determinar qual é a pressão atmosférica média na área de estudo, como ela varia espacialmente e ao longo do ano, os meses que sofrem maiores variações e se é observada alguma tendência de variação deste parâmetro ao longo dos anos avaliados.

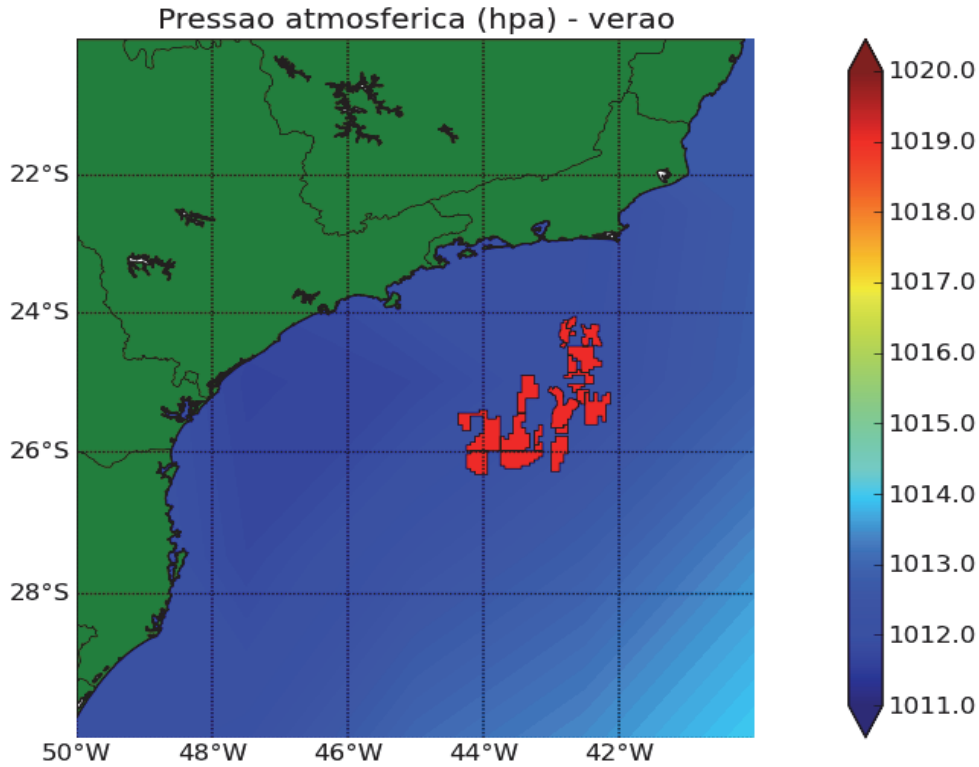
As variações sazonais da pressão atmosférica estão ligadas ao deslocamento do ASAS, que apresenta maior ou menor penetrabilidade na área de estudo (conforme apresentado no tópico **A**), e as variações de alta frequência (relativa as variações sazonais) estão associadas a distúrbios atmosféricos como passagens de frentes frias e ciclones extratropicais, por exemplo. Estes fenômenos são importantes tanto durante as operações do empreendimento quanto em situações de emergência, pois fenômenos atmosféricos extremos podem influenciar as condições hidrodinâmicas na área de estudo, além de alterarem as condições de vento, temperatura atmosférica e precipitação na região.

As figuras a seguir mostram a caracterização da pressão atmosférica de forma espacial entre 1961 e 2011. Estes dados são provenientes do modelo de circulação geral do NCEP/NCAR, para o período anual, verão e inverno, respectivamente (**Figura II.5.1.1-11 a Figura II.5.1.1-13**).



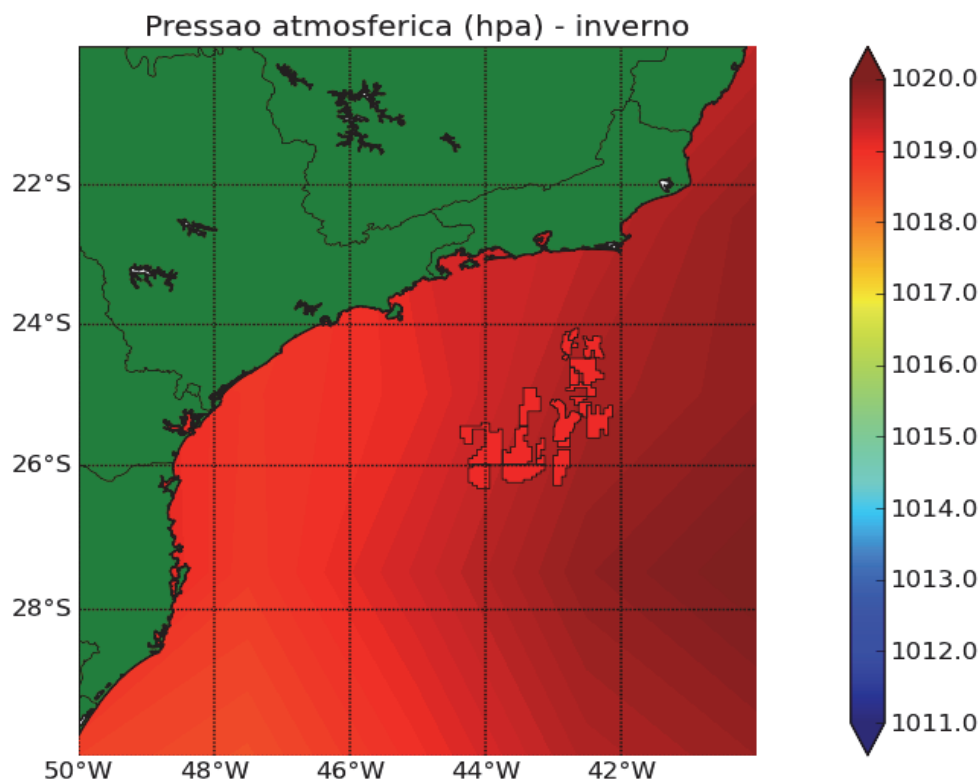
Fonte: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-11 – Pressão atmosférica reduzida ao nível do mar (hPa) proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1961 e 2011. Média anual. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.



Fonte: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-12 – Pressão atmosférica reduzida ao nível do mar (hPa) proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1961 e 2011. Média para o período de verão. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.

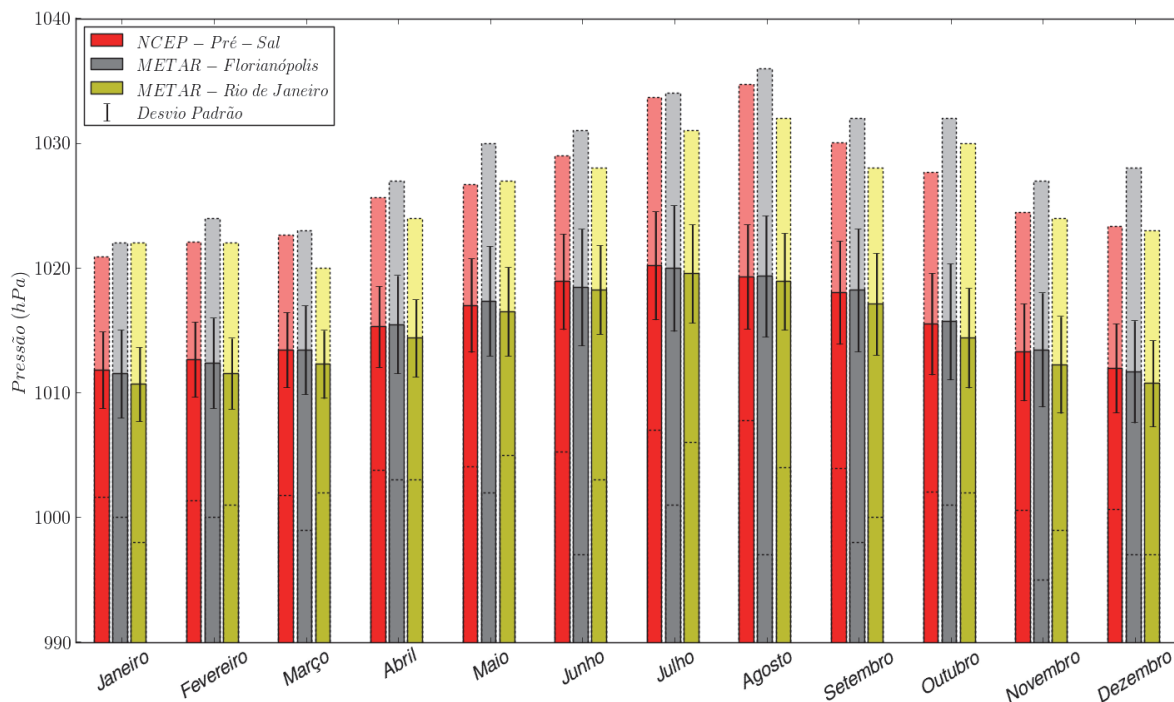


Fonte: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-13 – Pressão atmosférica reduzida ao nível do mar (hPa) proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1961 e 2011. Média para o período de inverno. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.

Nos Blocos do Pré-Sal, a pressão atmosférica média anual é de 1015,6 hPa, enquanto que no verão é de 1012,5 hPa e no inverno de 1019,0 hPa. Espacialmente, tanto anualmente quanto em períodos de verão e inverno, a região próxima à costa apresenta menor pressão atmosférica que a região dos Blocos do Pré-Sal. Estes valores corroboram que no inverno a ASAS está mais próxima à área de estudo denotando maiores valores médios da pressão atmosférica.

Analisando-se a climatologia mensal da pressão atmosférica nas localidades descritas no **Quadro II.5.1.1-1**, nota-se que, conforme apresentado na **Figura II.5.1.1-14** e na **Tabela II.5.1.1-3**, a maior pressão média mensal ocorre no mês de julho nas três localizações (1020,2 hPa, 1020,0 hPa e 1019,6 hPa, no Pré-Sal, Florianópolis e Rio de Janeiro, respectivamente). Já a menor pressão atmosférica média mensal ocorre no mês de janeiro, com valores de 1011,8 hPa, 1011,5 hPa e 1010,7 hPa.



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); METAR Rio de Janeiro (2013) e METAR Florianópolis (2013).

Figura II.5.1.1-14 – Pressão atmosférica reduzida ao nível do mar (hPa) de acordo com locais de coleta descritos no **Quadro II.5.1.1-1**. As barras com cores escuras representam os valores médios, as cores claras (com bordas tracejadas) indicam os valores máximos e mínimos e as linhas verticais cheias, o desvio padrão.

Os valores máximos e mínimos absolutos de pressão atmosférica no Pré-Sal ocorreram nos meses de agosto e novembro, 1000,6 hPa e 1034,7 hPa, respectivamente. Estes mesmos meses registraram os mínimos e máximos em Florianópolis, 995,0 hPa e 1036,0 hPa. No Rio de Janeiro a pressão atmosférica máxima absoluta também foi registrada no mês de agosto (1032,0 hPa), porém a mínima ocorreu no mês de dezembro (997 hPa).

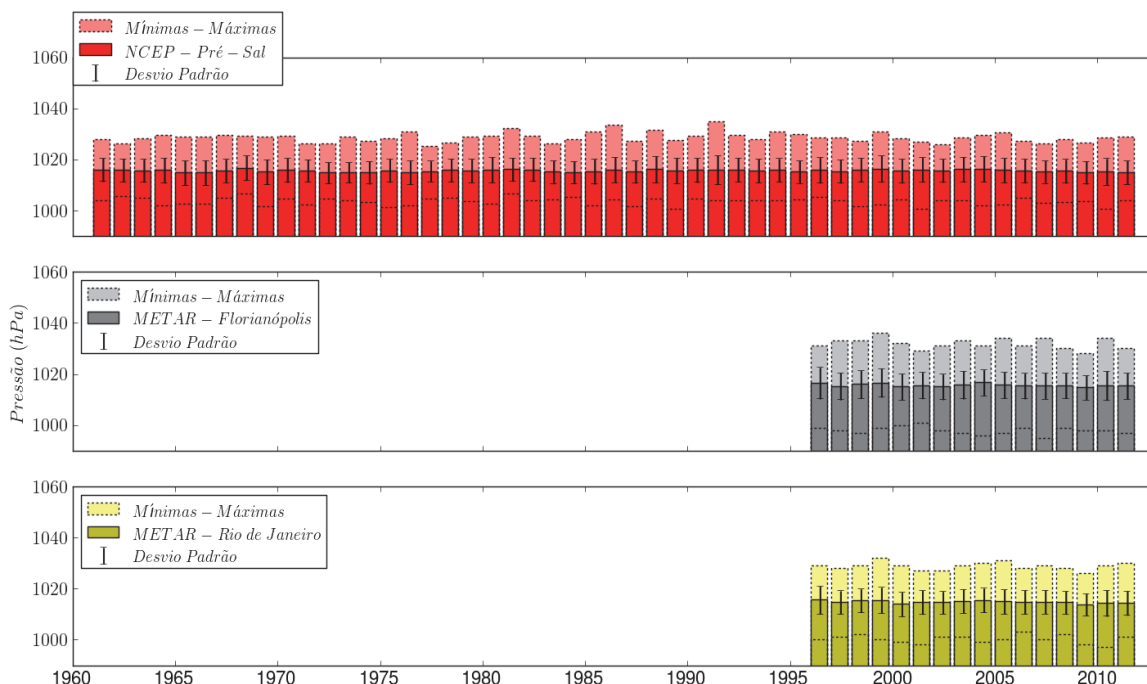
Em Florianópolis ocorreram os maiores desvios padrão, com máximo de 5,0 hPa no mês de julho. Já o Rio de Janeiro registrou os menores desvios padrão, com mínimo de 2,8 hPa no mês de fevereiro. Estes valores são decorrentes dos deslocamentos de centros de baixa pressão, associados à passagem de frentes frias e ciclones extratropicais pela área de estudo. De acordo com Rodrigues et al. (1998), estes sistemas se deslocam de maiores para menores latitudes, tendo a região Sul maior quantidade de passagens que a região Sudeste do Brasil.

Tabela II.5.1.1-3 - Estatística básica mensal da pressão atmosférica de acordo com locais de coleta descritos no Quadro II.5.1.1-1.

Mês	Pressão atmosférica (hPa)											
	NCEP - Pré-Sal (1961-2011)				METAR – Florianópolis (1996-2011)				METAR - Rio de Janeiro (1966-2011)			
	Média	Mínima	Máxima	Desvio	Média	Mínima	Máxima	Desvio	Média	Mínima	Máxima	Desvio
Janeiro	1.011,8	1.001,6	1.020,9	3,1	1.011,5	1.000,0	1.022,0	3,5	1.010,7	998,0	1.022,0	3,0
Fevereiro	1.012,7	1.001,4	1.022,1	3,0	1.012,4	1.000,0	1.024,0	3,6	1.011,5	1.001,0	1.022,0	2,8
Março	1.013,5	1.001,8	1.022,7	3,0	1.013,4	999,0	1.023,0	3,6	1.012,3	1.002,0	1.020,0	2,7
Abril	1.015,3	1.003,8	1.025,7	3,3	1.015,5	1.003,0	1.027,0	3,9	1.014,4	1.003,0	1.024,0	3,1
Mai	1.017,0	1.004,1	1.026,7	3,8	1.017,4	1.002,0	1.030,0	4,4	1.016,5	1.005,0	1.027,0	3,6
Junho	1.018,9	1.005,2	1.029,0	3,8	1.018,5	997,0	1.031,0	4,7	1.018,3	1.003,0	1.028,0	3,6
Julho	1.020,2	1.007,0	1.033,7	4,3	1.020,0	1.001,0	1.034,0	5,0	1.019,6	1.006,0	1.031,0	3,9
Agosto	1.019,3	1.007,8	1.034,7	4,2	1.019,3	997,0	1.036,0	4,9	1.018,9	1.004,0	1.032,0	3,9
Setembro	1.018,0	1.003,9	1.030,0	4,1	1.018,2	998,0	1.032,0	4,9	1.017,1	1.000,0	1.028,0	4,1
Outubro	1.015,5	1.002,0	1.027,7	4,1	1.015,7	1.001,0	1.032,0	4,7	1.014,4	1.002,0	1.030,0	4,0
Novembro	1.013,3	1.000,6	1.024,5	3,9	1.013,4	995,0	1.027,0	4,6	1.012,2	999,0	1.024,0	3,9
Dezembro	1.012,0	1.000,7	1.023,4	3,6	1.011,7	997,0	1.028,0	4,1	1.010,7	997,0	1.023,0	3,5

Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); METAR Rio de Janeiro (2013) e METAR Florianópolis (2013).

Para se analisar a variação interanual da pressão atmosférica na área de estudo, é apresentada a **Figura II.5.1.1-15** com os valores médios, mínimos, máximos e desvios-padrão anuais da pressão atmosférica, enquanto que a **Tabela II.5.1.1-4** lista esses valores.



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); METAR Rio de Janeiro (2013) e METAR Florianópolis (2013).

Figura II.5.1.1-15 – Pressões atmosféricas anuais médias (hPa) de acordo com locais de coleta descritos no **Quadro II.5.1.1-1**. As barras com cores escuras representam os valores médios, as cores claras (com bordas tracejadas) indicam os valores máximos e mínimos e as linhas verticais cheias, o desvio padrão.

Tabela II.5.1.1-4 – Pressões atmosféricas médias, mínimas e máximas anuais nos locais de coleta descritos no **Quadro II.5.1.1-1**.

Fonte de dados:	Pressão média					Pressão mínima absoluta		Pressão máxima absoluta	
	Média	Mínima	Máxima						
	hPa	hPa	ano	hPa	ano	hPa	ano	hPa	ano
NCEP - Pré-Sal	1.015,6	1.014,8	1965	1.016,8	1968	1.000,6	1989	1.034,7	1991
METAR - Florianópolis	1.015,7	1.014,8	2009	1.016,7	2004	995,0	2007	1.036,0	1999
METAR - Rio de Janeiro	1.014,8	1.013,9	2009	1.015,6	1996	997,0	2010	1.032,0	1999

Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); METAR Rio de Janeiro (2013) e METAR Florianópolis (2013).

Nos Blocos do Pré-Sal, a pressão atmosférica média anual é de 1.015,6 hPa, e o menor valor médio anual ocorreu em 1965 (1.014,8 hPa). Neste local, que representa o local do empreendimento, o maior valor médio anual foi de 1.016,8 hPa, em 1968. Os valores mínimo e máximo absolutos ocorreram nos anos de 1989 e 1991, com valores de 1.000,6 hPa e 1.034,7 hPa.

Em Florianópolis e no Rio de Janeiro, os valores anuais médios da pressão atmosférica são de 1.015,7 hPa e 1.014,8 hPa. Os valores mínimos médios foram registrados, no ano de 2009, para ambos os locais, de 1.014,8 hPa e 1.013,9 hPa, respectivamente. Para os valores máximos médios anuais, Florianópolis registrou 1.016,7 hPa em 2004, e Rio de Janeiro, 1.015,6 hPa em 1996. Para os valores mínimos absolutos, estes ocorreram nos anos de 2007 e 2010 para Florianópolis e Rio de Janeiro, respectivamente de 995,0 hPa e 997,0 hPa. Os valores máximos absolutos de pressão ocorreram em 1999 nos dois locais, com valores de 1.036,0 hPa e 1.032,0 hPa.

Estes valores denotam que não ocorreu variação interanual da pressão atmosférica na área de estudo, ao longo dos anos analisados e no banco de dados utilizados. Os valores interanuais são similares em todos os locais analisados dentro da área de estudo.

Umidade Relativa

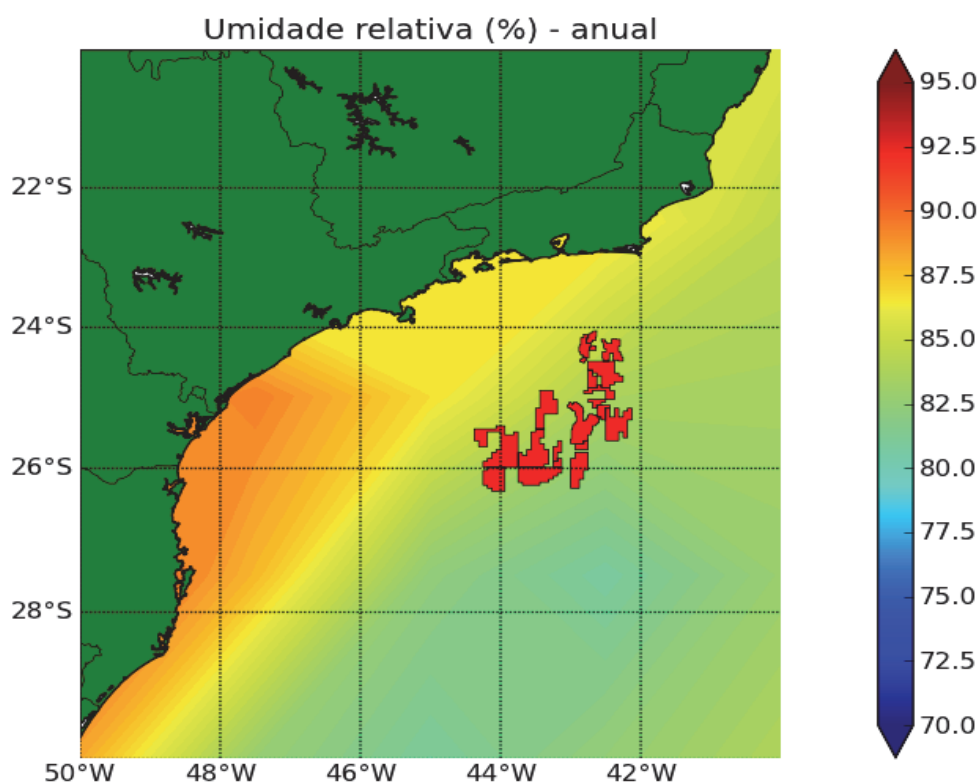
Para caracterizar a umidade relativa na área de estudo foram utilizados dados espaciais do modelo de circulação geral do NCEP/NCAR e pontuais coletados nas cidades de Caraguatatuba/SP, Florianópolis/SC e Rio de Janeiro/RJ, além do ponto de grade no NCEP localizado na região dos Blocos do Pré-Sal da Bacia de Santos.

A variação da umidade relativa foi analisada em termos espaciais para o período anual, de verão e de inverno. Nas localidades listadas acima, foram analisadas as estatísticas básicas (mínima, média, máxima e desvio-padrão) para as variações mensais e interanuais.

Estas análises são importantes para se determinar qual é a umidade relativa média na área de estudo, como ela varia espacialmente e ao longo do ano, os meses mais secos e mais úmidos e se é observada alguma tendência de variação

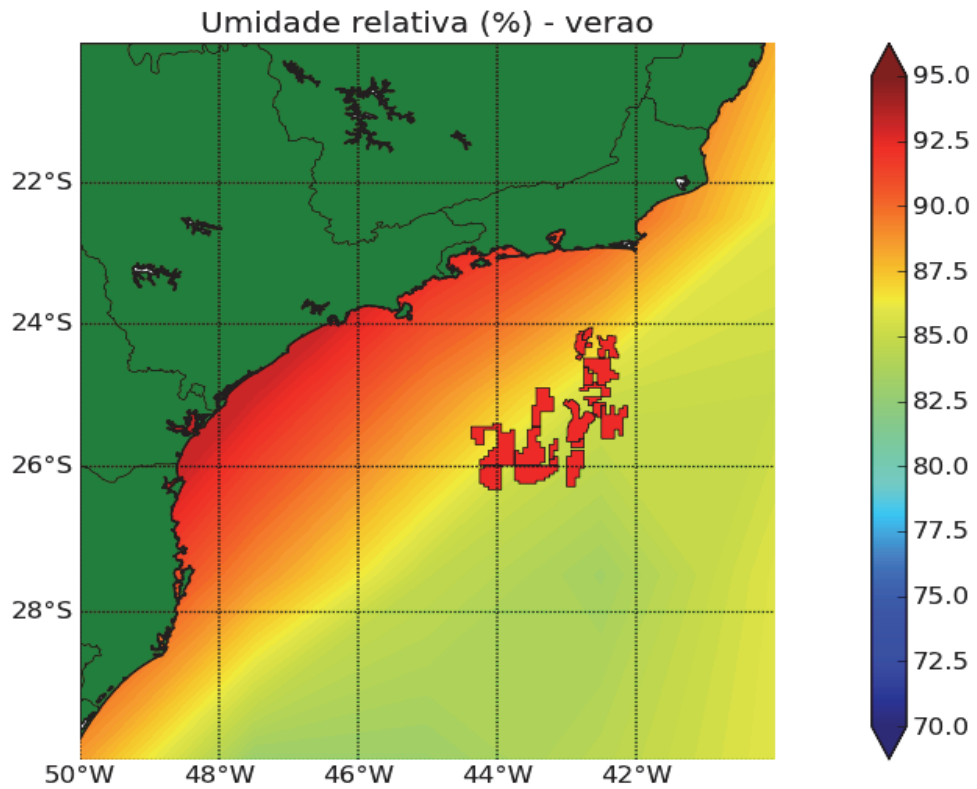
deste parâmetro ao longo dos anos avaliados. As variações sazonais da umidade relativa estão ligadas as variações intra-anuais de precipitação, que por sua vez são influenciadas por diversos fatores atmosféricos, conforme apresentado no **tópico A**, enquanto que as variações de alta frequência (relativa às variações sazonais) estão associadas a distúrbios atmosféricos como passagens de frentes frias e ciclones extratropicais, por exemplo.

As figuras a seguir mostram a caracterização da umidade relativa de forma espacial, contemplando o período entre 1961 e 2011. Estes dados são provenientes do modelo de circulação geral do NCEP/NCAR, para o período anual, verão e inverno, respectivamente (**Figura II.5.1.1-16 a Figura II.5.1.1-18**).



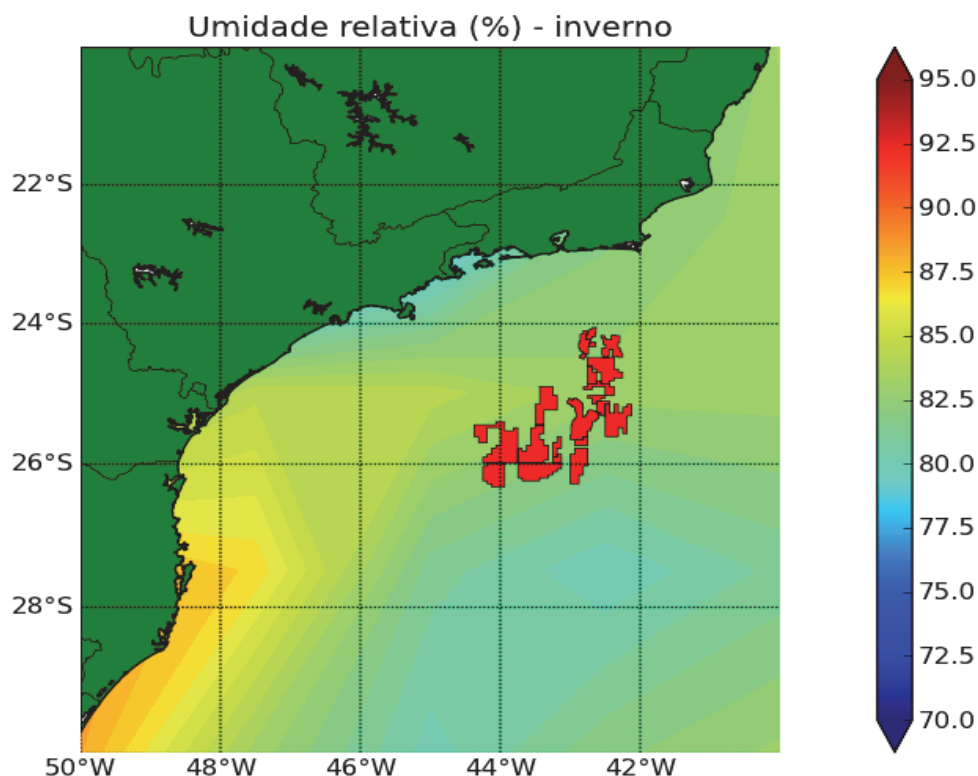
Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-16 – Umidade relativa superficial (%) proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1961 e 2011. Média anual. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-17 – Umidade relativa superficial (%) proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1961 e 2011. Média de verão. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.

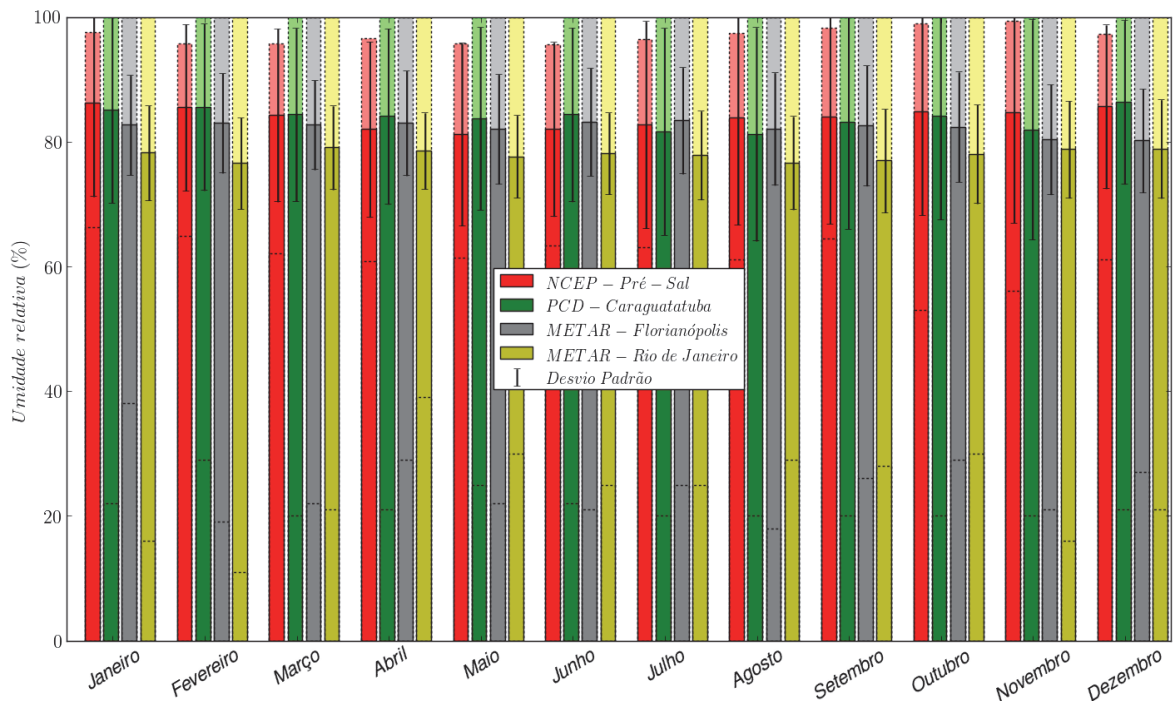


Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-18 – Umidade relativa superficial (%) proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1961 e 2011. Média de inverno. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.

Quanto à variação espacial da umidade relativa na área de estudo, é possível identificar que, nos Blocos do Pré-Sal, a umidade relativa média anual é de 83,9%, enquanto que no verão é de 85,3% e no inverno de 83,5%. Tanto na média anual quanto em períodos de verão e inverno, a região costeira apresenta umidade relativa média superior a da observada nos Blocos do Pré-Sal. Ainda, na costa, a região ao Sul do estado de São Paulo apresenta maiores valores médios que os observados no estado do Rio de Janeiro.

A umidade relativa climatológica mensal para as localidades dentro da área de estudo descritas no **Quadro II.5.1.1-1** está representada graficamente pela **Figura II.5.1.1-19** e sua estatística associada, na **Tabela II.5.1.1-5**.



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); PCD Caraguatatuba (2013); METAR Florianópolis (2013) e METAR Rio de Janeiro (2013).

Figura II.5.1.1-19 – Umidade relativa superficial (%) de acordo com locais de coleta descritos no Quadro II.5.1.1-1. As barras com cores escuras representam os valores médios, as cores claras (com bordas tracejadas) indicam os valores máximos e mínimos e as linhas verticais cheias, o desvio padrão.

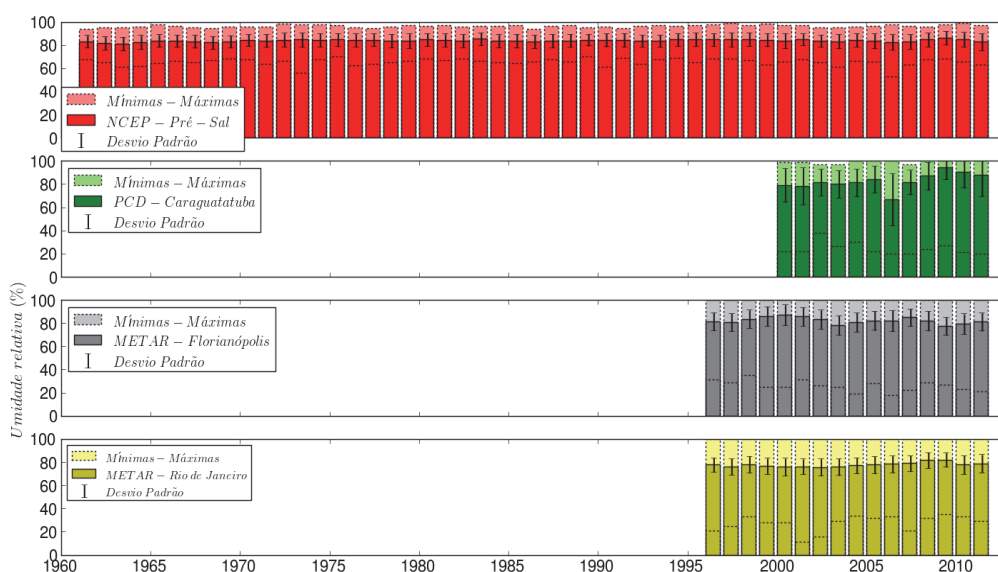
Tabela II.5.1.1-5 – Estatística básica mensal da umidade relativa de acordo com locais de coleta descritos no Quadro II.5.1.1-1.

Umidade relativa (%)																
Mês	NCEP - Pré-Sal (1961-2011)				PCD – Caraguatatuba (2000-2011)				METAR – Florianópolis (1996-2011)				METAR - Rio de Janeiro (1996-2011)			
	Média	Mínima	Máxima	Desvio	Média	Mínima	Máxima	Desvio	Média	Mínima	Máxima	Desvio	Média	Mínima	Máxima	Desvio
Janeiro	86,2	66,3	97,6	4,8	85,2	22,0	100,0	15,0	82,7	38,0	100,0	8,0	78,2	16,0	100,0	7,6
Fevereiro	85,5	64,9	95,7	4,5	85,6	29,0	100,0	13,4	83,0	19,0	100,0	8,0	78,6	11,0	100,0	7,3
Março	84,3	62,1	95,7	4,9	84,4	20,0	100,0	13,9	82,7	22,0	100,0	7,2	79,1	21,0	100,0	6,7
Abril	82,0	60,8	96,6	5,8	84,1	21,0	100,0	14,1	83,0	29,0	100,0	8,4	78,6	39,0	100,0	6,1
Mai	81,2	61,4	95,7	5,6	83,8	25,0	100,0	14,6	82,0	22,0	100,0	8,8	77,6	30,0	100,0	6,6
Junho	82,0	63,3	95,6	5,4	84,4	22,0	100,0	14,0	83,2	21,0	100,0	8,6	78,2	25,0	100,0	6,5
Julho	82,8	63,1	96,4	5,3	81,7	20,0	100,0	16,6	83,4	25,0	100,0	8,5	77,8	25,0	100,0	7,1
Agosto	83,8	61,0	97,5	5,3	81,2	20,0	100,0	17,1	82,1	18,0	100,0	9,0	76,6	29,0	100,0	7,5
Setembro	84,0	64,4	98,3	6,1	83,2	20,0	100,0	17,1	82,6	26,0	100,0	9,6	77,0	28,0	100,0	8,3
Outubro	84,8	53,0	98,9	6,5	84,1	20,0	100,0	16,5	82,4	29,0	100,0	8,8	78,0	30,0	100,0	7,9
Novembro	84,7	56,1	99,3	6,9	82,0	20,0	100,0	17,6	80,4	21,0	100,0	8,8	78,8	16,0	100,0	7,8
Dezembro	85,6	61,1	97,3	5,9	86,3	21,0	100,0	13,1	80,2	27,0	100,0	8,3	78,9	21,0	100,0	7,9

Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); PCD Caraguatatuba (2013); METAR Florianópolis (2013) e METAR Rio de Janeiro (2013).

Os valores mensais médios de umidade relativa não seguem um padrão entre as localidades analisadas dentro da área de estudo. Para os Blocos do Pré-Sal, a menor umidade relativa média ocorre no mês de maio, com 81,2%, e a máxima, em janeiro, com 86,2%. Em Caraguatatuba, o menor valor mensal climatológico é em novembro, com 80,1% e o maior, em dezembro, com 86,1%. Florianópolis registra o menor valor mensal médio em dezembro, com 80,2%, e o maior, em julho, com 83,4%. No Rio de Janeiro, os valores de 76,6% e 79,1% representam os valores mensais médios, mínimo e máximo, nos meses de agosto e março, respectivamente.

Para as variações anuais de umidade relativa dentro da área de estudo, a partir da **Figura II.5.1.1-20** e **Tabela II.5.1.1-6**, é possível verificar que entre os locais analisados, o Rio de Janeiro tem a menor umidade relativa média anual, com 77,9%, e, a maior média de 83,9%, é encontrada no Pré-Sal. Caraguatatuba e Florianópolis têm umidades relativas anuais médias de 82,8% e 82,3%.



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); PCD Caraguatatuba (2013); METAR Florianópolis (2013) e METAR Rio de Janeiro (2013).

Figura II.5.1.1-20 – Umidades relativas anuais médias (%) de acordo com locais de coleta descritos no **Quadro II.5.1.1-1**. As barras com cores escuras representam os valores médios, as cores claras (com bordas tracejadas) indicam os valores máximos e mínimos e as linhas verticais cheias, o desvio padrão.

Os valores anuais médios mínimos da umidade relativa foram de 81,2%, 66,7%, 80,2% e 76,6% para o Pré-Sal em 2009, Caraguatatuba em 2009, Florianópolis em 2006 e Rio de Janeiro em 2002, respectivamente. Os valores anuais médios máximos foram de 86,3%, 94,6%, 83,4% e 79,1%, para os anos de 2009, 2009, 2006 e 2002, no Pré-Sal, Caraguatatuba, Florianópolis e Rio de Janeiro. Estes valores indicam que não foi detectada nenhuma tendência de aumento ou diminuição da umidade relativa dentro da área de estudo, ao longo dos anos e dos locais analisados.

Tabela II.5.1.1-6 - Umidades relativas médias, mínimas e máximas anuais nos locais de coleta descritos no Quadro II.5.1.1-1.

Fonte de dados	Umidade relativa média					Umidade relativa mínima	
	Média	Mínima		Máxima			
	%	%	ano	%	ano	%	ano
NCEP - Pré-Sal	83,9	81,2	2009	86,3	2009	53,0	2006
PCD - Caraguatatuba	82,8	66,7	2009	94,6	2009	20,0	2006
METAR - Florianópolis	82,3	80,2	2006	83,4	2006	18,0	2007
METAR - Rio de Janeiro	77,9	76,6	2002	79,1	2002	11,0	2001

Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); PCD Caraguatatuba (2013); METAR Florianópolis (2013) e METAR Rio de Janeiro (2013).

Precipitação

Para caracterizar a precipitação na área de estudo foram utilizados dados espaciais do modelo de circulação geral do NCEP/NCAR, e pontuais coletados nas cidades de Cananéia/SP, Caraguatatuba/SP, Santos/SP e Ubatuba/SP, além de pontual na região dos Blocos do Pré-Sal da Bacia de Santos, indicando o local do empreendimento.

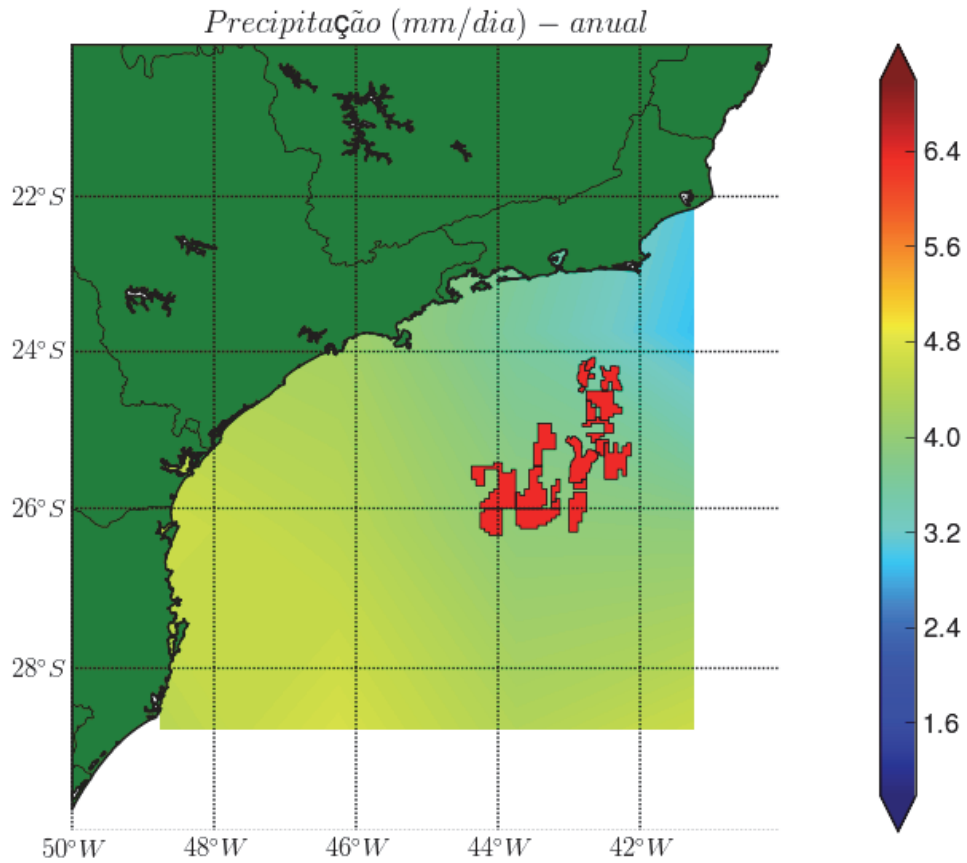
A variação de precipitação foi analisada em termos espaciais para o período anual, de verão e de inverno. Nas localidades listadas acima, foram analisadas as estatísticas básicas (mínima, média, máxima e desvio padrão) para as variações mensais e interanuais.

Estas análises são importantes para se determinar como é a precipitação média na área de estudo, como ela varia espacialmente e ao longo do ano, os meses mais secos e mais chuvosos e se é observada alguma tendência de

variação deste parâmetro ao longo dos anos avaliados. As variações sazonais da precipitação estão ligadas as variações intra-anuais, que por sua vez são influenciadas por diversos fatores atmosféricos, conforme apresentado no **tópico A**, e as variações de alta frequência (relativa às variações sazonais) estão associadas a distúrbios atmosféricos como passagens de frentes frias e ciclones extratropicais, por exemplo.

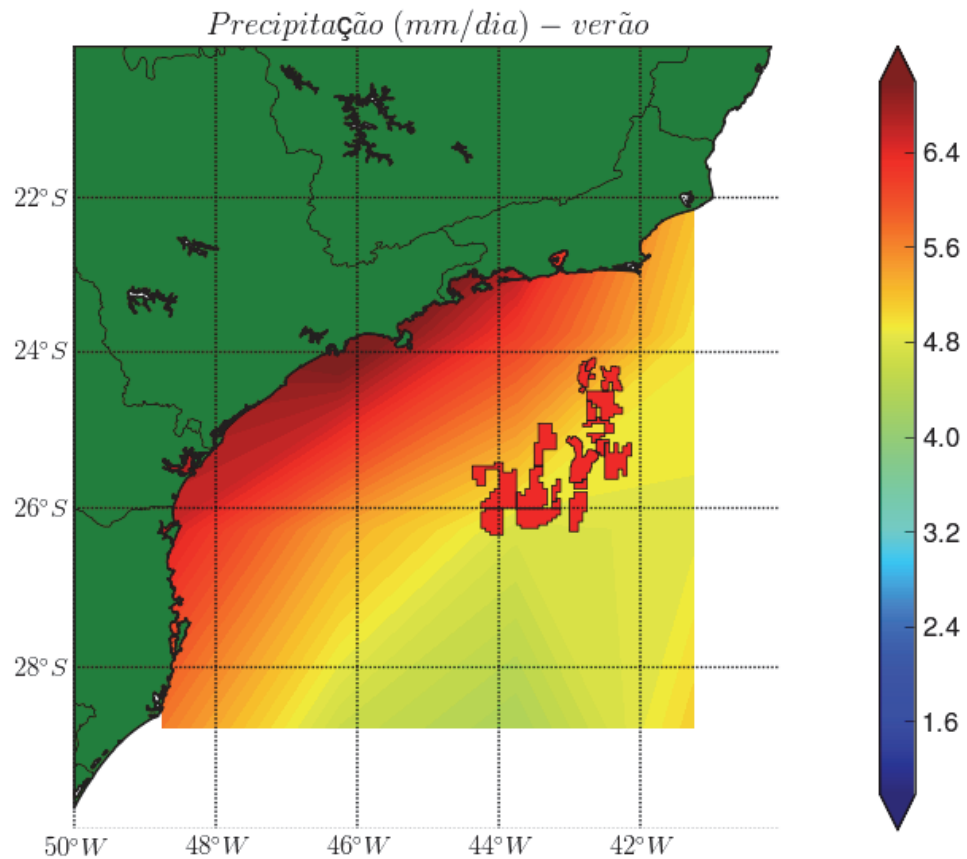
Estas variações da precipitação são importantes para operações normais e de emergência em praticamente todos os setores que envolvem a produção de óleo, podendo exigir equipamentos específicos para cada situação de transporte e contingência.

A caracterização da precipitação de forma espacial, é apresentada da **Figura II.5.1.1-21** até a **Figura II.5.1.1-23**, contemplando o período entre 1979 e 2011. Estes dados são provenientes do modelo de circulação geral do NCEP/NCAR, para o período anual, verão e inverno, respectivamente.



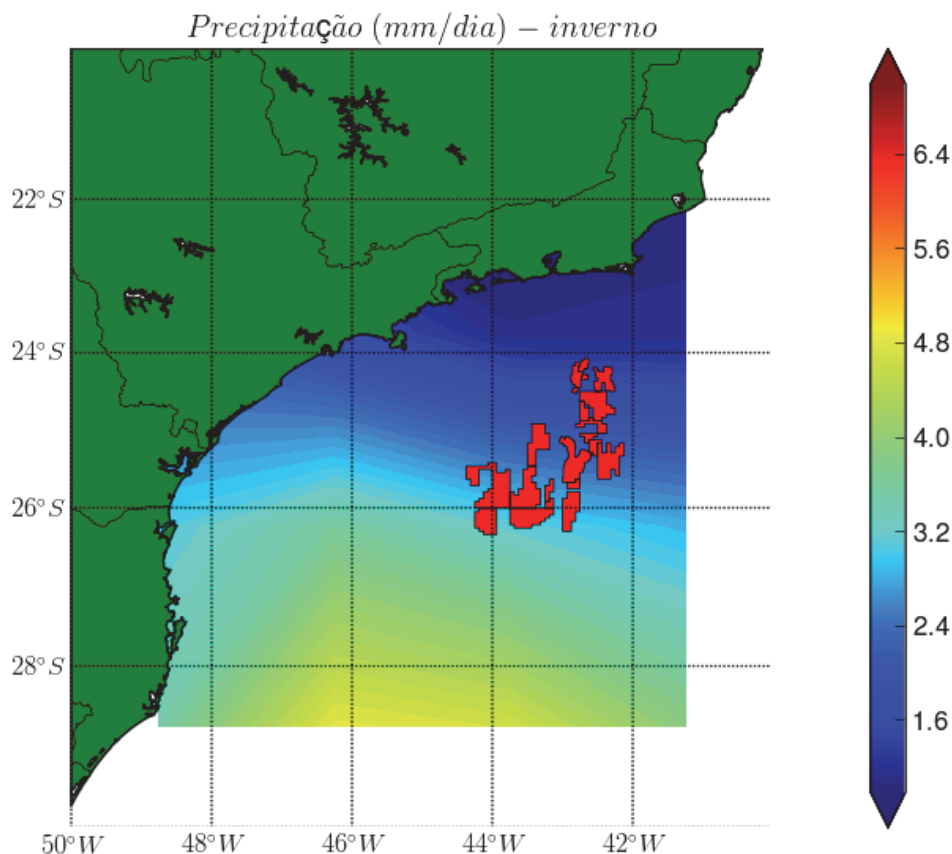
Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-21 – *Precipitação (mm/dia) proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1979 e 2011. Média anual. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.*



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-22 – Precipitação (mm/dia) proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1979 e 2011. Média de verão. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.

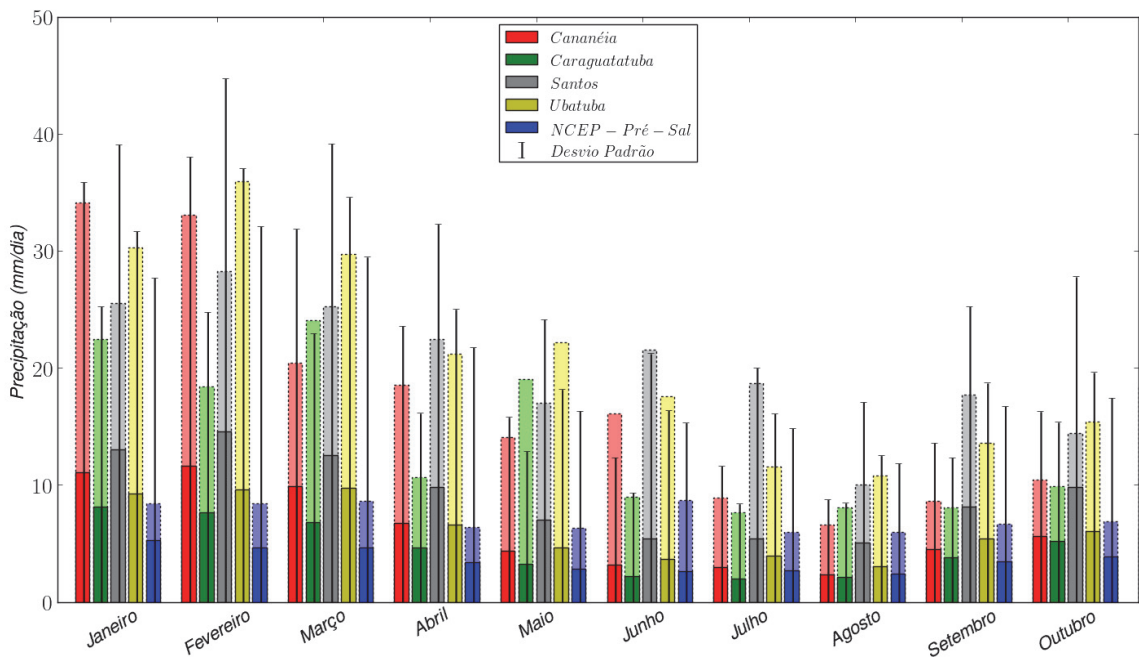


Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-23 – *Precipitação (mm/dia) proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1979 e 2011. Média de inverno. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.*

Para as variações espaciais da precipitação, é possível identificar que, nos Blocos do Pré-Sal, a precipitação média anual é de 3,8 mm/dia, no verão é de 5,0 mm/dia e de 2,6 mm/dia no inverno. Em períodos de verão, a região costeira apresenta precipitação média superior em relação à observada nos Blocos do Pré-Sal. No inverno é possível observar que a região costeira do Sul do Brasil tem maior precipitação média que os estados do Sudeste, conotando uma variação ao longo da área de estudo.

De acordo com as localizações selecionadas no **Quadro II.5.1.1-1**, os valores mensais médios de precipitação, bem como as estatísticas associadas, estão representadas graficamente na **Figura II.5.1.1-24** e listadas na **Tabela II.5.1.1-7**.



Fonte de dados: DAEE/SP (2013).

Figura II.5.1.1-24 – Precipitação (mm/dia) de acordo com locais de coleta descritos no **Quadro II.5.1.1-1**. As barras com cores escuras representam os valores médios, as cores claras (com bordas tracejadas) indicam os valores máximos (divididos por 10 para facilitar a visualização) e as linhas verticais cheias, o desvio padrão.

Tabela II.5.1.1-7 - Estatística básica mensal da precipitação de acordo com locais de coleta descritos no Quadro II.5.1.1-1.

Precipitação (mm/dia)															
Mês	DAEE - Cananéia			DAEE - Caraguatatuba			DAEE - Santos			DAEE - Ubatuba			NCEP - Pré-Sal		
	Média	Máximo	Desvio	Média	Máximo	Desvio	Média	Máximo	Desvio	Média	Máximo	Desvio	Média	Máximo	Desvio
Janeiro	11,0	340,8	24,9	8,2	224,6	17,1	13,0	255,4	26,1	9,3	303,0	22,4	5,3	252	1,4
Fevereiro	11,6	330,8	26,4	7,7	183,8	17,1	14,6	282,7	30,2	9,6	359,4	27,4	4,7	252	1,9
Março	9,9	204,2	22,0	6,8	240,8	16,2	12,5	252,5	26,7	9,7	297,0	24,9	4,6	258	1,6
Abril	6,7	185,2	16,9	4,6	106,8	11,5	9,8	224,3	22,5	6,6	211,9	18,4	3,4	192	1,1
Mai	4,4	141,0	11,5	3,2	190,0	9,7	7,0	170,2	17,1	4,7	221,8	13,5	2,8	189	1,3
Junho	3,2	161,2	9,2	2,2	90,0	7,2	5,4	215,4	15,8	3,7	175,8	12,7	2,6	161	1,4
Julho	3,0	88,9	8,6	2,0	76,6	6,4	5,4	187,0	14,6	3,9	115,5	12,2	2,7	180	1,1
Agosto	2,4	65,8	6,4	2,2	80,9	6,3	5,0	100,3	12,0	3,0	107,7	9,5	2,4	180	1,1
Setembro	4,5	86,1	9,1	3,8	80,5	8,5	8,2	176,7	17,1	5,4	135,8	13,3	3,5	201	1,3
Outubro	5,6	104,4	10,7	5,2	98,8	10,2	9,8	144,5	18,0	6,1	153,7	13,6	3,9	207	1,1
Novembro	6,2	185,4	13,3	5,3	170,3	11,2	9,6	156,8	19,0	6,7	210,5	16,1	4,4	201	1,1
Dezembro	7,5	178,3	15,6	6,5	117,5	12,4	11,5	254,1	24,2	8,1	300,0	20,5	5,1	240	1,2

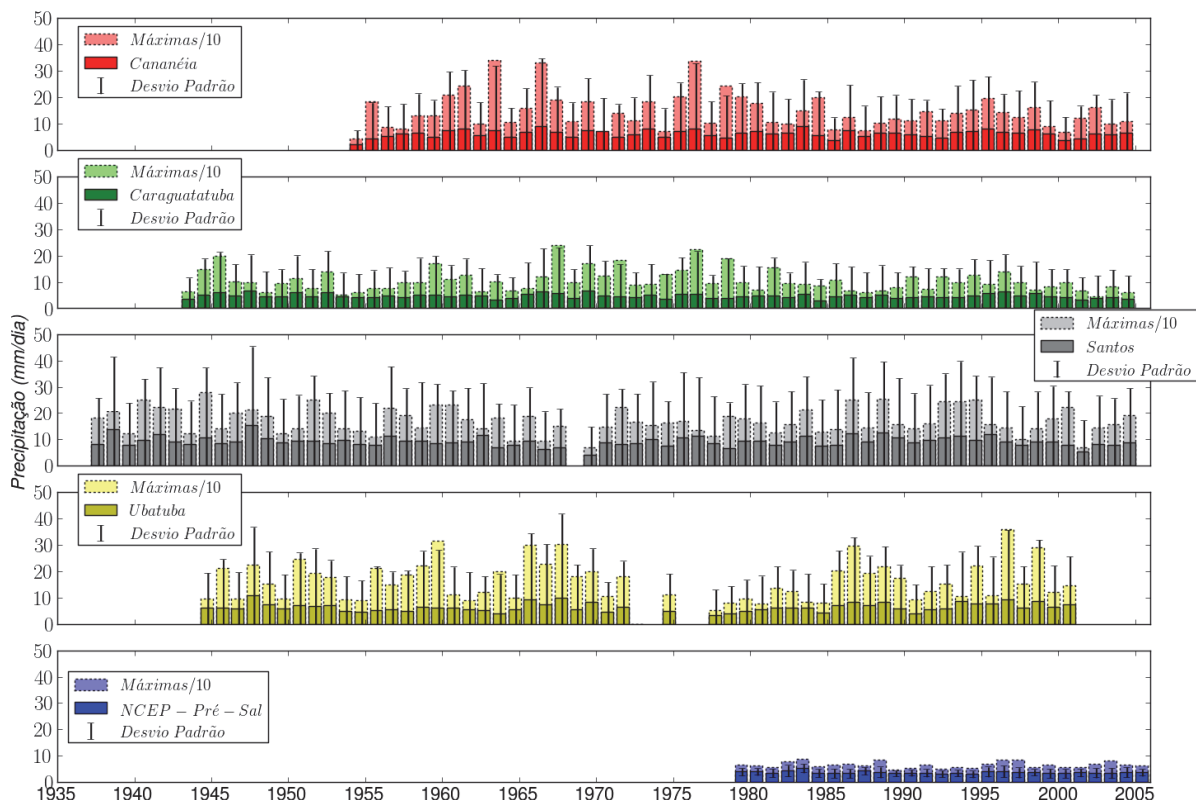
Fonte de dados: DAEE/SP (2013) e NCEP/NCAR(2013).

Dentre as localidades analisadas dentro da área de estudo, Santos é onde ocorrem as maiores médias mensais de precipitação. O mês com a maior precipitação média é fevereiro, com 14,6 mm/dia, contrapondo o mês de agosto, com 5,0 mm/dia. Cananéia e Ubatuba apresentam os meses mais chuvosos em fevereiro e março, respectivamente, com 11,6 mm/dia e 9,7 mm/dia de precipitação média. Nestes locais o mês menos chuvoso é o de agosto, com 2,4 mm/dia e 3,0 mm/dia de precipitação mensal média. Caraguatatuba e o Pré-Sal têm o mês mais chuvoso em janeiro (média de 8,2 mm/dia e 5,3 mm/dia) e o menos chuvoso em julho (2,0 mm/dia) para Caraguatatuba e agosto para o Pré-Sal (2,4 mm/dia).

Para todas as localidades dentro da área de estudo os meses mais chuvosos são aqueles que também apresentam os maiores desvios-padrão, indicando meses com maiores instabilidades atmosféricas.

Para os valores máximos absolutos, o maior valor registrado foi em Ubatuba com 359,4 mm/dia no mês de fevereiro. Em Cananéia, o maior valor observado foi de 340,8 mm/dia em janeiro; em Santos, 282,7 mm/dia em fevereiro e em Caraguatatuba, 240,8 mm/dia no mês de março.

Analisando-se as flutuações interanuais, são apresentados na **Figura II.5.1.1-25** e na **Tabela II.5.1.1-8** os valores médios anuais em cada uma das localidades descritas no **Quadro II.5.1.1-1**, bem como os valores máximos e mínimos absolutos.



Fonte de dados: DAEE/SP (2013) e NCEP/NCAR(2013).

Figura II.5.1.1-25 – Precipitações anuais médias (mm/dia) de acordo com locais de coleta descritos no **Quadro II.5.1.1-1**. As barras com cores escuras representam os valores médios, as cores claras (com bordas tracejadas) indicam os valores máximos (divididos por 10 para facilitar a visualização) e as linhas verticais cheias, o desvio padrão.

Santos apresenta a maior média anual, com 9,2 mm/dia, seguida por Ubatuba, com 6,4 mm/dia, Cananéia com 6,2 mm/dia, Caraguatatuba, com 4,8 mm/dia e Blocos do Pré-Sal com 3,8 mm/dia. Em Santos, o ano que teve a menor média anual histórica foi de 1969, com 4,2 mm/dia. Este valor é superior às médias anuais mínimas em Ubatuba, Cananéia e Caraguatatuba, que registraram os menores valores anuais mínimos de 3,4 mm/dia em 1977, 2,1 mm/dia em 1954 e 2,9 mm/dia em 1984, respectivamente.

Para os valores anuais máximos, estes foram registrados nos anos de 1966 em Cananéia e em 1947 em Caraguatatuba, Santos e Ubatuba. Para a região do Pré-Sal o ano com maior precipitação média foi de 1983 com 5,4 mm/dia. O valor registrado em Cananéia foi de 9,1 mm/dia e em Caraguatatuba, Santos, Ubatuba foi de 6,8 mm/dia, 15,2 mm/dia e 10,9 mm/dia, respectivamente.

Tabela II.5.1.1-8 - Precipitações médias, mínimas e máximas anuais nos locais de coleta descritos no Quadro II.5.1.1-1.

Fonte de dados	Precipitação média					Precipitação máxima	
	Média	Mínima		Máxima		mm/dia	ano
	mm/dia	mm/dia	ano	mm/dia	ano		
DAEE - Cananéia	6,2	2,1	1954	9,1	1966	340,8	1963
DAEE - Caraguatatuba	4,8	2,9	1984	6,8	1947	240,8	1967
DAEE - Santos	9,2	4,2	1969	15,2	1947	282,7	1944
DAEE - Ubatuba	6,4	3,4	1977	10,9	1947	359,4	1996
NCEP - Pré-Sal	3,8	3,1	1994	5,4	1983	261,0	1983

Fonte de dados: DAEE/SP (2013) e NCEP/NCAR(2013).

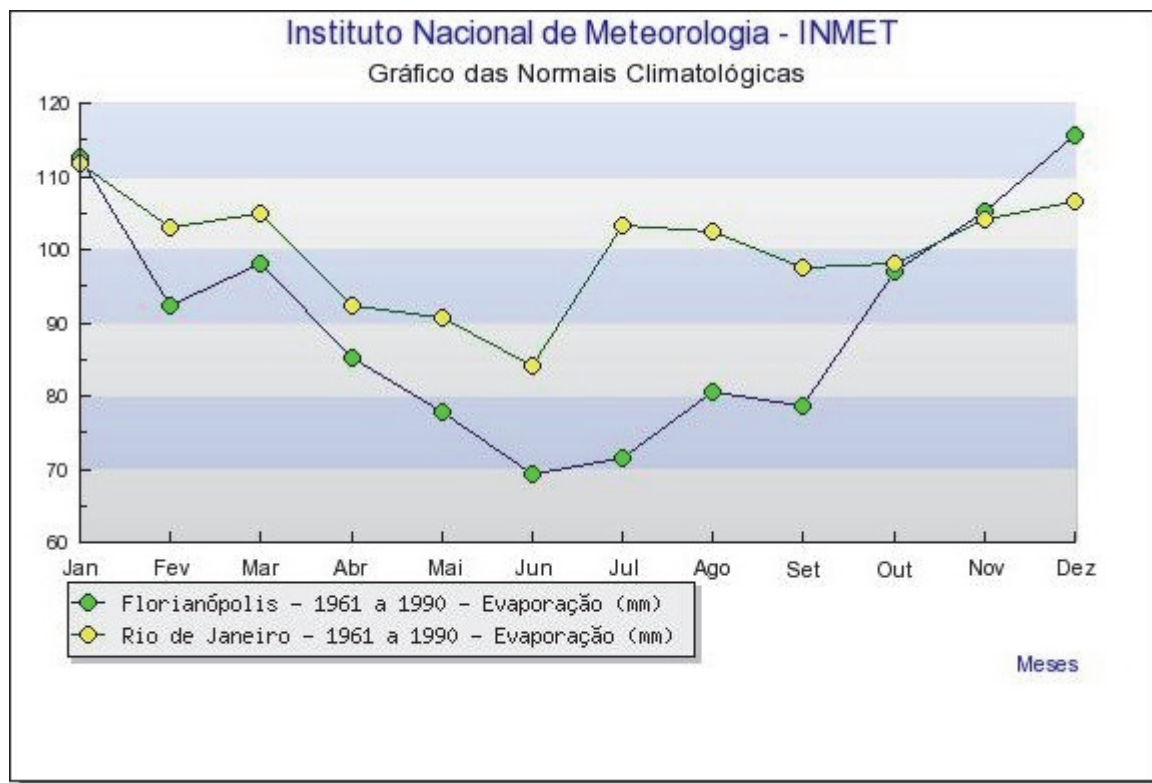
Para os valores máximos absolutos, o maior valor registrado foi em Ubatuba em 1996, com 359,4 mm/dia. Em Cananéia, no ano de 1963, foi registrado máximo absoluto de 340,8 mm/dia; em Santos, 282,7 mm/dia em 1944 e em Caraguatatuba, 240,8 mm/dia em 1967.

As variações anuais da precipitação apresentam oscilações ao longo dos anos, contudo nenhuma tendência significativa de aumento ou diminuição na área de estudo.

Evaporação

Para caracterizar a evaporação na área de estudo foram utilizados dados pontuais de evaporação potencial nos estados de SP e MG provenientes do modelo de circulação geral do NCEP/NCAR. Este modelo disponibiliza este parâmetro somente sobre o continente, desta maneira a variação espacial desta propriedade não foi obtida, e estes são os dois pontos mais próximos à área de estudo. Não foram obtidos dados com relevância temporal de outras fontes para outras localidades dentro da área de estudo. Por se tratar de dados de modelo, as unidades da evaporação estão em (unidade de energia/por unidade de área), denotando um potencial de evaporação, diferentemente do comumente utilizado por dados coletados *in situ* (mm/dia).

Devido à escassez destes dados descrita acima, foram utilizadas informações referentes à cidade de Florianópolis/SC e Rio de Janeiro/RJ, entre os anos de 1961 e 1991 (INMET, 2002).



Fonte: INMET (2002)

Figura II.5.1.1-26 – Variação mensal da evaporação (mm) em Florianópolis (SC) – verde – e Rio de Janeiro (RJ) – amarelo.

Os dados do INMET mostram que o mês de junho é o com menores valores para ambas as cidades (85 mm e 70 mm para Rio de Janeiro e Florianópolis, respectivamente), enquanto que o mês de dezembro é o mês com maior valor de evaporação para Florianópolis (115 mm) e o mês de janeiro o maior para o Rio de Janeiro (112 mm).

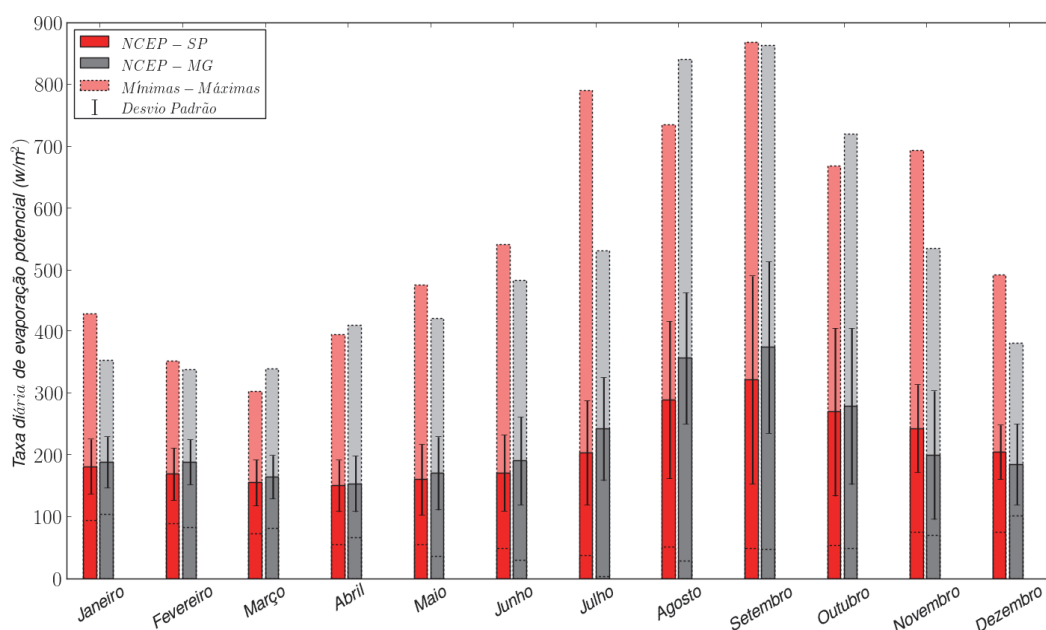
Para os dados do modelo de circulação geral do NCEP/NCAR, a variação da evaporação foi avaliada e nas localidades listadas acima com estatísticas básicas (mínima, média, máxima e desvio padrão) para as variações mensais e interanuais.

Estas análises são importantes para se determinar como é a evaporação média na área de estudo, como é a variação ao longo do ano, os meses com maiores e menores valores e se é observada alguma tendência de variação deste parâmetro ao longo dos anos avaliados.

As variações sazonais da evaporação estão ligadas as variações intra-anuais, que por sua vez são influenciadas por diversos fatores atmosféricos, conforme

apresentado no **tópico A**. As variações de alta frequência (relativa as variações semanais-mensais) estão associadas a distúrbios atmosféricos como passagens de frentes frias e ciclones extratropicais, por exemplo.

As climatologias mensais da taxa de evaporação diária potencial de acordo com os pontos destacados no **Quadro II.5.1.1-1** estão representados graficamente na **Figura II.5.1.1-27** e listados na **Tabela II.5.1.1-9**, assim como as estatísticas básicas associadas.



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-27 – Média mensal da taxa diária de evaporação potencial (W/m^2) de acordo com locais de coleta descritos no **Quadro II.5.1.1-1**. As barras com cores escuras representam os valores médios, as cores claras (com bordas tracejadas) indicam os valores máximos e mínimos e as linhas verticais cheias, o desvio padrão.

O ponto do modelo do NCEP/NCAR localizado em SP apresenta em todos os meses potencial de evaporação inferior ao ponto localizado em MG. Os maiores valores são observados no mês de setembro, com $374,4 W/m^2$ para o ponto de MG e $321,4 W/m^2$ em SP. Os menores valores mensais médios foram observados em abril, com $149,8 W/m^2$ no ponto SP e $153,2 W/m^2$ no ponto MG.

Os valores máximos e mínimos absolutos foram observados no ponto SP. No mês de setembro ($867,9 W/m^2$) ocorreu o máximo, e, o mínimo, em agosto

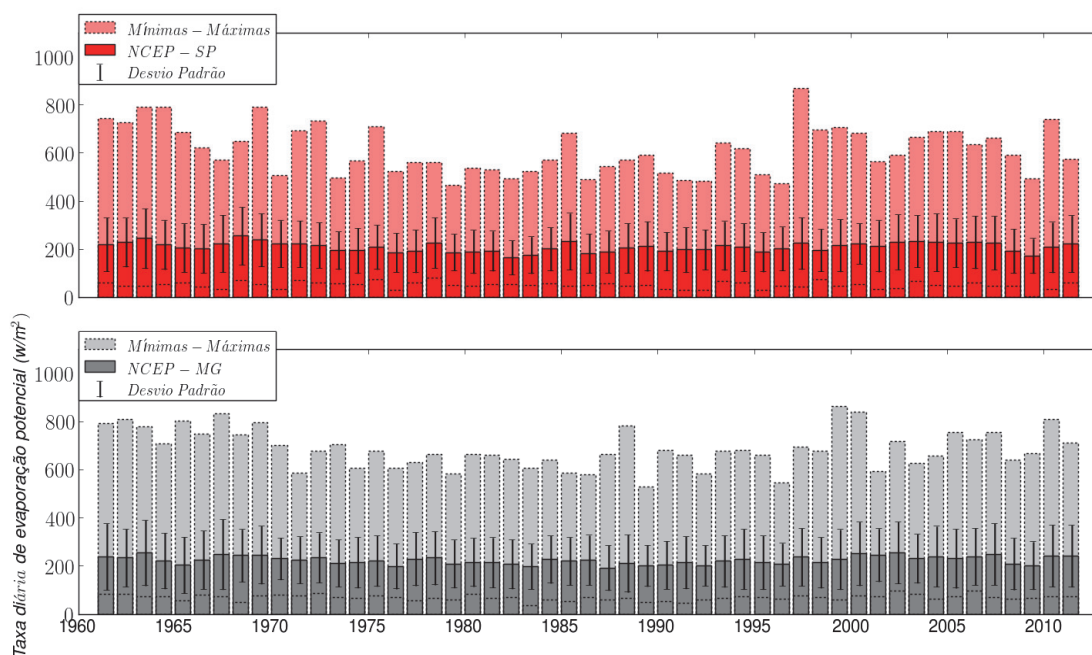
(28,8 W/m²). Para o ponto MG, os valores mínimos e máximos absolutos ocorreram em julho (37,1 W/m²) e em setembro (862,7 W/m²).

Tabela II.5.1.1-9 - Estatística básica mensal da taxa diária de evaporação potencial de acordo com locais de coleta descritos no Quadro II.5.1.1-1.

Evaporação (W/m ²)								
Mês	NCEP – SP (1961-2011)				NCEP – MG (1961-2011)			
	Média	Mínima	Máxima	Desvio	Média	Mínima	Máxima	Desvio
Janeiro	180,8	104,1	429,3	41,2	188,0	94,0	352,3	44,3
Fevereiro	168,6	82,3	351,3	36,3	188,4	88,6	337,3	42,3
Março	154,9	81,3	301,8	35,0	163,9	72,7	338,3	37,1
Abril	149,8	65,8	394,6	45,0	153,2	54,8	409,1	41,6
Mai	159,7	35,2	476,0	59,0	169,9	55,1	421,3	57,0
Junho	170,4	29,6	541,1	70,9	190,2	47,8	483,3	61,6
Julho	203,3	30,3	790,1	83,3	241,7	37,1	530,5	84,5
Agosto	288,7	28,8	734,1	107,1	356,7	51,3	840,7	127,0
Setembro	321,4	47,3	867,9	139,5	374,4	47,8	862,7	168,8
Outubro	269,0	48,3	667,5	126,1	278,3	53,3	719,0	135,7
Novembro	242,3	70,3	692,8	103,7	199,4	75,0	534,5	70,9
Dezembro	204,2	101,2	491,8	65,3	184,7	74,8	379,8	43,8

Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

De forma a se analisar as variações interanuais da taxa diária de evaporação potencial, são apresentadas na **Figura II.5.1.1-28** e na **Tabela II.5.1.1-10**. Nestas, é possível identificar que, no ponto MG, a taxa diária de evaporação potencial média anual é de 224,3 W/m², enquanto que, para o ponto SP, este valor é de 209,6 W/m². O ano de 1982 teve a menor média mínima em SP (165,7 W/m²), e o de 1968, a máxima (255,2 W/m²). Para o ponto MG, estes anos foram os de 1987 (192,6 W/m²) e 2002 (255,1 W/m²).



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-28 – Taxa diária de evaporação potencial anuais médias (W/m^2) de acordo com locais de coleta descritos no **Quadro II.5.1.1-1**. As barras com cores escuras representam os valores médios, as cores claras (com bordas tracejadas) indicam os valores máximos e as linhas verticais cheias, o desvio padrão.

Tabela II.5.1.1-10 - Taxas diárias de evaporação potencial médias, mínimas e máximas anuais nos locais de coleta descritos no **Quadro II.5.1.1-1**.

Fonte de Dados	Evaporação média					Evaporação mínima		Evaporação máxima	
	Média	Mínima		Máxima		Evaporação mínima		Evaporação máxima	
	W/m^2	W/m^2	ano	W/m^2	ano	W/m^2	ano	W/m^2	ano
NCEP - SP	209,6	165,7	1982	255,2	1968	30,3	2009	867,9	1997
NCEP - MG	224,3	192,6	1987	255,1	2002	37,1	1983	862,7	1999

Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

No ponto SP, os valores mínimo e máximo absolutos ocorreram em 2009 e em 1997, enquanto que no ponto MG, estes valores ocorreram nos anos de 1983 e 1999. Os valores mínimos absolutos para os pontos MG e SP foram de $37,1 W/m^2$ e $30,3 W/m^2$. Já os valores máximos absolutos para estes mesmos pontos foram de $862,7 W/m^2$ e $867,9 W/m^2$. Os dados apresentados não conotam nenhuma tendência de aumento ou diminuição da evaporação nestes pontos analisados dentro da área de estudo.

Ventos

Para caracterizar o regime de ventos da área de estudo foram utilizados dados espaciais do modelo de circulação geral do NCEP/NCAR e pontuais coletados nas cidades de Caraguatatuba/SP, Florianópolis/SC, Rio de Janeiro/RJ, no FPSO Cidade de Angra e na Plataforma MLZ1. Estes dois últimos são empreendimentos da PETROBRAS. Um ponto de grade do modelo do NCEP/NCAR foi selecionado na região dos blocos do Pré-Sal da Bacia de Santos e indicando o local do empreendimento.

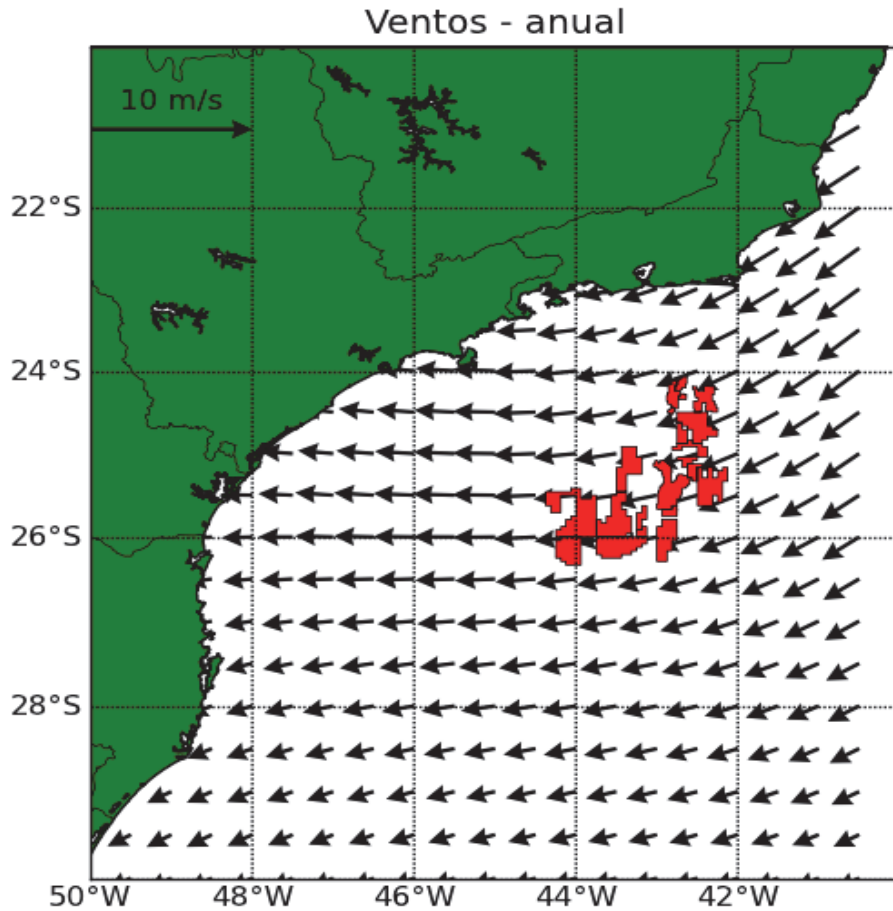
A variação do regime dos ventos foi analisada em termos espaciais para o período anual, de verão e de inverno. Nas localidades listadas acima, foram analisadas as estatísticas básicas (mínima, média, máxima e desvio padrão) para as variações mensais e interanuais. Para o ponto do Pré-Sal foi realizada uma análise de extremos e de eventos extremos, caracterizando as situações de maiores intensidades dos ventos na área de estudo.

Estas análises são importantes para se determinar como é o vento médio na área de estudo, como ele varia espacialmente e ao longo do ano, os meses com maiores e menores intensidades e se é observada alguma tendência de variação deste parâmetro ao longo dos anos avaliados.

As variações sazonais dos ventos estão ligadas às variações intra-anuais, que por sua vez são influenciadas por diversos fatores atmosféricos, conforme apresentado no **tópico A**, e as variações de alta frequência (relativas às variações sazonais) estão associadas a distúrbios atmosféricos como passagens de frentes frias e ciclones extratropicais, por exemplo.

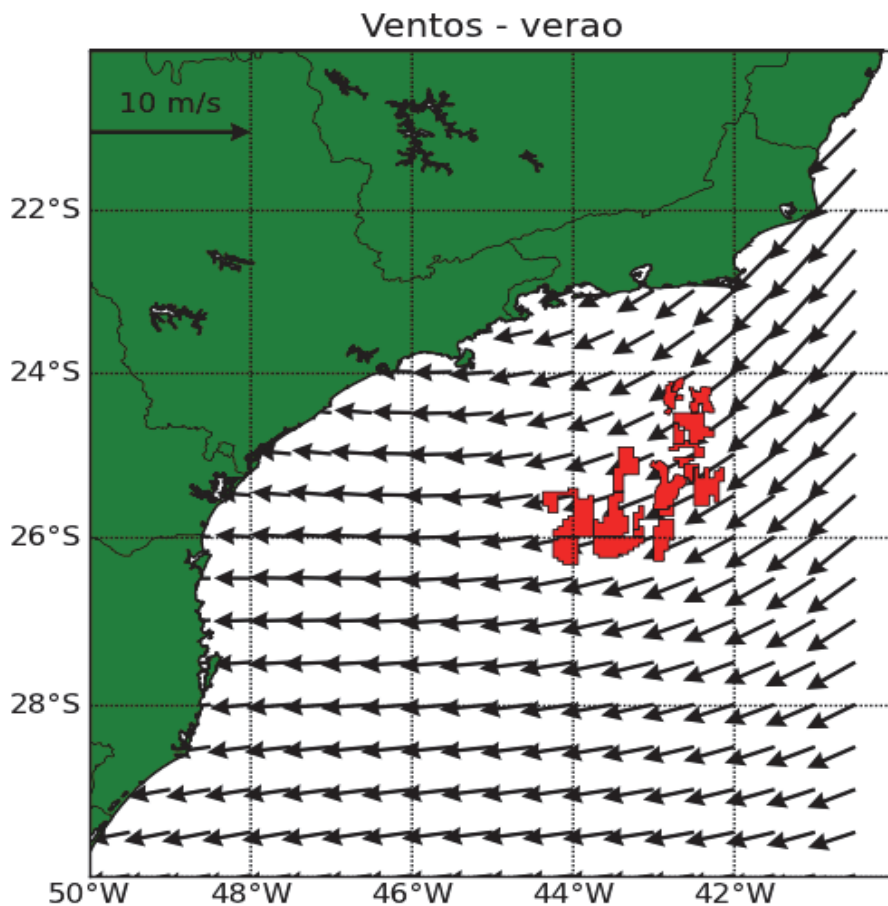
Estas variações dos ventos são importantes para operações normais e de emergência em praticamente todos os setores que envolvem a produção de óleo, podendo exigir equipamentos específicos para cada situação de transporte e contingência, por exemplo.

As variações espaciais do vento médio anual, de verão e de inverno estão da **Figura II.5.1.1-29** até a **Figura II.5.1.1-31**. Estas figuras foram compostas por dados do modelo global de circulação do NCEP/NCAR entre os anos de 1961 e 2011.



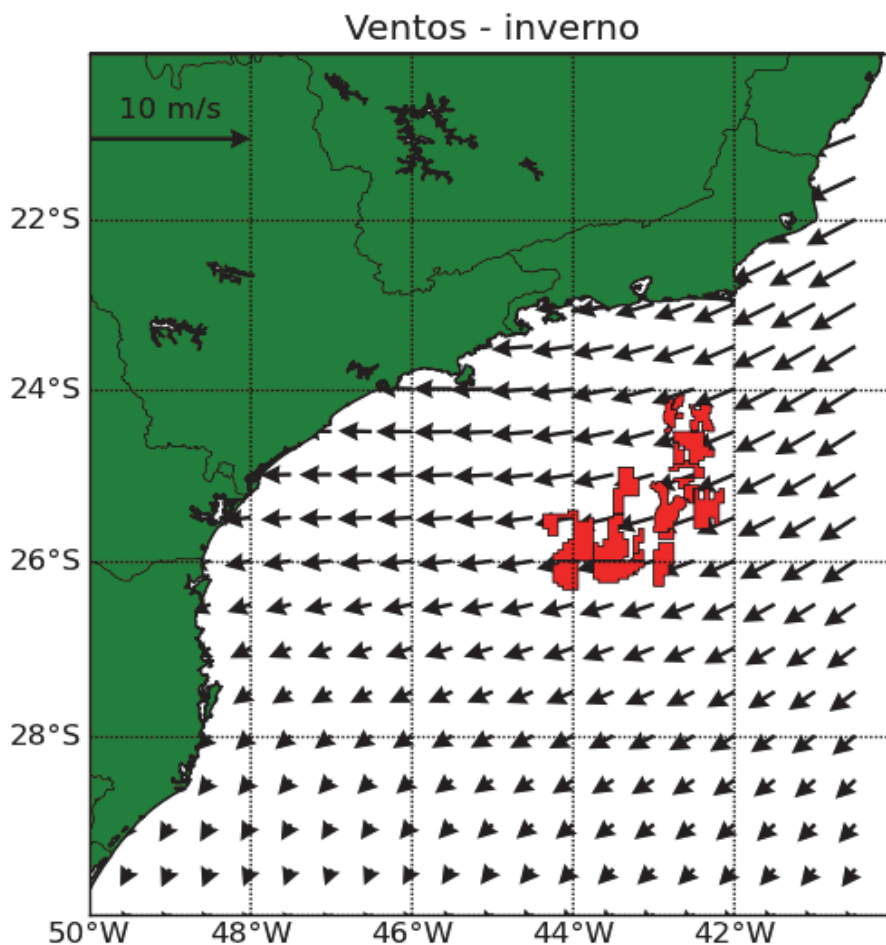
Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-29 – Velocidade do vento proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1961 e 2011. Média anual. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-30 – Velocidade do vento proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1961 e 2011. Média de verão. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

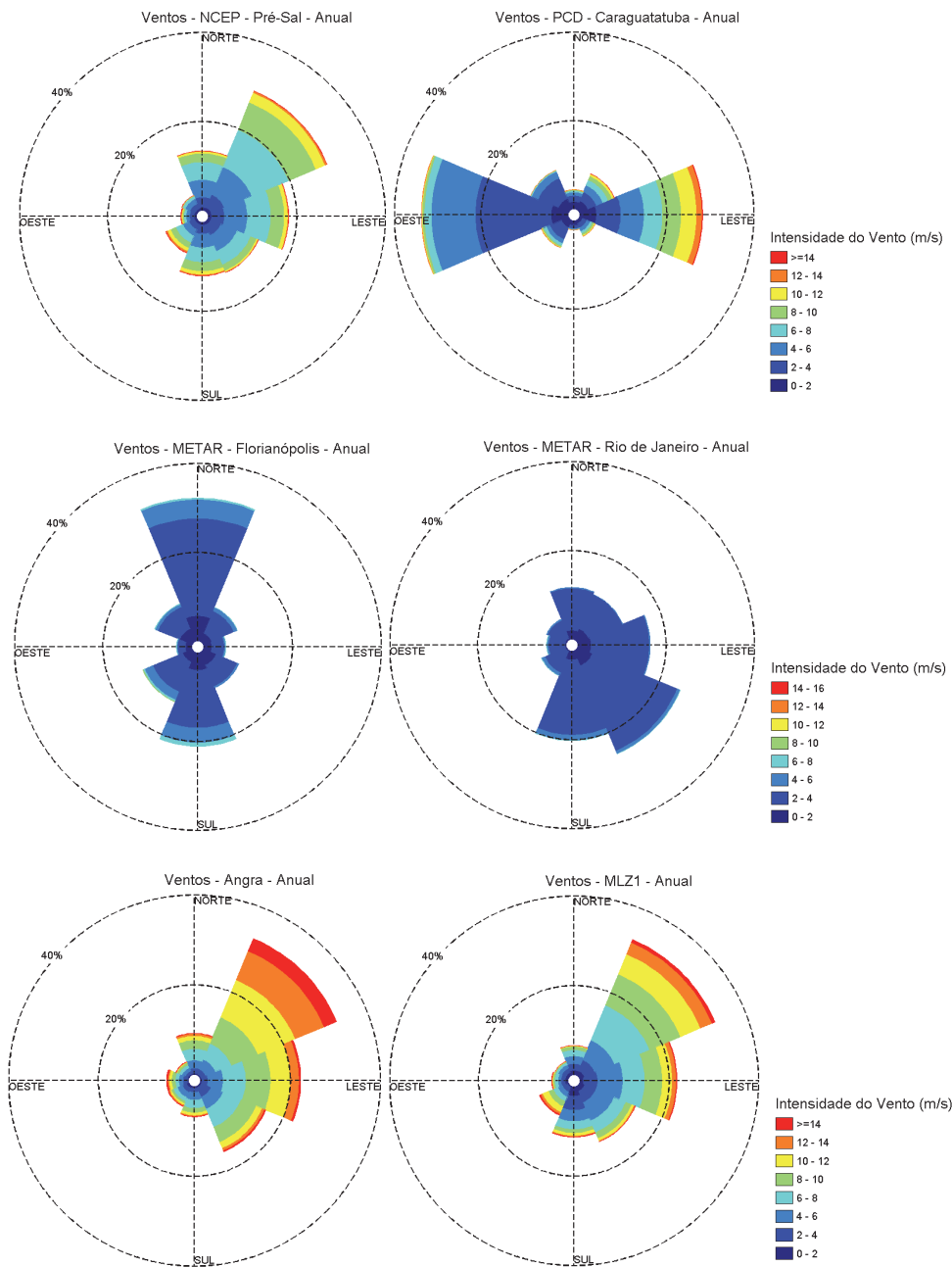
Figura II.5.1.1-31 – Velocidade do vento proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1961 e 2011. Média de inverno. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.

O campo de ventos médios na área de estudo mostra que, na área dos Blocos do Pré-Sal, o vento é predominantemente de NE, sendo que ao Norte da região estes apresentam maior magnitude média, quando comparados aos da região ao Sul.

No verão os ventos são mais intensos que no inverno (na média). Nas proximidades do continente, no estado do RJ, os ventos são de origem NE, enquanto que nos estados de SP e PR são de origem E. Para o estado de SC, no inverno a componente NE é a predominante, e nos meses de verão o vento médio tem origem E. Estas direções indicam a presença marcante do ASAS sobre a área de estudo.

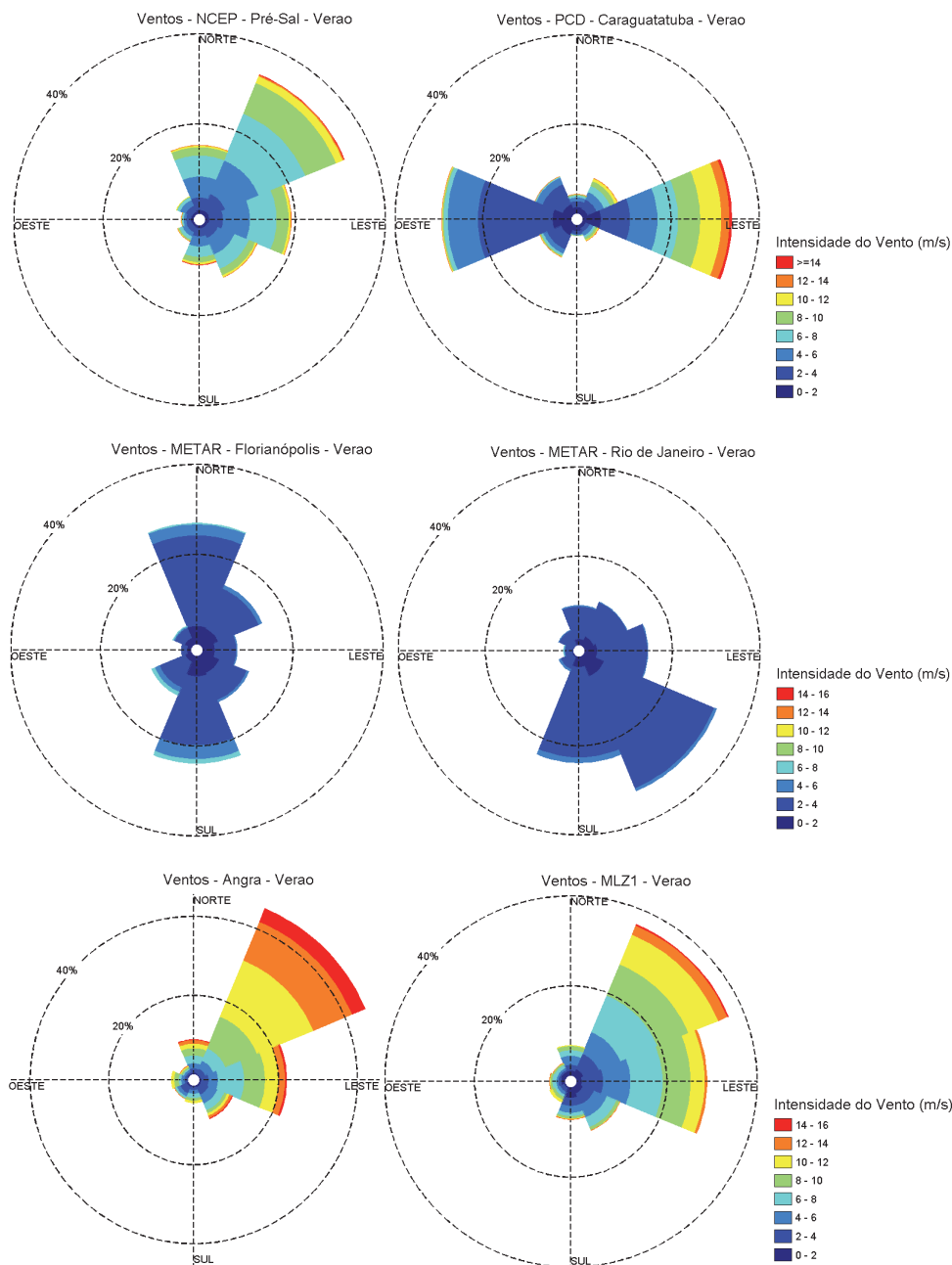
Nos meses de inverno, em que o ASAS está mais próxima da área de estudo, os ventos possuem direção predominantemente de NE em toda a região, já no verão em que este centro de alta pressão está deslocado sentido E, a componente E do vento tem importância aumentada.

Analisando-se os ventos nos locais descritos no **Quadro II.5.1.1-1**, da **Figura II.5.1.1-32** até a **Figura II.5.1.1-34** mostram a rosa dos ventos indicando a direção predominante do vento, conjuntamente com as respectivas intensidades. Estas figuras contemplam o período anual, de verão e de inverno.



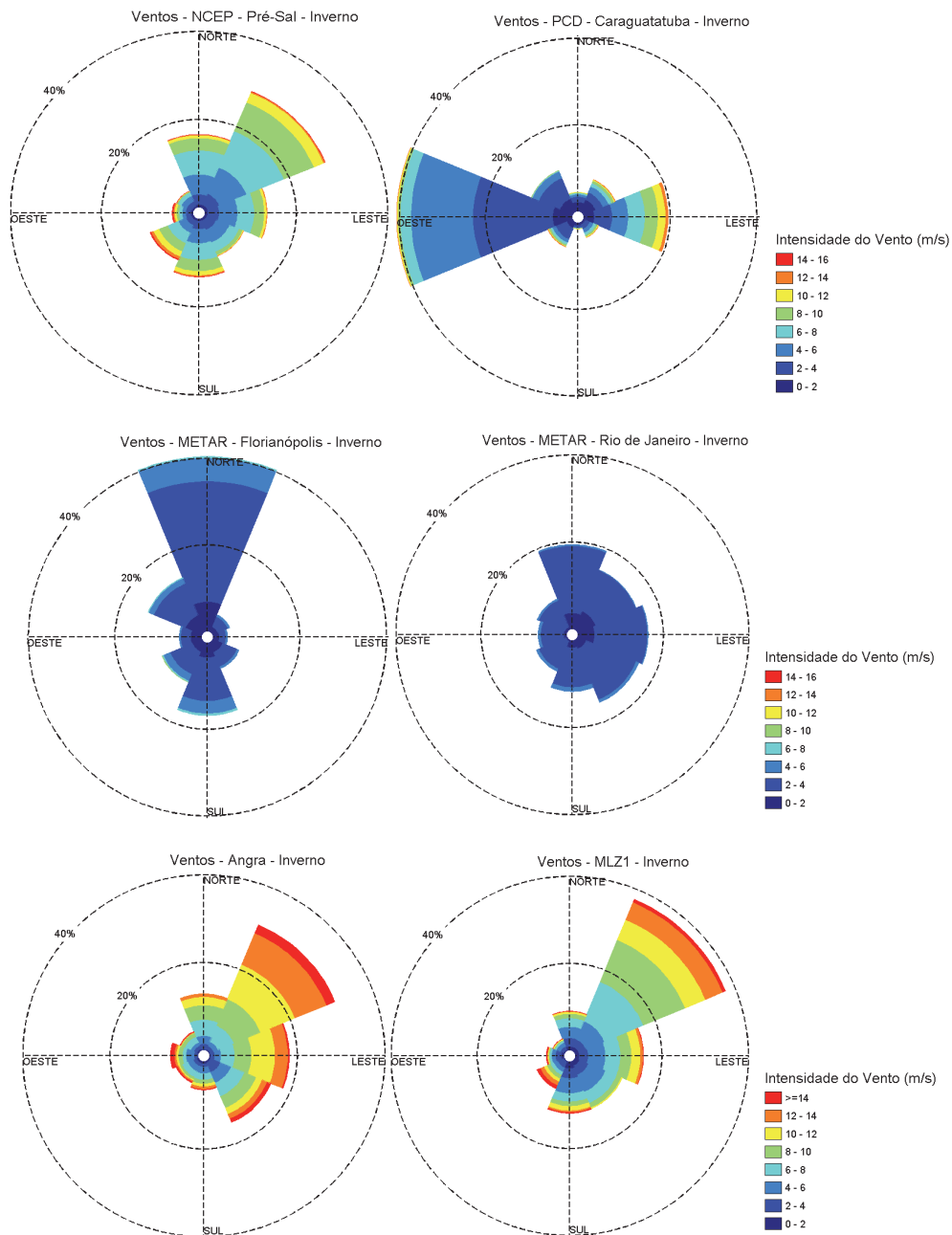
Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); PCD Caraguatatuba (2013); METAR Florianópolis (2013); METAR Rio de Janeiro (2013); PETROBRAS.

Figura II.5.1.1-32 – Rosa dos ventos: Blocos do Pré-Sal (painel superior esquerdo), Caraguatatuba (painel superior direito), Florianópolis (painel central esquerdo), Rio de Janeiro (painel central direito), FPSO Angra dos Reis (painel inferior esquerdo) e Plataforma MLZ1 (painel inferior direito) de acordo com as localizações descritas no Quadro II.5.1.1-1. As circunferências mostram a frequência de ocorrência em cada direção, onde o Norte aponta para cima e o Leste para a direita. As cores das barras descrevem a intensidade do vento, de acordo com a escala graduada. Dados contemplando todo o período anual.



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); PCD Caraguatatuba (2013); METAR Florianópolis (2013); METAR Rio de Janeiro (2013); PETROBRAS.

Figura II.5.1.1-33 – Rosa dos ventos: Blocos do Pré-Sal (painel superior esquerdo), Caraguatatuba (painel superior direito), Florianópolis (painel central esquerdo), Rio de Janeiro (painel central direito), FPSO Angra dos Reis (painel inferior esquerdo) e Plataforma MLZ1 (painel inferior direito), de acordo com as localizações descritas no **Quadro II.5.1.1-1**. As circunferências mostram a frequência de ocorrência em cada direção, onde o Norte aponta para cima e o Leste para a direita. As cores das barras descrevem a intensidade do vento, de acordo com a escala graduada. Dados contemplando o período de verão.



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); PCD Caraguatatuba (2013); METAR Florianópolis (2013); METAR Rio de Janeiro (2013); PETROBRAS.

Figura II.5.1.1-34 - Rosa dos ventos: Blocos do Pré-Sal (painel superior esquerdo), Caraguatatuba (painel superior direito), Florianópolis (painel central esquerdo), Rio de Janeiro (painel central direito), FPSO Angra dos Reis (painel inferior esquerdo) e Plataforma MLZ1 (painel inferior direito), de acordo com as localizações descritas no Quadro II.5.1.1-1. As circunferências mostram a frequência de ocorrência em cada direção, onde o Norte aponta para cima e o Leste para a direita. As cores das barras descrevem a intensidade do vento, de acordo com a escala graduada. Dados contemplando o período de inverno.

Para o período anual, nos Blocos do Pré-Sal, a direção predominante é a NE, com 29% das observações. A segunda direção mais representativa é a E, com 18%. Em ambas as direções o vento médio é de aproximadamente 5 m/s. Em Caraguatatuba, a direção predominante é a W (34%) seguida da E (28%). Na direção E os ventos são mais intensos, com média de 6 m/s, enquanto que na direção W estes têm média de 4 m/s, aproximadamente.

Em Florianópolis, a direção do vento com maior frequência de ocorrência anual é a N (32%), seguida pela S (21%). A componente N tem intensidade média de 3,1 m/s, enquanto que S tem 3,5 m/s. No Rio de Janeiro os ventos de origem S e SE correspondem a aproximadamente 45% de todas as observações. Estes ventos tem intensidade média de 2,8 m/s. Deve-se ressaltar que estas estações estão localizadas na costa e, portanto, estão sujeitas a interferências provocadas pela orografia litorânea.

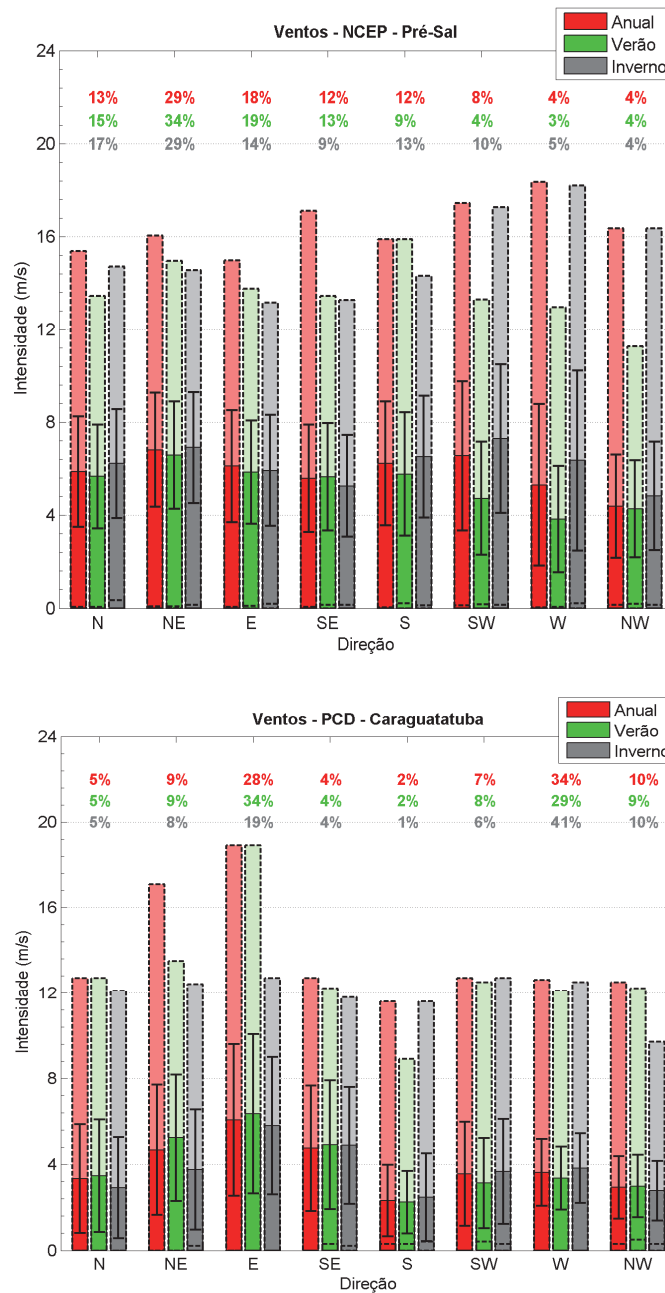
Para o período do verão, nos Blocos do Pré-Sal, a componente NE é ainda mais representativa, com 34% das observações. Este valor é superior ao do observado no inverno, que é similar a média anual, com 29% das observações. No inverno, os ventos de origem S e SW são mais intensos que no período do verão (7 m/s na componente SW, no inverno, e 4,8 m/s, no verão). Já os ventos de origem NE apresentam praticamente a mesma magnitude média.

Em Caraguatatuba, no período de inverno, os ventos de W representam 41 % das observações, contra 29% no verão. No verão, os ventos dominantes são os de origem E, com 34% das observações. Este valor é bem superior ao período de inverno, com 19%. Os ventos mais intensos registrados neste local são de origem E, em época de verão. Já no inverno, os ventos mais intensos foram de origem SW.

Em Florianópolis, as maiores diferenças entre os ventos de verão e inverno são que no inverno os ventos são predominantes de N (40%) e no verão, as observações de ventos de origem N e S são similares (27% e 24%).

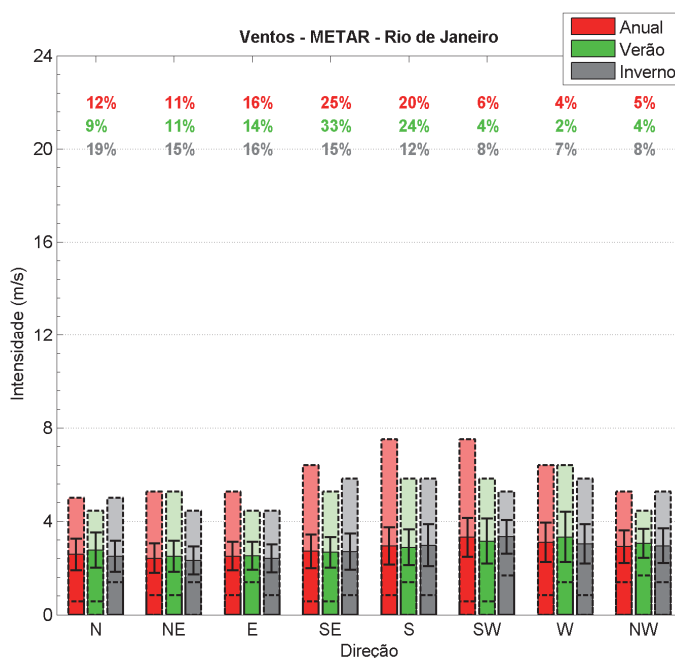
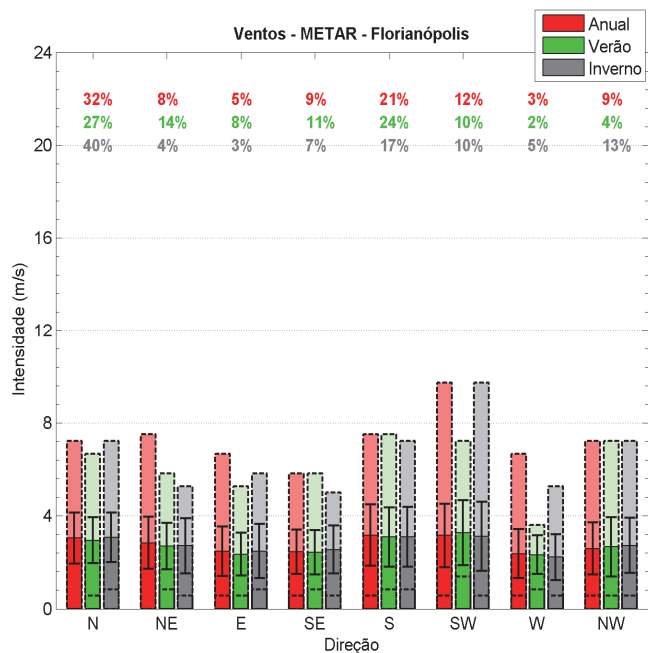
Para o Rio de Janeiro, os ventos no inverno são bem distribuídos em cinco origens predominantes: N (19%), NE (15%), E (16%), SE (15%) e S (12%). No verão, duas origens são predominantes: SE (33%) e S (24%). As intensidades são similares nas épocas sazonais mostradas.

As informações da **Figura II.5.1.1-32** até a **Figura II.5.1.1-34** são rerepresentadas da **Figura II.5.1.1-35** até a **Figura II.5.1.1-37** em forma de gráficos de barras, que apresentam também as estatísticas associadas a cada direção e época do ano (verão e inverno).



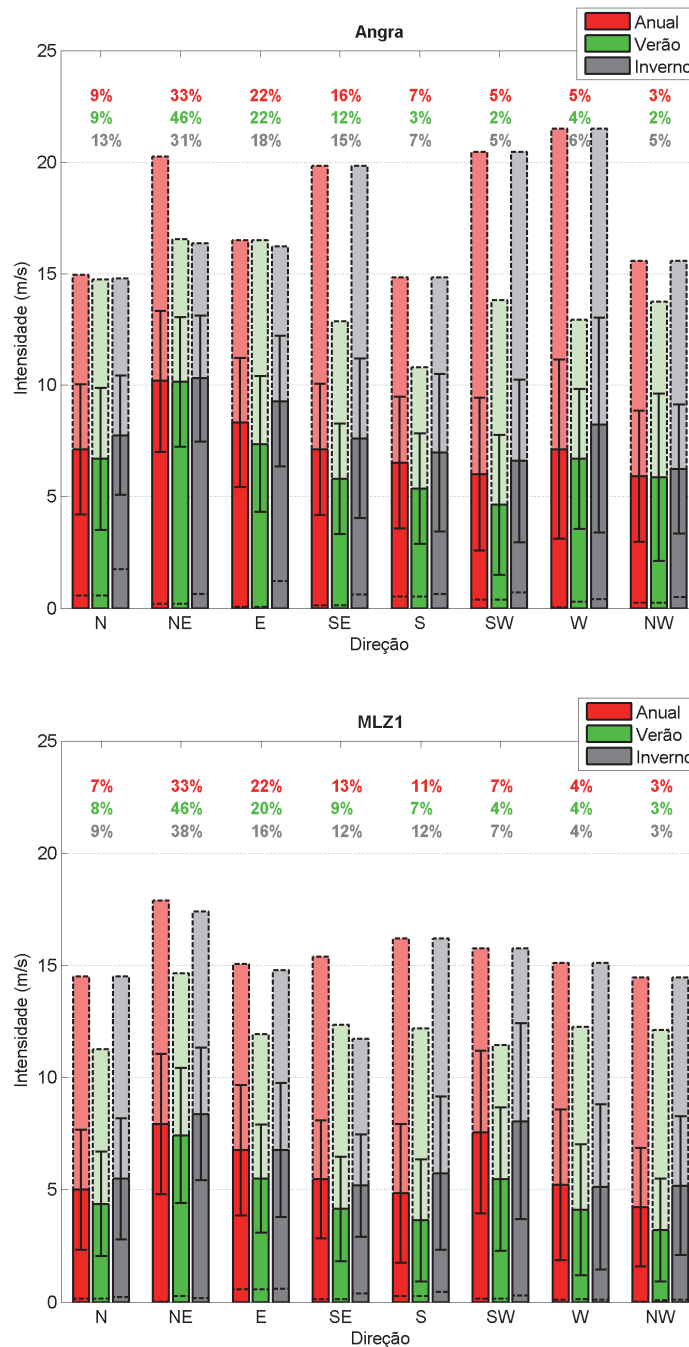
Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); PCD Caraguatatuba (2013);

Figura II.5.1.1-35 – Distribuição dos ventos para o ponto dos Blocos do Pré-Sal (painel superior), Caraguatatuba (painel inferior), de acordo com as localizações descritas no Quadro II.5.1.1-1. As barras coloridas representam os valores de intensidade média de acordo com as direções (eixo horizontal). As barras tracejadas indicam os valores máximos e mínimos de intensidade do vento. Os valores de porcentagem mostram a frequência de ocorrência dos ventos em cada direção.



Fonte de dados: METAR Florianópolis (2013); METAR Rio de Janeiro (2013).

Figura II.5.1.1-36 – Distribuição dos ventos para Florianópolis (painel superior), Rio de Janeiro (painel inferior), de acordo com as localizações descritas no **Quadro II.5.1.1-1**. As barras coloridas representam os valores de intensidade média de acordo com as direções (eixo horizontal). As barras tracejadas indicam os valores máximos e mínimos de intensidade do vento. Os valores de porcentagem mostram a frequência de ocorrência dos ventos em cada direção.



Fonte de dados: PETROBRAS.

Figura II.5.1.1-37 – Distribuição dos ventos para o FPSO Angra dos Reis (painel superior), Plataforma MLZ1 (painel inferior), de acordo com as localizações descritas no **Quadro II.5.1.1-1**. As barras coloridas representam os valores de intensidade média de acordo com as direções (eixo horizontal). As barras tracejadas indicam os valores máximos e mínimos de intensidade do vento. Os valores de porcentagem mostram a frequência de ocorrência dos ventos em cada direção.

A **Tabela II.5.1.1-11** sintetiza as estatísticas básicas dos ventos de maior direção de ocorrência nos locais analisados. É possível identificar que, nos Blocos do Pré-Sal, o vento médio de NE é mais intenso que em todas as outras direções analisadas. Neste local, os ventos de NE são predominantes e mais intensos em todas as épocas do ano.

Tabela II.5.1.1-11 - Estatística básica anual, de verão e de inverno para a intensidade do vento na direção de maior ocorrência, de acordo com locais de coleta descritos no **Quadro II.5.1.1-1**.

Fonte de Dados	Direção	Média (m/s)	Máximo (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
Anual				
NCEP - Pré-Sal (1961-2011)	NE	6,80	16,00	2,45
PCD - Caraguatatuba (2000-2011)	W	3,63	12,60	1,56
METAR - Florianópolis (1996-2011)	N	3,04	7,22	1,10
METAR - Rio de Janeiro (1996-2011)	SE	2,71	6,39	0,72
Plataforma MLZ1 (2006-2007)	NE	7,90	17,89	3,12
FPSO Cidade de Angra (2011-2012)	NE	10,17	20,25	3,17
Verão				
NCEP - Pré-Sal (1961-2011)	NE	6,58	14,90	6,58
PCD - Caraguatatuba (2000-2011)	E	6,35	18,90	3,70
METAR - Florianópolis (1996-2011)	N	2,95	6,67	0,98
METAR - Rio de Janeiro (1996-2011)	SE	2,66	5,28	0,66
Plataforma MLZ1 (2006-2007)	NE	7,62	14,65	3,09
FPSO Cidade de Angra (2011-2012)	NE	10,48	16,56	1,5
Inverno				
NCEP - Pré-Sal (1961-2011)	NE	6,90	14,55	2,38
PCD - Caraguatatuba (2000-2011)	W	2,82	12,50	1,62
METAR - Florianópolis (1996-2011)	N	3,07	7,22	1,07
METAR - Rio de Janeiro (1996-2011)	N	2,49	5,00	0,66
Plataforma MLZ1 (2006-2007)	NE	8,36	17,41	2,95
FPSO Cidade de Angra (2011-2012)	NE	10,29	16,38	2,84

Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); PCD Caraguatatuba (2013); METAR Florianópolis (2013); METAR Rio de Janeiro (2013); PETROBRAS.

A **Tabela II.5.1.1-12** traz as mesmas estatísticas apresentadas na **Tabela II.5.1.1-11**, contudo ao invés da direção de maior ocorrência, contempla os ventos nas direções onde a média da intensidade do vento é a maior.

Tabela II.5.1.1-12 - Estatística básica anual, de verão e de inverno para a intensidade do vento na direção de maior intensidade média de acordo com locais de coleta descritos no Quadro II.5.1.1-1.

Fonte de Dados	Direção	Média (m/s)	Máximo (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
Anual				
NCEP - Pré-Sal (1961-2011)	NE	6,80	16,04	2,45
PCD - Caraguatatuba (2000-2011)	E	6,06	18,90	3,52
METAR - Florianópolis (1996-2011)	S	3,17	7,50	1,32
METAR - Rio de Janeiro (1996-2011)	SW	3,31	7,50	0,83
Plataforma MLZ1 (2006-2007)	NE	7,9	17,89	3,12
FPSO Cidade de Angra (2011-2012)	NE	10,17	20,25	3,17
Verão				
NCEP - Pré-Sal (1961-2011)	NE	6,58	14,96	2,31
PCD - Caraguatatuba (2000-2011)	E	6,35	18,90	3,70
METAR - Florianópolis (1996-2011)	SW	3,27	7,22	1,40
METAR - Rio de Janeiro (1996-2011)	W	3,32	6,39	1,07
Plataforma MLZ1 (2006-2007)	NE	7,62	14,65	3,09
FPSO Cidade de Angra (2011-2012)	NE	10,48	16,56	2,82
Inverno				
NCEP - Pré-Sal (1961-2011)	SW	7,28	17,27	3,19
PCD - Caraguatatuba (2000-2011)	E	5,80	12,70	3,19
METAR - Florianópolis (1996-2011)	SW	3,12	9,72	1,48
METAR - Rio de Janeiro (1996-2011)	SW	3,33	5,28	0,71
Plataforma MLZ1 (2006-2007)	NE	8,36	17,41	2,95
FPSO Cidade de Angra (2011-2012)	NE	10,29	16,38	2,84

Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); PCD Caraguatatuba (2013); METAR Florianópolis (2013); METAR Rio de Janeiro (2013); PETROBRAS.

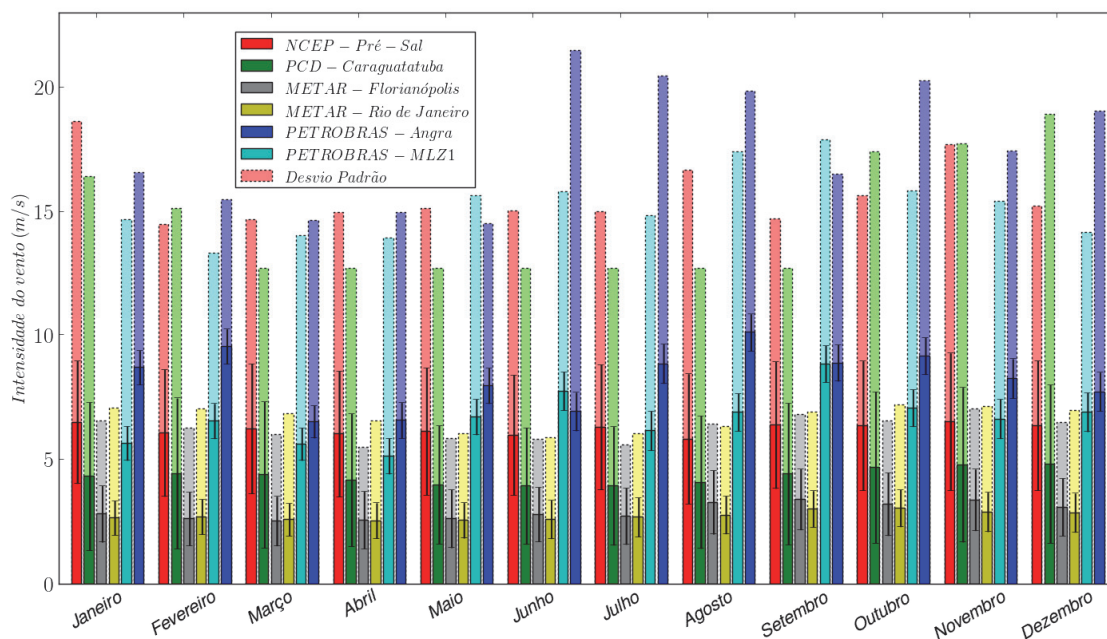
Na área dos Blocos do Pré-Sal, é possível identificar que de forma anual e no verão, o vento mais frequente NE também é o que apresenta a maior média de intensidade. Já no inverno, o vento de origem SW é o vento com média mais intensa (7,28 m/s).

Em Caraguatatuba o vento mais intenso, em todas as épocas, é o de E, sendo que este é o mais frequente somente no verão. Nesta época do ano ele é mais intenso que na época de inverno.

Em Florianópolis, no verão e no inverno, o vento com média mais intensa (SW) não é o mais frequente (N). Estes ventos de SW têm intensidade média superior no verão (3,27 m/s) comparada ao inverno (3,12 m/s).

No Rio de Janeiro, no verão, o vento com maior intensidade média (3,32 m/s) tem origem W, enquanto que no inverno tem origem SW (3,33 m/s). Os ventos mais intensos na Plataforma MLZ1 e FPSO Cidade de Angra são também os mais frequentes, mostrados na **Tabela II.5.1.1-13**.

As climatologias mensais da intensidade do vento de acordo com os pontos destacados no **Quadro II.5.1.1-1** estão representadas graficamente na **Figura II.5.1.1-38** e listadas na **Tabela II.5.1.1-14**. Nesta figura e nesta tabela também estão disponíveis as estatísticas básicas associadas.



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); PCD Caraguatatuba (2013); METAR Florianópolis (2013); METAR Rio de Janeiro (2013); PETROBRAS.

Figura II.5.1.1-38 - Média mensal da intensidade do vento (m/s) de acordo com locais de coleta descritos no Quadro II.5.1.1-1. As barras com cores escuras representam os valores médios, as cores claras (com bordas tracejadas) indicam os valores máximos e mínimos e as linhas verticais cheias, o desvio padrão.

Tabela II.5.1.1-13 - Estatística básica mensal da intensidade do vento de acordo com locais de coleta descritos no Quadro II.5.1.1-1.

Intensidade do vento (m/s)																		
Mês	NCEP - Pré-Sal			PCD - Caraguatatuba			METAR - Florianópolis			METAR - Rio de Janeiro			FPSO Cidade de Angra			Plataforma MLZ1		
	Média	Máx.	DP	Média	Máx.	DP	Média	Máx.	DP	Média	Máx.	DP	Média	Máx.	DP	Média	Máx.	DP
Janeiro	6,5	18,6	2,5	4,3	16,4	3,0	2,8	5,0	1,1	2,6	6,2	0,7	8,7	16,6	3,6	5,6	14,7	3,4
Fevereiro	6,1	14,5	2,5	4,4	15,1	3,0	2,6	4,5	1,1	2,7	4,2	0,7	9,5	15,5	3,2	6,5	13,3	2,9
Março	6,2	14,7	2,6	4,4	12,7	2,9	2,5	5,2	1,0	2,6	5,7	0,7	6,5	14,6	2,9	5,6	14,0	2,9
Abril	6,0	14,9	2,5	4,2	12,7	2,7	2,6	2,9	1,1	2,5	5,2	0,7	6,6	14,9	2,8	5,1	13,9	2,6
Mai	6,1	15,1	2,6	4,0	12,7	2,4	2,6	5,2	1,2	2,5	5,4	0,7	7,9	14,5	2,3	6,7	15,6	3,1
Junho	6,0	15,0	2,4	3,9	12,7	2,3	2,8	3,4	1,1	2,6	3,3	0,8	6,9	21,5	3,2	7,7	15,8	3,1
Julho	6,3	15,0	2,5	3,9	12,7	2,4	2,7	2,6	1,1	2,7	3,4	0,8	8,8	20,5	3,5	6,1	14,8	3,3
Agosto	5,8	16,6	2,6	4,1	12,7	2,7	3,3	3,9	1,3	2,8	1,6	0,8	10,1	19,8	3,1	6,9	17,4	3,5
Setembro	6,4	14,7	2,5	4,4	12,7	2,8	3,4	5,0	1,2	3,0	2,3	0,7	8,9	16,5	3,4	8,8	17,9	3,8
Outubro	6,3	15,6	2,6	4,7	17,4	3,0	3,2	4,2	1,3	3,0	3,5	0,7	9,1	20,3	4,0	7,1	15,8	3,3
Novembro	6,5	17,7	2,8	4,8	17,7	3,1	3,4	6,5	1,2	2,9	5,5	0,8	8,2	17,4	3,3	6,6	15,4	3,3
Dezembro	6,3	15,2	2,6	4,8	18,9	3,2	3,1	5,7	1,2	2,8	1,7	0,8	7,7	19,0	3,4	6,9	14,1	2,9

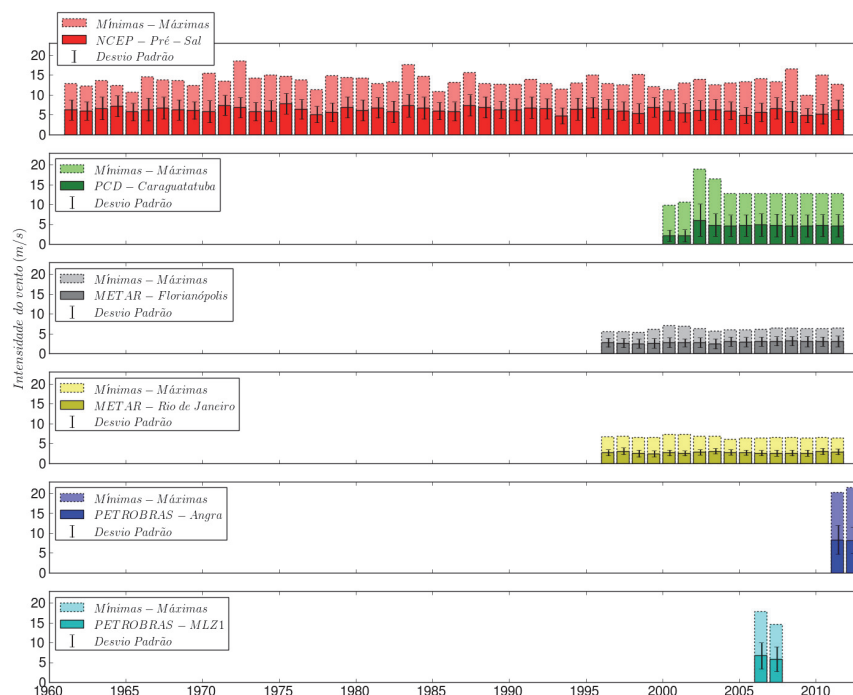
Máx . - máxima; DP - desvio padrão.

Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); PCD Caraguatatuba (2013); METAR Florianópolis (2013); METAR Rio de Janeiro (2013); PETROBRAS.

As estatísticas mensais das intensidades dos ventos na área de estudo não mostrou uma relação direta entre as localidades analisadas. Para o ponto dos Blocos do Pré-Sal as intensidades mensais médias máximas de 6,5 m/s foram obtidas nos meses de janeiro e novembro.

Para a cidade de Caraguatatuba, o maior valor mensal médio foi de 4,8 m/s nos meses de novembro e dezembro. Setembro e novembro foram os meses com maiores intensidades médias mensais em Florianópolis (3,4 m/s), e setembro e outubro, para o Rio de Janeiro (3,0 m/s). Para os empreendimentos da PETROBRAS, FPSO Cidade de Angra e Plataforma MLZ1, os meses com maiores intensidades dos ventos foram agosto para o primeiro e setembro, para o segundo, com valores de 10,1 e 8,8 m/s, respectivamente.

Análises das variações interanuais são apresentadas graficamente na **Figura II.5.1.1-39** e listada na **Tabela II.5.1.1-14**.



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); PCD Caraguatatuba (2013); METAR Florianópolis (2013); METAR Rio de Janeiro (2013); PETROBRAS.

Figura II.5.1.1-39 – Intensidades do vento anuais médias (m/s) de acordo com locais de coleta descritos no **Quadro II.5.1.1-1**. As barras com cores escuras representam os valores médios, as cores claras (com bordas tracejadas) indicam os valores máximos e as linhas verticais cheias, o desvio padrão.

Tabela II.5.1.1-14 - Intensidades do vento médias, mínimas e máximas anuais nos locais de coleta descritos no Quadro II.5.1.1-1.

Fonte de Dados	Intensidade do vento média					Intensidade máxima	
	Média	Mínima		Máxima			
	m/s	m/s	ano	m/s	ano	m/s	ano
NCEP - Pré-Sal	6,2	4,7	1993	7,8	1975	18,6	1972
PCD - Caraguatatuba	4,4	2,1	2001	6,1	2002	18,9	2002
METAR - Florianópolis	2,9	2,5	2003	3,2	2008	6,5	2000
METAR - Rio de Janeiro	2,7	2,5	1999	3,1	1997	6,3	2001
FPSO Cidade de Angra	8,3	8,2	2012	8,4	2011	21,5	2012
Plataforma MLZ1	6,3	5,9	2007	6,7	2006	17,9	2006

Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013); PCD Caraguatatuba (2013); METAR Florianópolis (2013); METAR Rio de Janeiro (2013); PETROBRAS.

As análises das variações interanuais mostram que a intensidade do vento médio anual mínimo no Pré-Sal ocorreu no ano de 1993, com 4,7 m/s de média. Já a média máxima anual histórica ocorreu no ano de 1975 (7,8 m/s). A intensidade máxima absoluta ocorreu no ano de 1972, com 18,6 m/s de intensidade.

Em Caraguatatuba, o ano com a menor intensidade média foi o de 2001 (2,1 m/s) e com a maior, 2002 (6,1 m/s). Este mesmo ano registrou a maior intensidade absoluta, com 18,9 m/s.

As maiores intensidades absolutas em Florianópolis e no Rio de Janeiro foram registradas nos anos de 2000 (6,5 m/s) e 2001 (6,3 m/s). Nestes locais, os anos com a menor intensidade média anual foram os de 2003 (2,5 m/s) e 1999 (2,5 m/s). Já os anos com a maior média anual foram os de 2008 (3,2 m/s) e 1997 (3,1 m/s).

Para os empreendimentos da PETROBRAS os anos com maior intensidade média anual foram de 2011 para o FPSO Cidade de Angra e 2006 para a Plataforma MLZ1, com 8,4 m/s e 6,7 m/s respectivamente. Os valores absolutos máximos ocorreram nos anos de 2012 (21,5 m/s) e 2006 (17,9 m/s) para estes dois empreendimentos, respectivamente.

Condições extremas do regime de ventos

Faz-se necessário uma análise das condições extremas do regime de ventos na área de estudo. Para realizar esta análise foram utilizados os dados provenientes do modelo NCEP/NCAR em ponto de grade no Pré-Sal, conforme descrito no **Quadro II.5.1.1-1**. Esta é a maior série que foi utilizada e corresponde ao local mais próximo de onde o empreendimento será instalado.

Na **Tabela II.5.1.1-15** pode-se observar a estatística básica e a direção dos ventos com maiores intensidades médias durante o ano, realizada com base nos dados do NCEP no Pré-Sal.

Tabela II.5.1.1-15 - Estatística básica anual, de verão e de inverno para a intensidade do vento na direção de maior intensidade média no local NCEP Pré-Sal (**Quadro II.5.1.1-1**).

Direção	Média (m/s)	Máximo (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
Anual			
NE	6,80	16,04	2,45
Verão			
NE	6,58	14,96	2,31
Inverno			
SW	7,28	17,27	3,19

Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013).

De acordo com a **Tabela II.5.1.1-15**, ao longo de todo o ano, a direção NE é aquela que apresenta o maior valor médio de intensidade do vento, com 6,80 m/s. A intensidade máxima registrada nesta direção foi de 16,04 m/s. Para o verão, a direção de maior valor médio de intensidade do vento também é a NE, com valor igual a 6,58 m/s e máxima de 14,96 m/s. No inverno, a direção SW apresentou o maior valor médio de intensidade do vento, igual a 7,28 m/s, e máxima de 17,27 m/s.

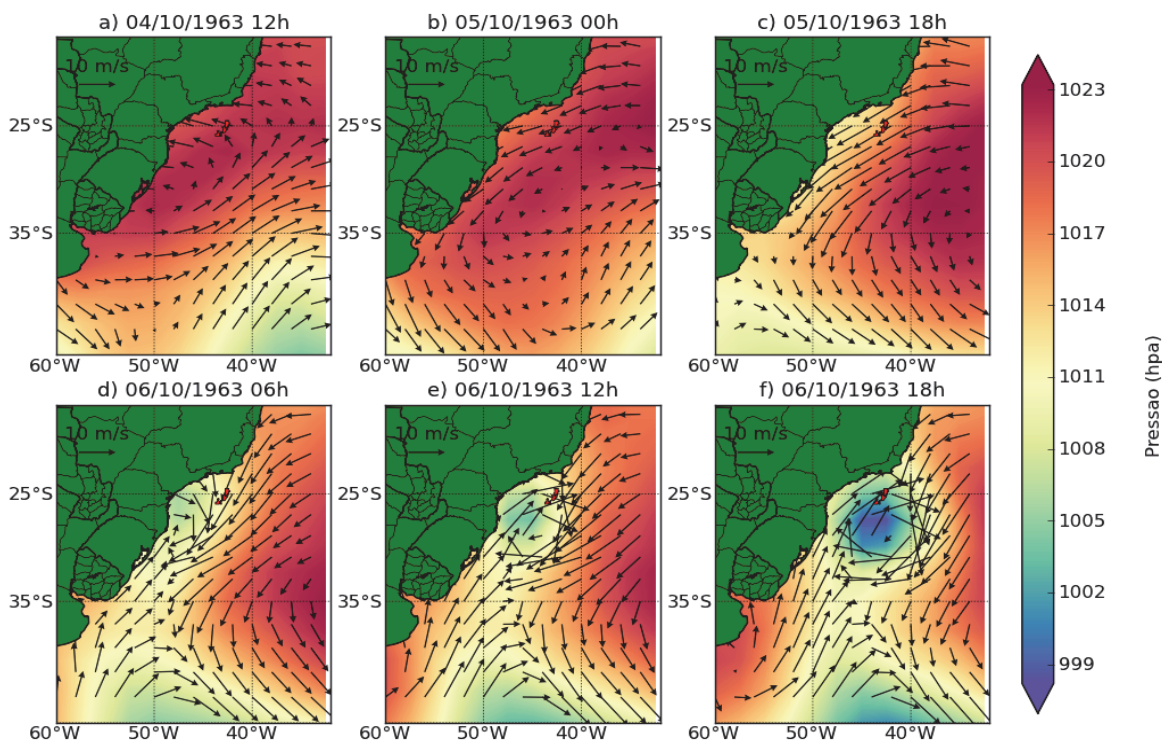
A **Tabela II.5.1.1-16** apresenta os valores de intensidades máximas registrados na série analisada entre 1961-2011, bem como sua direção de origem e data de ocorrência.

Tabela II.5.1.1-16 - *Intensidades máximas de ventos registradas em toda a série, em períodos de verão e em períodos de inverno. Convenção meteorológica para a direção do vento.*

	Data	Intensidade	Direção
Anual	06/10/1963 18h	18,4 m/s	264° (W)
Verão	07/12/2005 0h	15,9 m/s	175° (SW)
Inverno	08/06/1981 6h	18,2 m/s	292° (W)

Fonte dos dados: NCEP/NCAR

Para o evento de maior intensidade do vento observado no ponto NCEP no Pré-Sal, é apresentada a **Figura II.5.1.1-40**. Este evento está associado à passagem de um sistema de baixa pressão (cores azuladas) pela área de estudo. É possível notar que no dia anterior ao evento (05/10/1963) o vento na região era proveniente de NE. No dia 06/10/1963, um centro de baixa pressão (cores azuladas) desloca-se no sentido W-E atingindo a região do empreendimento e proporcionando o vento máximo registrado.

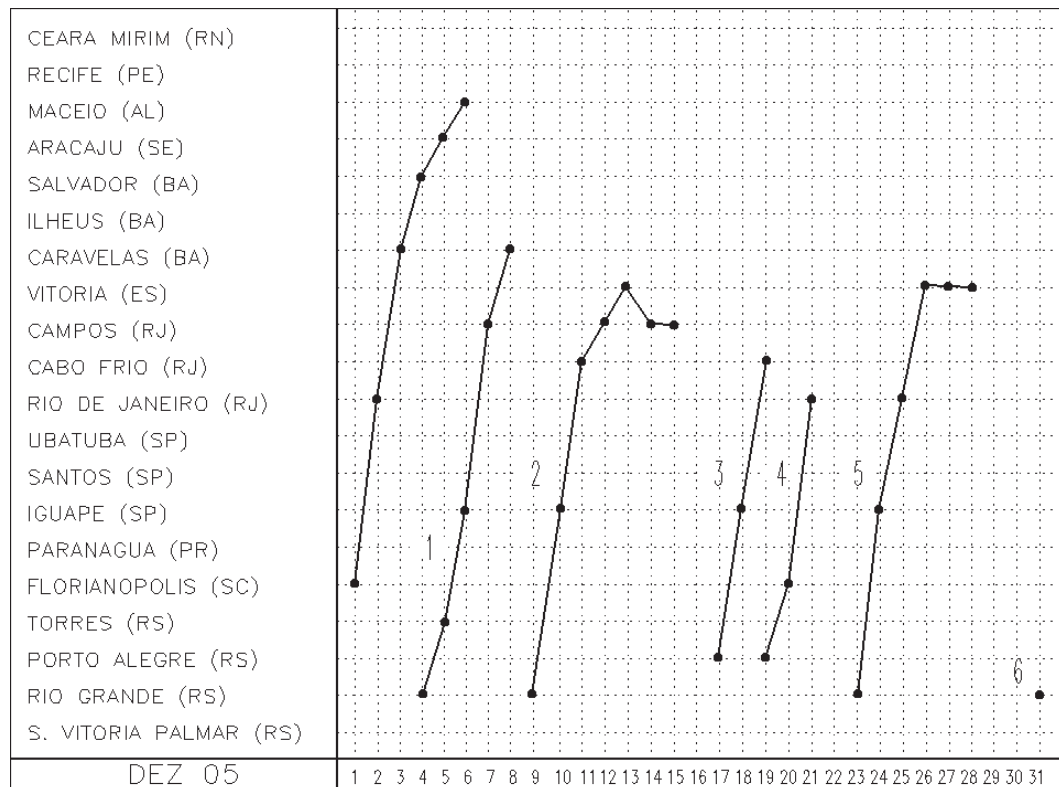


Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-40 – Período de ocorrência do vento de maior magnitude sobre os blocos do Pré-Sal (blocos destacados em vermelho). Os vetores indicam a intensidade e a direção do vento. As cores mostram a pressão atmosférica, de acordo com a escala. O título de cada painel indica o dia descrito.

Para o evento extremo de verão, ocorrido em dezembro de 2005, o Boletim Climanálise do CPTEC/INPE descreve: “No dia 04, a primeira frente fria do mês ingressou no Sul do Brasil, avançando tanto pelo litoral como pelo interior das Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. A passagem deste sistema frontal, associada ao escoamento em altos níveis, organizou áreas de instabilidade na maior parte do País. Chuvas significativas, superiores a 50 mm, ocorreram em Minas Gerais, no Espírito Santo e no Mato Grosso do Sul. No dia 08, esta frente fria encontrava-se em Caravelas-BA, deslocando-se posteriormente para o oceano”.

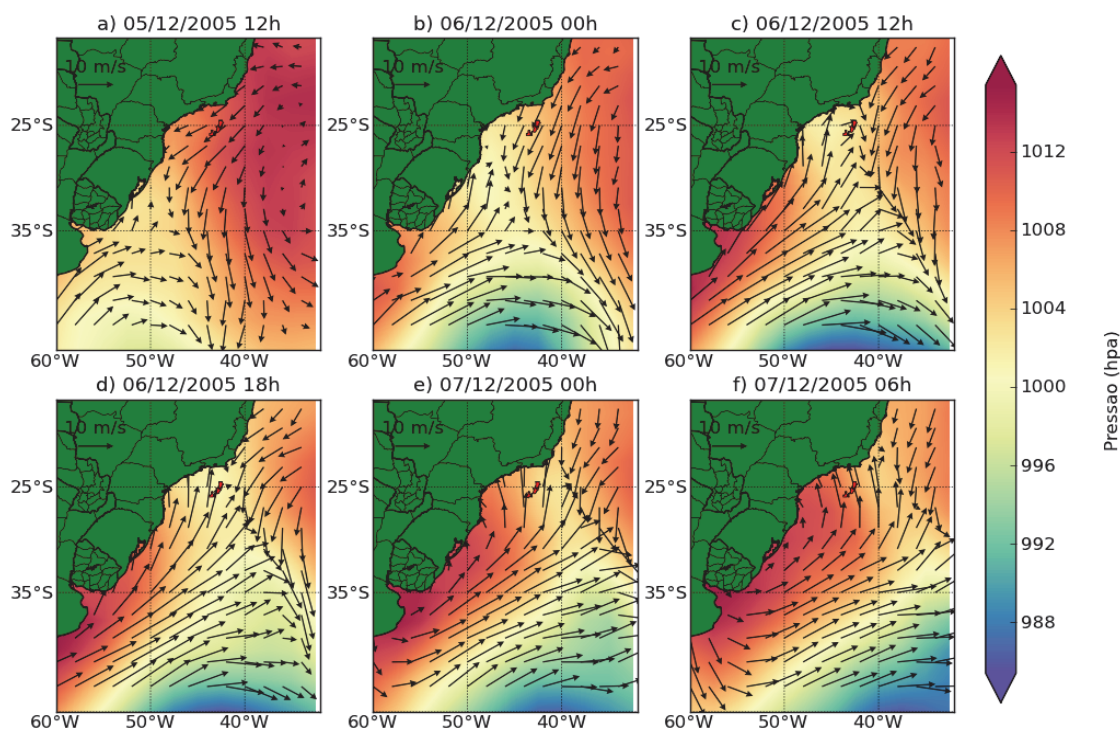
Associada a esta descrição, é apresentada a **Figura II.5.1.1-41**, que mostra a localização das frentes frias no mês de dezembro de 2005. Nesta, é possível identificar que a frente fria estava localizada em Campos do Goytacazes (RJ) no dia 07/12/2005.



Fonte: Boletim Climanálise CPTEC/INPE.

Figura II.5.1.1-41 - Seções estação versus tempo dos sistemas frontais que penetraram no Brasil em dezembro de 2005. As linhas cheias indicam a passagem de frentes frias (cada frente fria corresponde a uma linha numerada), e os círculos ao longo das linhas mostram que a frente fria passou pela estação (eixo vertical) entre 09:00 (horário local) do dia anterior e às 09:00 (horário local) do dia indicado (eixo horizontal). A primeira linha cheia a esquerda representa a última frente fria do mês de novembro de 2005.

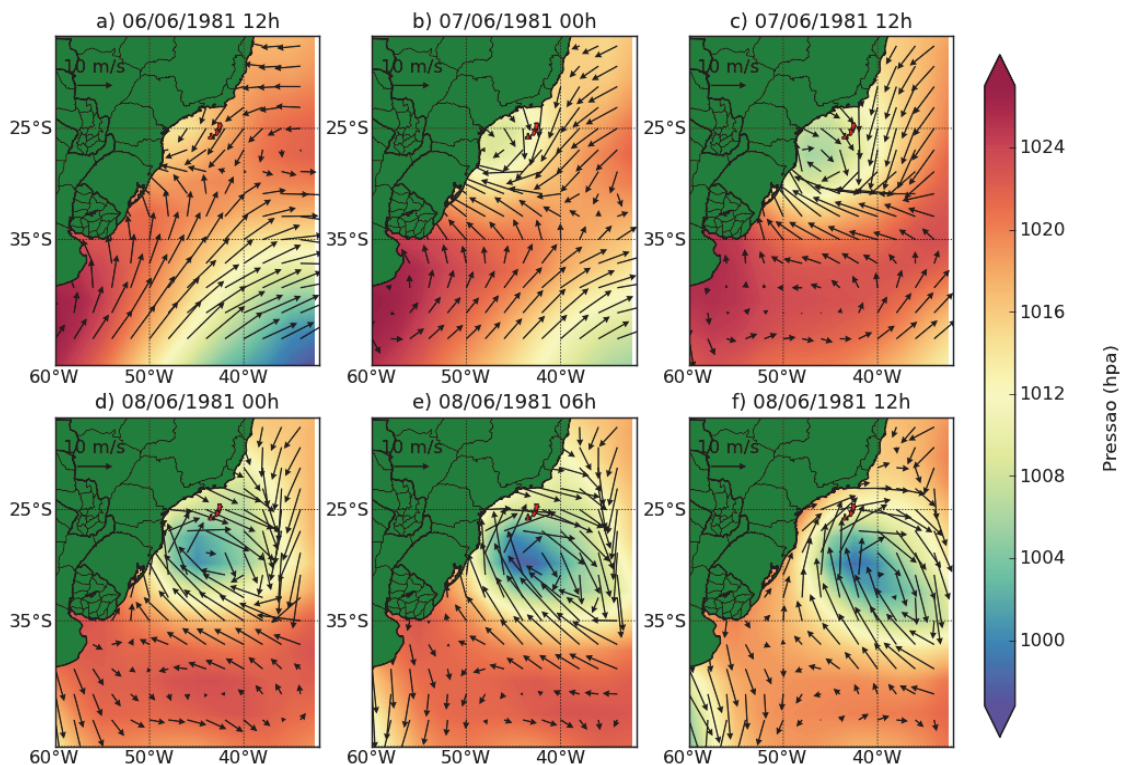
A **Figura II.5.1.1-42** corrobora estas afirmações, apresentando o campo de velocidade do vento e pressão atmosférica no período em questão. Nesta figura, é possível identificar o deslocamento de uma frente fria (região de convergência dos ventos, de SW para NE) que atinge a região do empreendimento no dia 06/12/2005. Ao longo dos dias 06/12/2005 e 07/12/2005, os ventos de SW são intensificados e possibilitam o registro do máximo verificado.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-42 – Período de ocorrência do vento de maior magnitude sobre os blocos do Pré-Sal (blocos destacados em vermelho) em período de verão. Os vetores indicam a intensidade e a direção do vento. As cores mostram a pressão atmosférica, de acordo com a escala. O título de cada painel indica o dia descrito.

Para o evento extremo em período de inverno, é apresentada a **Figura II.5.1.1-43**. Novamente o evento registrado está associado à passagem de um centro de baixa pressão pela área de estudo. Esta passagem é evidenciada no dia 07/06/1981. Neste momento a área de estudo é atingida por ventos girando em sentido horário que se deslocam no sentido W-E. Este centro de baixa pressão desloca-se sentido oceano no dia seguinte, registrando o vento de origem W.

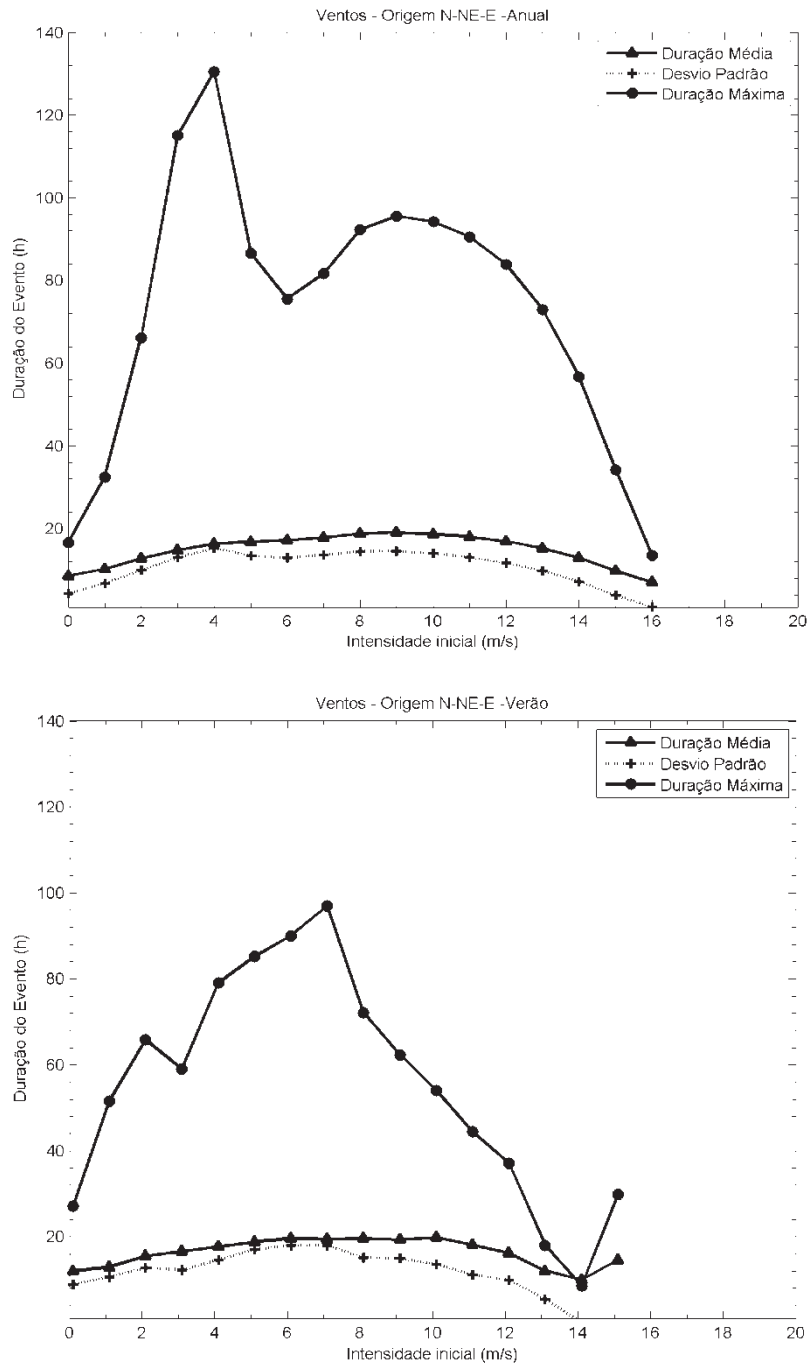


Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-43 – Período de ocorrência do vento de maior magnitude sobre os blocos do Pré-Sal (blocos destacados em vermelho) em período de inverno. Os vetores indicam a intensidade e a direção do vento. As cores mostram a pressão atmosférica, de acordo com a escala. O título de cada painel indica o dia descrito.

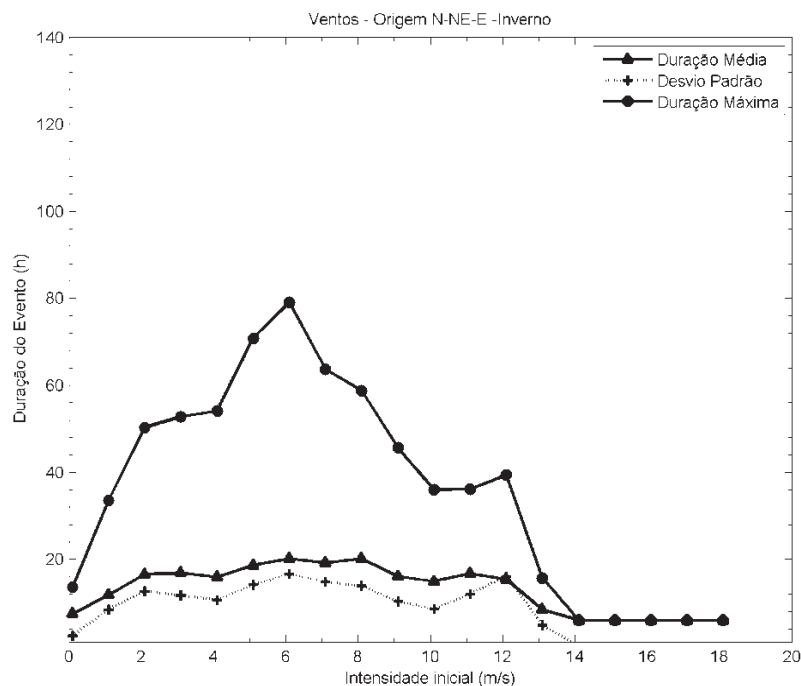
Os dados de ventos descritos no **tópico B**, para o banco de dados do NCEP no Pré-Sal, **Quadro II.5.1.1-1**, mais especificamente para **Figura II.5.1.1-35**, mostra que, de forma anual, 60% dos ventos têm origem N-NE-E e outros 32% apresentam origem SE-S-SW. Como descritos no **tópico A**, estes ventos são associados, respectivamente, ASAS e a passagem de FF.

De forma a avaliar a duração dos ventos destas origens predominantes, a **Figura II.5.1.1-44** e **Figura II.5.1.1-45** mostram o tempo de permanência de ventos de origem N-NE-E de acordo com classes de direção de 1 m/s. Assim, a partir do momento que o vento está com, por exemplo, 3 m/s, calcula-se quanto tempo este permanece com intensidade entre 2,1 m/s e 3,9 m/s. O mesmo gráfico é apresentado na **Figura II.5.1.1-46** e **Figura II.5.1.1-47**, contudo para ventos de origem SE-S-SW.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-44 – Duração dos ventos de origem N-NE-E de acordo com a intensidade inicial. Painel superior representa toda a série de dados e o painel inferior os meses de verão

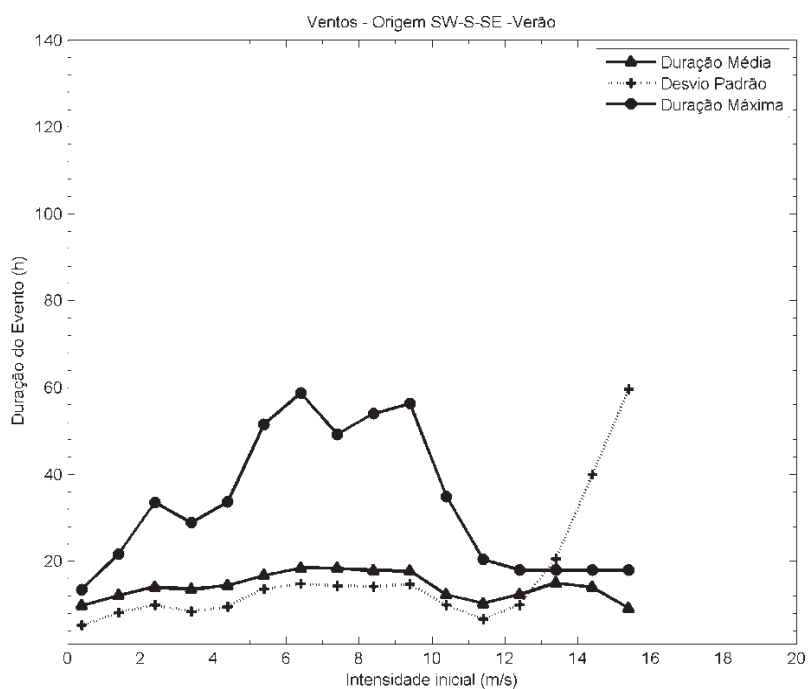
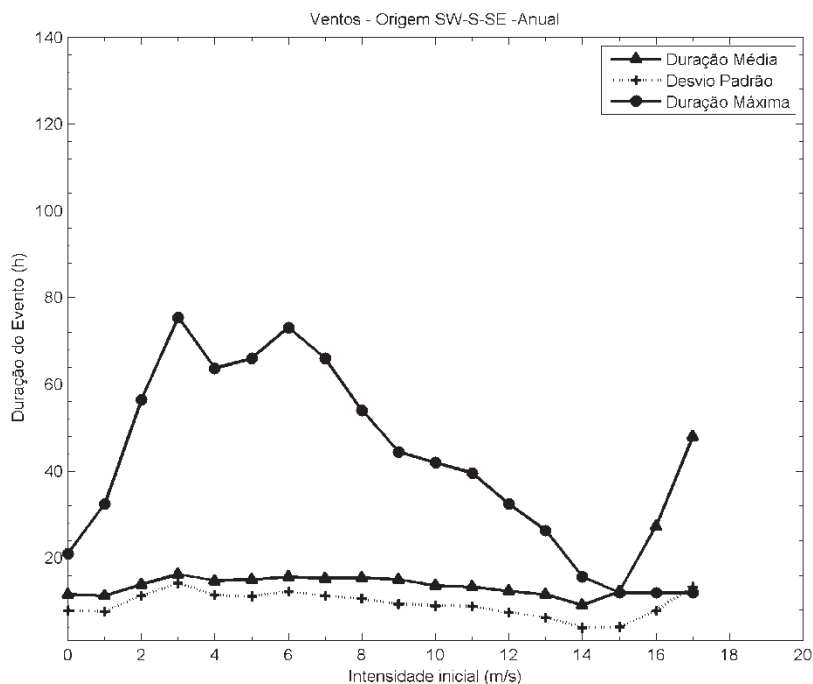


Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-45 – Duração dos ventos de origem N-NE-E de acordo com a intensidade inicial - meses de inverno.

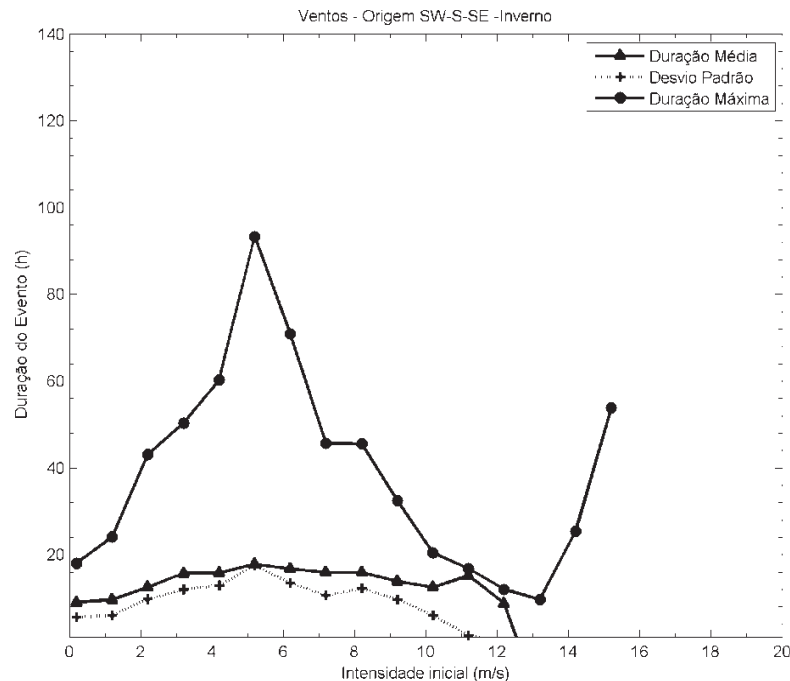
A **Figura II.5.1.1-44** indica que, em período anual, na média, a classe de ventos de origem N-NE-E que tem maior duração é a entre 8,1 m/s e 9,9 m/s, com 16 h, aproximadamente. Classes de vento de 15,1 a 16,9 m/s apresentaram média de duração de cerca de 8 h.

O período máximo observado foi para a classe de ventos entre 3,1 e 4,9 m/s com duração máxima de 126 h. Ventos entre 3 e 12 m/s apresentaram períodos máximos superiores a 60 h de permanência. Para o verão (**Figura II.5.1.1-44**), a classe de ventos entre 6,1 e 7,9 m/s foi a que apresentou período máximo de permanência, de aproximadamente 102 h. No inverno (**Figura II.5.1.1-45**), a classe que apresentou período máximo foi a de 5,1 a 6,9 m/s, com 78 h de duração. A duração média dos ventos de origem N-NE-E, tanto no inverno quanto no verão, são similares, variando entre 12 e 20 h para as classes de intensidade entre 2 e 12 m/s.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-46 – Duração dos ventos de origem SW-S-SE de acordo com a intensidade inicial. Painel superior representa toda a série de dados e o painel inferior, os meses de verão.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-47 – Duração dos ventos de origem SW-S-SE de acordo com a intensidade inicial - meses de inverno.

Para os ventos de origem SW-S-SE a duração média é similar à descrita para os ventos de origem N-NE-E. Contudo, as durações máximas registradas variam. O máximo registrado foi de 78 h para um evento entre 2,1 e 3,9 m/s, em toda a série de dados (**Figura II.5.1.1-46**). Em período de verão (**Figura II.5.1.1-46**), o máximo foi registrado para a classe entre 5,1 e 6,9 m/s, com 60 h de duração máxima. Já no período de inverno (**Figura II.5.1.1-47**), o máximo registrado foi 54 h para ventos entre 5,1 e 6,9 m/s.

Analisando-se os dois gráficos de duração dos eventos, os de N-NE-E apresentam tendência de maior duração que os de origem SW-S-SE.

Avaliando-se ainda estes ventos de origem predominante, a **Figura II.5.1.1-48** mostra a variação interanual destas observações e as máximas intensidades registradas.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-48 – Porcentagem de observações de ventos de origem N-NE-E (painel superior) e SW-S-SE (terceiro painel de cima para baixo) ao longo dos anos de 1961 a 2011. O segundo painel de cima para baixo e o painel inferior apresentam as máximas intensidades registradas de ventos de origem N-NE-E e SW-S-SE, respectivamente.

De acordo com esta figura, nota-se que o ano que registrou a maior ocorrência de vento de N-NE-E foi o de 2001, com 69,0% das observações. Já a menor frequência de ocorrência (50,1%) foi registrada no ano de 1979. Para as intensidades, o ano de 1984 registrou o mais forte vento de origem N-NE-E, com 16,0 m/s.

Para os ventos de origem SW-S-SE, o ano com maior e menor ocorrência, respectivamente, foram os de 1979 (26,6%) e 2001 (13,6%). A máxima intensidade registrada ocorreu no ano de 1981, com 17,4 m/s.

Insolação e radiação solar

Para caracterizar a radiação solar na área de estudo foram utilizados dados espaciais do modelo de circulação geral do NCEP/NCAR, além de ponto de grade

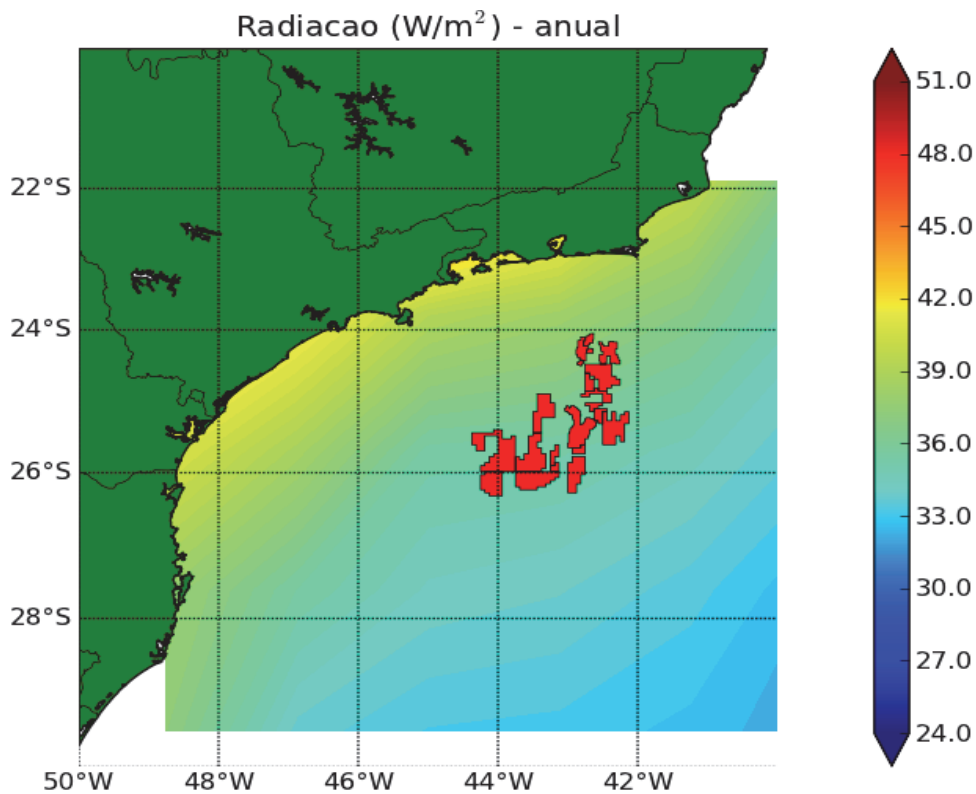
do mesmo modelo na região dos Blocos do Pré-Sal da Bacia de Santos, indicando o local do empreendimento.

Além da radiação, buscou-se também a caracterização do parâmetro insolação solar, que representa o número de horas de brilho ou incidência solar direta sobre o nível da superfície. Refere-se, portanto, a contabilização do tempo de incidência de luz solar entre nuvens ou mesmo em situações de céu claro. Devido à escassez destes dados, foram utilizadas informações referentes à cidade de Ubatuba/SP, entre os anos de 1961 e 1991 (INMET, 2002).

A radiação solar foi analisada em termos espaciais para o período anual, de verão e de inverno, e na localidade listada acima, foram analisadas as estatísticas básicas (mínima, média, máxima e desvio padrão) para as variações mensais e interanuais.

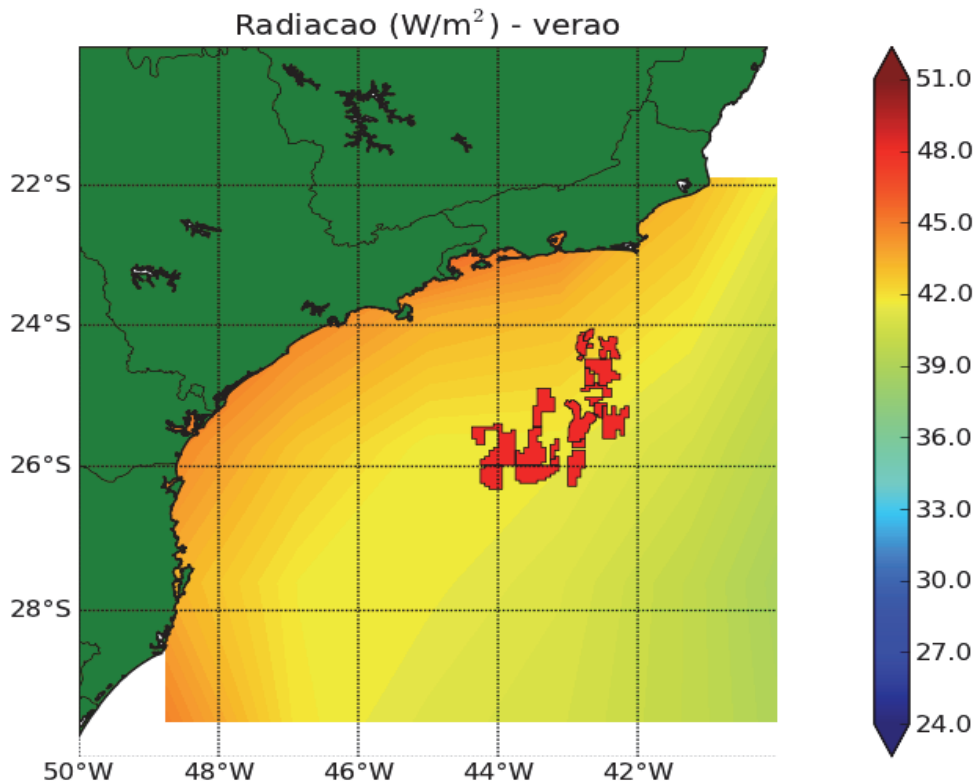
Estas análises são importantes para se determinar qual é a radiação solar média na área de estudo, como ela varia espacialmente, as variações mensais deste parâmetro e se ao longo dos anos analisados se manteve constante ou apresenta alguma tendência.

As variações espaciais da radiação solar média anual, em período de verão e inverno, proveniente do modelo de circulação geral do NCEP/NCAR entre os anos de 1961 e 2011 (**Figura II.5.1.1-49** a **Figura II.5.1.1-51**). Nestas, é possível inferir que a radiação média anual sob os blocos do Pré-Sal é de 35,7 W/m²; no verão, de 40,0 W/m² e no inverno, de 31,6 W/m². Em todo o período, a região costeira tem radiação solar superior a dos Blocos do Pré-Sal.



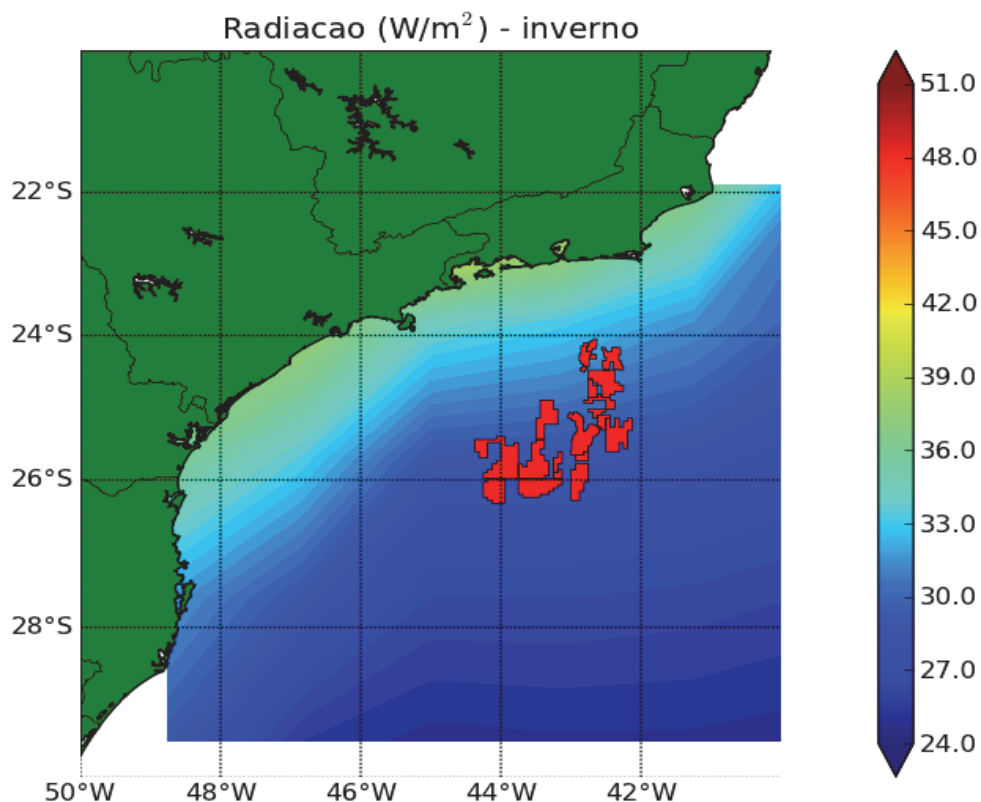
Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-49 – Taxa diária de radiação solar (W/m^2) proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1961 e 2011. Média anual. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-50 – Taxa diária de radiação solar (W/m^2) proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1961 e 2011. Média de verão. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.

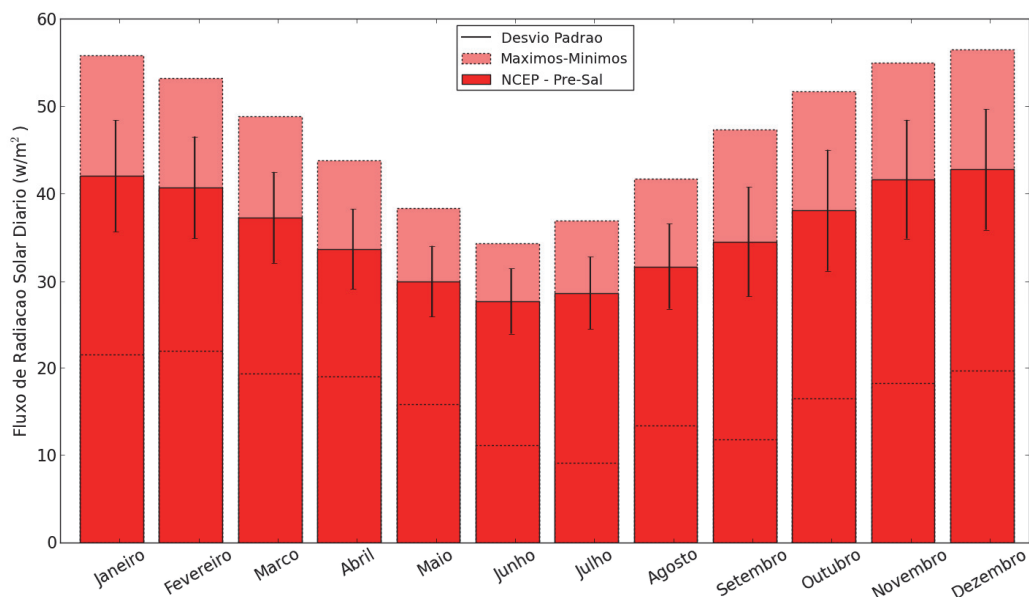


Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-51 – Taxa diária de radiação solar (W/m^2) proveniente do modelo de circulação da atmosfera do NCEP/NCAR entre os anos de 1961 e 2011. Média de inverno. A área em vermelho indica os blocos do Pré-Sal.

Analisando-se a **Figura II.5.1.1-52** e a **Tabela II.5.1.1-17**, é possível inferir que, nos Blocos do Pré-Sal, o menor valor de radiação solar incidente é em junho, com valor climatológico de $27,7 W/m^2$. Já o mês que apresenta a maior média climatológica é dezembro, com $42,7 W/m^2$.

Os valores mínimos e máximos absolutos foram observados nos mesmos meses descritos acima, onde o mínimo ocorreu em junho ($9,1 W/m^2$) e o máximo, em dezembro ($56,4 W/m^2$).



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

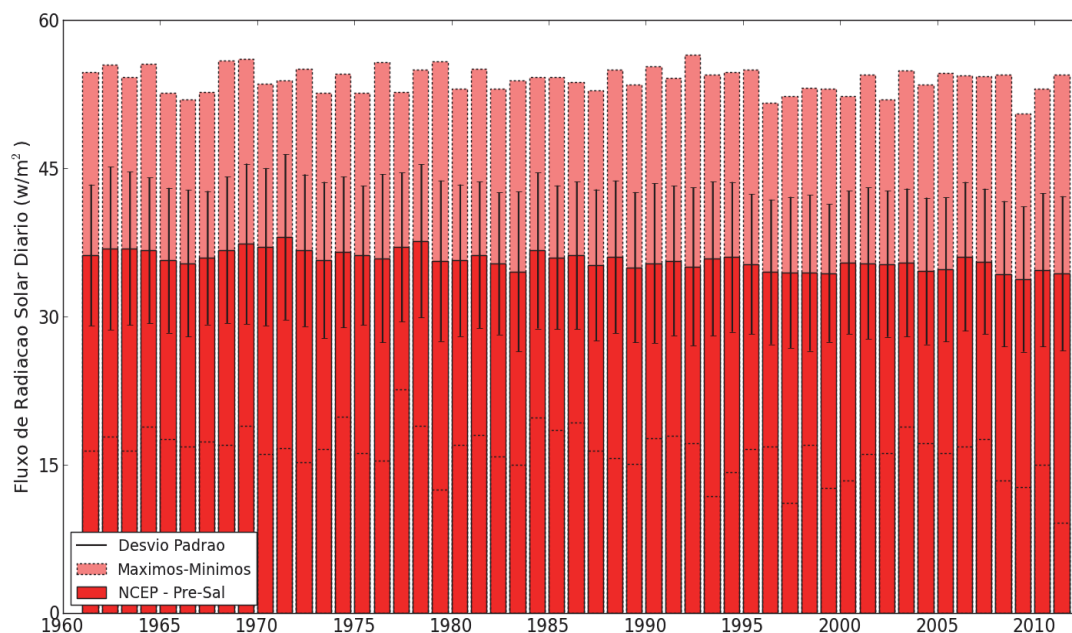
Figura II.5.1.1-52 – Média mensal da taxa diária de radiação (W/m^2) de acordo com locais de coleta descritos no **Quadro II.5.1.1-1**. As barras com cores escuras representam os valores médios, as cores claras (com bordas tracejadas) indicam os valores máximos e as linhas verticais cheias, o desvio padrão.

Tabela II.5.1.1-17 - Estatística básica mensal da taxa diária de radiação de acordo com locais de coleta descritos no **Quadro II.5.1.1-1**.

Radiação solar (W/m^2)				
Mês	NCEP - Pré-Sal (1961-2011)			
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio
Janeiro	42,0	21,5	55,8	6,4
Fevereiro	40,7	21,9	53,1	5,8
Março	37,3	19,3	48,8	5,2
Abril	33,7	19,0	43,8	4,6
Maió	29,9	15,8	38,3	4,1
Junho	27,7	11,1	34,3	3,8
Julho	28,6	9,1	36,9	4,2
Agosto	31,6	13,4	41,7	4,9
Setembro	34,5	11,8	47,3	6,2
Outubro	38,1	16,4	51,7	6,9
Novembro	41,6	18,2	55,0	6,8
Dezembro	42,7	19,7	56,4	6,9

Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Para se analisar a variação interanual da radiação solar incidente nos Blocos do Pré-Sal, são apresentadas na **Figura II.5.1.1-53** e na **Tabela II.5.1.1-18**.



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-53 – Taxas diárias de radiação anuais médias (W/m^2) de acordo com locais de coleta descritos no **Quadro II.5.1.1-1**. As barras com cores escuras representam os valores médios, as cores claras (com bordas tracejadas) indicam os valores máximos e as linhas verticais cheias, o desvio padrão.

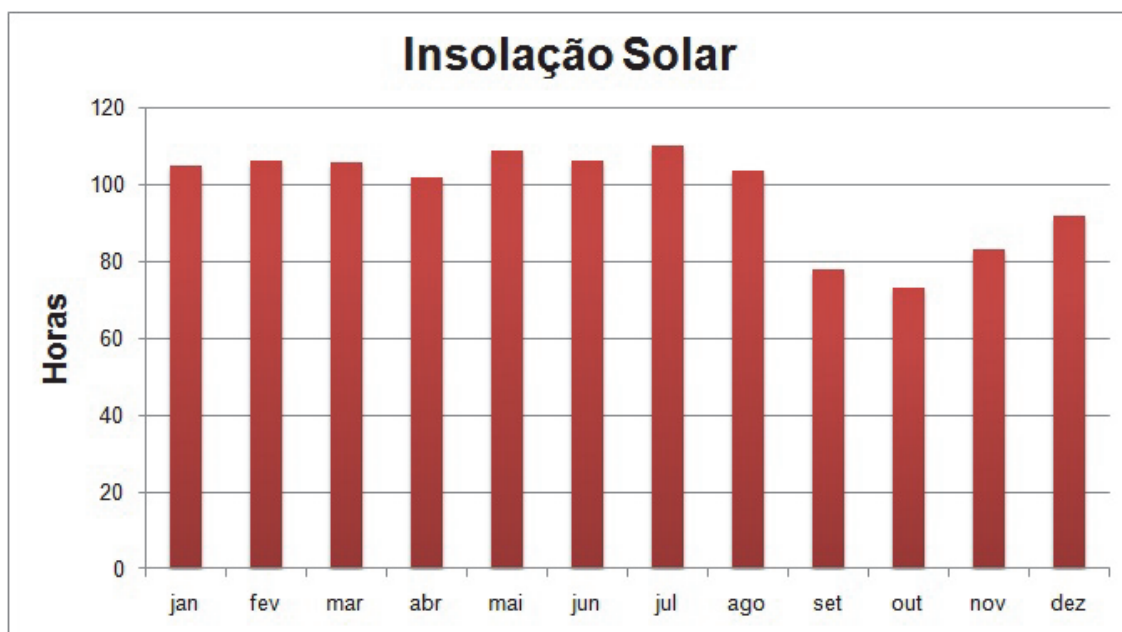
Tabela II.5.1.1-18 - Radiações médias, mínimas e máximas anuais nos locais de coleta descritos no **Quadro II.5.1.1-1**.

Fonte de Dados	Radiação média					Radiação mínima		Radiação máxima	
	Média	Mínima		Máxima		W/m ²	ano	W/m ²	ano
	W/m ²	W/m ²	ano	W/m ²	ano				
NCEP/NCAR - Pré-Sal	35,7	33,7	2009	38,0	1971	9,1	2011	56,4	1992

Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Nos Blocos do Pré-Sal a radiação anual média é de 35,7 W/m^2 . O ano que teve a menor radiação média foi o de 2009, com 33,7 W/m^2 . Já o ano de 1971 foi aquele que registrou o maior valor anual médio (38,0 W/m^2). Para os valores absolutos, o valor mínimo registrado foi de 9,1 W/m^2 em 2011 e o máximo, de 56,4 W/m^2 em 1992.

A variabilidade do total de insolação solar ao longo do ano pode ser verificada na **Figura II.5.1.1-54**. Há a predominância de oito meses com totais de insolação iguais ou superiores a 100 h, contra um período de quatro meses (setembro, outubro, novembro e dezembro) com valores inferiores a 100 h. O valor máximo registrado foi de 110 h de brilho solar, em julho, e o mínimo, de 73,3 h, em outubro, representando uma amplitude anual média de 36,7 h. O total anual médio de insolação solar é de 1.173,4 h.



Fonte: INMET (2002).

Figura II.5.1.1-54 – Variação mensal da insolação solar em Ubatuba (SP)

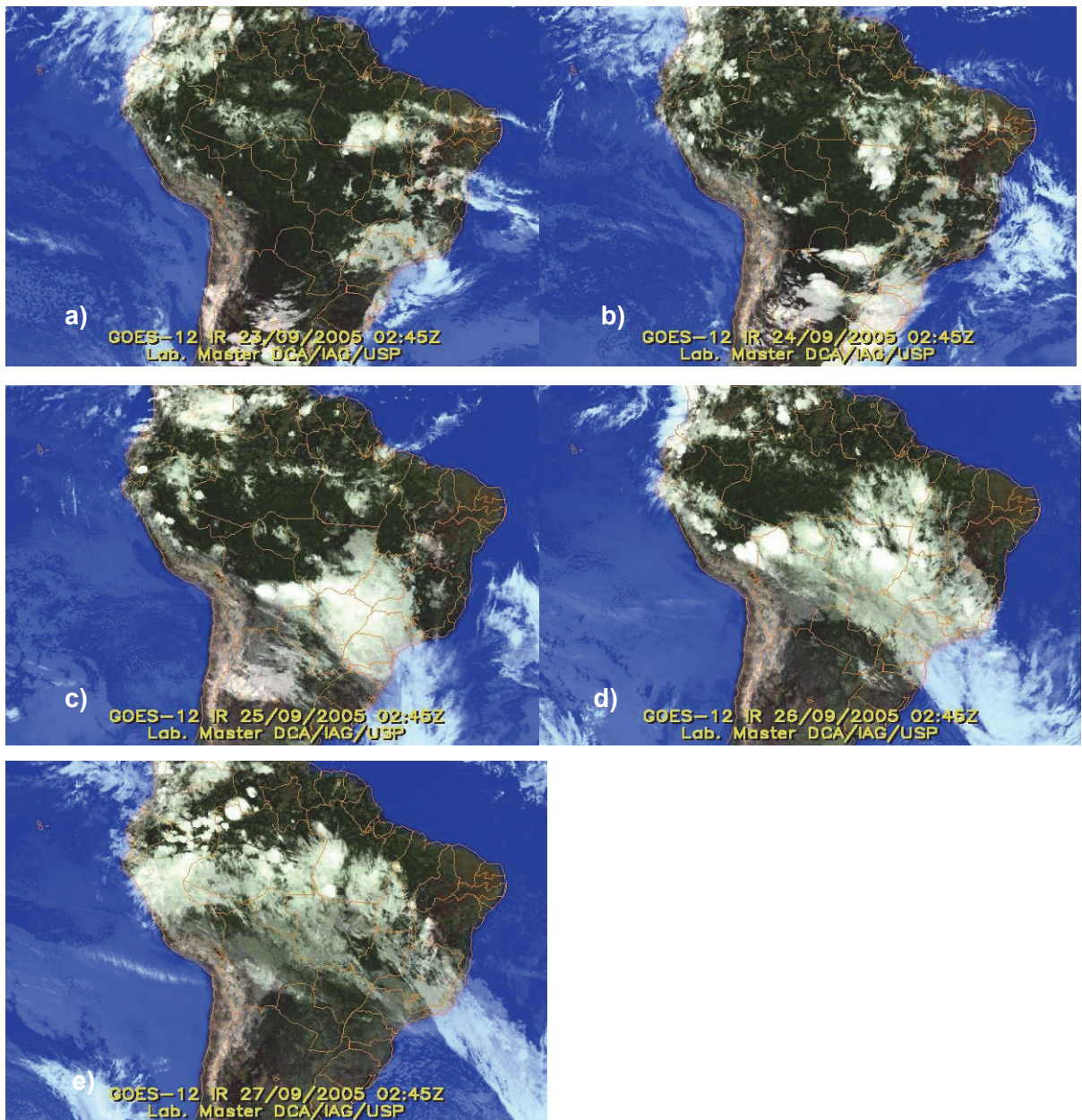
Frentes Frias sobre a área de estudo

Conforme descrito no **tópico A**, as FF são as principais perturbações ondulatórias na meteorologia da área de estudo. Estes eventos estão associados a mudanças nos campos de pressão atmosférica, ventos, temperatura atmosférica, entre outros, sobre a região do empreendimento. Desta maneira faz-se necessário um estudo específico sobre estes fenômenos para o completo entendimento da meteorologia sobre a área de estudo do empreendimento.

Para exemplificar o efeito da passagem de uma FF no campo de ventos, pressão atmosférica, ondas e elevação do nível do mar, é analisado o sistema

frontal que atingiu a região do empreendimento entre os dias 24 e 27 de setembro de 2005. Esse evento foi selecionado para essa exemplificação somente a critério ilustrativo, por ter sido um evento que percorreu toda a região Sul e Sudeste do Brasil, conforme descrito pelo Boletim Climanálise do CPTEC/INPE do mês de outubro (que reporta os eventos de setembro) de 2005: “O sistema frontal ingressou pelo Sul do País no dia 24. Esta frente fria deslocou-se pelas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, permanecendo estacionária no litoral de Caravelas-BA entre os dias 27 e 28”. Este evento não exemplifica uma frente fria extrema.

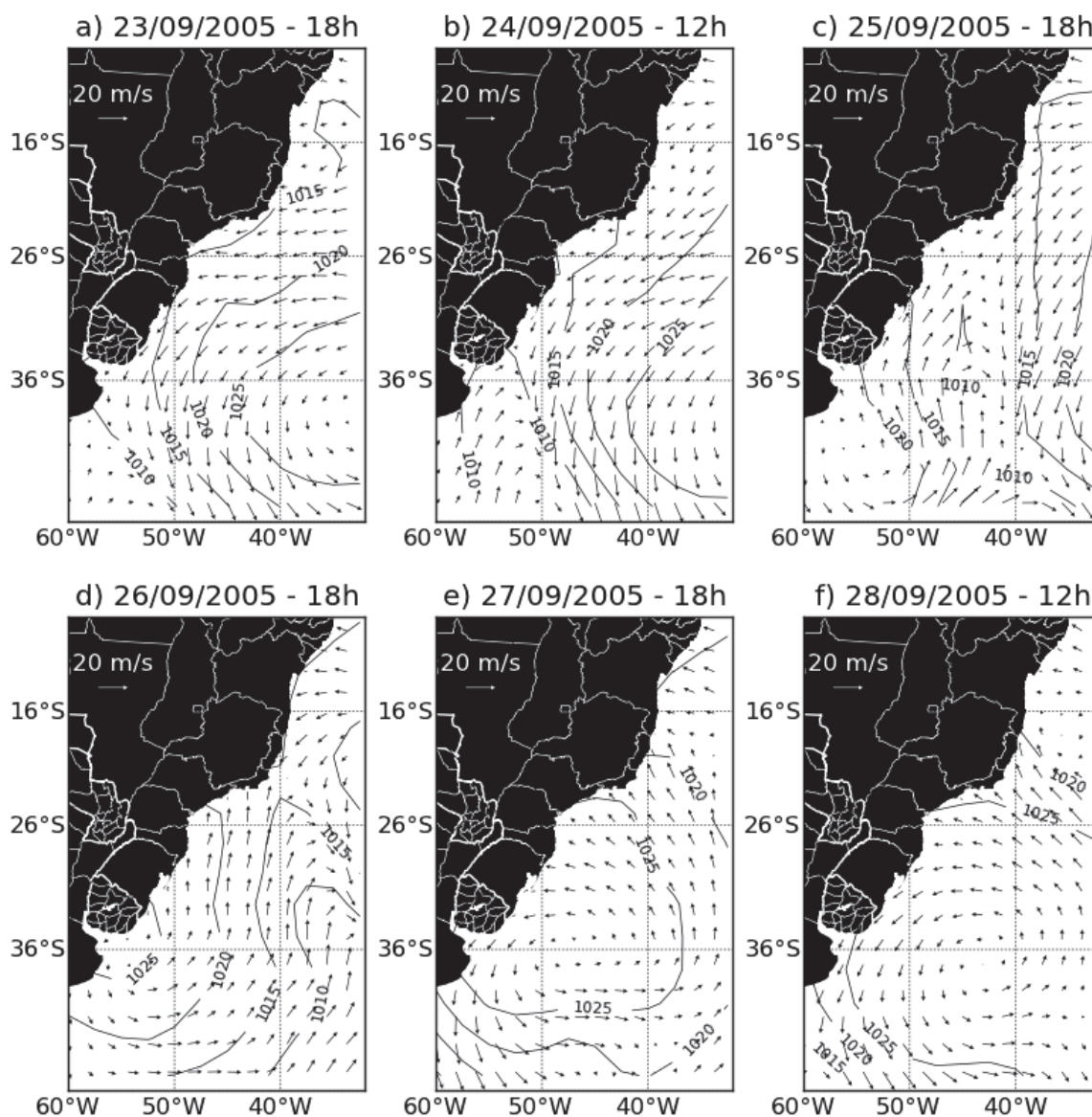
Na **Figura II.5.1.1-55**, pode-se observar a evolução temporal e espacial da FF entre os dias 23 e 27 de setembro de 2005.



Fonte: <http://www.master.iag.usp.br> 07/2011.

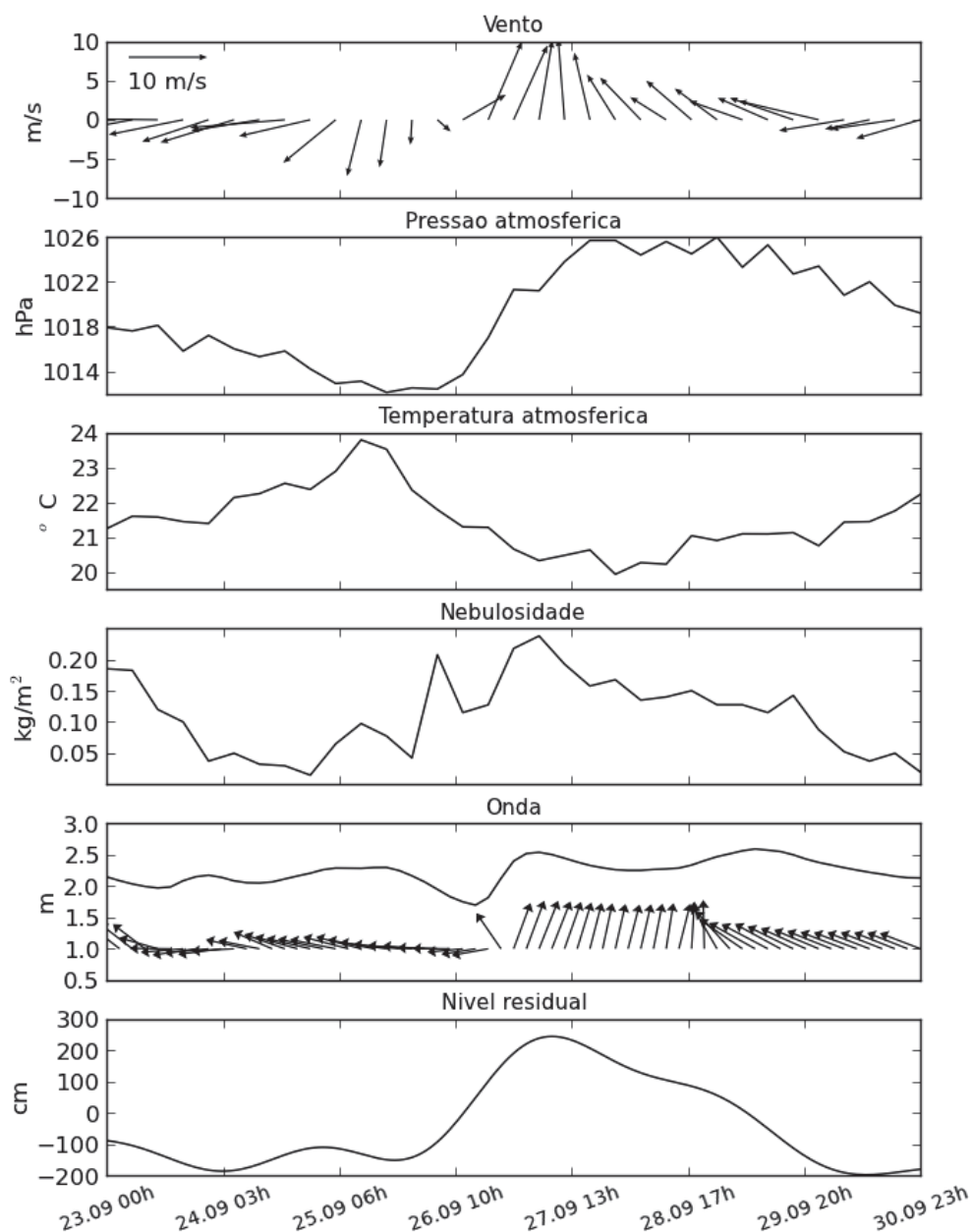
Figura II.5.1.1-55 – Evolução temporal e espacial da frente fria. Imagens do Satélite Goes-12, referentes aos dias a) 23/09/2005 02:45z, (b) 24/09/2005 02:45z, (c) 25/09/2005 02:45z, (d) 26/09/2005 02:45z e (e) 27/09/2005 02:45z.

A **Figura II.5.1.1-56** apresenta os campos de vento e pressão atmosférica associados ao período de formação e evolução da frente fria. Já na **Figura II.5.1.1-57**, observa-se a variação dos ventos, pressão atmosférica, temperatura, nebulosidade, ondas e nível residual do mar, na coordenada 24 °S, 42 °W – datum SIRGAS 2000 (proximidades do empreendimento), para o período de 23 a 30 de setembro de 2005.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.1-56 - Campos de ventos (vetores) e pressão (isóbaras - hPa) referentes aos dias a) 23/09/2005 18:00z, b) 24/09/2005 12:00z, c) 25/09/2005 18:00z, d) 26/09/2005 12:00z e e) 27/09/2005 18:00z.



Fonte: Reanálise NCEP/NCAR (ventos, pressão e temperatura). WaveWatch III Global (ondas). GLOSS Brasil – Ilha Fiscal/RJ (nível do mar). NOAA-CIRES 20th Century II (nebulosidade).

Figura II.5.1.1-57 – Variação local dos ventos, pressão atmosférica, temperatura atmosférica, nebulosidade, ondas e nível do mar (residual) em ponto próximo ao empreendimento (24°S, 42°W) entre os dias 23 e 30 de setembro de 2005.

A imagem de satélite na **Figura II.5.1.1-55a** (23 de setembro), juntamente com os campos de pressão e de vento apresentados na **Figura II.5.1.1-56a** mostram o deslocamento de um sistema frontal ao Sul da América do Sul, (região de alta nebulosidade e baixa pressão), nas proximidades do Uruguai. Neste momento, nas proximidades do empreendimento, é possível identificar (**Figura II.5.1.1-57**) ventos de NE, pressão atmosférica em torno de 1018 hPa, ondas de origem SE-E, nebulosidade diminuindo de 0,18 a 0,05 kg/m², temperatura em torno dos 21,5 °C e nível residual do mar entre -1 e -2 m.

Com o deslocamento do sistema frontal pela costa Sul do Brasil, nos dias 24 a 26 de setembro (**Figura II.5.1.1-55b,c** e **Figura II.5.1.1-56b,c**), é possível identificar que, na posição 24 °S, 42 °W, a magnitude do vento diminui e é observado o giro do vento de NE para SW. A pressão atmosférica diminui gradativamente, a temperatura aumenta até 24 °C e sofre queda gradativa, a nebulosidade começa a aumentar atingindo 0,10 kg/m², as ondas mantêm-se de Leste e o nível do mar mantém a variação entre -1 e -2 m.

A partir do dia 26 de setembro (**Figura II.5.1.1-55d** e **Figura II.5.1.1-56d**) é possível identificar a banda de nebulosidade associada à frente fria, sobre a região do empreendimento. Neste momento, a pressão atmosférica local (**Figura II.5.1.1-57**) é mínima (1012 hPa) e aumenta ao longo do dia, até 1022 hPa, o vento e as ondas são praticamente de Sul, a temperatura começa a diminuir até 21 °C, a nebulosidade aumenta até 0,25 kg/m² e o nível do mar atinge cotas superiores a 2 m.

No dia 27 de setembro, o sistema frontal se desloca em sentido NE (**Figura II.5.1.1-55e** e **Figura II.5.1.1-56e**). Neste momento, a pressão na posição 24 °S, 42 °W (**Figura II.5.1.1-57**) atinge valores de 1026 hPa, os ventos são intensos e apresentam direção S-SE, a temperatura é mínima (22 °C), a nebulosidade começa a diminuir, ondas apresentam direção S-SW e alturas superiores a 2 m e o nível do mar residual regride até cerca de 1 m. Nos dias subsequentes, os parâmetros tendem a voltar a níveis similares aos observados antes da passagem da frente fria.

A partir das características analisadas e observadas com a passagem do sistema frontal de setembro de 2005 na região do empreendimento e, com base no trabalho de Rodrigues *et al.* (2004), é possível determinar a climatologia das

frentes frias sobre a região. Foram utilizados os dados de vento, pressão atmosférica e temperatura do ponto NCEP no Pré-Sal, de acordo com o detalhamento na **Tabela II.5.1.1-1**.

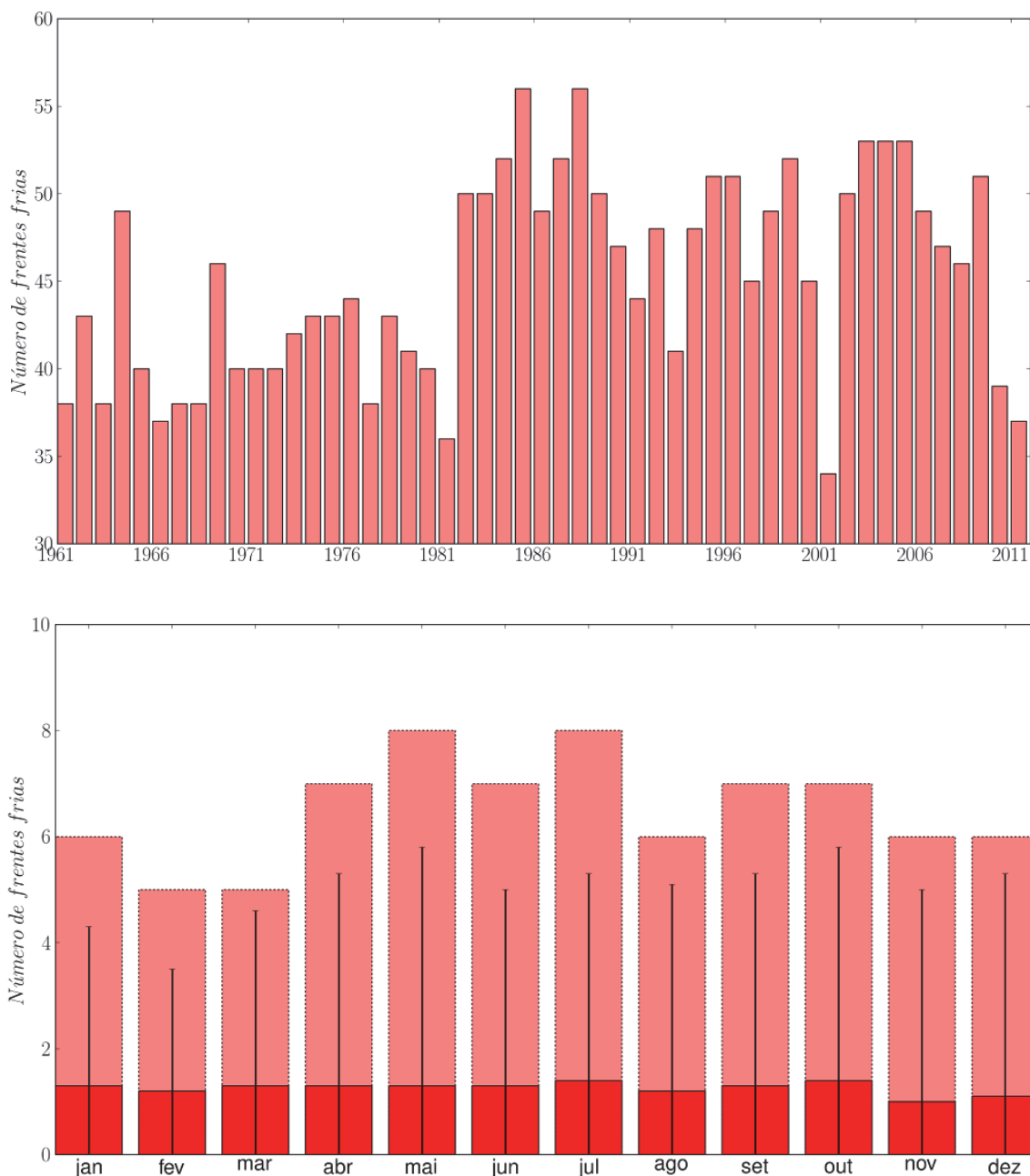
A **Tabela II.5.1.1-19** apresenta o número de frentes frias ao longo dos meses, bem como as médias mensais, anuais e os valores totais para cada ano entre 1961 e 2011, calculados de acordo com os dados supracitados. A **Figura II.5.1.1-58** mostra o número total de frentes por ano (painel superior) e o número máximo, média e desvio padrão de frentes mensais (painel inferior). A partir desta tabela e gráficos, observa-se, sobre a região do empreendimento, a passagem, em média, de 45,2 frentes frias ao ano, com média de 3,8 eventos ao mês. Climatologicamente, o mês que apresenta o maior número de passagem de frentes frias é o mês de maio, com 4,5. Em contraponto, o mês que apresenta o menor número de sistemas frontais é o mês de fevereiro, com 2,3 eventos.

Tabela II.5.1.1-19 – *Passagem de frentes frias sobre a área de estudo do Projeto Etapa 2.*

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
1961	2	3	4	3	4	2	3	4	4	1	4	4	38
1962	4	4	0	4	5	3	4	5	4	4	3	3	43
1963	3	2	3	4	4	3	2	3	3	4	4	3	38
1964	5	2	4	3	5	6	5	3	2	6	3	5	49
1965	4	4	4	3	4	2	4	1	4	4	3	3	40
1966	3	1	1	4	5	3	3	3	4	5	2	3	37
1967	4	3	3	5	2	3	5	1	3	1	4	4	38
1968	2	2	1	6	3	3	3	4	5	3	2	4	38
1969	3	3	4	5	4	3	4	4	2	5	5	4	46
1970	3	1	3	4	2	3	4	4	3	6	5	2	40
1971	2	2	3	4	3	5	4	4	3	3	4	3	40
1972	1	3	3	5	3	1	5	4	3	4	4	4	40
1973	2	3	3	3	4	3	4	4	3	3	6	4	42
1974	3	1	3	6	5	5	1	2	4	5	3	5	43
1975	4	3	5	2	3	4	3	3	4	4	4	4	43
1976	2	1	3	5	5	4	4	4	2	5	3	6	44
1977	2	0	5	3	5	3	1	6	2	3	4	4	38
1978	3	3	2	6	5	4	4	3	2	4	5	2	43

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
1979	3	2	3	4	6	4	4	3	2	5	3	2	41
1980	3	1	2	3	3	4	5	4	4	4	3	4	40
1981	3	1	3	3	2	2	4	4	3	4	3	4	36
1982	4	1	5	3	4	2	6	5	4	5	5	6	50
1983	4	2	3	4	7	6	5	3	4	5	4	3	50
1984	3	2	4	3	4	5	4	6	4	6	5	6	52
1985	6	4	5	4	5	3	5	4	4	6	4	6	56
1986	3	4	5	5	5	2	4	5	3	5	4	4	49
1987	4	1	4	2	5	5	5	5	7	6	4	4	52
1988	4	3	3	7	5	6	5	4	4	5	5	5	56
1989	2	2	4	4	4	5	4	3	7	7	5	3	50
1990	4	3	3	2	5	6	4	5	4	3	4	4	47
1991	5	3	4	2	2	3	3	4	3	5	6	4	44
1992	3	2	0	4	7	2	6	6	4	5	4	5	48
1993	4	0	4	3	3	4	4	3	5	2	4	5	41
1994	4	1	5	6	4	4	3	5	3	4	4	5	48
1995	4	4	3	4	8	4	2	4	5	6	3	4	51
1996	1	4	3	4	5	5	5	5	5	5	4	5	51
1997	2	0	3	5	6	3	1	4	6	5	5	5	45
1998	1	3	3	4	4	5	4	5	5	6	4	5	49
1999	3	2	4	6	4	5	8	4	4	4	4	4	52
2000	3	4	4	3	4	3	4	5	3	3	4	5	45
2001	0	2	1	4	5	4	4	1	4	2	4	3	34
2002	2	3	1	4	6	3	6	4	5	6	4	6	50
2003	6	1	4	4	4	4	4	4	5	5	6	6	53
2004	3	5	5	3	5	3	4	5	5	5	4	6	53
2005	5	3	5	7	4	2	3	3	7	6	3	5	53
2006	2	3	4	5	4	7	2	4	4	4	6	4	49
2007	3	2	1	5	7	4	4	6	4	2	6	3	47
2008	3	2	5	4	5	4	2	4	6	4	3	4	46
2009	2	4	3	5	3	5	5	4	5	6	4	5	51
2010	1	1	3	3	6	2	2	3	5	6	2	5	39
2011	1	1	3	2	6	3	3	5	4	3	3	3	37
Média	3,0	2,3	3,3	4,0	4,5	3,7	3,9	3,9	4,0	4,4	4,0	4,2	45,2
Desvio	1,3	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,2	1,3	1,4	1,0	1,1	5,8

Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013)



Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013)

Figura II.5.1.1-58 – Painel superior quantidade de frentes frias que passaram pela área de estudo do empreendimento em cada ano analisado. No painel inferior é mostrada a quantidade média mensal (caixas sólidas) de frentes que passaram pela área de estudo do empreendimento. As caixas com linhas pontilhadas indicam a quantidade máxima de frentes e a linha vertical sólida o desvio padrão.

Além destes resultados médios, é possível estabelecer o intervalo entre a entrada de cada um destes sistemas frontais, e quanto tempo este sistema atua sobre a região. A **Tabela II.5.1.1-20** apresenta tais resultados.

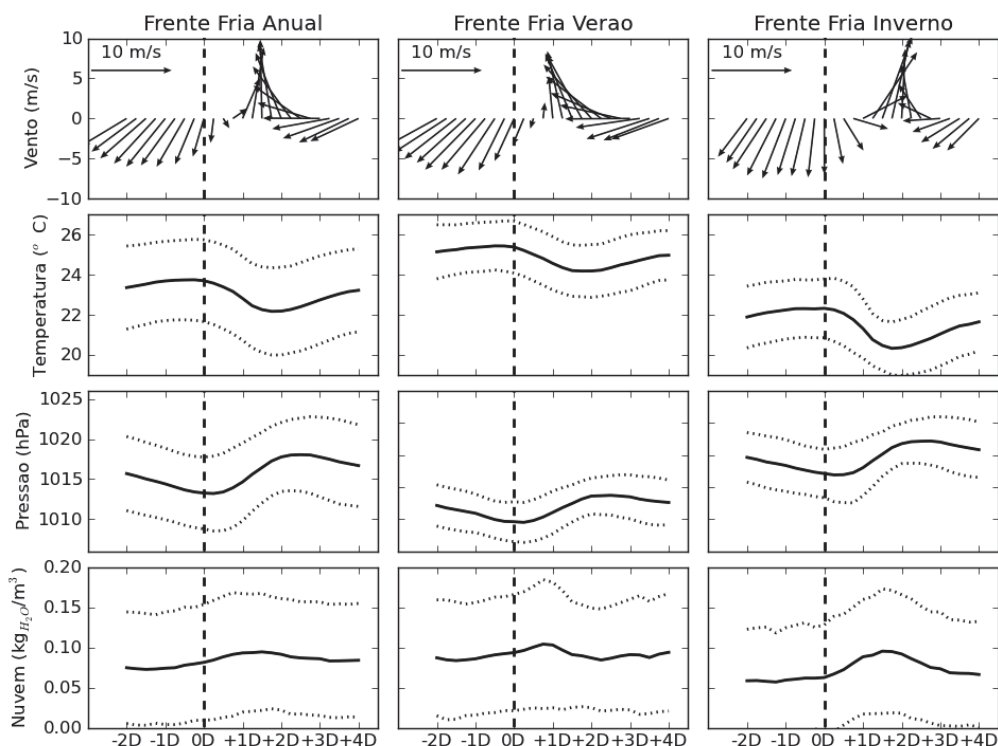
Tabela II.5.1.1-20 – Intervalo entre a passagem e duração de frentes frias sobre a região do empreendimento

Meses	Intervalo médio entre frentes (h)	Desvio Padrão Intervalo Frentes (h)	Duração Média das Frentes (h)	Desvio Padrão Duração Frentes (h)
Janeiro	224,1	163,2	41,6	26,6
Fevereiro	222,0	150,9	40,6	22,2
Março	150,9	63,9	43,4	24,2
Abril	142,2	63,0	42,0	22,0
Mai	145,5	76,5	41,4	22,8
Junho	156,6	87,9	36,8	15,4
Julho	163,5	93,6	40,2	21,2
Agosto	157,5	91,2	39,0	17,6
Setembro	143,4	71,7	39,0	17,6
Outubro	139,8	65,7	40,4	19,6
Novembro	148,8	67,5	40,4	21,0
Dezembro	162,3	100,2	36,8	18,0
Anual	162,9	91,2	40,2	20,6

Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013)

Anualmente, a duração média dos eventos é de $40,2 \pm 20,6$ h e o intervalo entre a passagem de uma frente fria e outra é de $6,8 \pm 3,8$ dias. As frentes frias duram mais no mês de março ($43,4 \pm 24,2$ h) e passam mais rapidamente no mês de junho ($36,8 \pm 15,4$ h). No mês de janeiro é onde ocorre o maior intervalo médio entre a passagem de duas frentes ($224,1 \pm 163,2$ h) e o mês de outubro é quando ocorre o menor intervalo ($139,8 \pm 65,7$ h).

A **Figura II.5.1.1-59** apresenta a variação média dos ventos, temperatura atmosférica, pressão atmosférica e quantidade de água condensada na atmosfera (nuvens) durante a passagem de uma frente fria média no ponto NCEP Pré-Sal, **Tabela II.5.1.1-1**, em período anual, de verão e de inverno.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013)

Figura II.5.1.1-59 – *Varição média do vento, temperatura atmosférica, pressão e nuvens nos blocos do Pré-Sal, durante a passagem de uma frente fria, em período anual (esquerda), verão (centro) e inverno (direita). O dia 0D representa a entrada da frente fria, e os dias com o sinal negativo e positivo indicam dias anteriores e posteriores a entrada da mesma, respectivamente. As linhas pontilhadas indicam os desvios-padrão.*

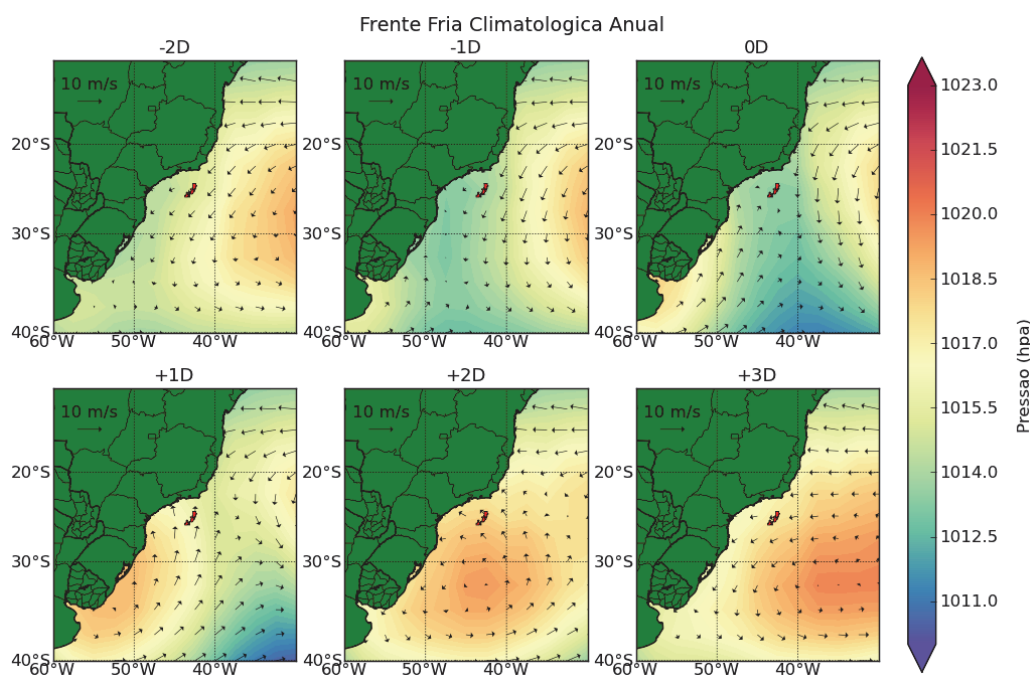
A **Figura II.5.1.1-59** mostra ventos de origem Nordeste, temperaturas em elevação, pressão diminuindo e nebulosidade crescente em dias anteriores (-2D e -1D) à entrada da frente fria na região do empreendimento. O dia da entrada da frente fria (0D) é aquele no qual a temperatura começa a diminuir. Neste momento, a pressão é mínima, os ventos começam a perder intensidade e sopram de N e a nebulosidade aumenta.

No dia posterior a entrada da frente (+1D), os ventos são predominantemente de Sul (com giro anti-horário), com alta intensidade, a temperatura atinge o mínimo, a pressão se eleva e a nebulosidade atinge o seu máximo. No segundo dia após a entrada da frente fria (+2D), a nebulosidade começa a diminuir, a pressão atinge seu máximo, a temperatura aumenta gradativamente e os ventos,

em giro sentido anti-horário, retomam o sentido Nordeste. No terceiro dia após a entrada da frente fria (+3D), todos os parâmetros estão próximos ao registrado dois dias antes (-2D) da entrada da frente fria.

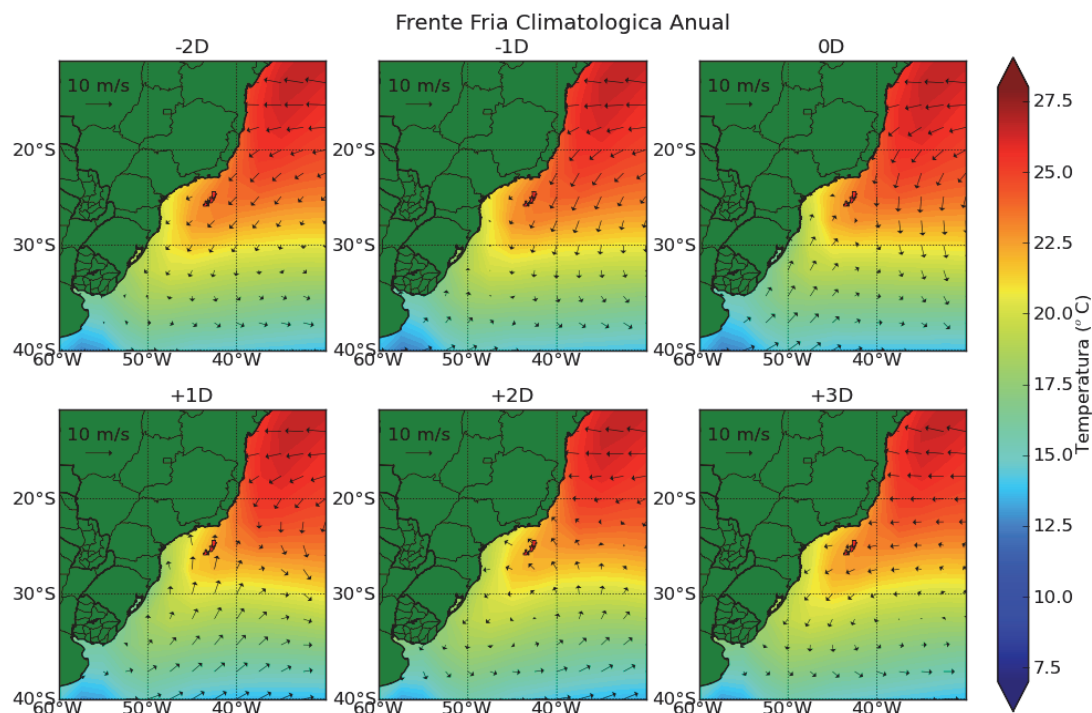
Quando comparadas as frentes médias anuais (painéis da esquerda na **Figura II.5.1.1-59**), de verão (painéis centrais na **Figura II.5.1.1-59**) e de inverno (painéis da direita na **Figura II.5.1.1-59**), é possível identificar que os ventos provenientes de Sul são mais intensos no inverno, assim como as variações de pressão, nebulosidade e de temperatura. Nos meses de verão, quando comparados ao período anual e de inverno, os parâmetros variam de forma menos drástica, sendo que as variações são menos significativas que no inverno.

As evoluções das frentes frias médias, do ponto de vista sinótico, para a região do empreendimento (**Figura II.5.1.1-60** a **Figura II.5.1.1-65**).



Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013)

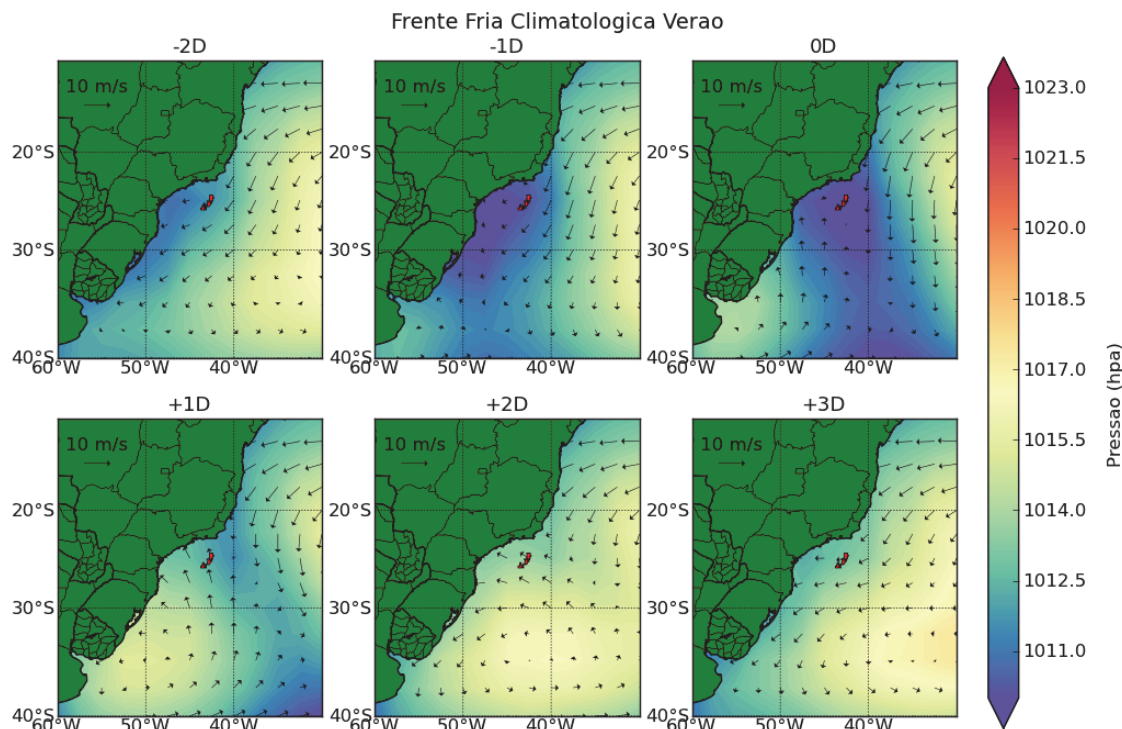
Figura II.5.1.1-60 – *Passagem de uma frente fria média, anual, sobre o empreendimento (blocos destacados em vermelho). Os vetores indicam a intensidade e a direção do vento. As cores mostram a pressão atmosférica, de acordo com a escala. O título de cada painel indica o dia com referência a entrada da frente fria (0D – painel superior direito); os valores negativos (-) indicam dias anteriores, enquanto que os valores positivos (+), posteriores a entrada da frente fria.*



Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013)

Figura II.5.1.1-61 – *Passagem de uma frente fria média, anual, sobre o empreendimento (blocos destacados em vermelho). Os vetores indicam a intensidade e a direção do vento. As cores mostram a temperatura atmosférica em superfície, de acordo com a escala. O título de cada painel indica o dia com referência a entrada da frente fria (0D – painel superior direito); os valores negativos (-) indicam dias anteriores, enquanto que os valores positivos (+) posteriores a entrada da frente fria.*

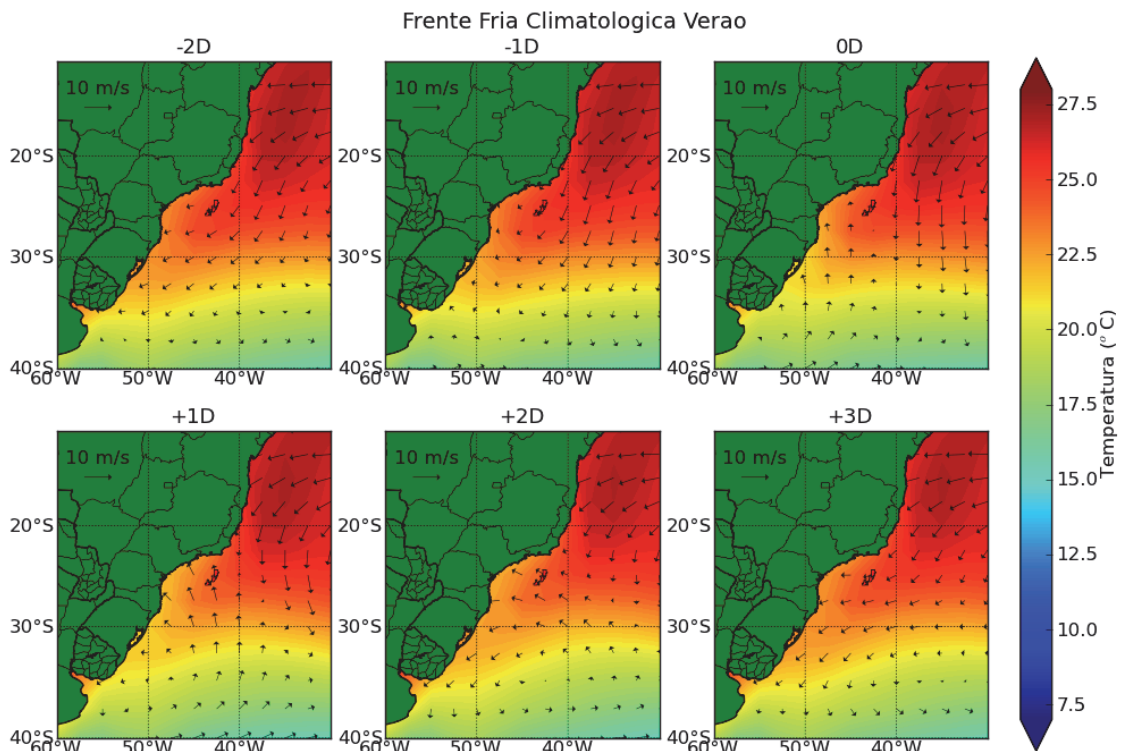
A evolução sinótica do campo de ventos (**Figura II.5.1.1-60** a **Figura II.5.1.1-65**) indica, nos dias anteriores a entrada da frente fria (-2D e -1D), o deslocamento pelo litoral Sul do Brasil de um sistema de ventos provenientes de SW, convergindo com ventos provenientes do quadrante NE. No dia da entrada da frente (0D), esta convergência está localizada sobre a região do empreendimento. Nos dias posteriores (+1D e +2D), esta convergência propaga-se em direção ao oceano aberto deixando a região do empreendimento com ventos de sentido SW. No 3º dia subsequente à passagem da frente (+3D), um sistema em rotação no sentido anti-horário, atua na região, fazendo com que os ventos tenham origem NE novamente.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013)

Figura II.5.1.1-62 – Passagem de uma frente fria média, de verão, sobre o empreendimento (blocos destacados em vermelho). Os vetores indicam a intensidade e a direção do vento. As cores mostram a pressão atmosférica, de acordo com a escala. O título de cada painel indica o dia com referência a entrada da frente fria (0D – painel superior direito); os valores negativos (-) indicam dias anteriores, enquanto que os valores positivos (+), posteriores a entrada da frente fria.

A evolução sinótica do campo de pressão (**Figura II.5.1.1-60**, **Figura II.5.1.1-62** e **Figura II.5.1.1-64**) apresenta o deslocamento (de SW para NE) de regiões de baixa pressão nos locais onde ocorre convergência dos ventos. É possível identificar o deslocamento de parcelas de ar com baixa pressão em dias anteriores (-2D e -1D) a entrada da frente fria, pelo litoral Sul do Brasil, e este centro de baixa pressão localizado sob a região do empreendimento no dia 0D. Após a baixa pressão se direcionar ao oceano, esta dá lugar a um centro de alta pressão, acompanhando os ventos em rotação no sentido anti-horário.

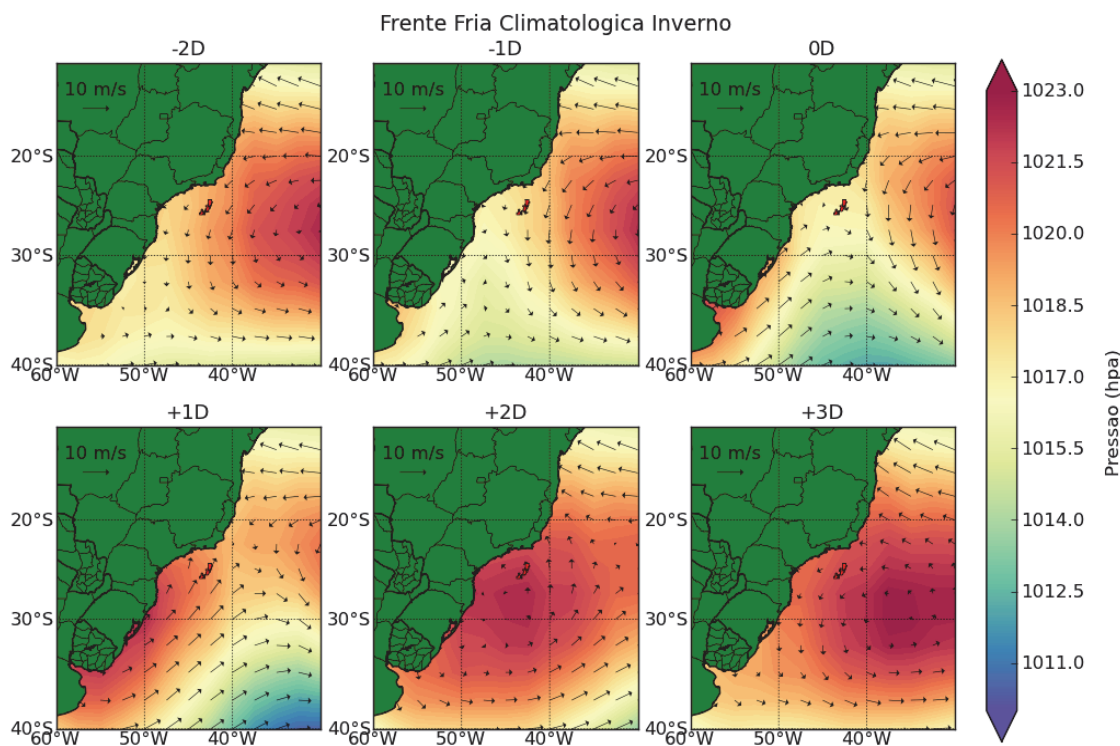


Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013)

Figura II.5.1.1-63 – *Passagem de uma frente fria média, de verão, sobre o empreendimento (blocos destacados em vermelho). Os vetores indicam a intensidade e a direção do vento. As cores mostram a temperatura atmosférica superficial, de acordo com a escala. O título de cada painel indica o dia com referência a entrada da frente fria (0D – painel superior direito); os valores negativos (-) indicam dias anteriores, enquanto que os valores positivos (+), posteriores a entrada da frente fria.*

A evolução sinótica do campo de temperatura (**Figura II.5.1.1-61**, **Figura II.5.1.1-63** e **Figura II.5.1.1-65**) apresenta o deslocamento de massas de ar de SW para NE, em decorrência dos ventos provenientes desta região. Nos dias anteriores à frente fria estar localizada sobre o empreendimento (-2D e -1D), a massa de ar frio (cores amarelas e azuis) desloca-se pela região Sul do Brasil nas proximidades da linha de costa. No dia 0D, a região do empreendimento é atingida e nos dois dias posteriores (+1D, +2D), esta região apresenta temperatura inferior à observada nos dias anteriores (-2D e -1D) à passagem da frente fria. No terceiro dia após a passagem da frente fria (+3D), as temperaturas

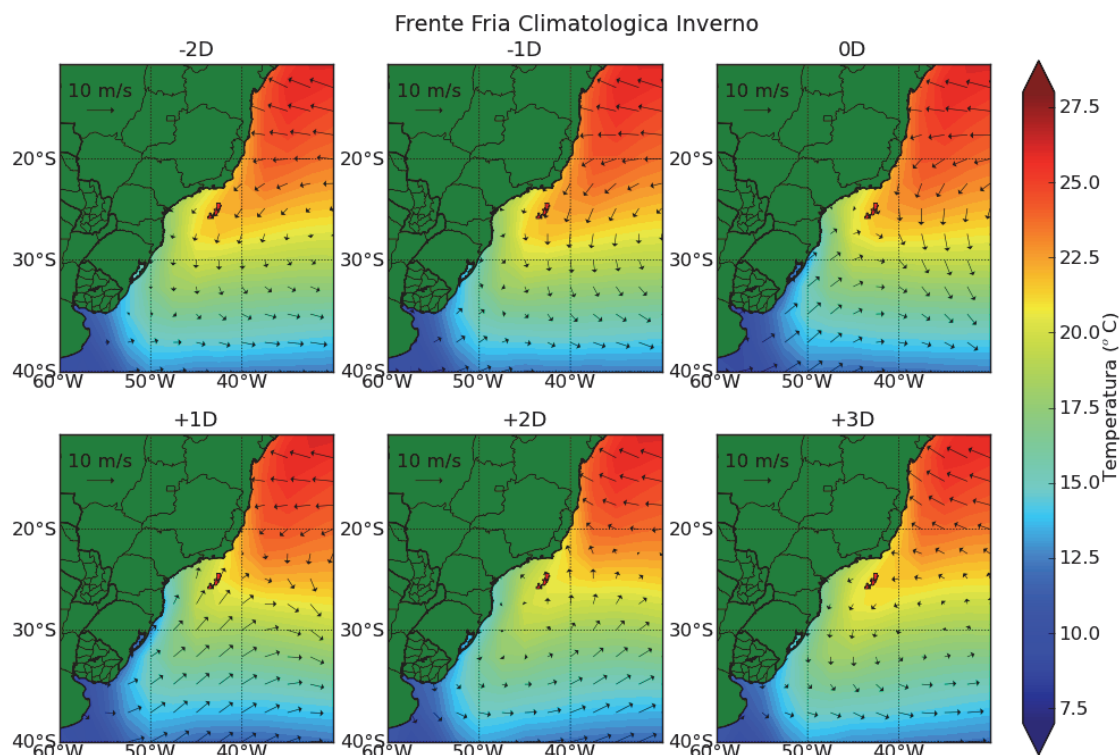
na região do empreendimento apresentam tendência de retorno aos valores observados no início do período.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013)

Figura II.5.1.1-64 – *Passagem de uma frente fria média, de inverno, sobre o empreendimento (blocos destacados em vermelho). Os vetores indicam a intensidade e a direção do vento. As cores mostram a pressão atmosférica, de acordo com a escala. O título de cada painel indica o dia com referência a entrada da frente fria (0D – painel superior direito); os valores negativos (-) indicam dias anteriores, enquanto que os valores positivos (+), posteriores a entrada da frente fria.*

Quando comparada a evolução sinótica dos campos de vento, pressão e temperatura entre as médias de verão e inverno, identificam-se ventos de maior magnitude, temperaturas mais baixas atingindo menores latitudes e maiores diferenças entre os centros de baixa e alta pressão, durante o período de inverno, comparativamente ao período de verão.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR (2013)

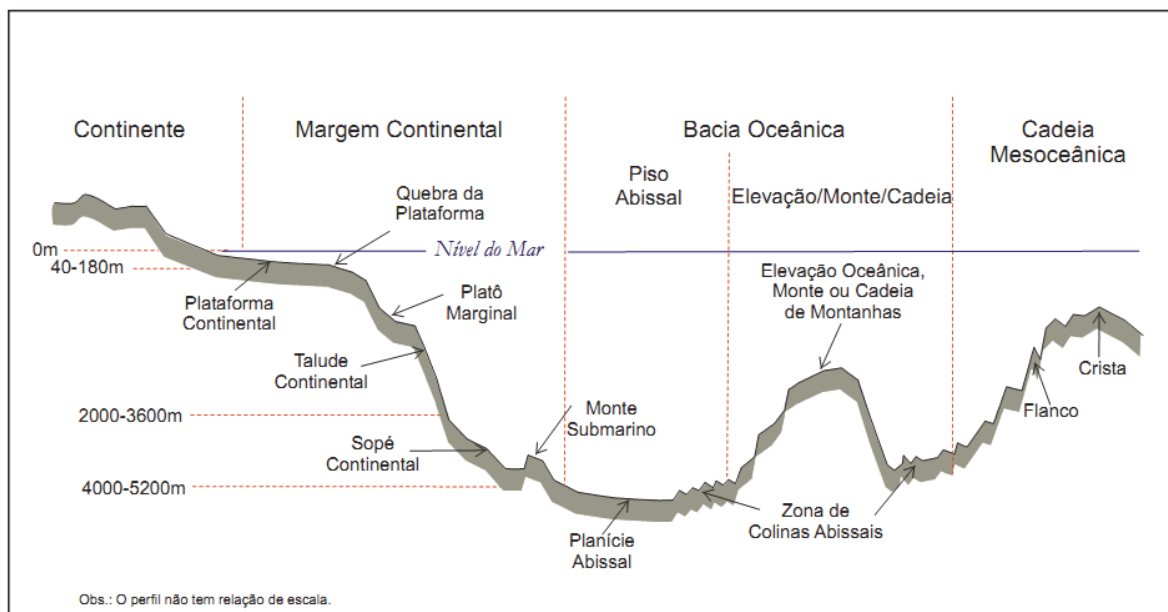
Figura II.5.1.1-65 - *Passagem de uma frente fria média, de inverno, sobre o empreendimento (blocos destacados em vermelho). Os vetores indicam a intensidade e a direção do vento. As cores mostram a temperatura atmosférica superficial, de acordo com a escala. O título de cada painel indica o dia com referência a entrada da frente fria (0D – painel superior direito); os valores negativos (-) indicam dias anteriores, enquanto que os valores positivos (+), posteriores a entrada da frente fria.*

II.5.1.2 - Oceanografia

Este subitem apresenta a caracterização da oceanografia física da área de estudo. Para o completo entendimento de todos os processos oceanográficos que podem influenciar o empreendimento é necessária a descrição de fenômenos em diferentes escalas, espaciais e temporais, e compartimentadas por setores fisiográficos.

De acordo com Castro (1996), na região Sudeste do Brasil, onde estão localizadas as atividades do Projeto Etapa 2, os processos que regem a oceanografia na plataforma continental – PC, talude continental - TC e oceano

profundo - OP são distintos. Para o entendimento da localização destes compartimentos é apresentada a **Figura II.5.1.2-1** que mostra o perfil fisiográfico esquemático da margem continental típica do Oceano Atlântico.



Fonte: Projeto de Reconhecimento da Margem Continental Brasileira (Remac).

Figura II.5.1.2-1 – Perfil fisiográfico esquemático típico para uma margem continental do Oceano Atlântico.

A PC constitui a faixa mais rasa que circunda a maioria dos continentes, e termina em direção ao mar com um aumento acentuado da inclinação denominado “quebra da plataforma”, que marca o limite externo da PC. Este compartimento fisiográfico tem configuração mais ou menos plana, suavemente inclinada mar adentro, com gradiente muito baixo (1:1.000) (COUTINHO, 2005), representando o prolongamento do próprio continente. Na região do empreendimento a profundidade média da quebra da PC é de 180 m (CASTRO, 1996).

O TC é representado pela pendente relativamente íngreme, que se estende desde a quebra da PC até o sopé continental e corresponde à porção mais íngreme (3° a 6°) do piso marinho. Na área do Pré-Sal, o sopé continental tradicional não existe, tendo sido modificado pela tectônica salífera para uma feição mais sub-horizontal chamada de Platô de São Paulo..

A fim de facilitar a análise compartimentaremos a área de estudo nos três grandes compartimentos que possuem dinâmicas oceanográficas distintas: PC (entre a linha de costa e a profundidade de 180 m), TC (entre 180 m e 2.000 m) e OP (profundidades superiores à 2.000 m). Para ilustrar os blocos do Pré-Sal onde serão realizadas as atividades do Projeto Etapa 2 perante estes três compartimentos fisiográficos é apresentada a **Figura II.5.1.2-2** abaixo.

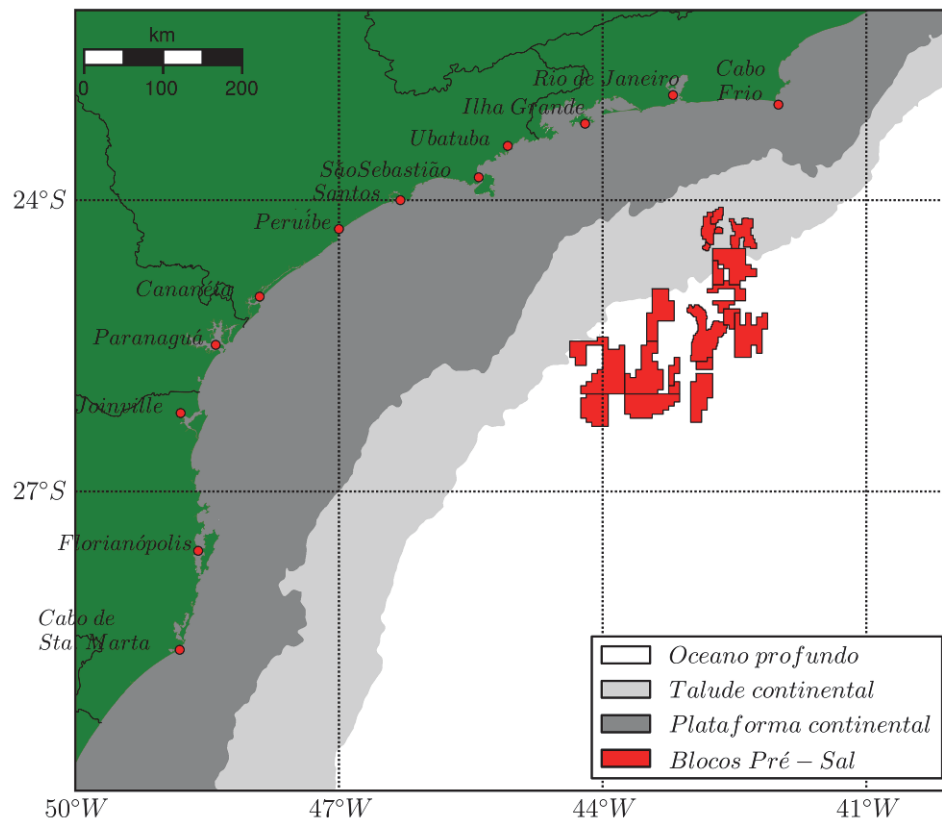


Figura II.5.1.2-2 – Compartimentos fisiográficos plataforma continental, talude continental e oceano profundo na região do Pré-Sal da Bacia de Santos.

Assim, este subitem apresenta a seguinte estrutura de tópicos:

- A) Metodologia adotada:** são apresentados os métodos utilizados na caracterização da oceanografia física na área de estudo, incluindo o detalhamento de dados utilizados, contemplando frequência de amostragem, abrangência temporal e locais de coleta;
- B) Hidrografia e hidrodinâmica da PC:** são apresentadas as características hidrográficas (salinidade, temperatura e densidade da água do mar) da

PC, juntamente com a descrição do sistema de correntes e forçantes atuantes, incluindo as variações do nível do mar, destacando-se os eventos extremos e correlacionando com o descritivo apresentado no **subitem II.5.1.1 - Meteorologia;**

- C) Hidrografia e hidrodinâmica do TC e OP:** similar ao tópico anterior, contudo para os compartimentos TC e OP, contemplando também análise de extremos das correntes marinhas;
- D) Regime de ondas:** embora existam diferenças entre o regime de ondas na região costeira e nos demais compartimentos fisiográficos descritos, neste subitem, por questão de simplicidade e melhor entendimento, o regime de ondas é apresentado de forma conjunta para toda a área de estudo. É apresentada análise de extremo de ondas e os eventos correlacionados com as descrições do **subitem II.5.1.1 - Meteorologia;**
- E) Estudo de dinâmica sedimentar:** o Termo de Referência CGPEG/DILIC/IBAMA 002/13 solicita que de acordo com a possibilidade da presença de feições de fundo ativas na região deve-se elaborar estudo de dinâmica sedimentar nas regiões nas quais há pretensão de instalação de estruturas de fundo.

Para todos os parâmetros descritos para a área de estudo (subitens **B** a **D**), procurou-se descrever como são os comportamentos médios e, sequencialmente, como estes comportamentos médios são alterados..

A) Metodologia adotada

Todo o arcabouço teórico dos processos oceanográficos na PC, TC e OP foi obtido através da consulta bibliográfica. Além disso, utilizou-se um banco de dados com diversos parâmetros oceanográficos para auxiliarem a descrição dos processos correlacionados e importantes para o Projeto Etapa 2. As propriedades oceanográficas e a origem do banco de dados utilizado estão disponíveis na **Tabela II.5.1.2-1**. A localização geográfica das coletas dos parâmetros utilizados encontra-se na **Figura II.5.1.2-3**.

Tabela II.5.1.2-1 - Dados utilizados na caracterização oceanográfica da área de estudo.

Parâmetro	Fonte	Coordenadas (SIRGAS, 2000)		Intervalo de amostragem		Abrangência temporal
		Lat (°S)	Lon (°W)			
Correntes	WOCE ¹ - BW333 (1179 m)	27,90	46,70	2 h	Profundidade de amostragem 230, 475, 680 e 885 m	03/01/1991 - 26/11/1992
	WOCE ¹ - BM334 (2187 m)	28,00	46,30		230, 470, 870, 1370 e 2140 m	
	PETROBRAS – BS500 (500 m)	24,39	43,95	1 h	10 m	13/06/2008 - 11/02/2009
Temperatura e Salinidade	WOA09 ²	27,00 a 23,00	42,71	Radial Climatológica		Anual Verão Inverno
	WOCE ¹ (535 m)	27,82	47,03	Perfil vertical único		12/1992
	WOCE ¹ (758 m)	27,86	46,85			
	WOCE ¹ (1257 m)	27,91	46,66			
	WOCE ¹ (1699 m)	27,95	46,49			
	WOCE ¹ (2226 m)	27,99	46,31			
Nível do mar	GLOSS ³ – Ilha Fiscal	22,90	43,17	1 h		02/1963 – 11/2007
Ondas	Wave Watch III - NOAA ⁴	24,00	42,00	3 h		01/1997 – 12/2009

¹ - WOCE: World Ocean Circulation Experiment (WOCE). Dados disponíveis em <http://woce.nodc.noaa.gov/>

² - WOA09: World Ocean Atlas 2009. Dados disponíveis em http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA09/pr_woa09.html

³ - GLOSS: Global Sea Level Observing System. Dados disponíveis em <http://www.goosbrasil.org/en/products/gloss.php>.

⁴ - Wave Watch III NOAA. Dados disponíveis em <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/ensemble/download.shtml>

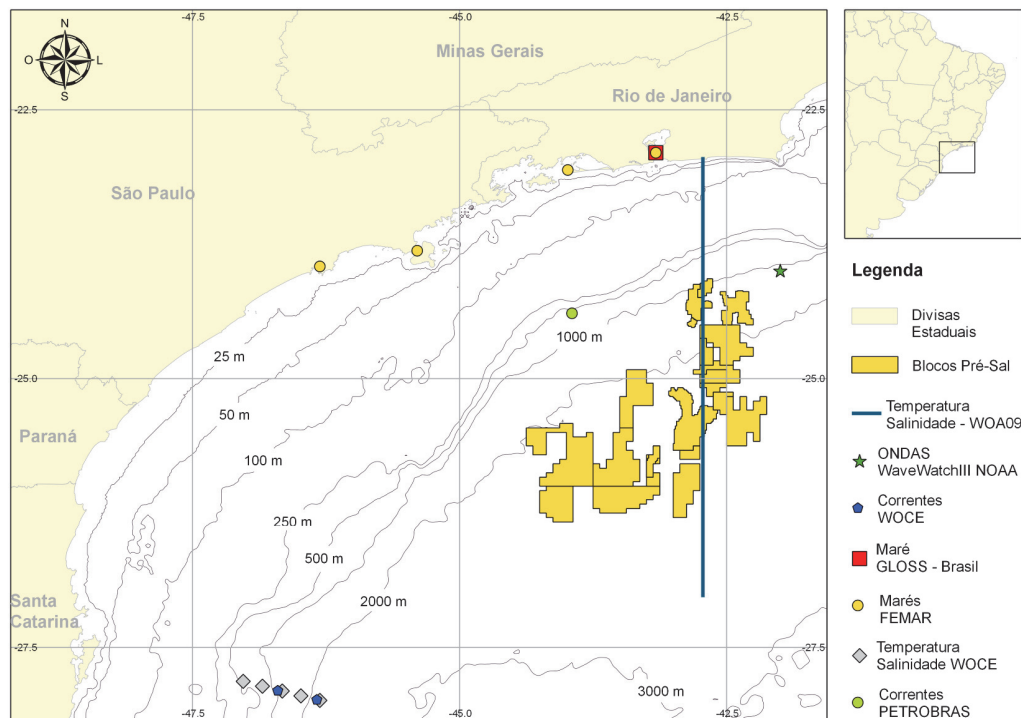


Figura II.5.1.2-3 – Localização dos pontos de amostragem dos parâmetros utilizados para a caracterização oceanográfica da região de estudo.

Além dos dados pontuais descritos acima, foram utilizadas outras bases de dados, principalmente para descrever a variação espacial das propriedades.

Para caracterizar a temperatura e a salinidade de forma espacial na área de estudo, tanto horizontal quanto verticalmente, foram utilizados dados de médias anuais, de inverno e de verão da base de dados *World Ocean Atlas 2009 - WOA09* (ANTONOV *et al.*, 2010; LOCARNINI *et al.*, 2010). O WOA09 é composto por diversas climatologias, incluindo as já consolidadas *Climatological Atlas of the World Ocean* (LEVITUS, 1982) e suas atualizações de 1994, 1998, 2001 e 2005, que contém dados do *National Oceanographic Data Center - NODC*, *World Data Center - WDC for Oceanography*, *Intergovernmental Oceanographic Commission - IOC*, *Global Oceanographic Data Archaeology*, *IOC*, *World Ocean Database project - WOD*, *IOC Global Temperature Salinity Profile Project - GTSP*, entre outros. Os dados de densidade foram obtidos a partir da equação de estado de Fofonoff (1985).

Para a variação do nível do mar na costa da área de estudo, foram utilizadas fichas das componentes harmônicas de maré para as estações maregráficas do Porto de Santos, Porto de São Sebastião, Marambaia e do Porto do Rio de Janeiro (Ilha Fiscal), disponibilizadas pela Fundação Estudo do Mar (FEMAR, 2002). Essas fichas apresentam também características gerais da maré (amplitudes da maré em período de sizígia – preamares e baixa-mares superiores – e quadratura – preamares e baixa-mares inferiores – além de dados sobre o nível médio). A localização de tais estações maregráficas está disponível na **Figura II.5.1.2-3**.

Para a região oceânica da área de estudo, foram confeccionados mapas cotidianos (elevação e fase) das quatro principais componentes astronômicas para a região do empreendimento, proveniente do modelo global inverso TPXO 7.2 (EUROFEEVA *et al.*, 2002), que calcula as amplitudes e fases das componentes de maré através das medições de altimetria por satélites .

Para a caracterização do regime de ondas na área de estudo foram utilizados dados do modelo global *WaveWatch III* (TOLMAN, 2002), desenvolvido pelo *Marine Modeling and Analysis Branch / Environmental Modeling Center* do NCEP, com resolução espacial de 1° e temporal de 8 h, com rodadas disponibilizadas pelo próprio centro. Foram utilizados dados desde 01/1997 a 12/2009 e

analisadas distribuições horizontais médias de direção, altura significativa e período de pico.

B) Hidrografia e hidrodinâmica da PC

Neste tópico são apresentadas as características da hidrografia (temperatura, salinidade e densidade da água do mar) e da hidrodinâmica na PC da área de estudo.

A PC da área de estudo é denominada Plataforma Continental Sudeste (PCS), e está compreendida entre Cabo Frio/RJ e Cabo de Santa Marta/SC, variando sua profundidade desde a linha de costa até aproximadamente 180 m (CASTRO, 1996).

Hidrografia

A PC da área de estudo pode ser compartimentada a partir de um critério dinâmico, definido inicialmente para a região Norte do estado de São Paulo por Castro (1996) e posteriormente estendida para toda a PCS por Rezende (2003), como:

- Plataforma Continental Interna - PCI: localizada entre a linha de costa e a Frente Térmica Profunda – FTP, região de separação entre as massas de água: Água Costeira - AC e Água Central do Atlântico Sul - ACAS. A localização da FTP, durante o verão, está entre 10-30 km da costa, entre as isóbatas de 20 a 40 m. No inverno, esta frente localiza-se a 40-80 km da costa, entre as isóbatas de 50 a 70 m;
- Plataforma Continental Média - PCM: localiza-se entre a FTP e a Frente Halina Superficial - FHS, que é a separação entre as massas de água AC da Água Tropical - AT. No verão, estende-se desde 10-30 km da costa até 60-80 km, entre as isóbatas de 20 a 40 m e 70 a 90 m, respectivamente. No inverno, ocupa a faixa entre 40-80 km e 60-80 km da costa;
- Plataforma Continental Externa - PCE: estende-se desde a FHS até a quebra da PC.

Esta compartimentação dinâmica pode ser visualizada na **Figura II.5.1.2-4**.

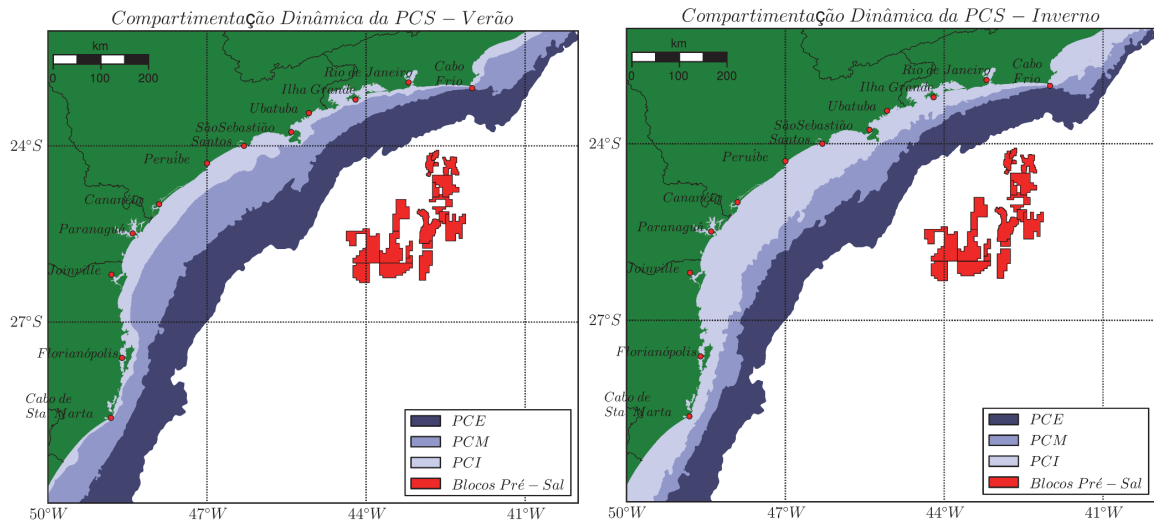


Figura II.5.1.2-4 – Compartimentação dinâmica da Plataforma Continental Sudeste, de acordo com Castro (1996) e Rezende (2003). Painel da esquerda representa situação de verão e o da direita, inverno. PCE: Plataforma Continental Externa; PCM: Plataforma Continental Média; PCI: Plataforma Continental Interna.

Desta maneira, e a partir de outros trabalhos como de Emilson (1962), Miranda (1982 e 1985), Castro *et al.* (1987) e Miranda & Katsuragawa (1991), as massas de água que ocupam a PCS são resultantes da mistura entre AT, ACAS e AC.

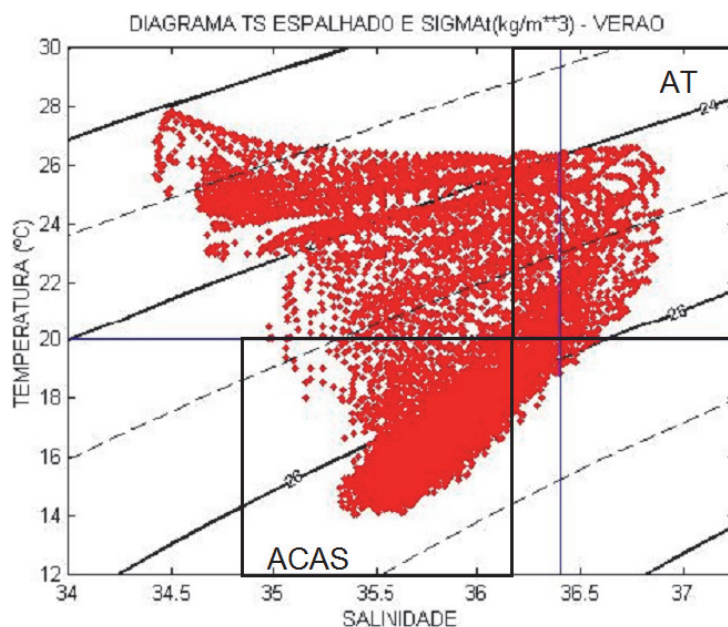
A AT e ACAS apresentam índices termohalinos bem definidos (**Tabela II.5.1.2-2**), diferentemente da AC, que é caracterizada por baixas salinidades, sendo resultado da mistura da descarga continental com as demais águas da PCS.

Tabela II.5.1.2-2 - Limites termohalinos das massas de água presentes na PC da área de estudo.

Massa de Água	Temperatura (° C)	Salinidade
AT	> 20,0	>36,2
ACAS	20,0 – 8,7	36,2 – 34,7

Fonte: SILVEIRA (2007)

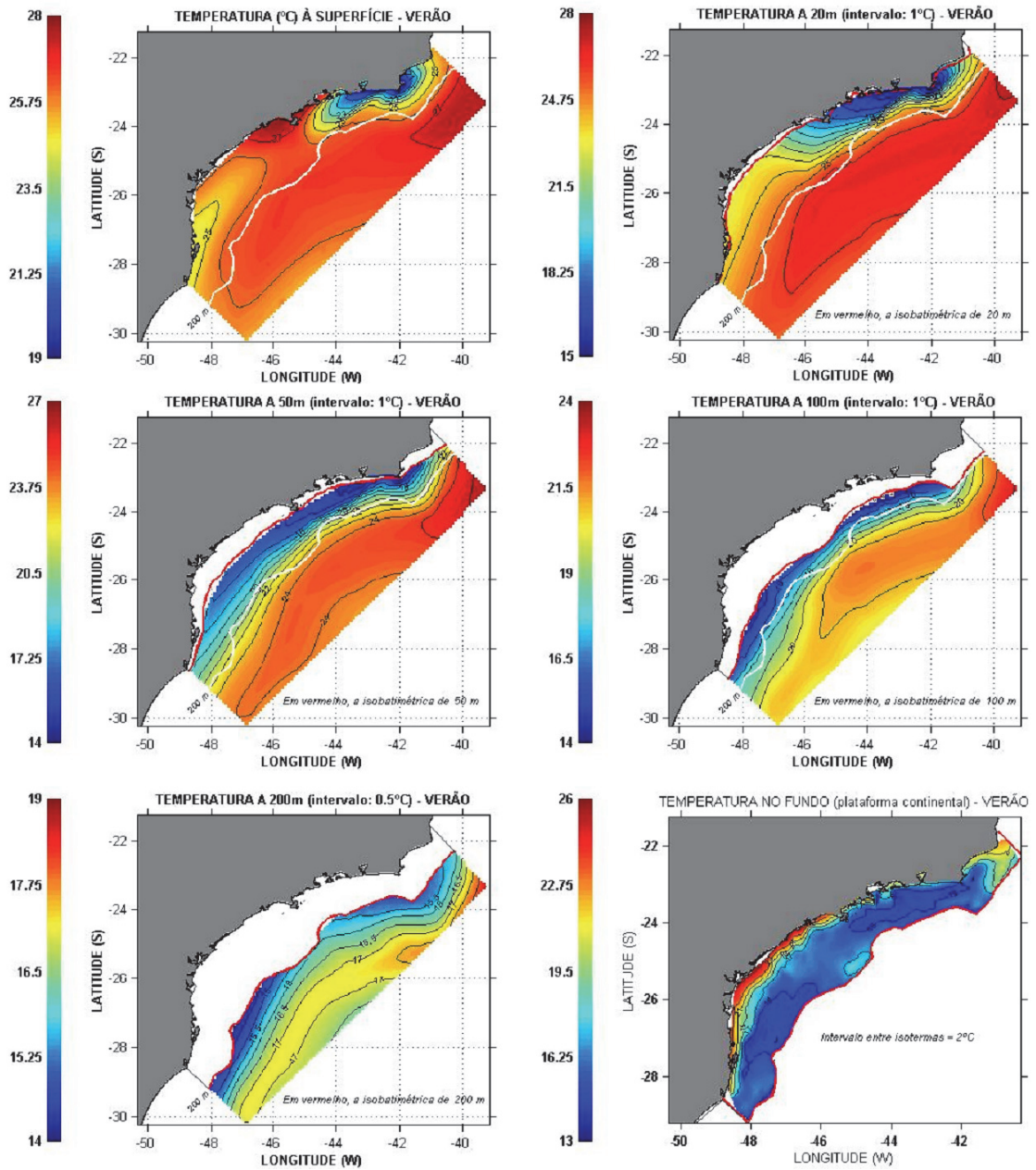
Rezende (2003) apresentou a mais completa climatologia de massas de água para a PCS, para o período de verão. A **Figura II.5.1.2-5** mostra um diagrama de estado, que mostra a relação entre o par temperatura-salinidade, deste estudo, destacando a presença das massas de água AT e ACAS na PCS.



Fonte: adaptado de Rezende (2003).

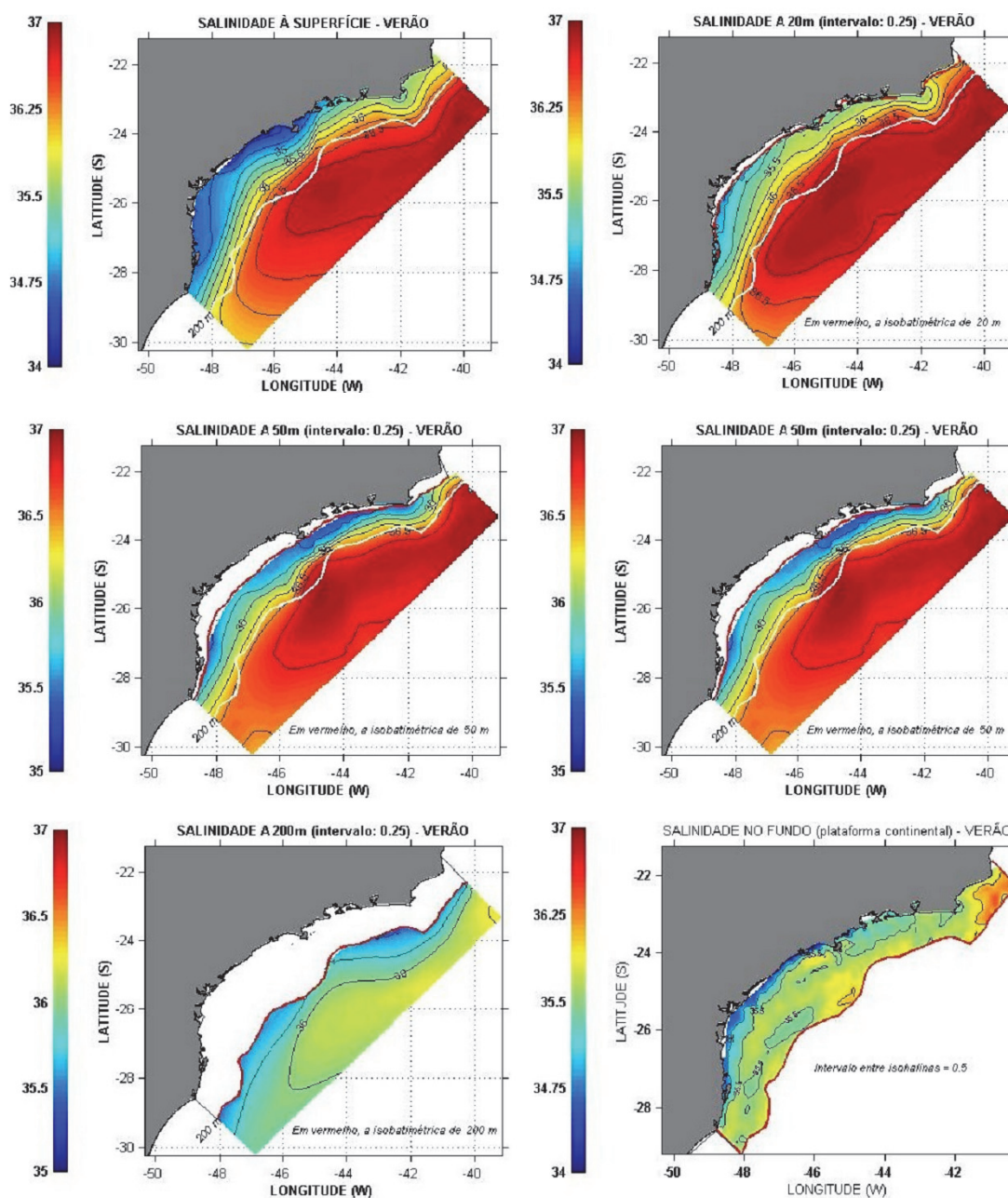
Figura II.5.1.2-5 – Diagrama TS climatológico de verão para a PCS a partir de dados coletados. ACAS: Água Central do Atlântico Sul; AT: Água Tropical.

Rezende (2003) apresentou ainda a distribuição horizontal e vertical média das propriedades temperatura e salinidade para toda a PCS nos meses de verão. Tais representações estão disponíveis na **Figura II.5.1.2-6** e na **Figura II.5.1.2-7**.



Fonte: adaptado de Rezende (2003).

Figura II.5.1.2-6 – Seções horizontais de temperatura, em superfície (superior esquerdo), 20 m (superior direito), 50 m (centro esquerdo), 100 m (centro direita), 200 m (inferior esquerdo) e no fundo da PCS (inferior direito).



Fonte: adaptado de Rezende (2003).

Figura II.5.1.2-7 – Seções horizontais de salinidade, em superfície (superior esquerdo), 20 m (superior direito), 50 m (centro esquerdo), 100 m (centro direita), 200 m (inferior esquerdo) e no fundo da PCS (inferior direito).

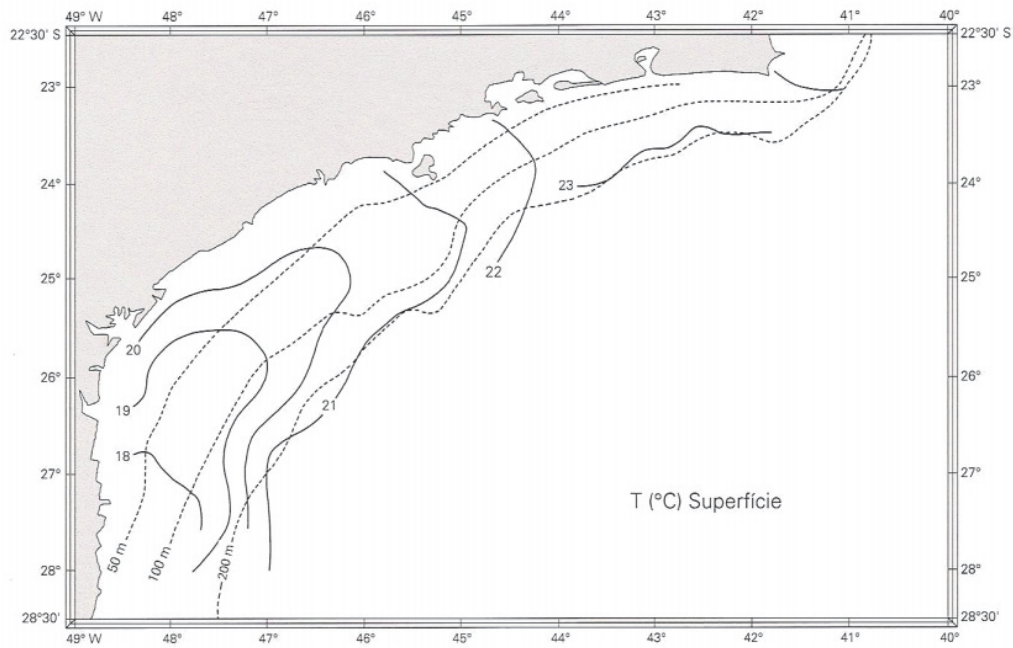
As distribuições médias de temperatura apresentadas por Rezende (2003) mostram que sobre a PCS, em superfície, a temperatura média apresenta valores superiores a 27 °C em duas regiões: ao largo da porção da plataforma

compreendida entre os cabos de São Tomé e Frio; e em seu centro, próximo a Santos e São Sebastião. Mínimos de temperatura são observados nas proximidades dos Cabos Frio (19,6 °C) e de Santa Marta (24,5 °C), sinalizando, respectivamente, as influências do afloramento da ACAS e da presença de águas provenientes do Sul do Brasil.

A área sob influência do afloramento da ACAS na superfície estende-se até as proximidades da Ilha de São Sebastião, e nela são observados os maiores valores de gradiente horizontal de temperatura (aproximadamente 1 °C/10 km, em Cabo Frio). Nos níveis inferiores observa-se a tendência das isotermas alinharem-se progressivamente com as isobatimétricas. A distribuição da temperatura média de verão sobre o fundo da PCS revela a presença de fortes gradientes horizontais em sua porção interna, até as imediações da isobatimétrica de 40 m.

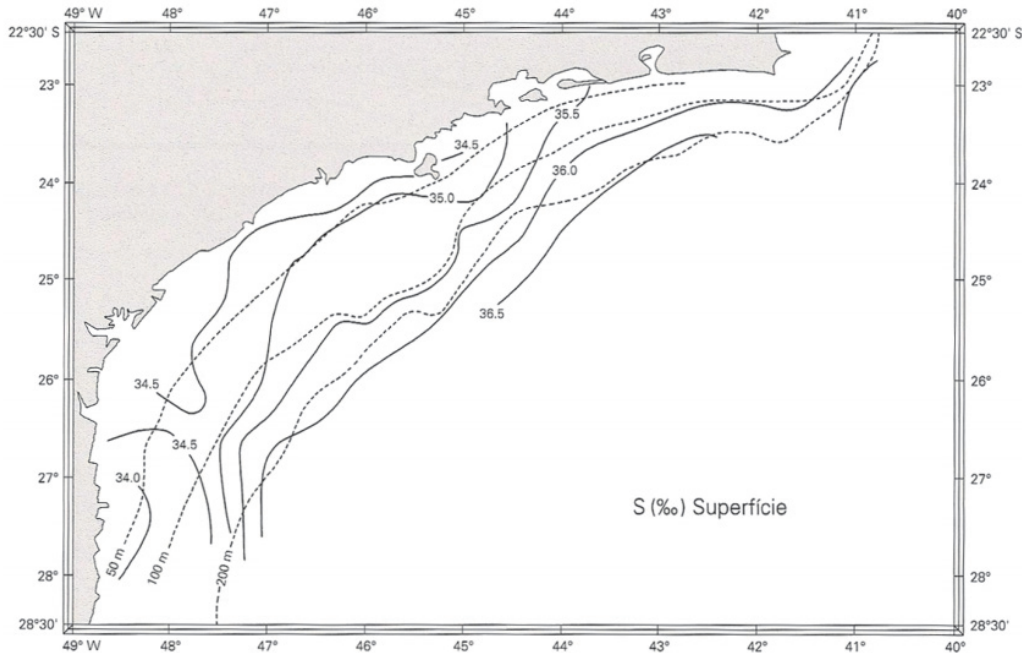
Sobre a salinidade, Rezende (2003) concluiu que a porção central da PCS apresenta águas superficiais menos salinas, próximo à costa. No trecho compreendido entre Cananéia e São Sebastião os valores de salinidade média são inferiores a 34,5, aumentando em direção à quebra da PC. Nas imediações da isobatimétrica de 100 m, a salinidade média é da ordem de 36,0. As isohalinas acompanham, em geral, a configuração das isobatimétricas, muito embora a região Norte da PCS se apresente mais salina (35,4 a 36,2) do que sua região Sul (34,7 a 36,0), reforçando a ação de águas mais frias e menos salinas provenientes do Sul do Brasil. Os maiores gradientes horizontais de salinidade superficial ocorrem nas imediações da isobatimétrica de 100 m, sendo mais intensos da imediações de São Sebastião para o Sul (cerca de 0,3/10 km) do que para a direção Norte.

Para o período de inverno os trabalhos climatológicos são mais escassos, destacando-se Castro & Miranda (1998) que propuseram distribuição superficial de temperatura e salinidade para esta estação (**Figura II.5.1.2-8** e **Figura II.5.1.2-9**). Comparativamente ao período de verão, estas figuras mostram que nesta época do ano não é registrado o afloramento da ACAS na porção Norte da PCS, e as águas na porção Sul são mais frias. Já a distribuição de salinidade é semelhante, com valores levemente superiores para a estação de inverno.



Fonte: Castro & Miranda (1998).

Figura II.5.1.2-8 – Distribuição horizontal superficial de temperatura para a Plataforma Continental Sudeste em período de inverno.



Fonte: Castro & Miranda (1998).

Figura II.5.1.2-9 – Distribuição horizontal superficial de salinidade para a Plataforma Continental Sudeste em período de inverno.

Dentre as principais características da estrutura termohalina apresentadas, destacam-se os mínimos de temperatura superficial: em situação de verão, os menores valores de temperatura média ($<21^{\circ}\text{C}$) ocorrem próximo à Cabo Frio - RJ, em razão da ressurgência (afloramento na superfície da ACAS); já em período de inverno este mínimo ocorre nas imediações do cabo de Santa Marta ($<18^{\circ}\text{C}$), evidenciando a ação de águas mais frias, provenientes do Sul do Brasil

Com relação à salinidade superficial, valores médios acima de 36 são encontrados no bordo exterior da plataforma continental, tanto em verão quanto no inverno, indicando a dominância da AT nessa região da PCS, nas duas estações. No verão, os menores valores ocorrem na porção interna da plataforma, notadamente em sua parte central (<33); no inverno, a plataforma continental interna apresenta valores médios de salinidade em torno de 34. Durante o inverno, as águas mais frias que provêm de Sul são também relativamente menos salinas (~ 34).

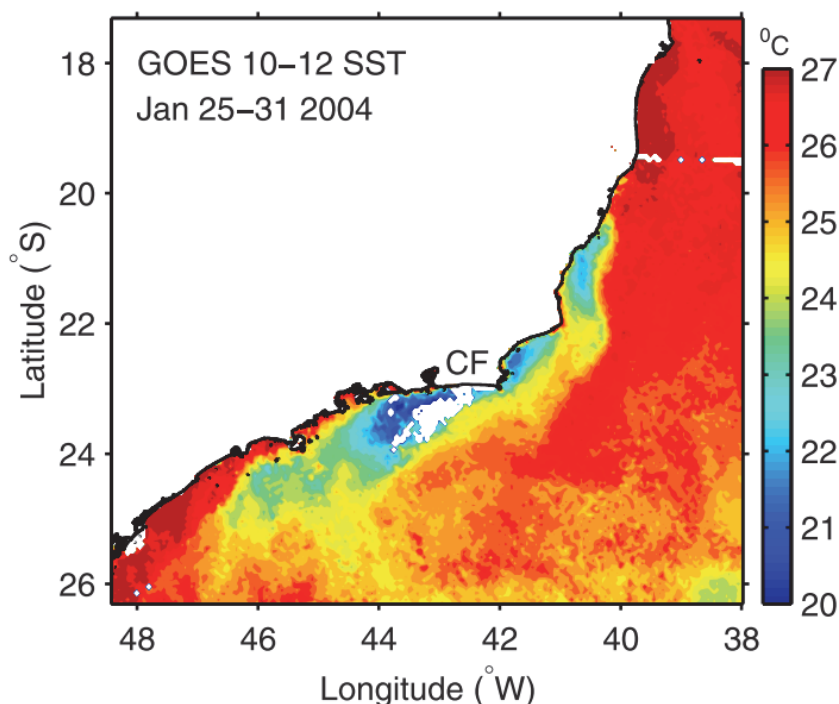
A ressurgência é um fenômeno que ocorre em mesoescala espacial (dezenas a centenas de quilômetros) e na escala temporal subinercial (dias, semanas) e está associado à ascensão da ACAS.

A ressurgência pode ser classificada em três categorias principais, de acordo com Smith (1968) e Hidaka (1972): costeira, de oceano aberto e equatorial. Sobre a PCS, a primeira é a mais destacada. Este fenômeno é classificado como ressurgência costeira quando movimentos ascendentes de massas de água têm sua influência nas proximidades da linha de costa, como acontece para a região de Cabo Frio, no verão. O mecanismo básico que origina a ressurgência costeira é a divergência unilateral, na costa, do transporte de deriva do vento.

Nas proximidades de Cabo Frio/RJ, especialmente no verão, ventos de E e de NE, geram um transporte de deriva das águas superficiais do oceano para regiões ao largo da costa. Este transporte ocorre nas primeiras dezenas de metros da coluna de água, a chamada camada de Ekman. A divergência unilateral desse transporte requer, por continuidade, um transporte de ajuste, em direção à costa, que ocorre em toda a coluna de água. Abaixo da camada de Ekman, o transporte de ajuste propicia penetração de massas de água subsuperficiais em direção à costa (na área de estudo esta massa de água subsuperficial na PC é a ACAS). Dependendo da intensidade e da persistência

dos ventos, as águas subsuperficiais podem aflorar, fechando então o ciclo da ressurgência costeira (CASTRO, 1996).

A visualização da temperatura da superfície do mar por meio de imagens de satélite que mostram águas mais frias nas proximidades de Cabo Frio/RJ, está disponível na **Figura II.5.1.2-10**.



Fonte: adaptado de Castelão & Barth (2006).

Figura II.5.1.2-10 – Temperatura da superfície do mar, proveniente do satélite GOES 10–12, média entre os dias 25-31 de janeiro de 2004, mostrando a ressurgência costeira próxima a Cabo Frio - CF/RJ. Cores brancas sobre o oceano indicam ausência de dados devido a nuvens.

Correntes

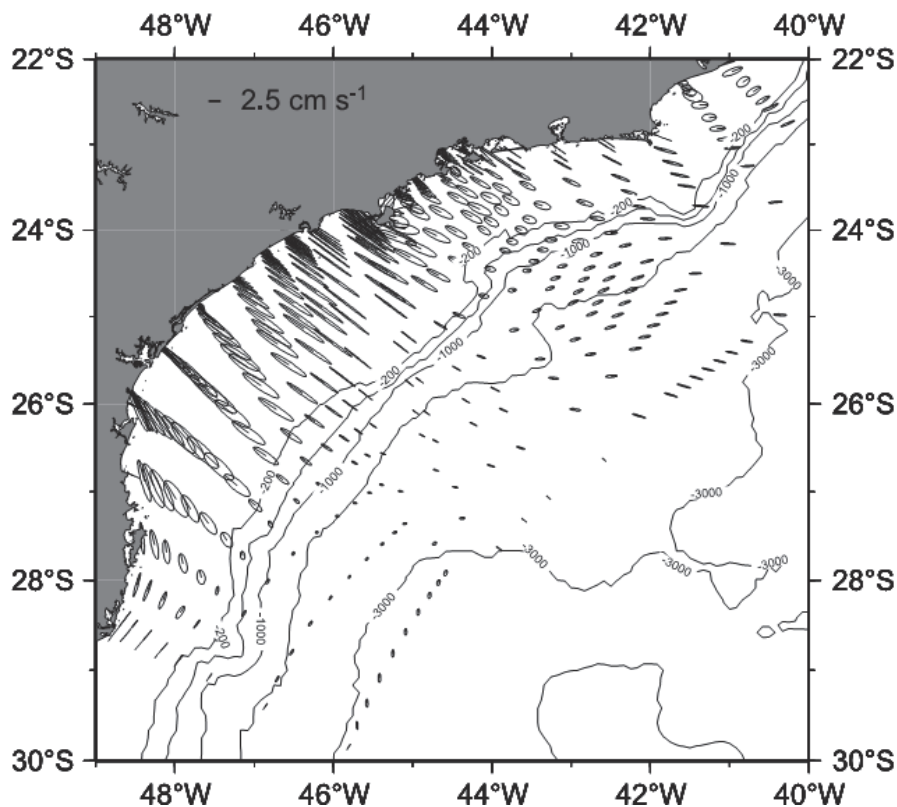
Para entender o comportamento das correntes sobre a PCS é importante destacar, novamente, as divisões dinâmicas para este compartimento em plataforma continental interna - PCI, plataforma continental média - PCM e plataforma continental externa – PCE (**Figura II.5.1.2-4**), propostas por Castro

(1996). Para cada um destes compartimentos as forçantes dos movimentos são distintas.

Além da divisão espacial é importante se destacar que os movimentos são regidos por suas escalas temporais significativas. Em oceanografia física as duas principais escalas são comumente descritas como suprainerciais e subinerciais. Basicamente estas duas escalas distinguem os movimentos que são ou não influenciados pela rotação da Terra, e o valor limite depende da latitude da região de estudo. Na região do empreendimento este valor é de aproximadamente 29,5 h. Desta maneira, os movimentos que apresentam períodos inferiores a 29,5 h, aproximadamente, são classificados como suprainerciais e os movimentos com períodos superiores a este valor de subinerciais.

Para a PCS, de acordo com Castro (1996), os movimentos suprainerciais são aqueles gerados ou influenciados pela ação da maré astronômica e pelas brisas marinhas e terrestres. Já os movimentos subinerciais são aqueles gerados ou influenciados pelos ventos médios, ventos de passagem de frentes frias, ciclones, variações laterais do campo de massa e escoamento de correntes de contorno, como a Corrente do Brasil - CB na PCE e TC.

Na banda suprainercial os movimentos mais estudados são os provenientes da ação da maré astronômica. Através de simulação numérica por modelos matemáticos, Pereira *et al.* (2007) propôs um mapa das elipses de marés para a PCS para a componente astronômica M_2 , que é a mais importante para região (detalhada adiante no tema **variação do nível do mar**), disponível na **Figura II.5.1.2-11**.



Fonte: Pereira et al. (2007).

Figura II.5.1.2-11 – Distribuição das elipses de maré da componente astronômica M2 na plataforma continental Sudeste.

Esta representação de Pereira *et al.* (2007) mostra que na região central da PCS os movimentos gerados pela maré são importantes na componente transversal a linha de costa, ou seja, os fluxos são sentido costa e largo, sequencialmente. Já para as extremidades Norte e Sul da PCS as elipses estão distribuídas denotando que as correntes de maré são importantes no sentido longitudinal, com fluxos sentido Nordeste e Sudoeste, sequencialmente. Contudo, nota-se que estes fluxos são extremamente reduzidos, na ordem de cm/s, com maiores valores próximos à linha de costa e diminuindo em direção ao TC e OP.

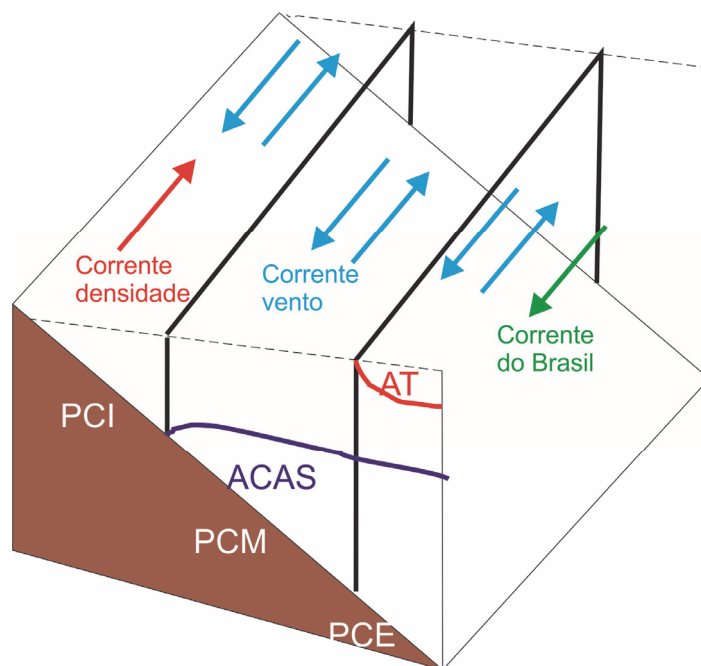
Para as correntes de frequência subinercial, na PCI, as correntes não sofrem influência direta da CB e, na banda de frequência sazonal, muito pouco ainda é conhecido sobre a circulação (CASTRO 1996). Alguns trabalhos observacionais (MATSUURA, 1975; LUEDEMANN, 1991; CASTRO & LEE, 1995; MAZZINI, 2009) e outros numéricos (CALDAS, 1978; REZENDE, 2003; COELHO, 2007;

RUFFATO, 2011), mostram que o fluxo predominante é sentido Nordeste, podendo estar associado ao gradiente de densidade formado pelas descargas dos sistemas estuarinos de Paranaguá, Cananéia e Santos, por exemplo, mas que em outras localidades podem ser influenciados pelo vento.

Castro (1996), ao largo de Ubatuba, em período de inverno verificou que na PCM o fluxo é predominantemente para Sudoeste, com inversões para Nordeste sendo frequentes. Mazzini (2009) em dados coletados entre Peruíbe e São Sebastião, no estado de São Paulo, mostra que ocorre uma tendência para as correntes sobre a PCM e a PCI apresentarem sentidos opostos em alguns períodos, e os movimentos são basicamente liderados pelo vento.

Para a porção mais externa da PCS, a PCE, autores como Moreira (1998) e Souza (2000) indicam que próximo à quebra da PCS a circulação predominante tem sentido Sudoeste, denotando a presença marcante da CB. Porções mais internas da PCE possuem alguma correlação com a circulação descrita para a PCM.

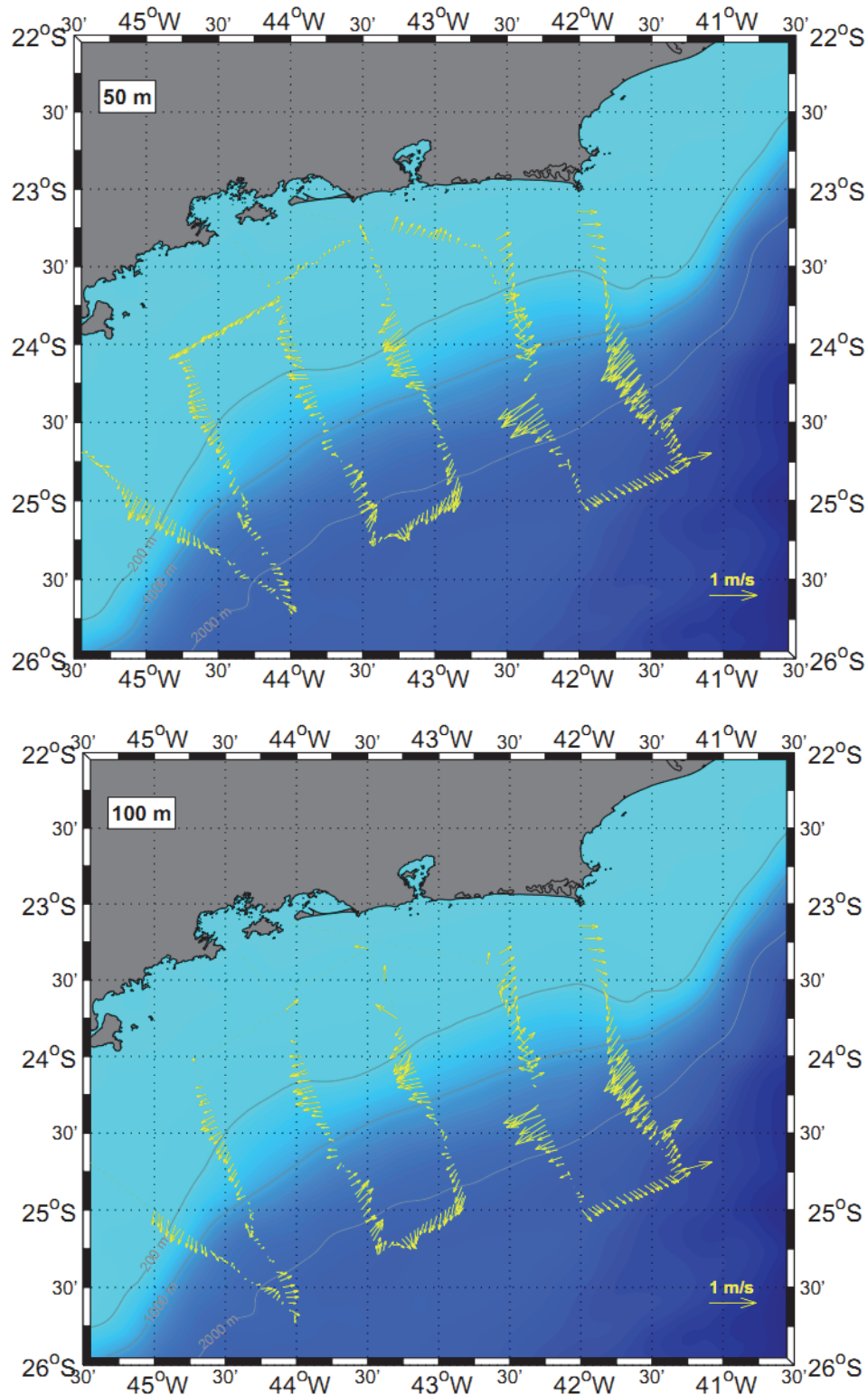
Desta maneira, a **Figura II.5.1.2-12** apresenta, esquematicamente, as divisões dinâmicas da PCS, mostrando quais são as massas de água em cada compartimento e as principais forçantes para as correntes subinerciais.



Fonte: adaptado de Castro (1996).

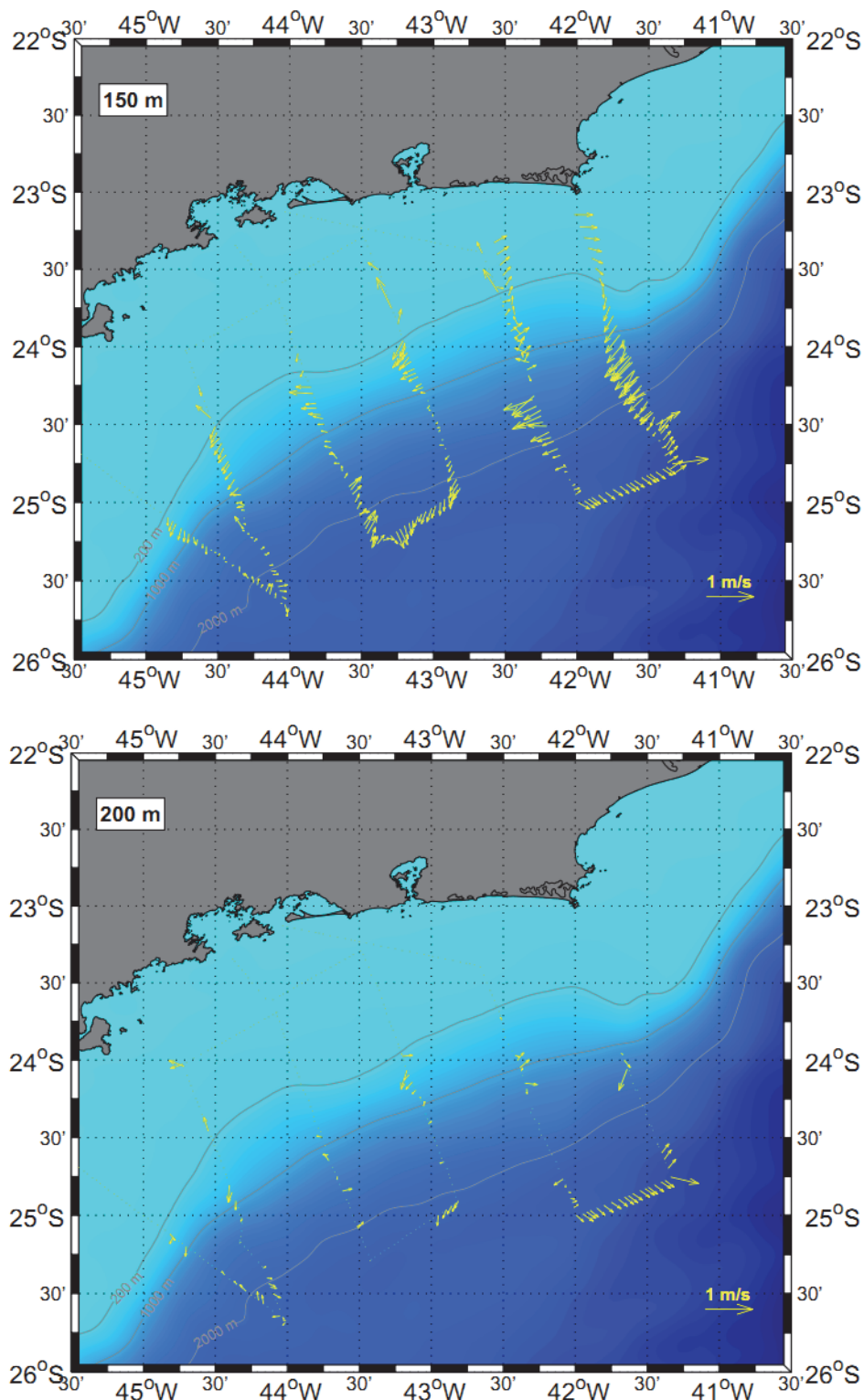
Figura II.5.1.2-12 – Esquema da compartimentação dinâmica da plataforma continental Sudeste. PCI: plataforma continental interna; PCM: plataforma continental média; PCE: plataforma continental externa; ACAS: Água Central do Atlântico Sul; AT: Água Tropical. A seta vermelha indica corrente gerada por gradiente de densidade, as setas azuis correntes forçadas pelo vento e a seta verde a Corrente do Brasil.

Pereira (2009) apresentou medições diretas realizadas na região do empreendimento entre os dias 22 e 29/09/2003, englobando regiões da PC, TC e OP. As medidas foram realizadas com um correntógrafo *Acoustic Doppler Current Profile* - ADCP instalado no casco do Navio Oceanográfico Wladimir Besnard, da Universidade de São Paulo. Foram apresentados resultados para as profundidades de 50 m e 100 m (**Figura II.5.1.2-13**) e 150 m e 200 m (**Figura II.5.1.2-14**). Nestes resultados, Pereira (2009) destaca, nas proximidades da superfície, correntes fluindo para o NE na PCI, e para SW na PCM, PCE e TC, confirmando as descrições anteriores.



Fonte: PEREIRA (2009)

Figura II.5.1.2-13 – Vetores de velocidade de corrente a 50 m (superior) e 100 m (inferior) obtidos entre os dias 22 e 29/09/2003.



Fonte: PEREIRA (2009)

Figura II.5.1.2-14 – Vetores de velocidade de corrente a 150 m (superior) e 200 m (inferior) obtidos entre os dias 22 e 29/09/2003.

Variação do nível do mar

Para a caracterização do nível do mar na região costeira e na PC na área de estudo são apresentadas análises harmônicas fornecendo as principais componentes astronômicas e suas respectivas amplitudes e fases a partir de publicação da Fundação Estudos do Mar - FEMAR, nos locais apresentados na **Figura II.5.1.2-3**, e análise de dados coletados *in situ* em uma estação maregráfica na Ilha Fiscal/RJ, pelo projeto GLOSS – Brasil (*Global Sea Level Ocean Observation*) - **Figura II.5.1.2-3** e **Tabela II.5.1.2-1**.

Da **Figura II.5.1.2-15** até a **Figura II.5.1.2-18** são apresentadas, respectivamente, as componentes harmônicas para as estações maregráficas do Porto de Santos, Porto de São Sebastião, de Marambaia e do Porto do Rio de Janeiro (Ilha Fiscal), disponibilizadas pela FEMAR, bem como as características gerais da maré (amplitudes da maré em período de sizígia – preamares e baixamares superiores – e quadratura – preamares e baixamares inferiores – além de dados sobre o nível médio).

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

Nome da Estação : SANTOS (PORTO) – SP					
Localização : Na torre de passagem dos cabos elétricos pelo canal (Torre Grande)					
Organ. Responsável : INPH / CODESP / DHN					
Latitude : 23° 57,3' S		Longitude : 46° 18,6' W			
Período Analisado : 01/01/56 a 23/12/56			Nº de Componentes : 32		
Análise Harmônica : Método Tidal Liverpool Institute					
Classificação : Maré de Desigualdades Diurnas					
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		II H 55 min	Nível Médio (Zo):		77 cm acima do NR.
Média das Preamares Superiores (MHHW) :		141 cm acima do NR.	Média das Preamares Inferiores (MLHW) :		130 cm acima do NR.
Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :		29 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) :		7 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	10,2	025	MU ₂	2,1	122
Ssa	5,0	180	N ₂	5,4	149
Mm	4,2	289	NU ₂	0,4	139
Mf	1,7	141	M ₂	36,4	088
MTM	-	-	L ₂	1,6	037
Msf	1,5	121	T ₂	0,8	020
Q ₁	2,5	058	S ₂	22,5	091
O ₁	11,5	081	K ₂	7,4	082
M ₁	0,8	095	MO ₃	0,7	096
P ₁	2,3	136	M ₃	4,9	234
K ₁	6,3	143	MK ₃	2,5	117
J ₁	0,8	192	MN ₄	1,3	318
OO ₁	0,2	133	M ₄	2,6	355
MNS ₂	0,2	189	SN ₄	0,6	061
2N ₂	2,0	149	MS ₄	2,2	143
Referências de Nível: RN Alfândega, situada na Praça da República, no meio fio em frente ao prédio da Delegacia da Receita Federal (antiga Alfândega). RN 2 implantada na sapata da torre do lado do porto.					
Obs: Outros Períodos: 01/01/51 a 04/01/51; 14/11/59 a 15/12/59; 07/02/78 a 23/02/78; 27/02/78 a 27/03/78; 05/09/95 a 07/10/95. Existem outros períodos no INPH e na CODESP Consta das Tábuas das Marés.					

Código BNDO: 50225

Fonte: Fundação de Estudo do Mar (FEMAR)

Figura II.5.1.2-15 – Componentes harmônicas de elevação do nível do mar para a estação de Santos - SP (Porto). Componentes com o índice 1 correspondem a oscilações diurnas; índice 2 semidiurnas; índice 3 terçidiurnas e 4, quadridiurnas. As demais representam componentes de longo período.

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

Nome da Estação : SÃO SEBASTIÃO (PORTO) – SP					
Localização : No Cais do Porto					
Organ. Responsável : DHN					
Latitude : 23° 48,6' S		Longitude : 45° 23,9' W			
Período Analisado : 01/12/72 a 01/01/73			Nº de Componentes : 36		
Análise Harmônica : Método Almirante Santos Franco					
Classificação : Maré de Desigualdades Diurnas					
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		II H 46 min	Nível Médio (Zo):		66 cm acima do NR.
Média das Preamares Superiores (MHHW) :		124 cm acima do NR.	Média das Preamares Inferiores (MLHW) :		102 cm acima do NR
Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :		24 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) :		14 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	3,8	140
Ssa	-	-	N ₂	2,7	102
Mm	13,9	258	NU ₂	0,5	102
Mf	-	-	M ₂	30,1	075
MTM	-	-	L ₂	1,2	122
Msf	10,4	128	T ₂	1,0	089
Q ₁	3,2	048	S ₂	16,9	089
O ₁	11,2	079	K ₂	4,6	089
M ₁	0,7	036	MO ₃	0,2	199
P ₁	2,0	135	M ₃	2,3	203
K ₁	6,1	135	MK ₃	1,7	098
J ₁	0,3	312	MN ₄	2,3	307
OO ₁	0,1	098	M ₄	5,1	352
MNS ₂	-	-	SN ₄	0,2	181
2N ₂	0,4	129	MS ₄	3,1	088
Referências de Nível: RN-1 situada próxima à guarita do cais comercial. RN-2 localizada na extremidade sul do cais.					
Obs: Outros Períodos : 21/07/35 a 18/08/35; 18/08/61 a 18/09/61; 01/04/91 a 01/05/91. Consta das Tábuas das Marés.					

Código BND0: 50210

Fonte: Fundação de Estudo do Mar (FEMAR)

Figura II.5.1.2-16 – Componentes harmônicas de elevação do nível do mar para a estação de São Sebastião - SP (Porto). Componentes com o índice 1 correspondem a oscilações diurnas, índice 2 semidiurnas; índice 3 terçidiurnas e 4, quadriurnas. As demais representam componentes de longo período.

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

Nome da Estação : MARAMBAIA – RJ					
Localização : Baía de Sepetiba – Na ponte de atracação da Ponta do Zumbi					
Organ. Responsável : DHN .					
Latitude : 23° 03,5' S		Longitude : 43° 59,3' W			
Período Analisado : 30/08/73 a 30/09/73		Nº de Componentes : 36			
Análise Harmônica : Método Tidal Liverpool Institute					
Classificação : Maré de Desigualdades Diurnas					
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		III H 01 min	Nível Médio (Zo):		66 cm acima do NR.
Média das Preamares Superiores (MHHW) :		119 cm acima do NR.	Média das Preamares Inferiores (MLHW) :		103 cm acima do NR
Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :		31 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) :		11 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	5,1	204
Ssa	-	-	N ₂	10,0	142
Mm	12,0	244	NU ₂	1,9	141
Mf	-	-	M ₂	28,6	088
MTM	-	-	L ₂	3,0	187
Msf	19,0	210	T ₂	1,0	086
Q ₁	4,4	076	S ₂	16,5	086
O ₁	11,8	094	K ₂	4,5	086
M ₁	0,8	285	MO ₃	1,0	193
P ₁	2,2	178	M ₃	1,9	258
K ₁	6,6	178	MK ₃	1,8	054
J ₁	1,0	004	MN ₄	1,3	100
OO ₁	2,1	278	M ₄	6,1	106
MNS ₂	-	-	SN ₄	2,4	204
2N ₂	1,3	196	MS ₄	2,7	217
Referências de Nível: RN piquete de madeira situado no centro da cabeceira da ponte.					
Obs: Outros Períodos : 09/02/79 a 12/03/79					

Código BNDO: 50187

Fonte: Fundação de Estudo do Mar (FEMAR)

Figura II.5.1.2-17 – Componentes harmônicas de elevação do nível do mar para a estação da Marambaia - RJ. Componentes com o índice 1 correspondem a oscilações diurnas; índice 2 semidiurnas; índice 3 terçidiurnas e 4, quadridiurnas. As demais representam componentes de longo período.

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

Nome da Estação :		PORTO DO RIO DE JANEIRO (Ilha Fiscal) – RJ			
Localização :		Na quina Leste da Ilha Fiscal			
Organ. Responsável :		DHN .			
Latitude :		22° 53,8' S	Longitude :		43° 09,9' W
Período Analisado :		01/01/65 a 31/12/65	Nº de Componentes :		60
Análise Harmônica :		Método Tidal Liverpool Institute			
Classificação :		Maré de Desigualdades Diurna			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		II H 12 min	Nível Médio (Zo):		69 cm acima do NR.
Média das Preamares Superiores (MHHW) :		124 cm acima do NR.	Média das Preamares Inferiores (MLHW) :		113 cm acima do NR.
Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :		29 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) :		10 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	2,7	021	MU ₂	1,1	156
Ssa	1,5	320	N ₂	2,6	174
Mm	1,8	096	NU ₂	1,5	163
Mf	2,3	126	M ₂	31,8	093
MTM	-	-	L ₂	1,4	046
Msf	3,1	162	T ₂	0,9	119
Q ₁	2,6	110	S ₂	17,9	088
O ₁	9,2	104	K ₂	5,7	018
M ₁	0,7	089	MO ₃	0,3	321
P ₁	2,1	138	M ₃	0,7	202
K ₁	6,2	144	MK ₃	0,4	117
J ₁	0,7	044	MN ₄	2,0	224
OO ₁	0,4	274	M ₄	4,8	096
MNS ₂	0,7	125	SN ₄	0,4	204
2N ₂	1,0	236	MS ₄	3,1	186
Referências de Nível: RN-1 marco de metal encravado na parede interna do torreão da Ilha Fiscal.					
Obs: Existem na DHN outras observações, a partir de 1946. Consta das Tábuas das Marés					

Código BNDO: 50140

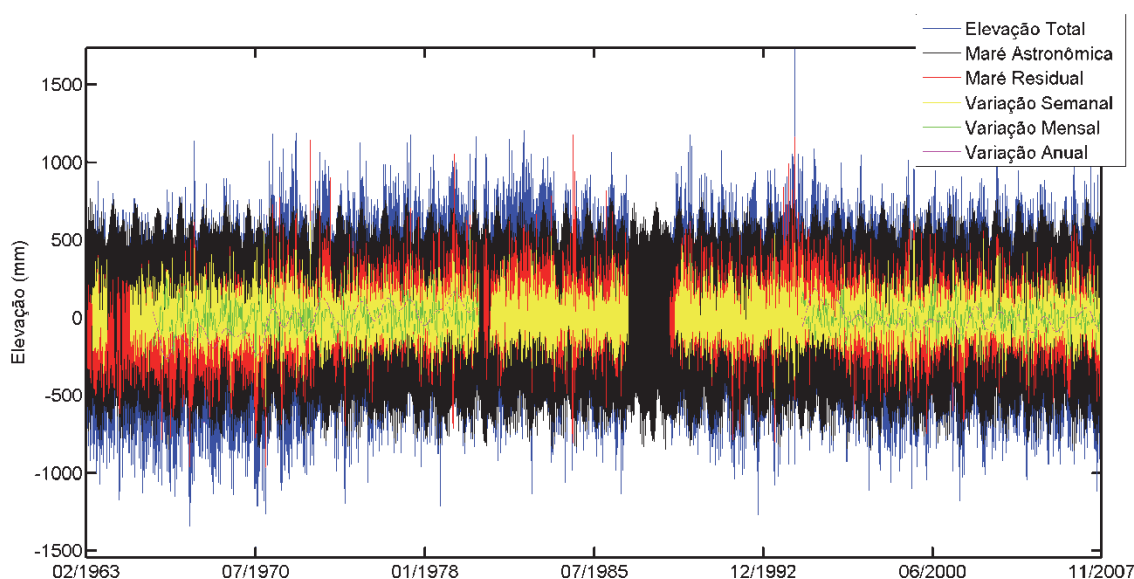
Fonte: Fundação de Estudo do Mar (FEMAR)

Figura II.5.1.2-18 – Componentes harmônicas de elevação do nível do mar para a estação Ilha Fiscal (Porto do Rio de Janeiro/RJ). Componentes com o índice 1 correspondem a oscilações diurnas; índice 2 semidiurnas; índice 3 terçidiurnas e 4, quadridiurnas. As demais representam componentes de longo período.

De acordo com estas figuras, nestas estações costeiras da área de estudo, as amplitudes médias entre as baixamares superiores e preamares inferiores (período de quadratura) são de: 101 cm, 78 cm, 72 cm e 84 cm, respectivamente. Já as amplitudes entre baixamares inferiores e preamares superiores (período de sizígia) são de, respectivamente, 134 cm, 110 cm, 108 cm e 114 cm. A maré em todas as estações é classificada como semidiurna (duas preamares e duas baixamares em um período de 24 h) de desigualdades diurnas.

As principais componentes astronômicas de maré, em significância de amplitude, são M_2 (lunar semidiurna), S_2 (solar semidiurna), O_1 (lunar diurna) e K_1 (lunisolar diurna).

A **Figura II.5.1.2-19** apresenta a variação do nível do mar para a estação costeira da Ilha Fiscal. Os dados apresentam cobertura temporal de 02/1963 a 11/2007, com intervalo amostral de 1 h.



Fonte de dados: Estação maregráfica do Porto do Rio de Janeiro (GLOSS-Brasil)

Figura II.5.1.2-19 – Variação do nível do mar (azul) para a estação costeira da Ilha Fiscal/RJ, entre fevereiro de 1963 e novembro de 2007.

A partir da técnica de análise harmônica de maré, é possível conhecer as componentes astronômicas que influenciam na variação do nível do mar e prever sua elevação devido a estas componentes. Com a identificação das componentes

astronômicas, é possível filtrá-las e identificar a variação do nível do mar residual, isto é, a variação da superfície do mar não associada a fenômenos astronômicos.

A variação residual, identificada por meio de filtragem de dados com filtro lanczos-quadrado (WALTER & HESTON, 1982), pode ser compartimentada entre variações da ordem de semanas, meses e anos. As variações semanais estão associadas a efeitos meteorológicos, como passagem de frentes frias. Já as variações mensais e anuais estão associadas a sazonalidade ou a outros fenômenos interanuais.

A análise harmônica da variação total do nível do mar (**Figura II.5.1.2-19**) apresentou 52 componentes significativas (nível de confiança de 95%), obtendo-se os mesmos resultados apresentados na **Figura II.5.1.2-16**.

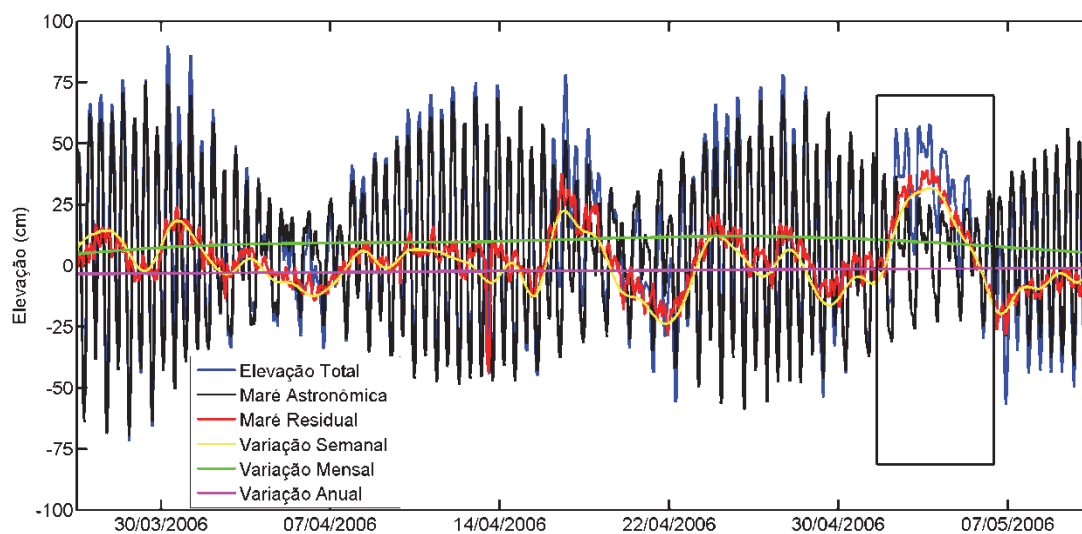
A **Tabela II.5.1.2-3** apresenta as estatísticas básicas dos dados de elevação do nível do mar na estação maregráfica da Ilha Fiscal. É possível identificar que a componente astronômica é responsável por 72,7% de toda a variância total, sendo que o restante (maré residual) está associado a fenômenos de frequência semanal (13,3%), mensal (7,7%) e anual (6,3%).

Tabela II.5.1.2-3 – Estatísticas associadas a elevação do nível do mar na estação maregráfica da Ilha Fiscal/ RJ.

	Mínimo		Máximo		Desvio Padrão (cm)	% da Variância Total
	(cm)	Data	(cm)	Data		
Elevação Total	-154	19/07/1970 13 h	174	11/05/1994 19 h	34	
Maré Astronômica	-85		78		29	72,7
Maré Residual	-97	20/07/1967 7 h	144	14/12/1972 7 h	18	27,3
Variação Semanal	-63	19/07/1967 21 h	69	14/12/1972 3 h	12	13,3
Variação Mensal	-60		30		8	7,7
Variação Anual	-26		19		9	6,3

Fonte: Estação maregráfica do Porto do Rio de Janeiro (GLOSS-Brasil)

A maré residual está associada principalmente à variação semanal, com altura máxima de 69 cm. A **Figura II.5.1.2-20** mostra um período específico da base de dados que demonstra que, em algumas situações, a maré residual pode apresentar maior altura que a astronômica.

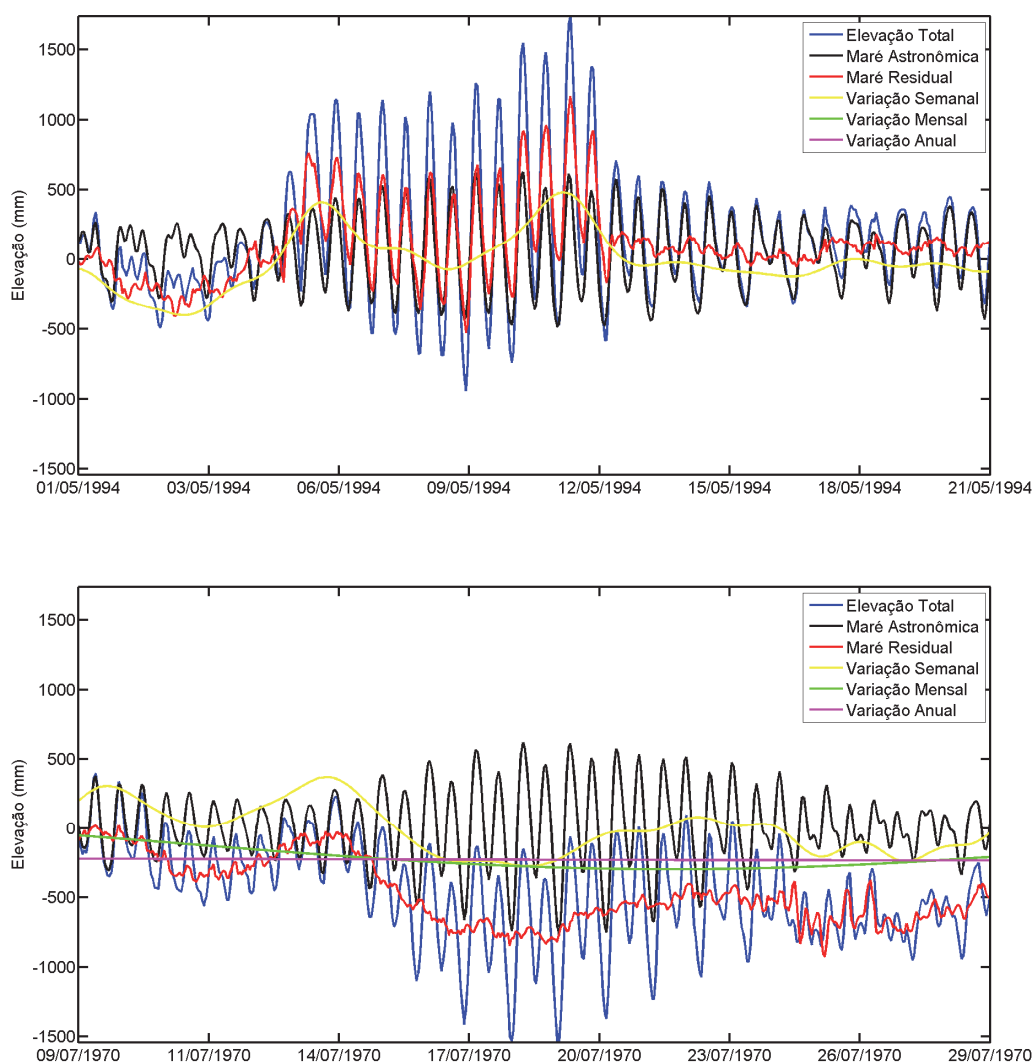


Fonte de dados: Estação maregráfica do Porto do Rio de Janeiro (GLOSS-Brasil)

Figura II.5.1.2-20 – *Variação do nível do mar para a estação costeira da Ilha Fiscal (RJ), entre abril e maio de 2006. O quadrado indica um período em que a maré residual foi superior à maré astronômica.*

Os máximos e mínimos da maré astronômica estão associados ao período de sizígia e quadratura de maré. Segundo a FEMAR, para a estação maregráfica da Ilha Fiscal, a amplitude média entre as baixa-mares superiores e preamares inferiores (período de quadratura) é de 84 cm. Já a amplitude média entre baixa-mares inferiores e preamares superiores (período de sizígia) é 114 cm (**Figura II.5.1.2-20**).

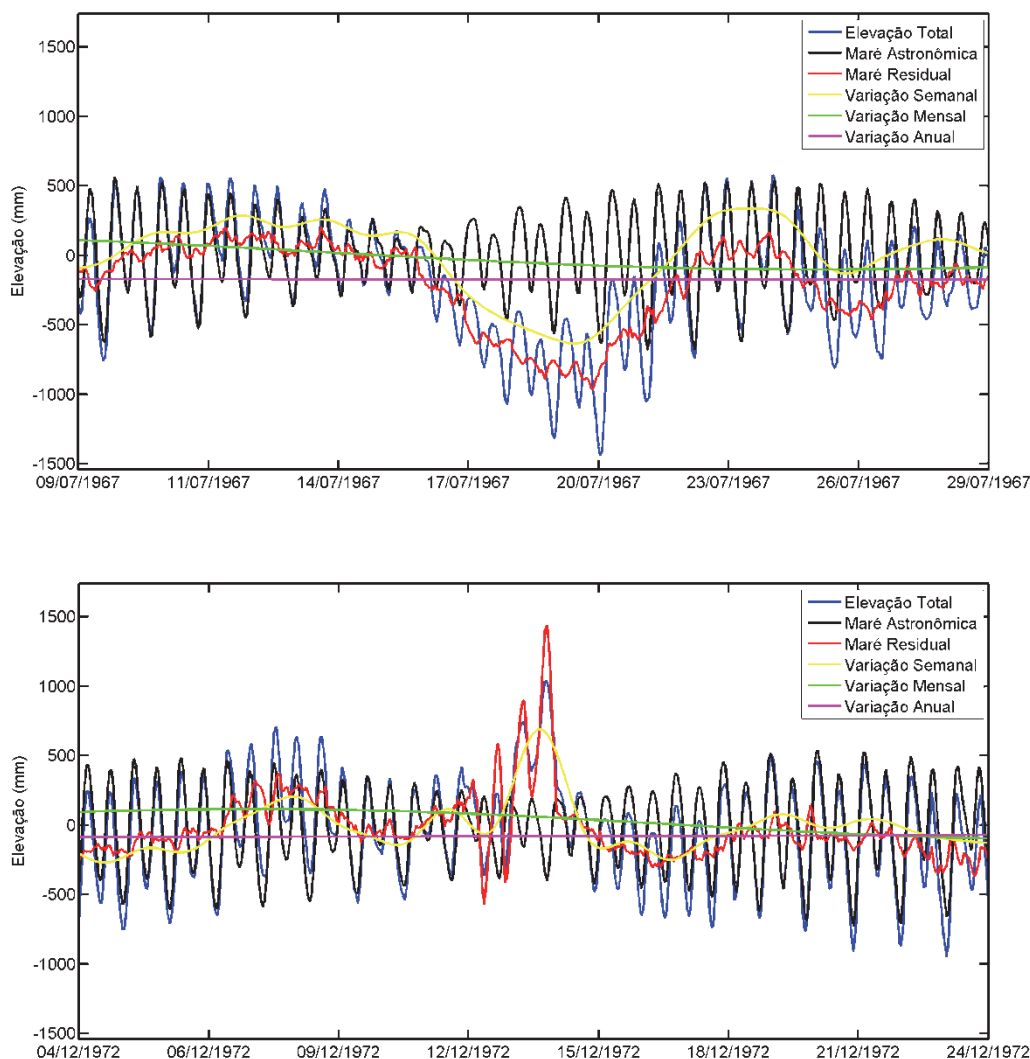
A elevação total é a somatória de todas as componentes da maré (residual e astronômica). Portanto, a elevação total é máxima quando coincide a preamar superior da maré astronômica de sizígia com aumento da maré residual. Já a elevação mínima está associada à ocorrência conjunta da baixa-mar de maré de sizígia com diminuição da maré residual. A **Figura II.5.1.2-21** apresenta os períodos da série temporal analisada onde ocorreram os máximos e os mínimos da elevação total, conforme **Tabela II.5.1.2-3**.



Fonte de dados: Estação maregráfica do Porto do Rio de Janeiro (GLOSS-Brasil)

Figura II.5.1.2-21 – Elevações do nível do mar na estação maregráfica da Ilha Fiscal/RJ. Nos painéis superior e inferior são apresentados os períodos em que a elevação do nível do mar é mínima e máxima, respectivamente, considerando-se toda a série de dados analisada, entre fevereiro de 1963 e novembro de 2007.

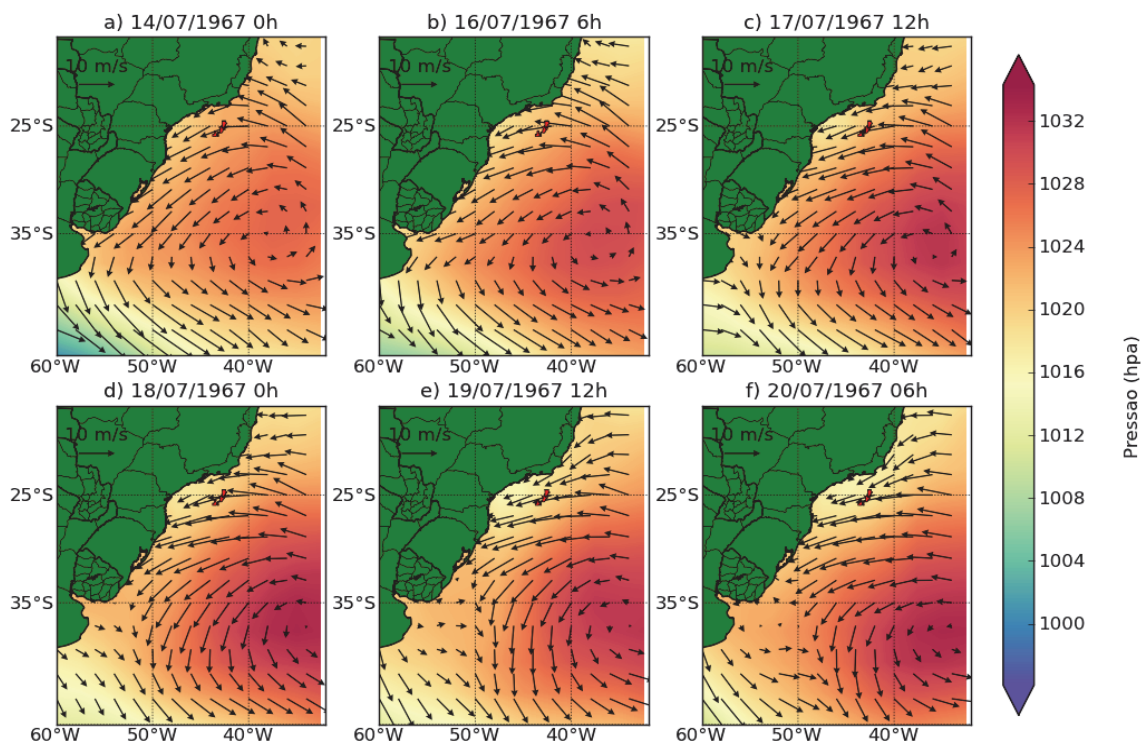
A **Figura II.5.1.2-22** apresenta os momentos de elevação máxima e mínima da maré residual e da variação que ocorre em períodos de ordem semanal, os quais, conforme pode ser verificado na **Tabela II.5.1.2-3**, ocorrem na mesma data.



Fonte de dados: Estação maregráfica do Porto do Rio de Janeiro (GLOSS-Brasil).

Figura II.5.1.2-22 – Elevações do nível do mar na estação maregráfica da Ilha Fiscal/RJ. No painel superior e inferior são apresentados os períodos em que a elevação do nível do mar residual é mínima e máxima, respectivamente, considerando-se toda a série de dados analisada, entre fevereiro de 1963 e novembro de 2007.

Como descrito anteriormente, a variação do nível do mar em períodos semanais está correlacionada a variações atmosféricas na região. A **Figura II.5.1.2-23** apresenta instantes do campo de vento e pressão em superfície (NCEP/NCAR) no período de ocorrência do mínimo de nível residual.

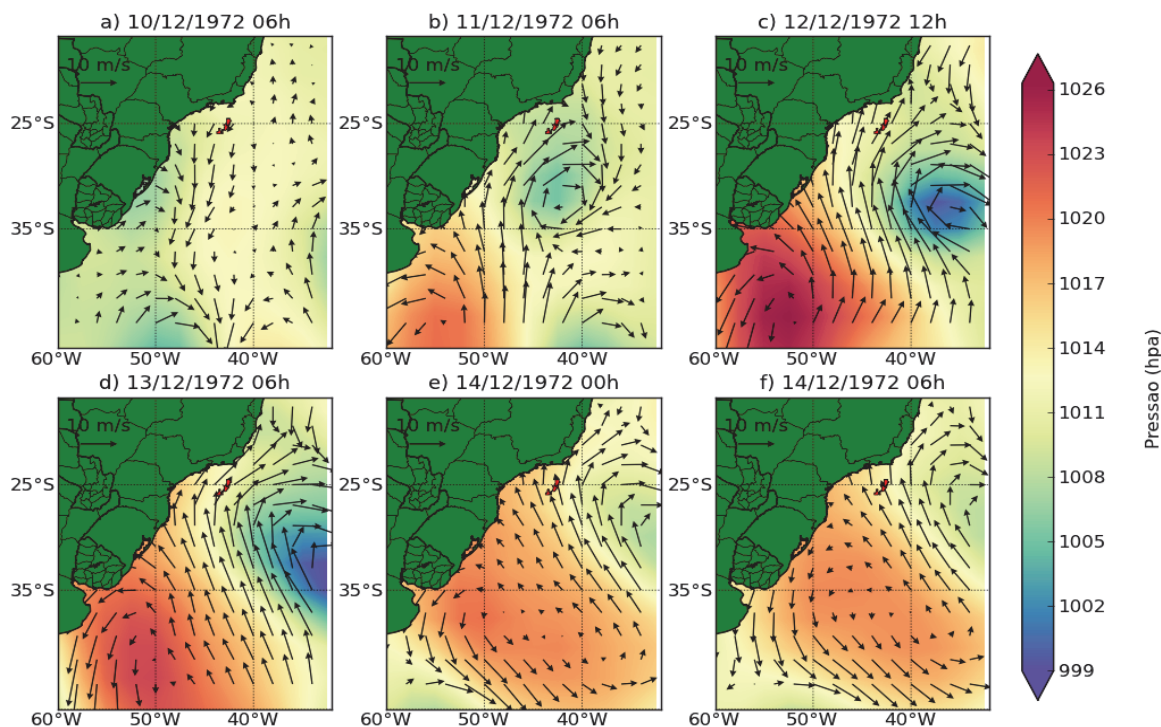


Fonte de dados: NCEP/NCAR.

Figura II.5.1.2-23 – Campo de ventos (vetores) e pressão em superfície (cores), no período de 14 a 20 de julho de 1967.

Para o instante de mínima elevação da maré residual é possível observar um sistema de alta pressão atuante de 14/07/1967 a 20/07/1967. Os ventos possuem direção predominantemente de Nordeste.

A **Figura II.5.1.2-24** apresenta instantes do campo de vento e pressão em superfície (NCEP/NCAR) no período de ocorrência do máximo de nível residual.



Fonte de dados: NCEP/NCAR

Figura II.5.1.2-24 – Campo de ventos (vetores) e pressão (cores), no período de 10 a 14 de dezembro de 1972.

Para o instante de máxima elevação da maré residual, é possível observar nos campos de pressão e ventos o deslocamento de um sistema de baixa pressão atmosférica, associado a ventos do quadrante Sul, dias antes do evento. Este centro de baixa pressão fica estacionário nos dois dias antecedentes ao evento, deslocando-se, posteriormente para o oceano.

Tanto a ocorrência do mínimo, quanto a do máximo de nível do mar residual na região podem ser explicadas pela interferência atmosférica sobre o oceano, demonstrada na **Figura II.5.1.2-23** e na **Figura II.5.1.2-24**. De acordo com a dinâmica clássica de Ekman, para a região do empreendimento, nas primeiras dezenas de metros superficiais da coluna de água, as correntes são alteradas pelo vento. Esta influência resulta em um transporte de água, nesta parcela, orientado 90° à esquerda da direção do vento.

Desta maneira, os ventos de Sul/Sudoeste na região Sudeste do Brasil, apresentados na **Figura II.5.1.2-24**, induzem a formação de um transporte de deriva do vento nas camadas superiores do oceano convergindo para a costa,

fazendo com que ocorra um empilhamento de água e, por consequência, aumento do nível do mar.

Já para o evento apresentado na **Figura II.5.1.2-23** ocorre o inverso pois, o vento proveniente de Nordeste/Leste na região Sudeste do Brasil provoca um transporte de água nas camadas superiores do oceano para o largo da costa, rebaixando o nível.

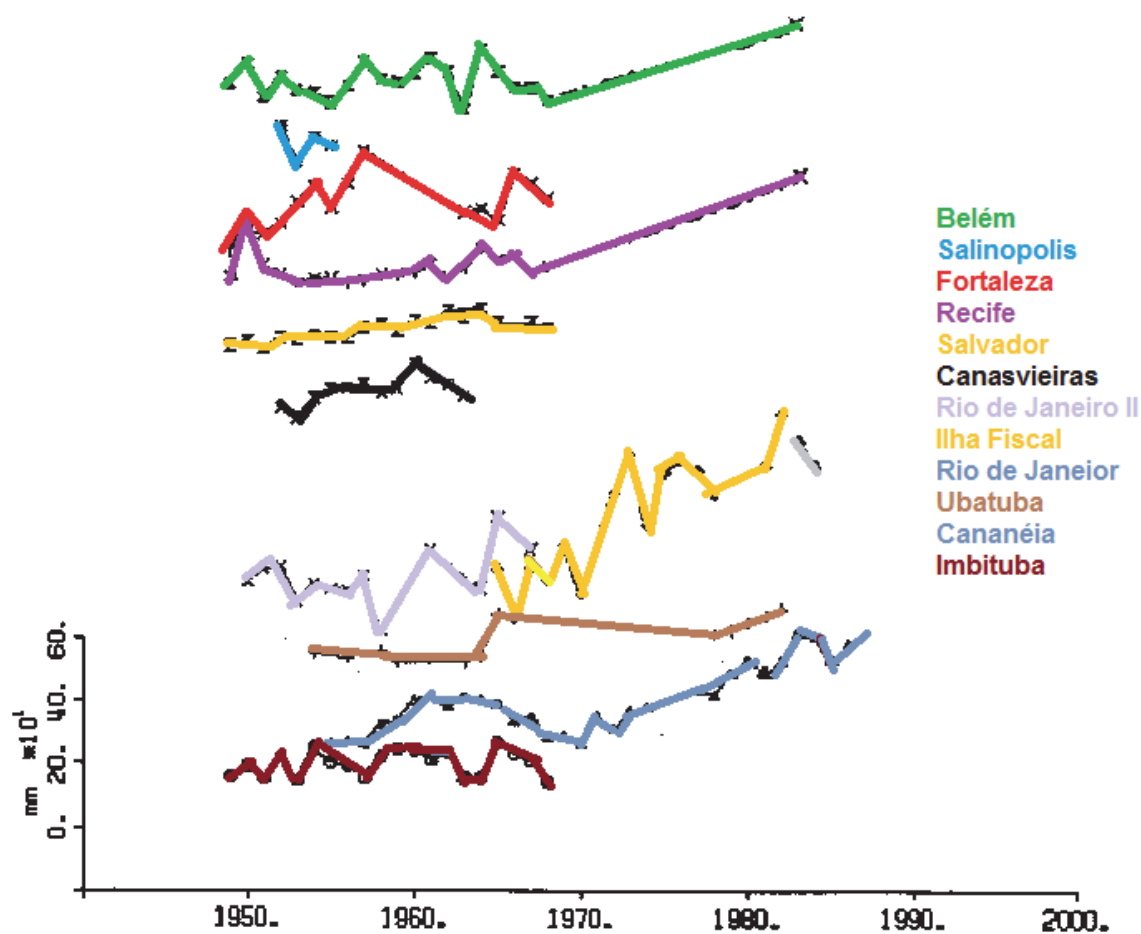
Adicionalmente a este efeito do vento, também é descrito na literatura o “efeito do barômetro invertido”, discutido longamente por Wunsch & Stammer (1997), em que centros de alta pressão atmosférica podem induzir o rebaixamento do nível do mar e centros de baixa pressão atmosférica podem contribuir para o aumento deste. Ambos os efeitos são importantes (vento e pressão atmosférica), contudo o vento tem papel principal neste deslocamento de água (GILL & SCHUMANN, 1974).

Outro tema importante relativo à variação do nível do mar na área de estudo é o entendimento de como estão ocorrendo as variações de longo período e prognósticos.

Considerando-se as variações de longo termo do nível do mar, estas em geral, têm um viés de origem astronômica. As variações sazonais, por exemplo, experimentadas pela região Sudeste do Brasil, são excitadas por precisas composições da órbita da Terra, que produzem os solstícios de verão e inverno, (posições ocupadas pelo Sol no hemisfério Norte e no hemisfério Sul, em relação à superfície da Terra durante o ano), exatamente nos dias 21 de Dezembro e 21 de Junho, respectivamente (MESQUITA, 1997).

As variações de longo termo têm sido recentemente calculadas nos níveis do mar registrados por vários marégrafos da região Sudeste do Brasil, através de determinação das inclinações das curvas (em relação ao eixo do tempo) de variação dos níveis médios anuais nos últimos 50 anos, aproximadamente (MESQUITA, 1997).

A **Figura II.5.1.2-25** mostra a variabilidade desses níveis em vários portos em toda a costa brasileira, que experimenta um acréscimo do nível do mar de cerca de 4 mm por ano, ou cerca de 50 cm por século (MESQUITA, 1997).



Fonte: adaptado de França (1995).

Figura II.5.1.2-25 – Valores anuais do nível relativo do mar de portos brasileiros entre Belém, (PA) a Imituba (SC).

Variações do nível absoluto global do mar obtidas por altimetria por satélite, entretanto, não produzem valores condizentes com essa estimativa (WOODWORTH, 1997), bem como as evidências dos valores obtidos por métodos geológicos na costa brasileira (MARTIN *et al.*, 1987), e avaliações por meio dos dados de nível do mar, provenientes de portos de todos os continentes (MESQUITA, 1994).

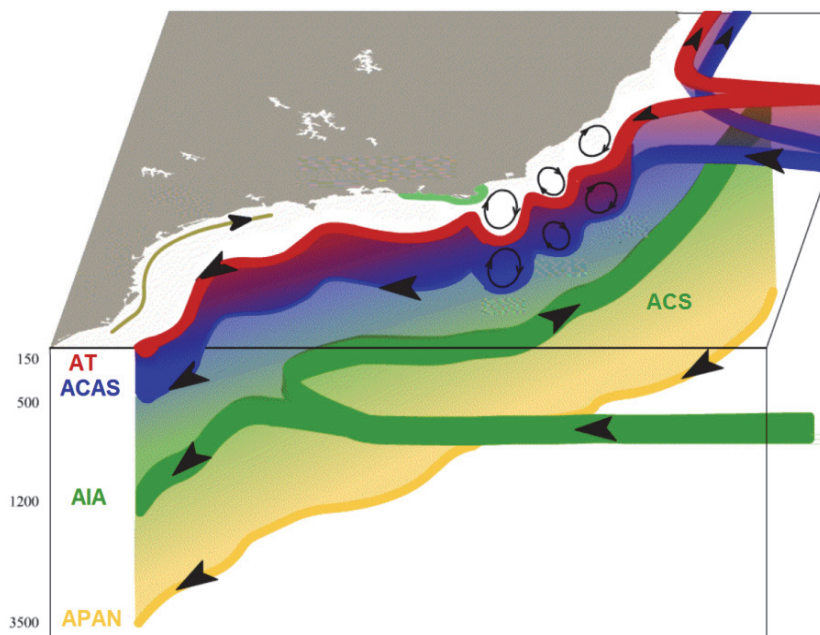
C) Hidrografia e hidrodinâmica do TC e OP

Neste tópico são apresentadas as características da hidrografia (temperatura, salinidade e densidade da água do mar) e da hidrodinâmica no TC e OP na área de estudo.

Do sentido costa oceano adjacente, o TC está localizado após a quebra da PC a cerca de 180 m de profundidade, até aproximadamente 2.000 m de profundidade. Já o OP foi definido aqui como sendo as áreas com profundidades superiores a 2.000 m.

Hidrografia

De acordo com Silveira (2007), na Bacia de Santos, estão presentes as massas de água: Água Tropical – AT, Água Central do Atlântico Sul - ACAS, Água Intermediária Antártica - AIA, Água Circumpolar Superior - ACS e Água Profunda do Atlântico Norte - APAN. Estas massas de água presentes na área de estudo são transportadas por um complexo esquema de correntes marinhas. De forma esquemática, a **Figura II.5.1.2-26** mostra o arranjo tridimensional destas massas de água.



Fonte: adaptado de CALADO (2006)

Figura II.5.1.2-26 – Representação tridimensional do transporte de massas de água ao longo da costa Sudeste do Brasil. AT se refere à Água Tropical, ACAS, à Água Central do Atlântico Sul, ACS à Água Circumpolar Superior, AIA, à Água Intermediária Antártica e APAN, à Água Profunda do Atlântico Norte.

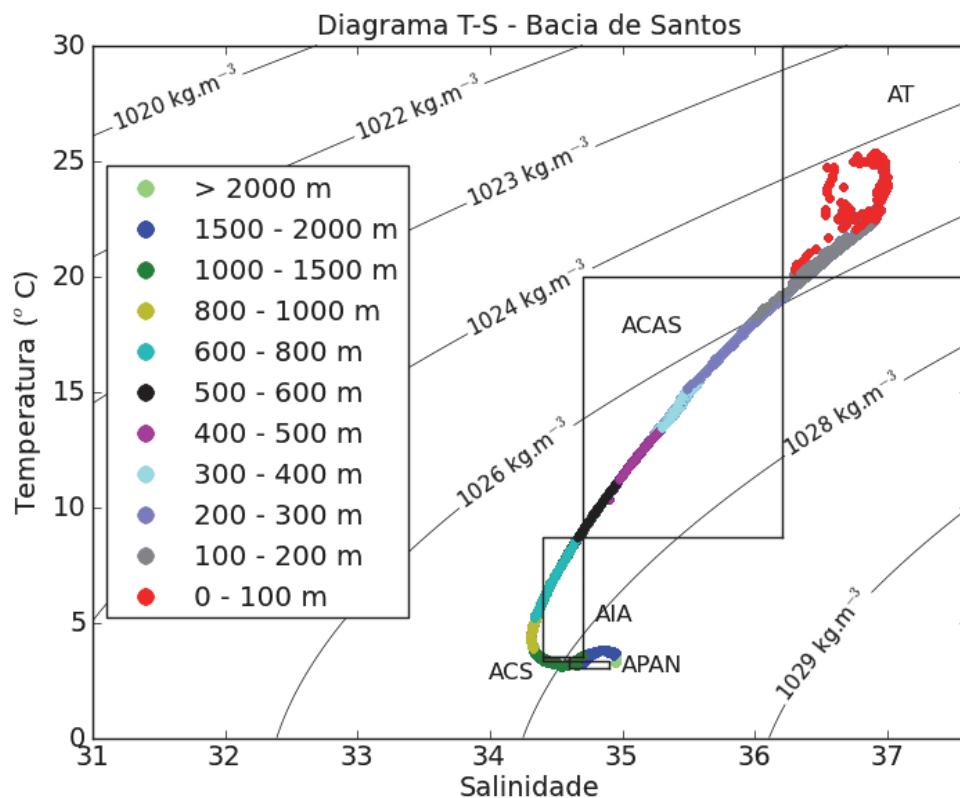
Tal esquema mostra que no TC e no OP da área de estudo, em superfície, é observada a AT, sobre a ACAS, onde ambas são transportadas para S-SW. Abaixo da ACAS, na coluna de água, encontra-se a AIA e a ACS fluindo para o S-SW, na porção Sul da área de estudo, e para NE, na porção Centro Norte da área de estudo. Junto ao assoalho marinho encontra-se a APAN, que é transportada para SW. Estas massas de água possuem características próprias, com valores limites de temperatura e salinidade. A **Tabela II.5.1.2-4** apresenta tais valores, de acordo com Silveira (2007).

Tabela II.5.1.2-4 - Limites termohalinos das massas de água presentes na região do empreendimento.

Massa de Água	Temperatura (°C)	Salinidade
AT	> 20,0	>36,2
ACAS	20,0 – 8,7	36,2 – 34,7
AIA	8,7 – 3,5	34,7 – 34,4
ACS	3,5 – 3,3	34,4 – 34,6
APAN	3,3 – 3,0	34,6 – 34,9

Fonte: SILVEIRA (2007)

O diagrama de estado que mostra a relação do par temperatura e salinidade (diagrama T-S) para o TC e OP da área de estudo é apresentado na **Figura II.5.1.2-27**. Tais dados foram obtidos nos locais WOCE apresentados na **Tabela II.5.1.2-1** e **Figura II.5.1.2-3**.



Fonte de dados: WOCE (2013).

Figura II.5.1.2-27 – Diagrama T-S espalhado para a Bacia de Santos, nos pontos WOCE representados na Figura II.5.1.2-1. As cores representam as profundidades associadas à legenda. As isolinhas representam a densidade.

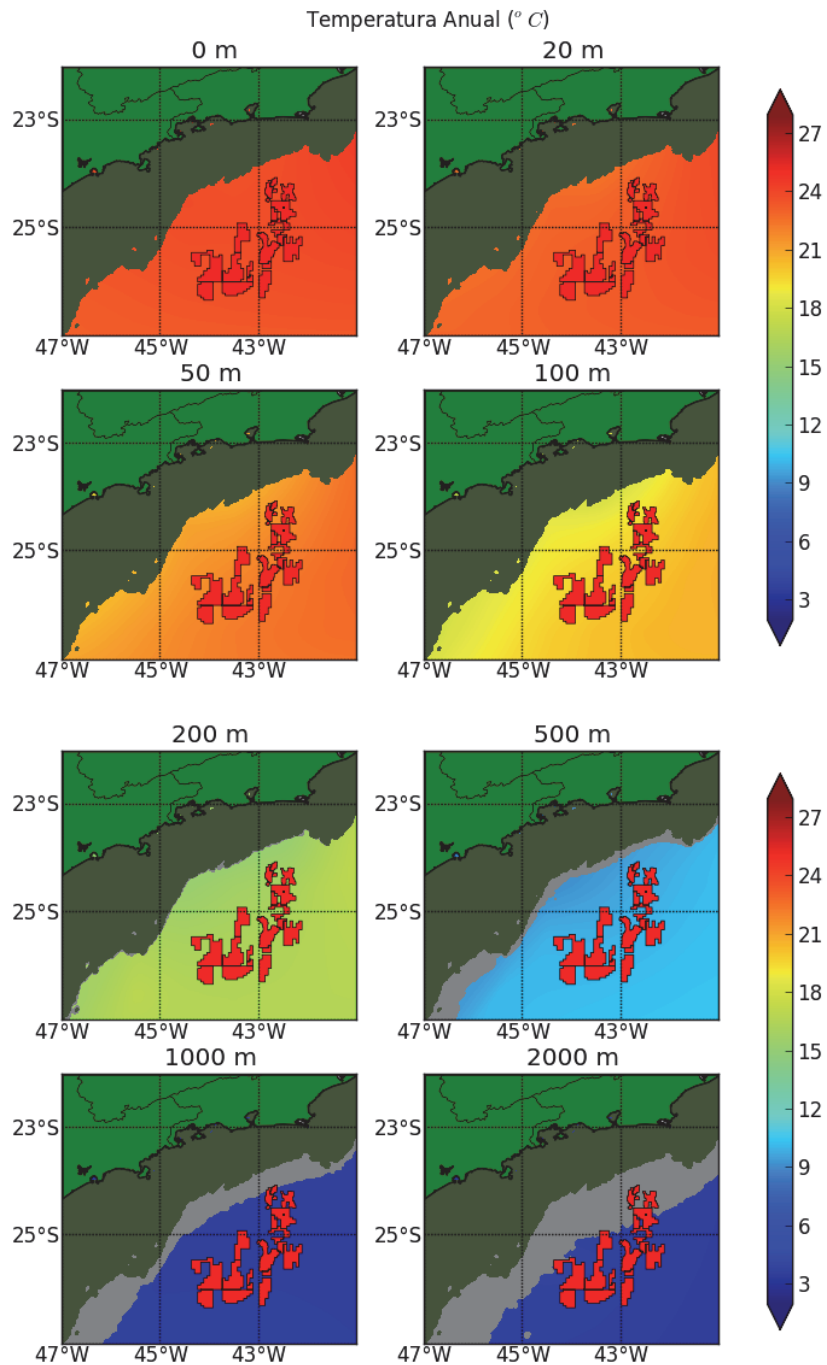
Tanto na **Tabela II.5.1.2-5**, quanto na **Figura II.5.1.2-27**, é possível identificar as principais massas de água no TC e OP da área de estudo, descritas pelos transportes associados na **Figura II.5.1.2-26**. A AT ocupa as camadas entre a superfície e aproximadamente 150 m; a ACAS, profundidades entre 150 e 600 m; AIA, entre 600 e 1.000 m; ACS, entre 1.000 e 1.500 m e APAN, entre 1.500 e 2.000 m.

Da **Figura II.5.1.2-28** até a **Figura II.5.1.2-30** estão dispostas a variação horizontal média anual, para temperatura, salinidade e densidade.

A temperatura superficial média é próxima a 27 °C. Para a profundidade de 50 m, a temperatura média é de, aproximadamente, 20 °C. Nas profundidades de 100, 200 e 500 m, as temperaturas médias horizontais são de 17 °C, 15 °C e 12 °C, respectivamente. Abaixo dos 1000 m, a temperatura média é de 5 °C.

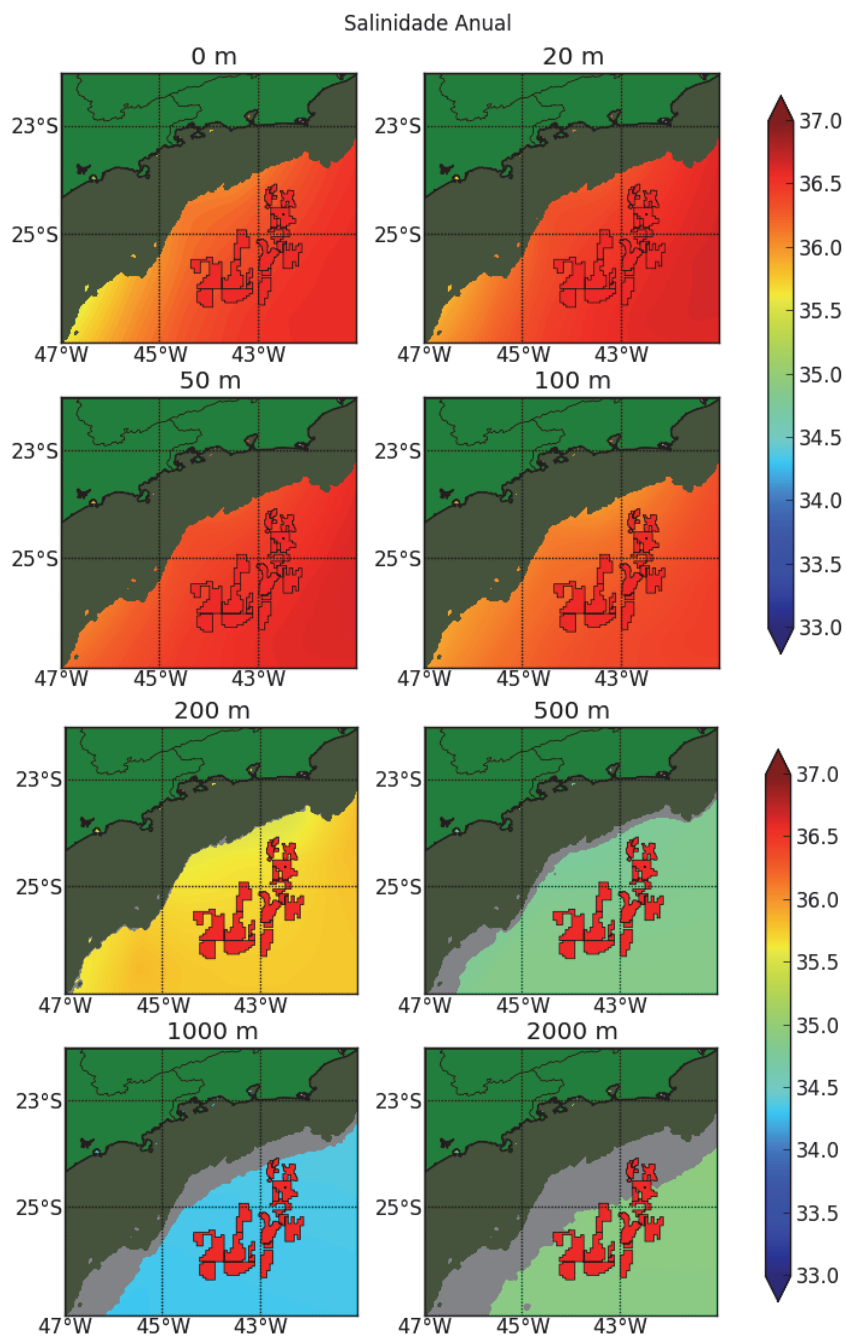
Em superfície, a salinidade média é de 36,5. Em 100 m e 200 m, os valores são de 35,75 e 35,5. Nas profundidades de 500 m, 1.000 m e 2.000 m são observadas salinidades médias horizontais de 35, 34,5 e 35.

Os valores de densidade mostram um padrão de estabilidade vertical, ou seja, com densidades crescentes em função do aumento da profundidade. Os valores variam desde 1.024 kg/m³, em superfície, a 1.037 kg/m³, a 2.000 m.



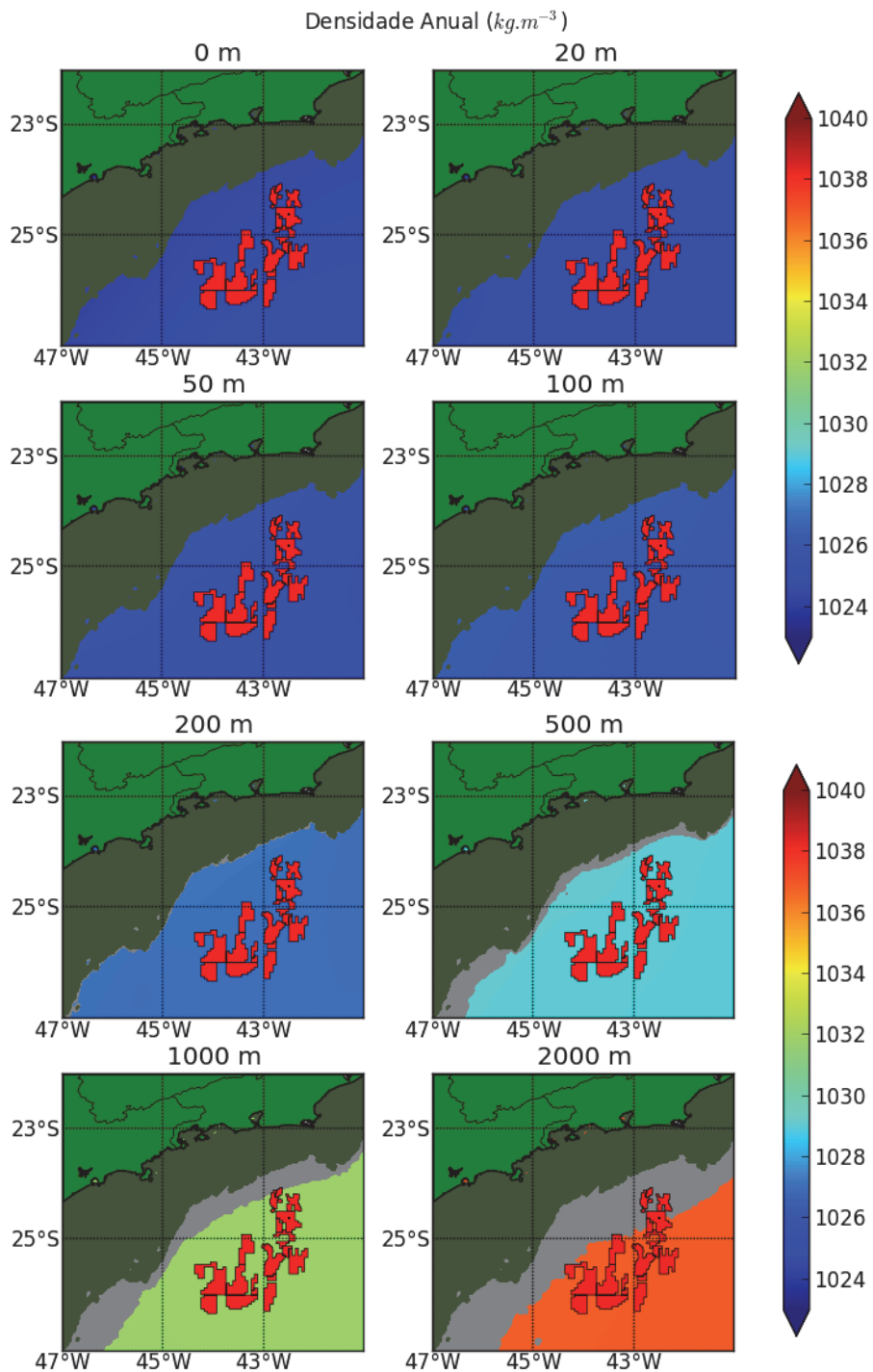
Fonte de dados: WOA09 (2013).

Figura II.5.1.2-28 – Distribuição horizontal média anual de temperatura para o TC e OP da área de estudo. Em cada um dos painéis, a profundidade contemplada é apresentada em seu título. A área em verde escuro representa a PC e a cinza, regiões com profundidades inferiores àquelas que estão sendo demonstradas em cada painel.



Fonte de dados: WOA09 (2013).

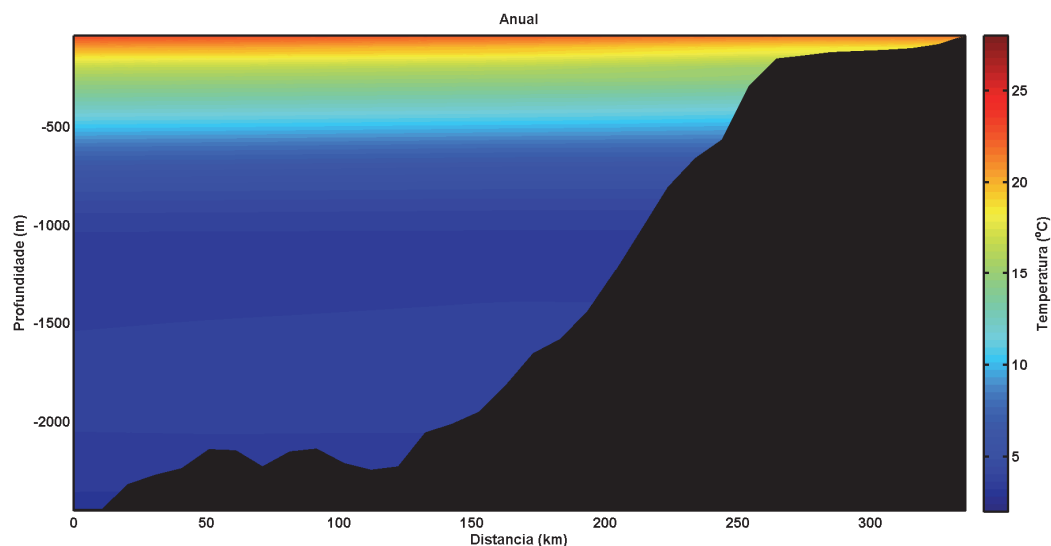
Figura II.5.1.2-29 – Distribuição horizontal média anual de salinidade para o TC e OP da área de estudo. Em cada um dos painéis, a profundidade contemplada é apresentada em seu título. A área em verde escuro representa a PC e a cinza, regiões com profundidades inferiores àquelas que estão sendo demonstradas em cada painel.



Fonte de dados: WOA09 (2013).

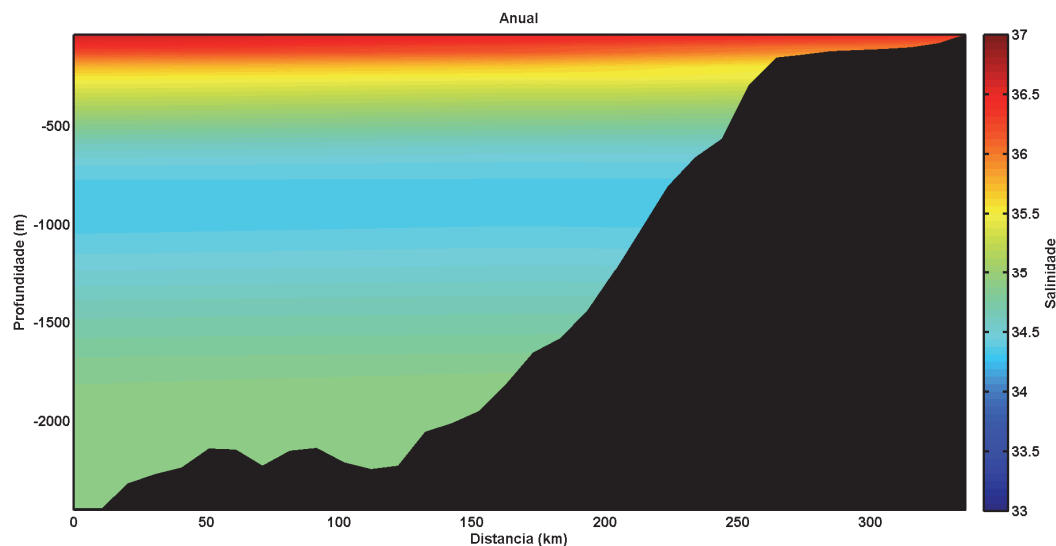
Figura II.5.1.2-30 – Distribuição horizontal média anual de densidade para o TC e OP da área de estudo. Em cada um dos painéis, a profundidade contemplada é apresentada em seu título. A área em verde escuro representa a PC e a cinza, regiões com profundidades inferiores àquelas que estão sendo demonstradas em cada painel.

Para caracterizar a variação vertical, são apresentadas as seções médias anuais de temperatura, salinidade e densidade da **Figura II.5.1.2-31** até a **Figura II.5.1.2-33**, respectivamente. Esta seção vertical está associada, geograficamente à radial apresentada na **Figura II.5.1.1-3**.



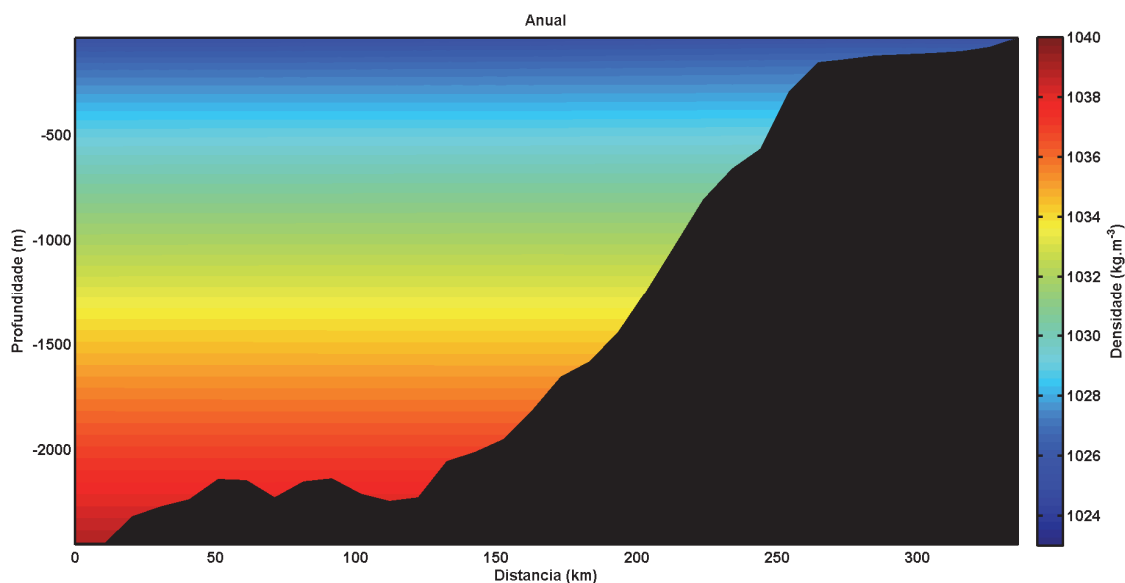
Fonte de dados: WOA09 (2013).

Figura II.5.1.2-31 – Seção vertical da média anual de temperatura, na região do empreendimento. A área na cor preta representa o leito marinho.



Fonte de dados: WOA09 (2013).

Figura II.5.1.2-32 – Seção vertical da média anual de salinidade, na região do empreendimento. A área na cor preta representa o leito marinho.

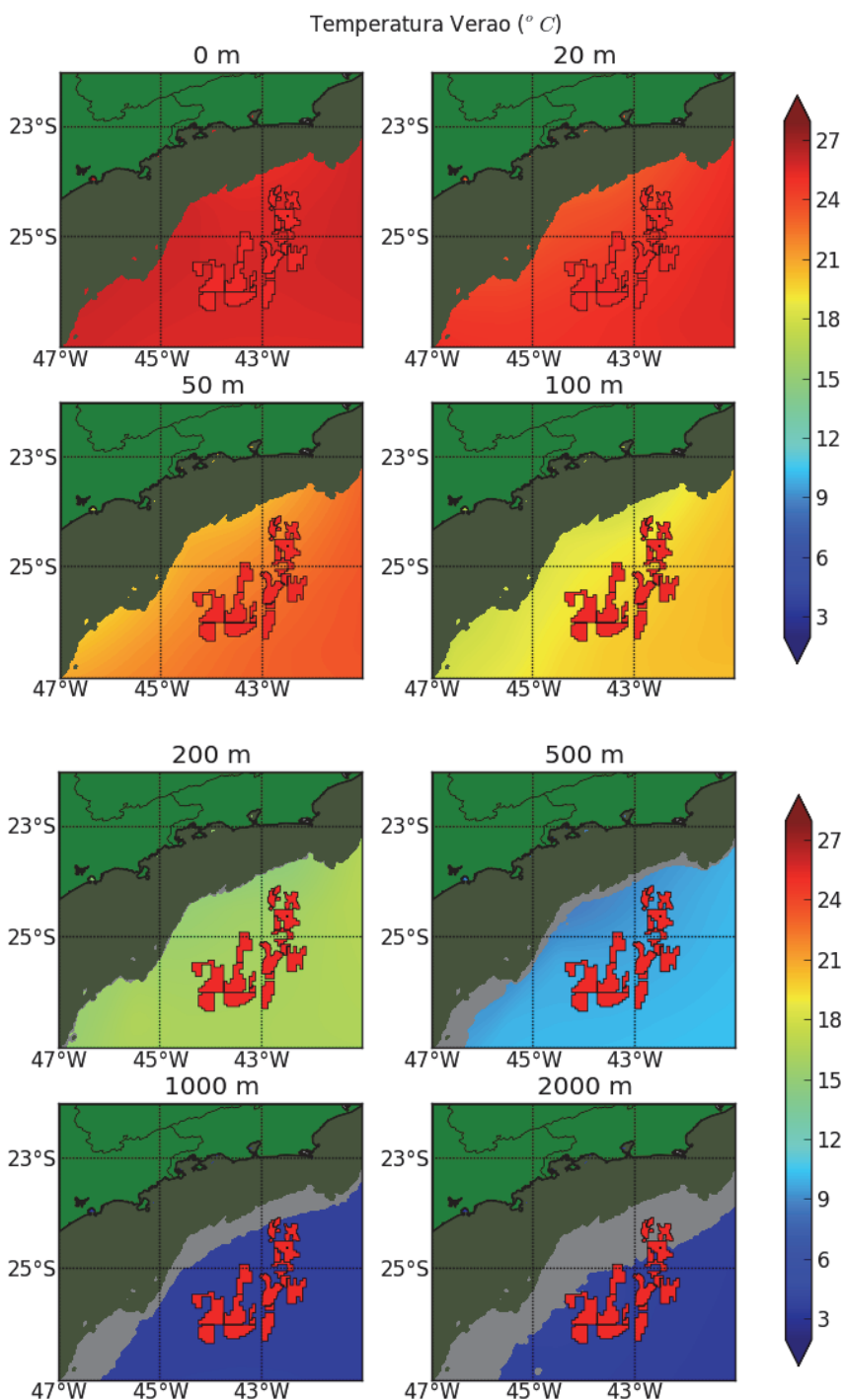


Fonte de dados: WOA09 (2013).

Figura II.5.1.2-33 – Seção vertical da média anual de densidade, na região do empreendimento. A área na cor preta representa o leito marinho.

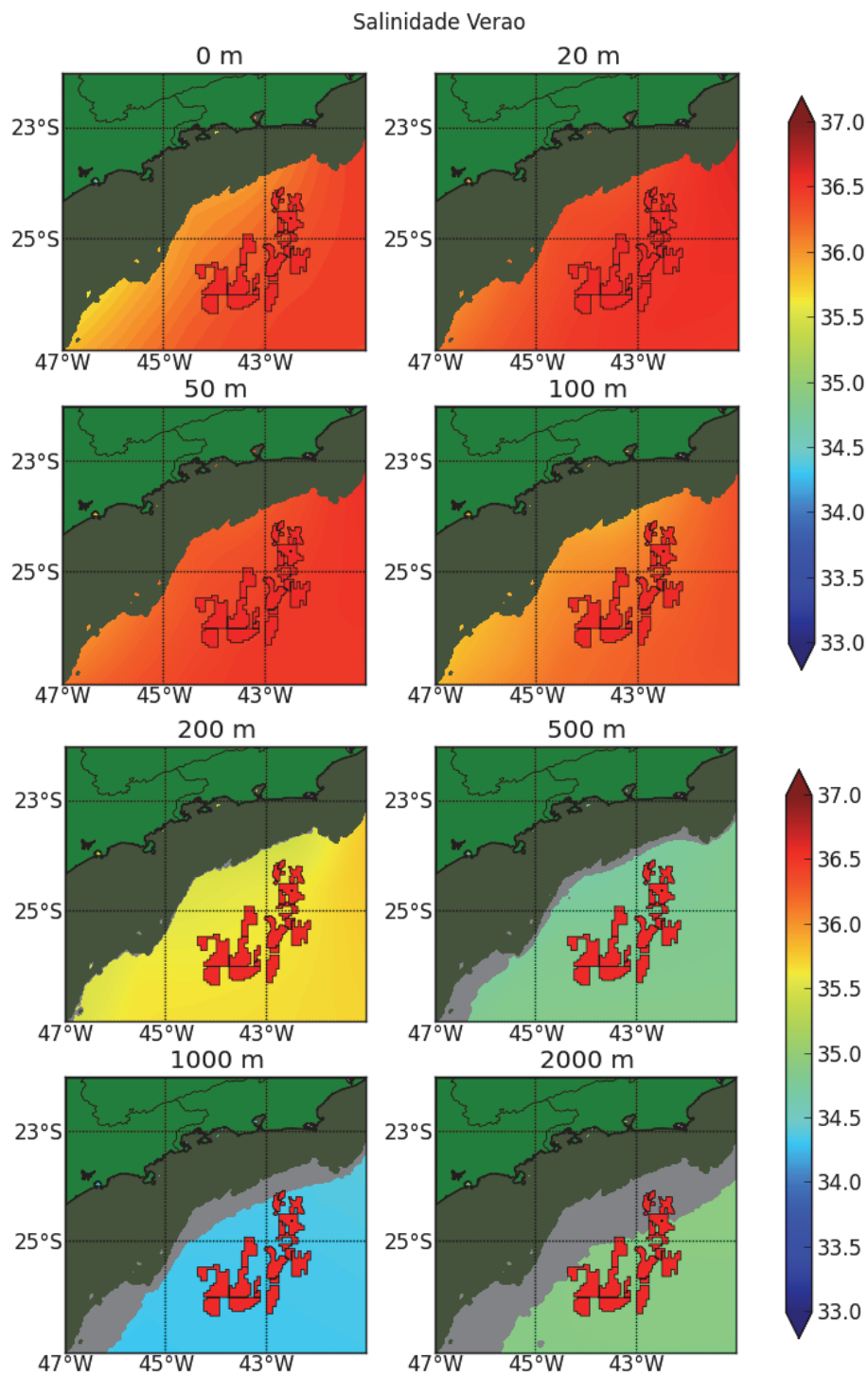
Nas seções verticais de temperatura, salinidade e densidade, com médias anuais, apresentadas da **Figura II.5.1.2-31** até a **Figura II.5.1.2-33**, pode-se observar uma maior variação das propriedades temperatura e salinidade nos primeiros 500 m de coluna de água, sendo que, em maiores profundidades, estes valores tendem a ser mais homogêneos.

Para os meses de verão as representações horizontais médias de temperatura, salinidade e densidade estão dispostas da **Figura II.5.1.2-34** até a **Figura II.5.1.2-36**, e as representações verticais médias, para as mesmas propriedades, da **Figura II.5.1.2-37** até a **Figura II.5.1.2-39**.



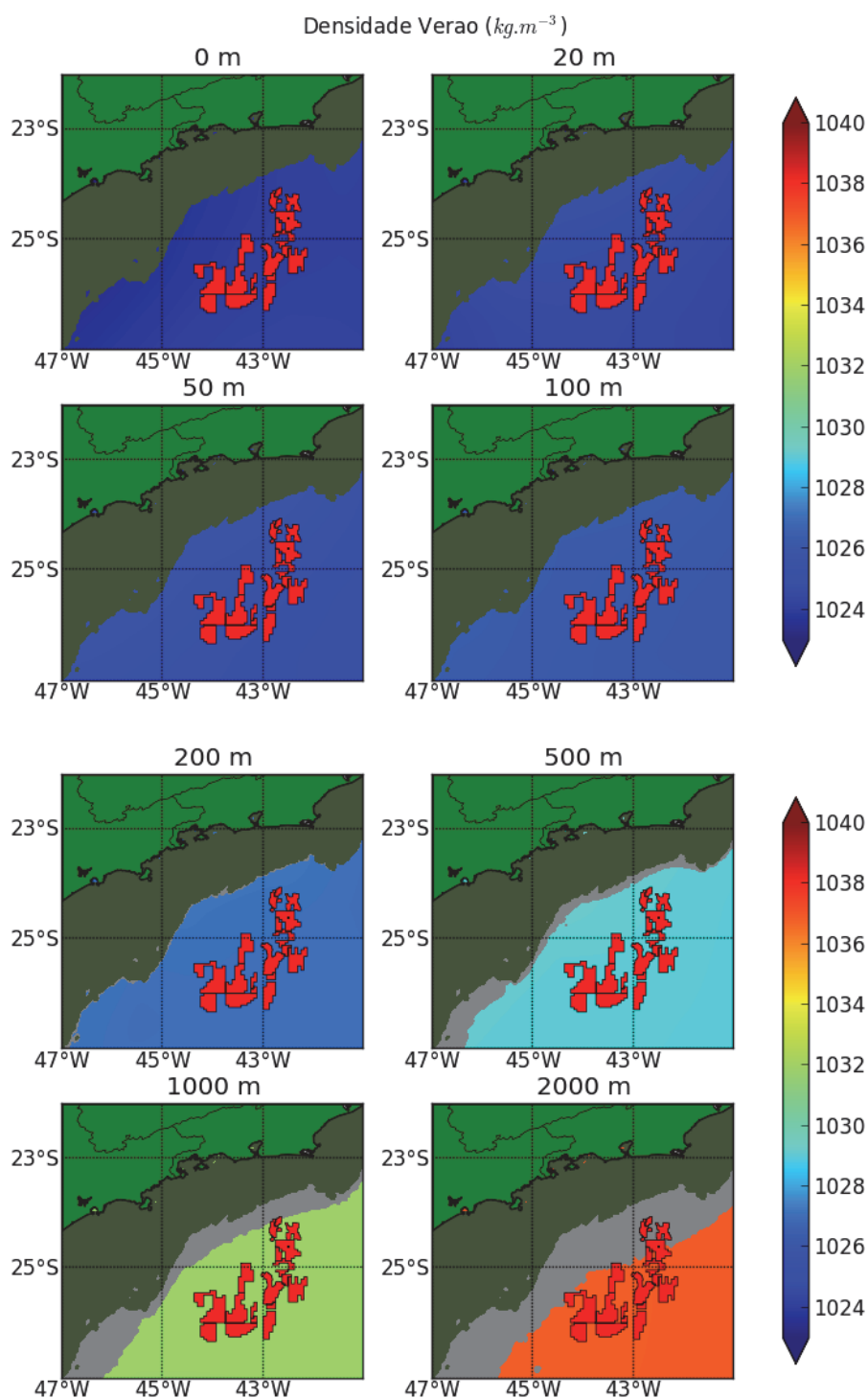
Fonte de dados: WOA09 (2013).

Figura II.5.1.2-34 – Distribuição horizontal média de verão da temperatura para o TC e OP da área de estudo. Em cada um dos painéis, a profundidade contemplada é apresentada em seu título. A área em verde escuro representa a PC e a cinza, regiões com profundidades inferiores àquelas que estão sendo demonstradas em cada painel.



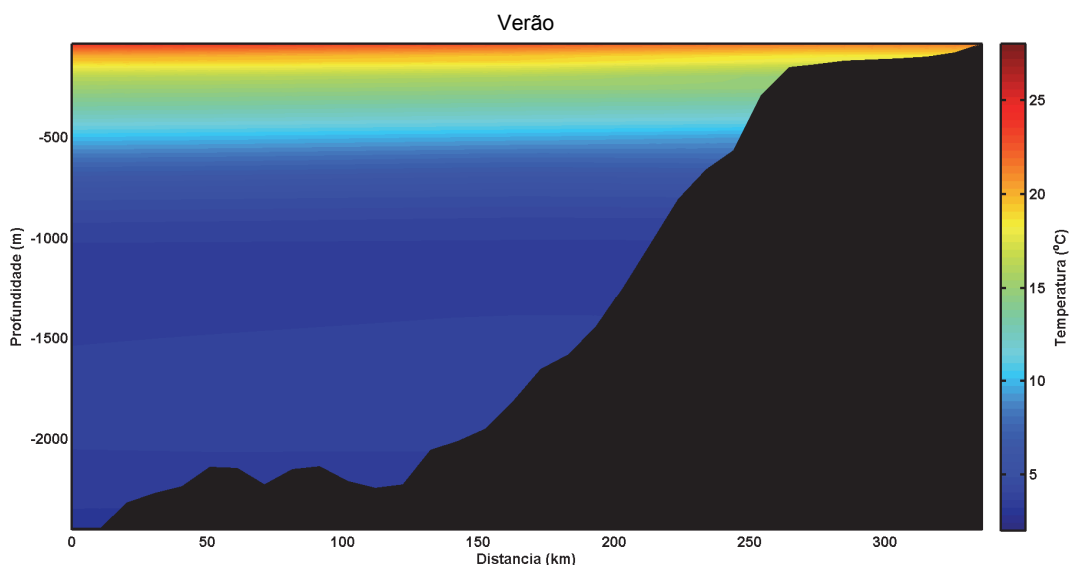
Fonte de dados: WOA09 (2013).

Figura II.5.1.2-35 – Distribuição horizontal média de verão da salinidade para o TC e OP da área de estudo. Em cada um dos painéis, a profundidade contemplada é apresentada em seu título. A área em verde escuro representa a PC e a cinza, regiões com profundidades inferiores àquelas que estão sendo demonstradas em cada painel.



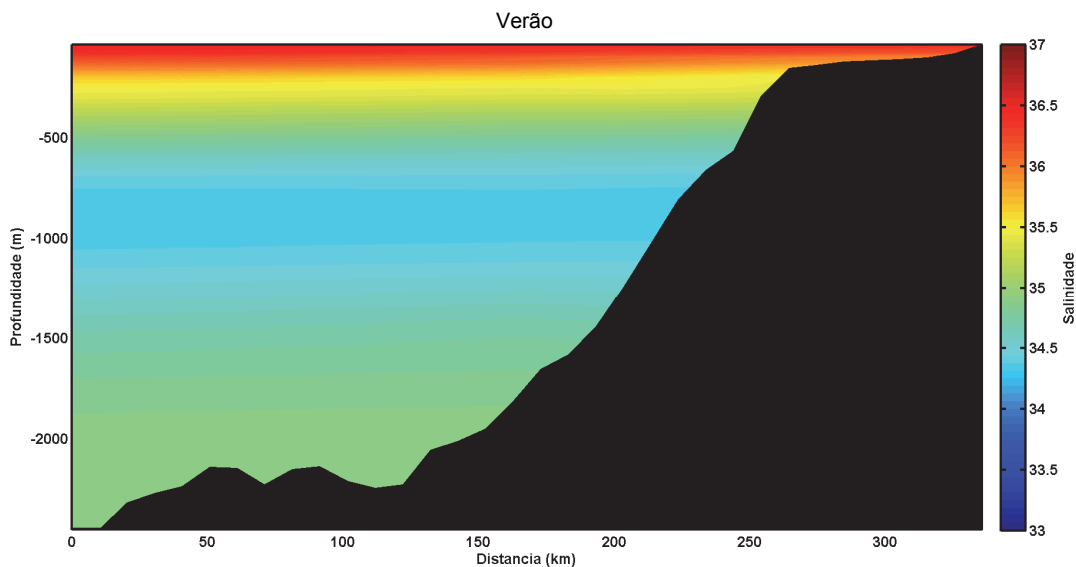
Fonte de dados: WOA09 (2013).

Figura II.5.1.2-36 – Distribuição horizontal média de verão da densidade para o TC e OP da área de estudo. Em cada um dos painéis, a profundidade contemplada é apresentada em seu título. A área em verde escuro representa a PC e a cinza, regiões com profundidades inferiores àquelas que estão sendo demonstradas em cada painel.



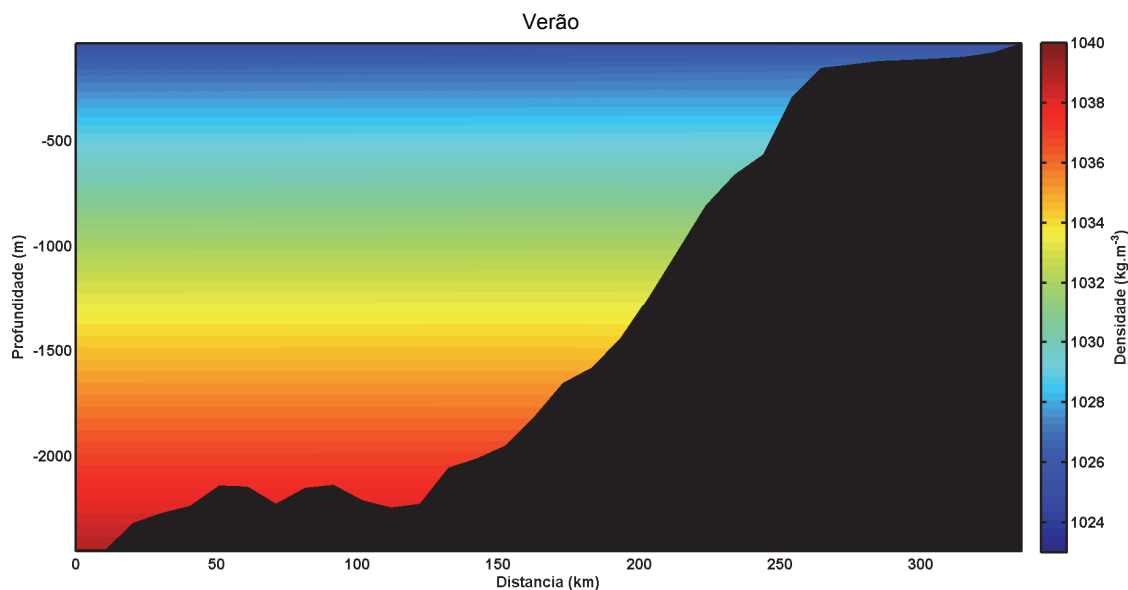
Fonte de dados: WOA09 (2013).

Figura II.5.1.2-37 – Seção vertical da temperatura média para período de verão na região do empreendimento. A área na cor preta representa o leito marinho.



Fonte de dados: WOA09 (2013).

Figura II.5.1.2-38 – Seção vertical da salinidade média para período de verão na região do empreendimento. A área na cor preta representa o leito marinho.

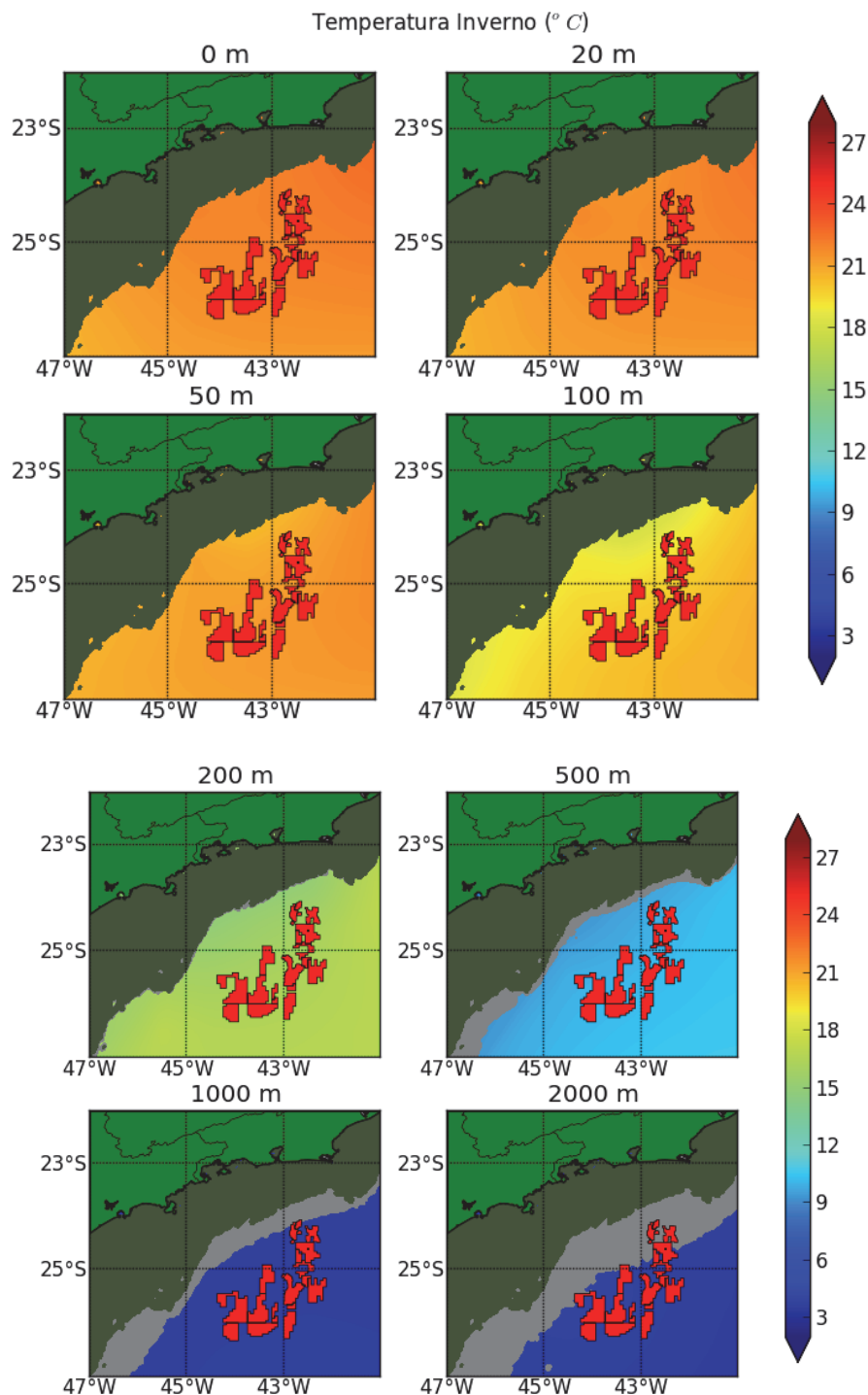


Fonte de dados: WOA09 (2013).

Figura II.5.1.2-39 – Seção vertical da densidade média para período de verão na região do empreendimento. A área na cor preta representa o leito marinho.

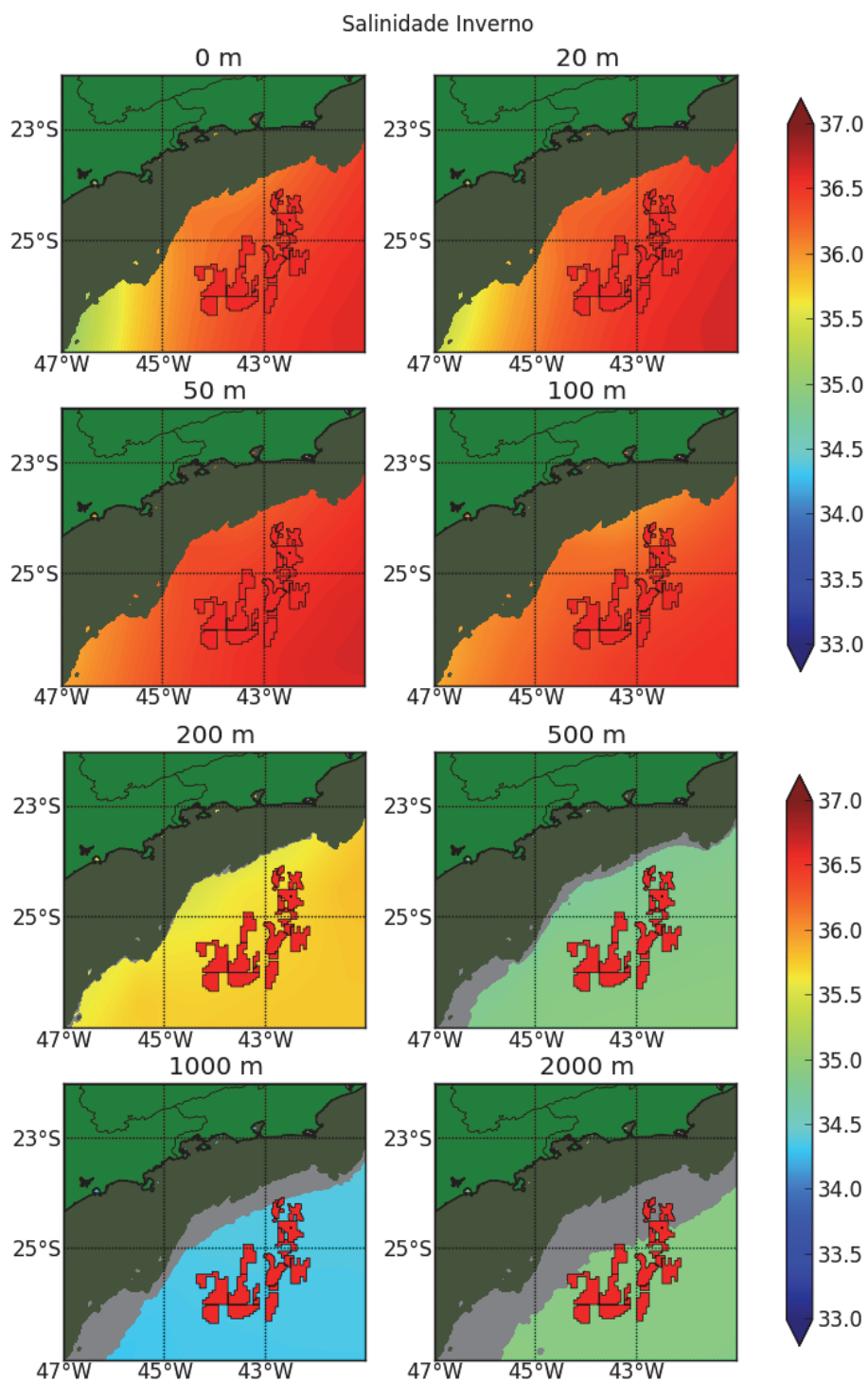
Analisando os padrões horizontais propostos para os meses de verão (**Figura II.5.1.2-34** a **Figura II.5.1.2-36**) e comparando com as respectivas médias anuais (**Figura II.5.1.2-28** a **Figura II.5.1.2-30**), nota-se que as maiores diferenças ocorrem nas camadas superficiais, até a profundidade aproximada de 50 m. As temperaturas mostram maiores valores em período de verão, já os valores de salinidade são pouco alterados, assim como os de densidade. Esta pequena variação nas camadas superiores é mais evidenciada quando comparada às seções verticais de salinidade e densidade (**Figura II.5.1.2-32**, **Figura II.5.1.2-33**, **Figura II.5.1.2-38** e **Figura II.5.1.2-39**).

Os mapas climatológicos de inverno para temperatura, salinidade e densidade, bem como as seções verticais, se encontram da **Figura II.5.1.2-40** até a **Figura II.5.1.2-45**.



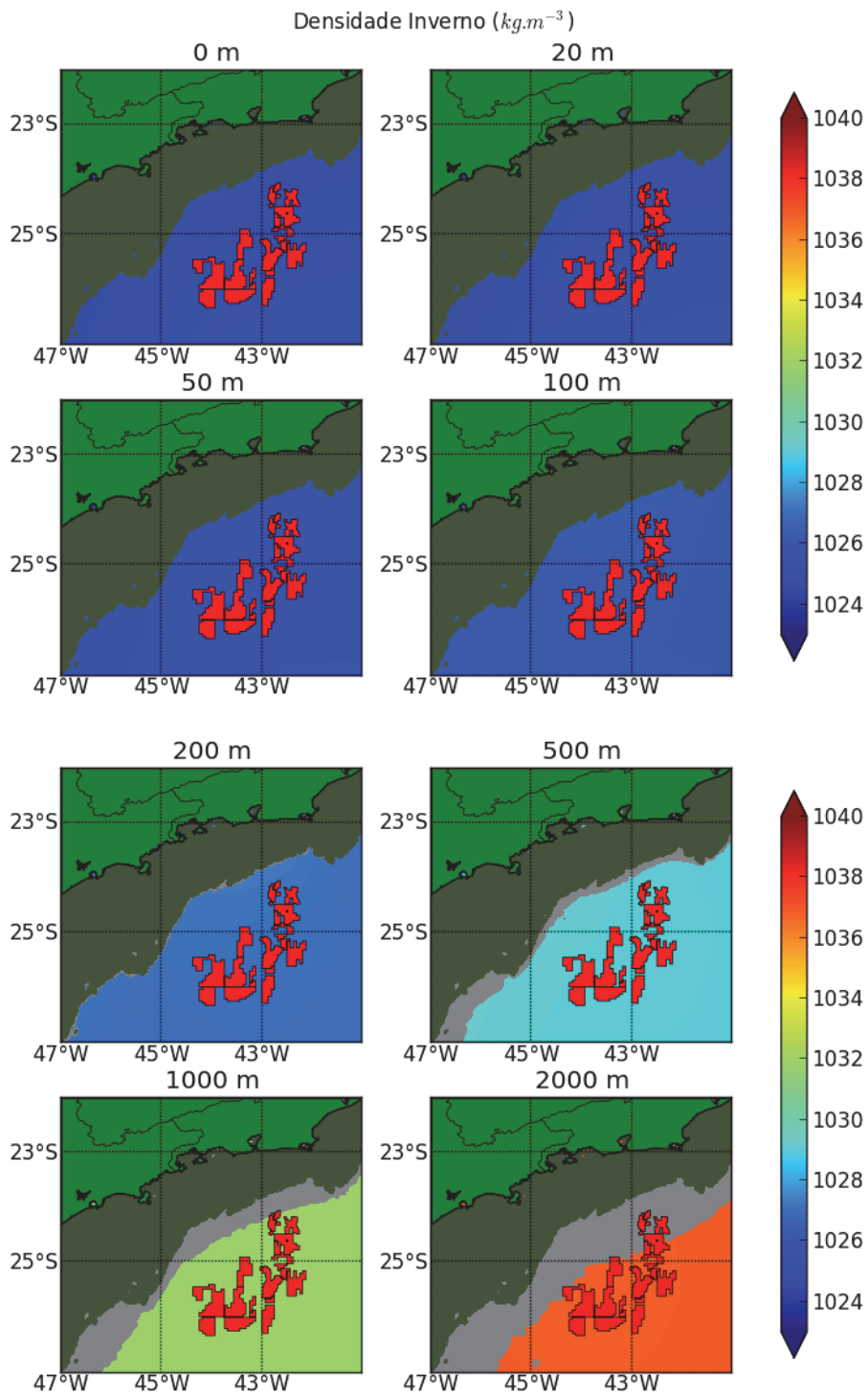
Fonte de dados: WOA09 (2013).

Figura II.5.1.2-40 – Distribuição horizontal média de inverno da temperatura para o TC e OP da área de estudo. Em cada um dos painéis, a profundidade contemplada é apresentada em seu título. A área em verde escuro representa a PC e a cinza, regiões com profundidades inferiores àquelas que estão sendo demonstradas em cada painel.



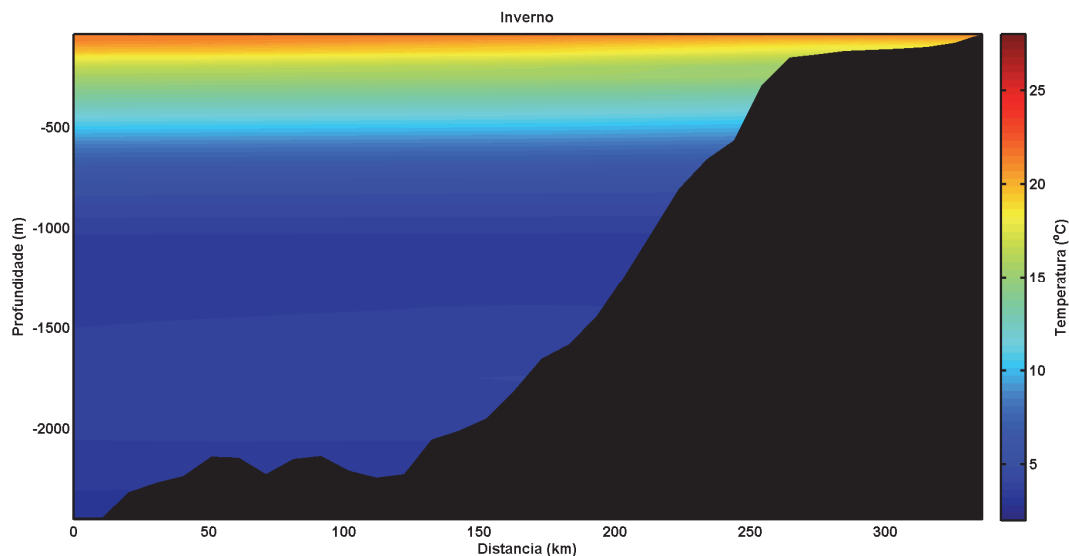
Fonte de dados: WOA09 (2013).

Figura II.5.1.2-41 – Distribuição horizontal média de inverno da salinidade para o TC e OP da área de estudo. Em cada um dos painéis, a profundidade contemplada é apresentada em seu título. A área em verde escuro representa a PC e a cinza, regiões com profundidades inferiores àquelas que estão sendo demonstradas em cada painel.



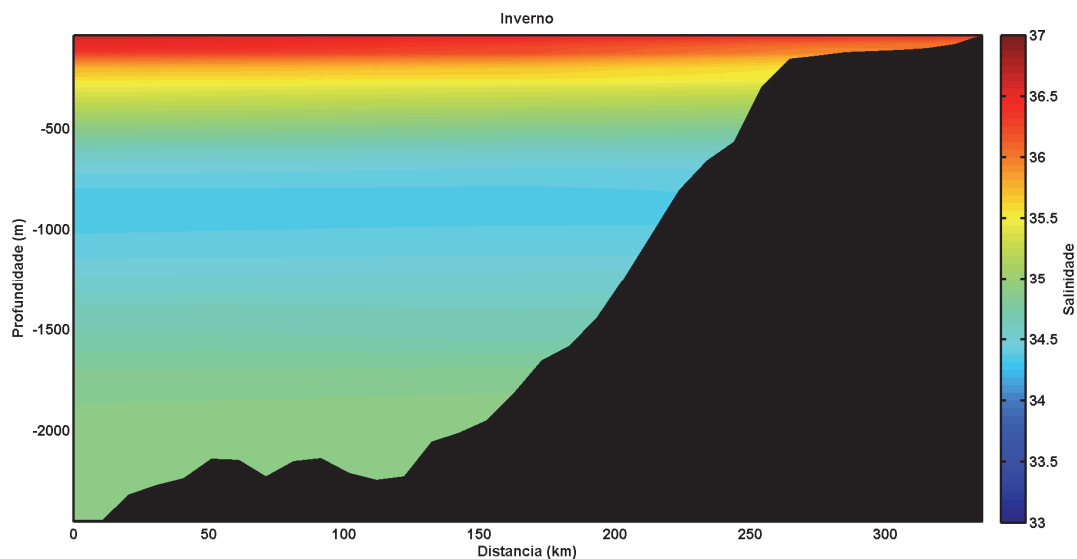
Fonte de dados: WOA09 (2013).

Figura II.5.1.2-42 – Distribuição horizontal média de inverno da densidade para o TC e OP da área de estudo. Em cada um dos painéis, a profundidade contemplada é apresentada em seu título. A área em verde escuro representa a PC e a cinza, regiões com profundidades inferiores àquelas que estão sendo demonstradas em cada painel.



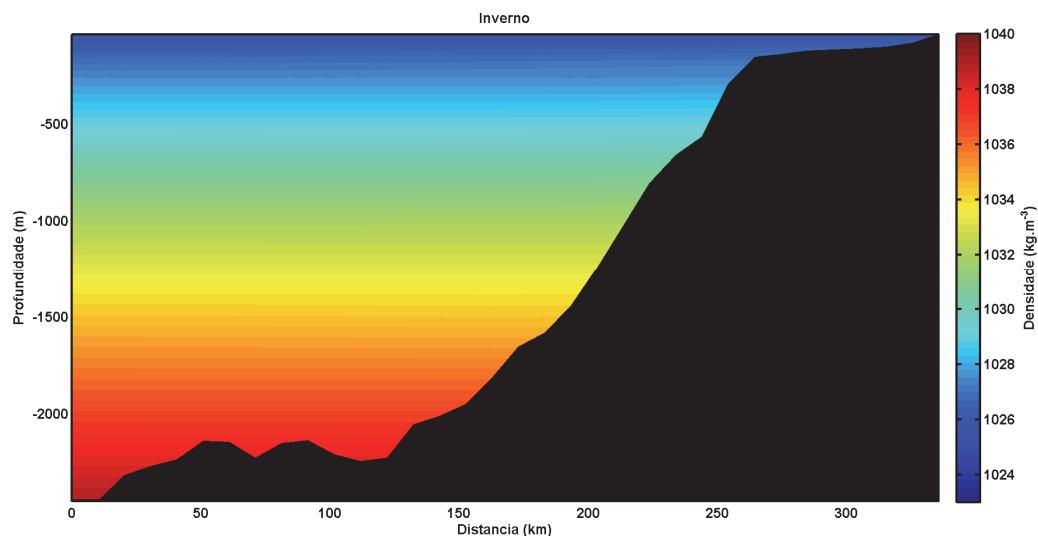
Fonte de dados: WOA09 (2013).

Figura II.5.1.2-43 – Seção vertical da temperatura média para período de inverno na região do empreendimento. A área na cor preta representa o leito marinho.



Fonte de dados: WOA09 (2013).

Figura II.5.1.2-44 – Seção vertical da salinidade média para período de inverno na região do empreendimento. A área na cor preta representa o leito marinho.



Fonte de dados: WOA09.

Figura II.5.1.2-45 – Seção vertical da densidade média para período de inverno na região do empreendimento. A área na cor preta representa o leito marinho.

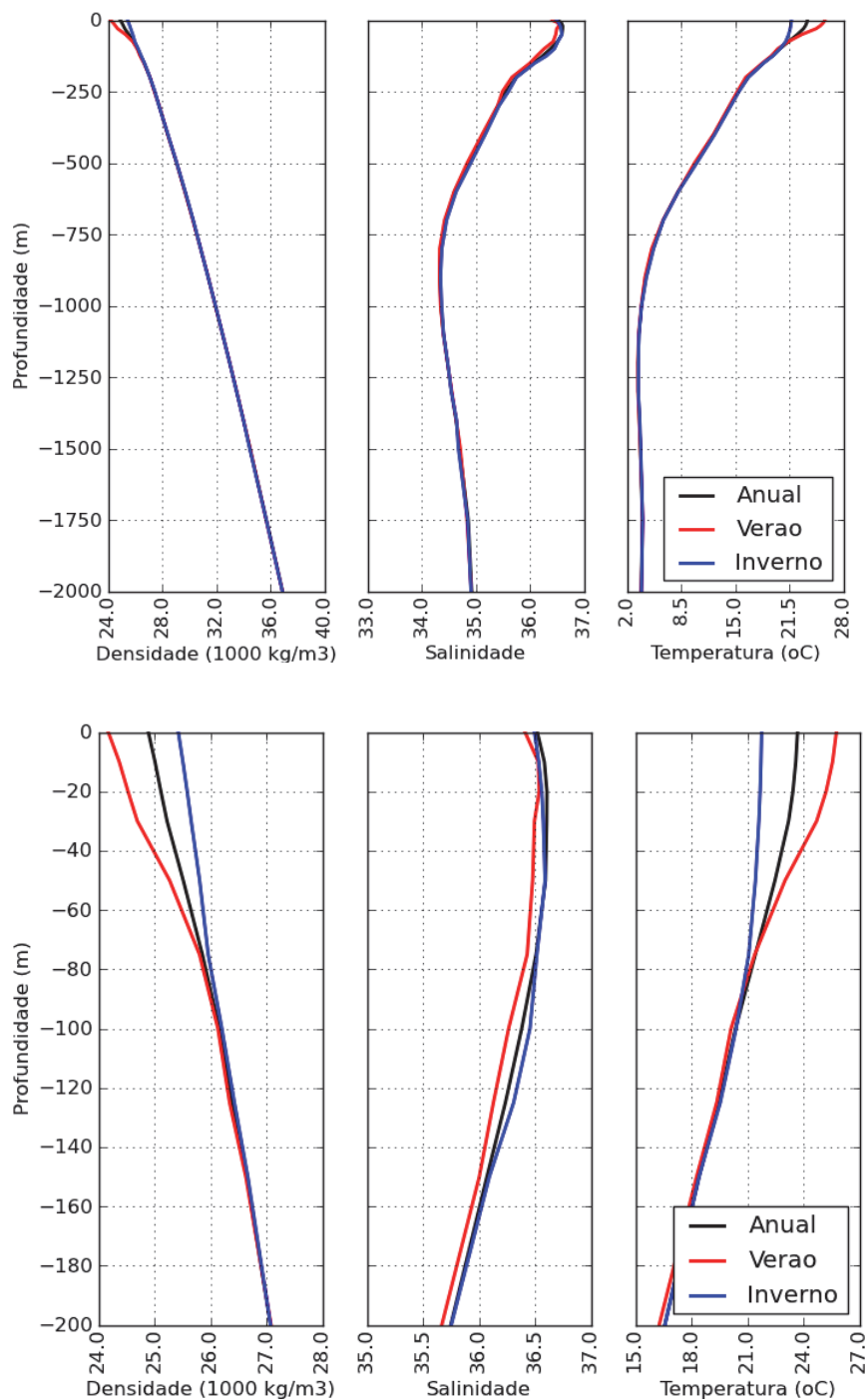
Analisando as figuras propostas para os meses de inverno (**Figura II.5.1.2-40** a **Figura II.5.1.2-45**) e comparando com as respectivas médias anuais (**Figura II.5.1.2-28** a **Figura II.5.1.2-34**), nota-se que as maiores diferenças ocorrem nas camadas superficiais, até a profundidade aproximada de 50 m. Os valores de temperatura são menores no período de inverno, já os valores de salinidade são pouco alterados, assim como os de densidade. Os valores de temperatura são menores no período de inverno, já os valores de salinidade são pouco alterados, assim como os de densidade.

No ponto mais profundo da radial mostrada na **Figura II.5.1.2-3**, localizado em profundidade de 2.470 m, é possível se obter a variação vertical das propriedades e comparar os valores da média anual, de verão e de inverno. A representação obtida nesta comparação é apresentada na **Figura II.5.1.2-46**. Os respectivos diagramas T-S para o verão e inverno estão dispostos na **Figura II.5.1.2-47** e na **Figura II.5.1.2-48**.

Tanto os perfis verticais quanto os diagramas mostram que a temperatura e a salinidade possuem maior variação vertical até a profundidade aproximada de 750 m. Comparando os períodos anual, de verão e de inverno, observam-se variações até a profundidade de 80 m, sendo que, em maiores profundidades, os perfis são praticamente idênticos. A salinidade é a propriedade que apresenta a

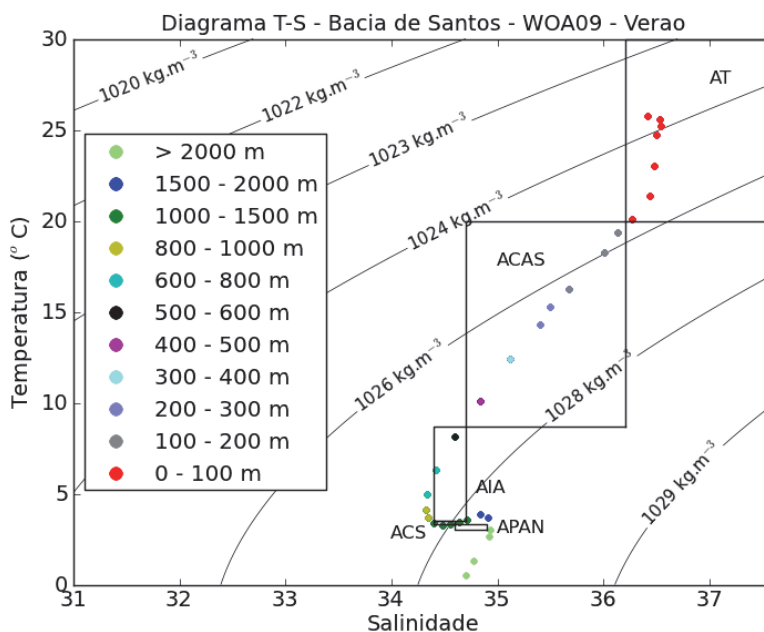
menor variação sazonal, com menores salinidades encontradas durante o verão. É possível observar os perfis de densidade respondendo às variações de temperatura verificadas, com as maiores densidades ocorrendo em período de inverno, onde são encontradas as menores temperaturas. A situação oposta é verificada para o período de verão.

Desta forma é possível identificar as termoclinas sazonais e permanentes para a região. A base da termoclina sazonal ocorre na profundidade de aproximadamente 80 m e a base da termoclina permanente a 750 m.



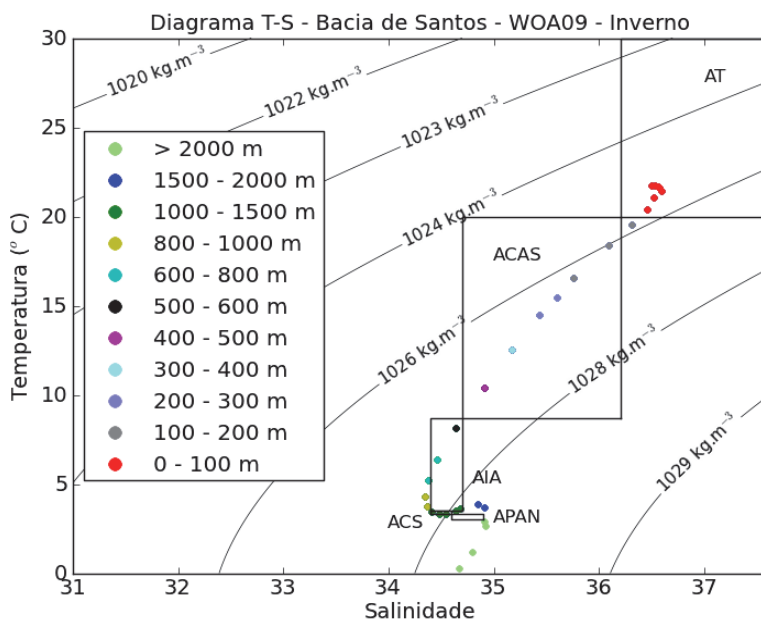
Fonte de dados: WOA09 (2013).

Figura II.5.1.2-46 – Perfil vertical de densidade (esquerda), salinidade (centro) e temperatura (direita) no ponto mais profundo (2.470 m) da radial apresentada na **Figura II.5.1.2-3**. Os painéis inferiores mostram detalhe até 200 m dos painéis superiores.



Fonte de dados: WOA09 (2013).

Figura II.5.1.2-47 – Diagrama T-S espalhado para a Bacia de Santos, no ponto mais profundo da radial apresentada na **Figura II.5.1.2-3**, período de verão. As cores representam as profundidades associadas à legenda. As isolinhas representam a densidade.



Fonte de dados: WOA09 (2013).

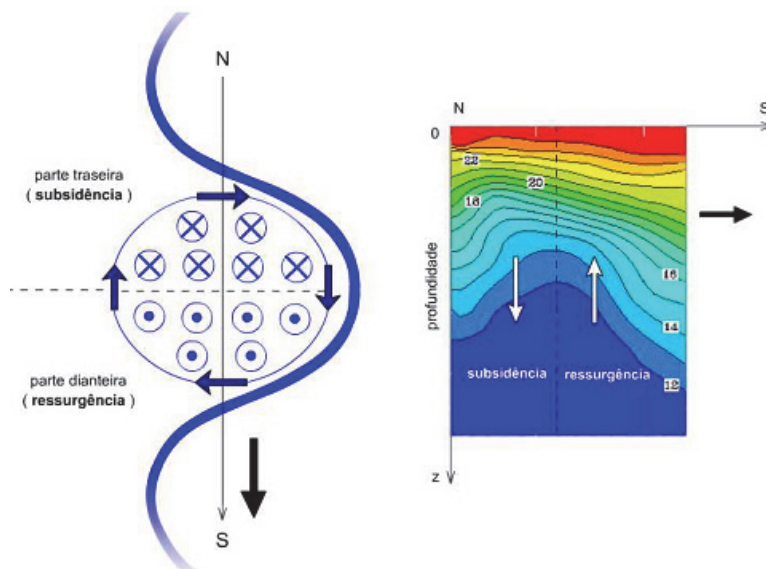
Figura II.5.1.2-48 – Diagrama T-S espalhado para a Bacia de Santos, no ponto mais profundo da radial apresentada na **Figura II.5.1.2-3**, para o período de inverno. As cores representam as profundidades associadas à legenda. As isolinhas representam a densidade.

Em grande parte do globo, as propriedades termohalinas de uma determinada região são alteradas devido à intrusão de águas com diferentes propriedades daquelas originalmente presentes no local. Esta intrusão pode acontecer pelo aporte de água proveniente de rios e geleiras, por exemplo, e advecção por meio de correntes, tanto na horizontal quanto ao longo da coluna de água (vertical - ressurgência e subsidência). Outro modo de alteração das propriedades termohalinas é devido a trocas com a atmosfera e a mistura de águas provenientes de regiões oceânicas distintas.

Na área de estudo, autores como Calado (2006) e Silveira (2007) mencionam que um dos fenômenos que pode alterar a estrutura termohalina média é o surgimento de vórtices e meandros da CB na região do empreendimento. Estes vórtices podem induzir ressurgências e advectar água de regiões costeiras para o oceano aberto, e vice-versa.

Os vórtices ciclônicos podem contribuir, tanto na ressurgência costeira, como na ressurgência de quebra de plataforma. A ressurgência faz com que águas profundas sejam transportadas para próximo à superfície, alterando desta maneira as características termohalinas da região (CALADO, 2006).

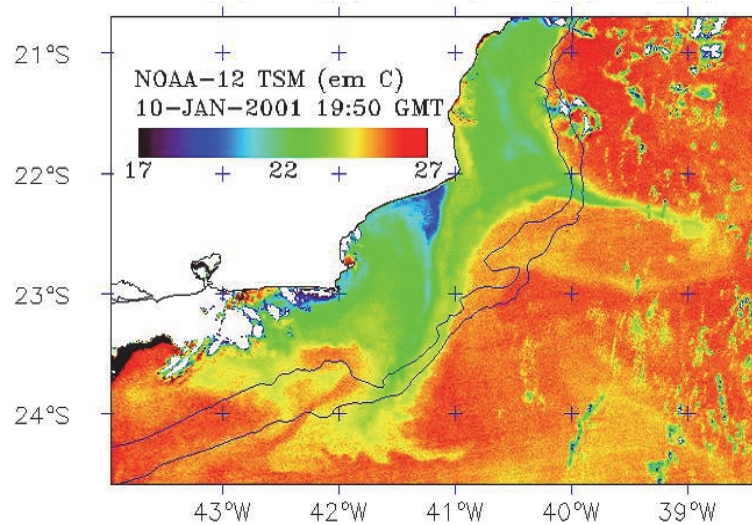
Os vórtices têm um papel determinante na ressurgência de quebra de plataforma continental. Campos *et al.* (1995) propuseram um modelo conceitual explicando a ressurgência na quebra de plataforma induzida por meandramento da CB (**Figura II.5.1.2-49**). Campos *et al.* (2000) aplicaram esta hipótese, considerando um meandro de rotação ciclônica ao longo da Bacia de Santos. Neste esquema proposto, na parte traseira do vórtice, ocorre convergência de água e, por continuidade, água proveniente da plataforma sofre subsidência sobre o talude continental. Já na parte dianteira do vórtice ocorre divergência de água e, novamente, por continuidade, águas de camadas inferiores do talude sofrem ressurgência e são advectadas em direção à plataforma continental.



Fonte: CALADO (2006).

Figura II.5.1.2-49 – Esquema de como um vórtice ciclônico propagante pode bombear água em sua parte dianteira, propiciando ressurgência na região de quebra de plataforma.

Estes sistemas ciclônicos podem, além de gerar ressurgência de plataforma continental, advectar água de região costeira para região de oceano profundo, e vice versa. A **Figura II.5.1.2-50** mostra uma imagem satelital de temperatura da superfície do mar, nas proximidades do Projeto Etapa 2, que apresenta este fenômeno.



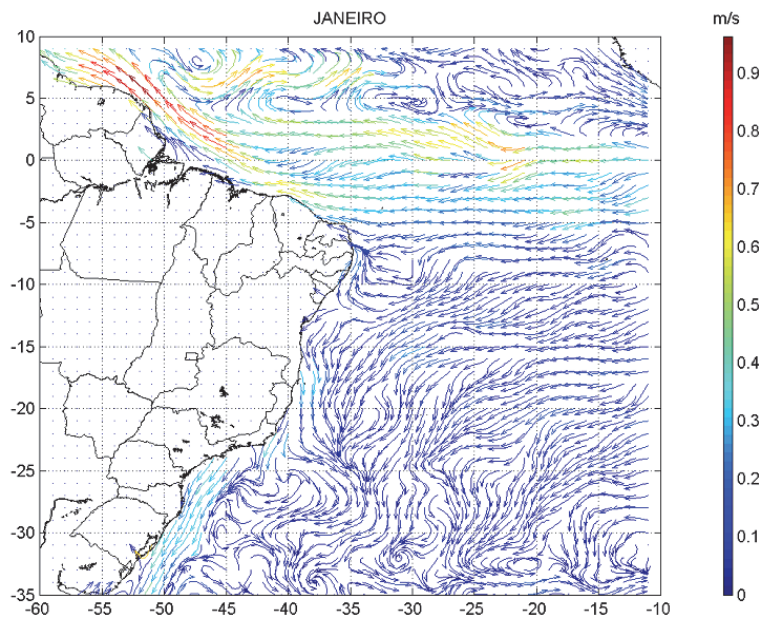
Fonte: CALADO (2006).

Figura II.5.1.2-50 – Imagem de temperatura da superfície do mar indicando um filamento de água costeira advectada por um vórtice ciclônico para oceano aberto.

Correntes

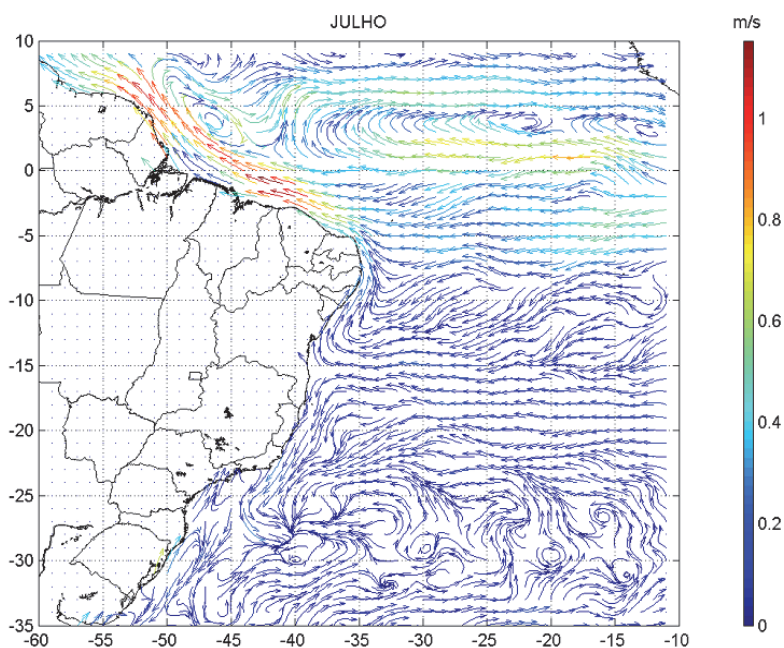
A partir de derivadores lançados entre os anos de 1990 e 2004, Lumpkin & Garrafo (2005) obtiveram campos mensais médios de velocidade superficial de correntes com resolução de 1°, por todo o globo.

A **Figura II.5.1.2-51** e a **Figura II.5.1.2-52** apresentam os resultados para os meses de janeiro (típico de verão) e julho (típico de inverno), respectivamente. Ao longo da costa Sudeste brasileira, incluindo a área de estudo, é possível identificar fluxos predominantes para Sudoeste, tanto em período de verão quanto de inverno.



Fonte: LUMPKIN & GARRAFFO (2005).

Figura II.5.1.2-51 – Correntes superficiais médias no mês de janeiro (1990-2004) obtidas a partir de dados de boias de deriva oceanográficas. Os vetores indicam a direção, e as cores, a intensidade das correntes.



Fonte: LUMPKIN & GARRAFFO (2005).

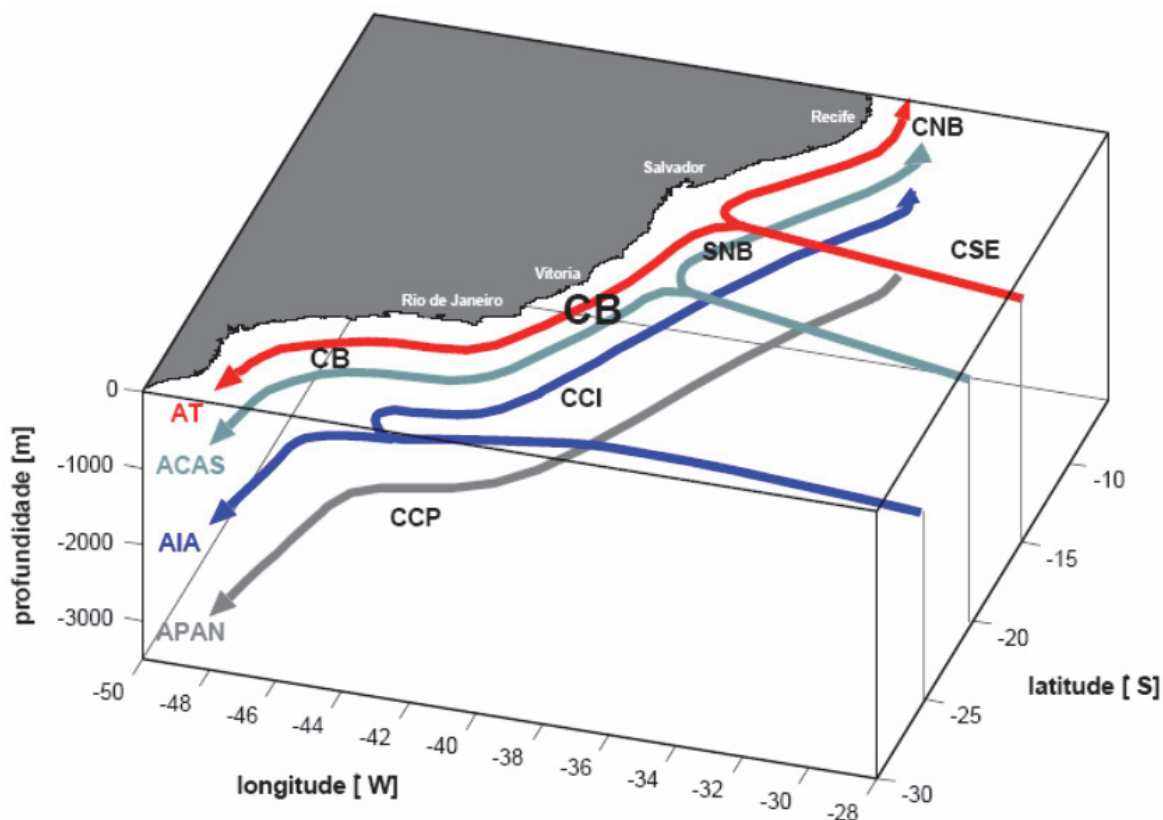
Figura II.5.1.2-52 – Correntes superficiais médias no mês de julho (1990-2004) obtidas a partir de dados de boias de deriva oceanográficas. Os vetores indicam a direção, e as cores, a intensidade das correntes.

Conforme descrito no **tópico A** do **subitem II.5.1.2 - Oceanografia**, deve-se destacar que os movimentos são regidos por suas escalas temporais significativas: maregráficas e submaregráficas (ou subinerciais). No TC e OP da área de estudo, os movimentos supramaregráficos são aqueles gerados ou influenciados pela ação da maré astronômica e os movimentos subinerciais são aqueles gerados ou influenciados pelos ventos médios, ventos de passagem de frentes frias, ciclones, variações laterais do campo de massa e escoamento de correntes de contorno, como a CB.

Por meio dos estudos de Pereira *et al.* (2007), que propôs um mapa das elipses de marés para a região Sudeste do Brasil, onde está compreendida a área de estudo, para a componente astronômica M_2 , que é a mais importante da região (conforme detalhada no item **C** em **variação do nível do mar**) disponível na **Figura II.5.1.2-11**. Essa figura mostra que sobre o TC e OP as correntes geradas pela maré são insignificantes, com magnitudes inferiores a 1 cm/s. Estes movimentos não são detectados na **Figura II.5.1.2-51** e na **Figura II.5.1.2-52**, que mostram os fluxos médios.

Já para as correntes subinerciais, o quadro sinótico é mais importante e complexo. Na **Figura II.5.1.2-51** e na **Figura II.5.1.2-52**, o fluxo superficial que se propaga no sentido E-W, e atinge a costa brasileira em torno de 15°S, é denominado Corrente Sul Equatorial - CSE, e sua ramificação Sul, que percorre o TC, é a Corrente do Brasil (CB) (SILVEIRA *et al.*, 2000; STRAMMA & ENGLAND, 1999). A CB é a corrente de contorno Oeste do Atlântico Sul, completando o Giro Subtropical do Atlântico Sul - GSAS.

A CB flui para o Sul ao largo da margem continental brasileira até a convergência subtropical (33°S - 38°S), onde conflui com a Corrente das Malvinas e se separa da costa (SILVEIRA *et al.*, 2000). Um esquema simplificado da ramificação da CSE e da CB, fluindo para o Sul ao longo do TC da área de estudo pode ser observado na **Figura II.5.1.2-53**.



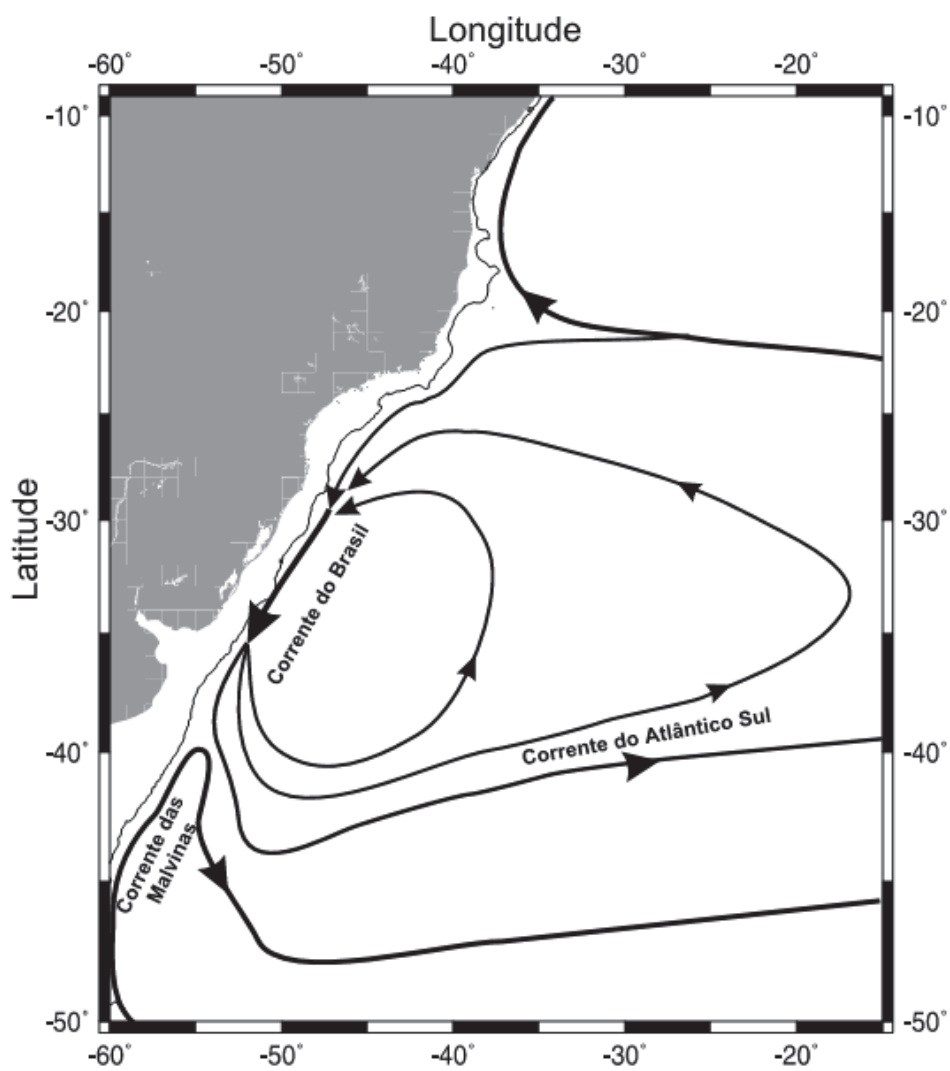
Fonte: adaptado de SOUTELINO (2008).

Figura II.5.1.2-53 – Síntese da origem e do escoamento da Corrente do Brasil (CB) ao longo da margem continental brasileira. CSE refere-se a Corrente Sul Equatorial, CNB - Corrente Norte do Brasil, SNB - Subcorrente Norte do Brasil, CCI - Corrente de Contorno Intermediária e CCP - Corrente de Contorno Profundo. AT, ACAS, AIA e APAN refere-se as massas de água: Água Tropical, Água Central do Atlântico Sul, Água Intermediária Antártica e Água Profunda do Atlântico Norte.

Próximo de seu provável sítio de origem em torno de 15° S, a base do jato da CB está a 150-200 m de profundidade (STRAMMA & ENGLAND, 1999; SOUTELINO *et al.*, 2011) e transporta basicamente AT. A partir de 20°S a CB passa a receber contribuição picnoclínica da ACAS e seu jato se espessa até 400-500 m de profundidade (EVANS & SIGNORINI, 1985; SILVEIRA *et al.* 2004; 2008). Após este ganho de volume, a CB é novamente alimentada em latitudes médias da Bacia de Santos (25 - 28° S) com a contribuição da AIA que passa a ser transportada para Sul onde a CCI bifurca-se (MÜLLER *et al.*, 1998; STRAMMA & ENGLAND, 1999; SILVEIRA, 2006). A base do jato da CB alcança, então, aproximadamente 1.000 m de profundidade.

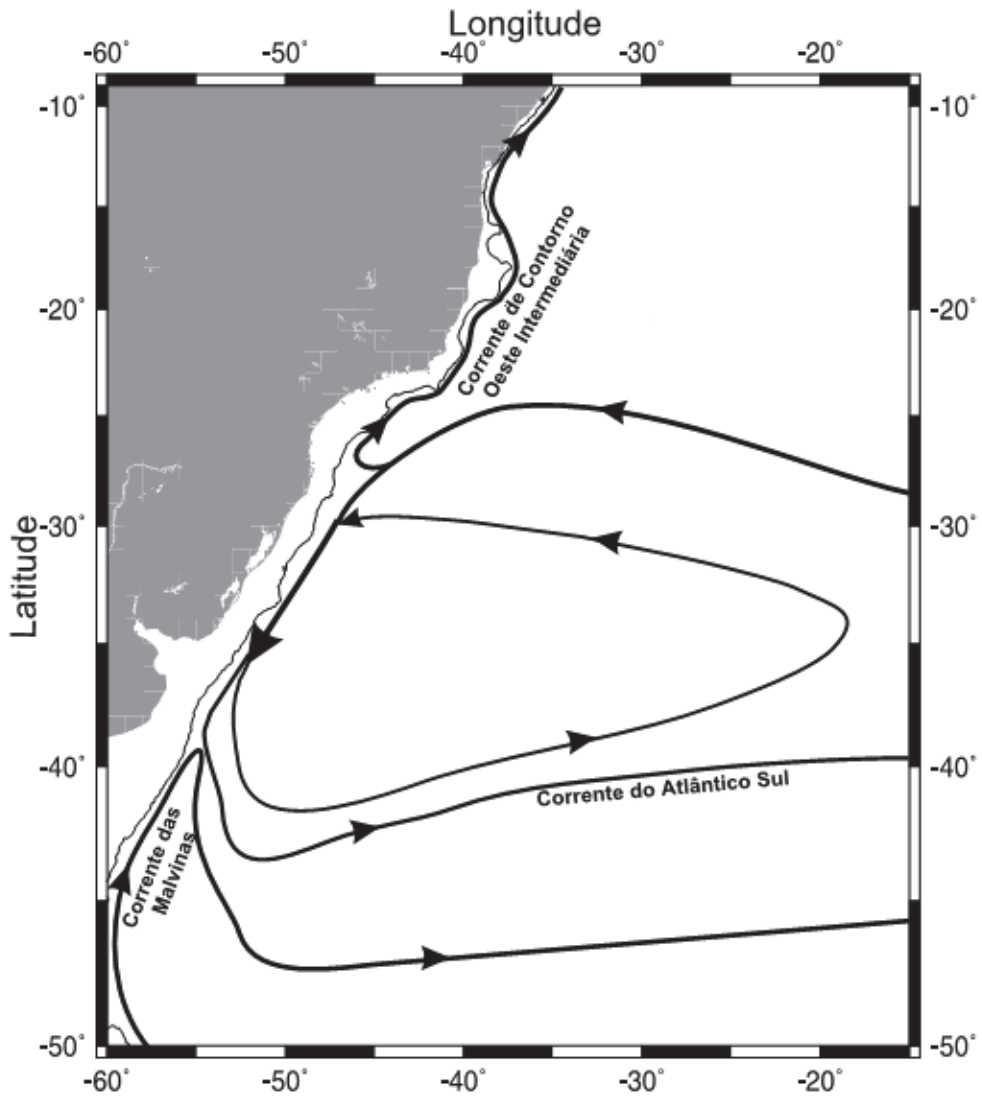
Em torno de 1000-1300 m de profundidade, a Água Circumpolar Superior é considerada como limite inferior do GSAS e flui solidariamente à AIA (STRAMMA & ENGLAND, 1999; MÉMERY *et al.*, 2000; SILVEIRA, 2006). Por fim, junto ao fundo marinho entre 1.300 e 3.000 m está localizada a APAN que escoar para o quadrante Sul no contorno do sopé continental, transportada pela CCP.

Silveira (2007), baseado em estudos de Reid (1989) e Stramma & England (1999), esquematizou a variação vertical deste sistema até a profundidade de 2.000 m (**Figura II.5.1.2-54 a Figura II.5.1.2-56**). Nesta última profundidade, é encontrada a CCP, fluindo na mesma direção da CB (para Sul/Sudeste). Contudo, a presença da feição fisiográfica conhecida como Platô de São Paulo, interrompe o talude continental em cerca de 1.500 m a 2.000 m de profundidade e desloca para o oceano aberto a CCP. Com isto, esta corrente profunda está desacoplada dinamicamente da CB e da CCI nas Bacias de Campos e Santos (SILVEIRA, 2007).



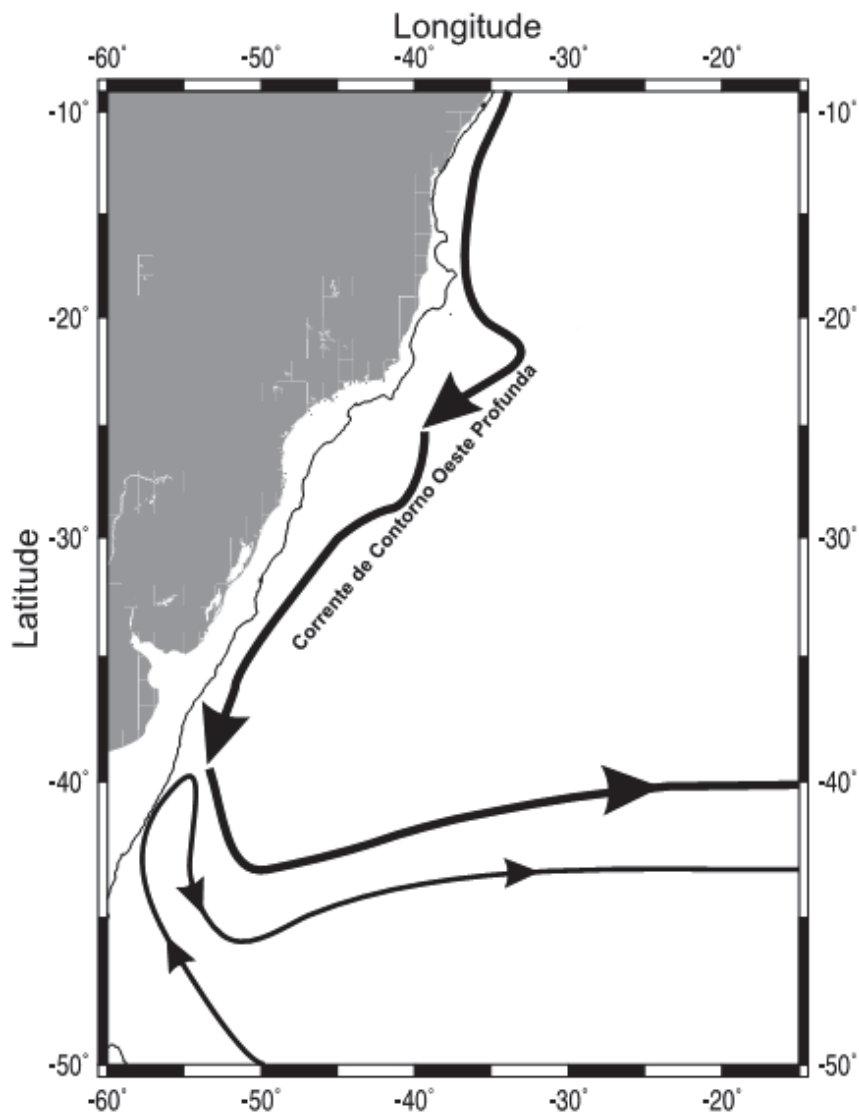
Fonte: SILVEIRA (2007)

Figura II.5.1.2-54 – Representação vertical das correntes no Atlântico Sul ao nível de 250 m.



Fonte: SILVEIRA (2007)

Figura II.5.1.2-55 – Representação vertical das correntes no Atlântico Sul ao nível de 800 m.



Fonte: SILVEIRA (2007)

Figura II.5.1.2-56 – Representação vertical das correntes no Atlântico Sul ao nível de 2.000 m.

A **Tabela II.5.1.2-5** apresenta estimativas de transportes de volume em Sv (1 Sv = 10^6 m³/s) e velocidades máximas encontradas na literatura para a CB, por diversos autores, na faixa latitudinal entre 21°S e 24°S.

Tabela II.5.1.2-5 – Estimativas de transporte de volume e da velocidade máxima da CB entre 21°S e 24°S. Os sinais negativos denotam a direção Sul-Sudoeste.

Latitude	Prof. ref. (m) ¹	Transp. (Sv)	Vel.(m/s)	Referência
21°S	600	-9,4	-	SCHMID <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° 40' S	500	-4,4	-0,61	EVANS <i>et al.</i> (1983)
22°S	600	-5,2	-0,55	SIGNORINI (1978)
22°S	fundeio	-5,5 ± 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	fundeio	-1,3	-0,28	MÜLLER <i>et al.</i> (1998)
23° 30' 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)

¹ - A profundidade de referência é o valor utilizado no cálculo da corrente pelo método dinâmico. Numérico refere-se ao cálculo do transporte realizado por métodos numéricos (modelagem). Fundeio refere-se a medições in situ de correntes. Pegasus refere-se a medições por meio de perfiladores verticais de velocidade da corrente.

Fonte: Silveira (2007)

Em termos de valores de transporte, deve-se chamar atenção para a diferença entre os métodos utilizados: cálculo geostrofico (referenciado arbitrariamente), numérico (por modelagem, que permite avaliação de velocidades baroclínicas absolutas) e por fundeios correntográficos (que são dependentes da resolução dos correntógrafos, da escolha das interfaces e do método de cálculo dos transportes). Ainda assim, observa-se que, tipicamente, os valores de transporte variam entre -2,2 e -11 Sv. A média e o desvio padrão dos valores listados na **Tabela II.5.1.2-6** são de $-6,4 \pm 2,8$ Sv (SILVEIRA, 2007).

Alguns autores sugerem a existência de uma recirculação interna do GSAS, e esta pode estar subdividida em um padrão de dupla-célula, alongado zonalmente. Tsuchiya (1985) usou dados históricos climatológicos de temperatura e

salinidade, e mostrou que o GSAS possui duas células centradas próximas a 22°S e 32°S. A primeira envolvendo recirculação de águas tropicais e a segunda, recirculando também águas subtropicais. A extensão zonal destas abrange desde a região costeira até cerca de 30°W. O padrão dupla-célula alongado assemelha-se a dois subgiros.

Mémery *et al.* (2000) corroborou Tsuchiya (1985), sugerindo que em profundidades mais rasas que 200 m haveria uma subdivisão do giro subtropical em duas células, provavelmente separadas pela Contracorrente Subtropical do Atlântico Sul (CCST-AS). Mattos (2006), centrando esforços na célula Norte da recirculação corrobora os padrões descritos acima e sugere que próximo de 27°S, cerca de 80% do escoamento da CB recircule como um escoamento de retorno. As três representações destes autores para essa recirculação estão na **Figura II.5.1.2-57**.

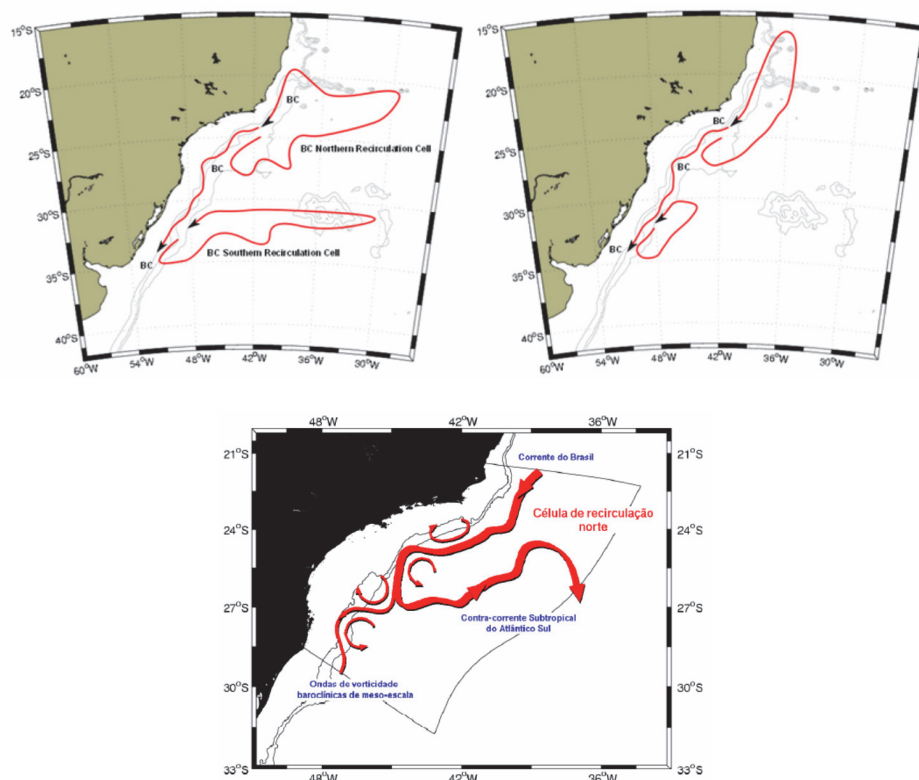
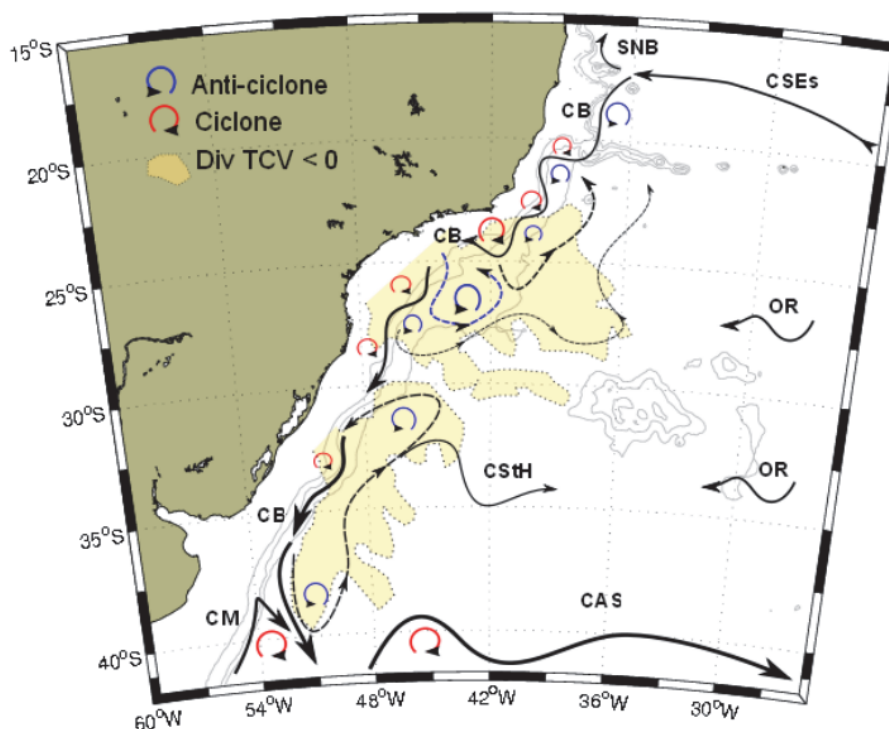


Figura II.5.1.2-57 – Padrões médios de da recirculação interna do Giro Subtropical do Atlântico Sul, segundo Tsuchiya (1965) – superior esquerdo; Reid (1989) – superior direito; e Mattos (2006) – inferior.

Belo (2011) propõe que o processo de recirculação do GSAS não seria apenas governado pelo vento, mas também por uma componente termohalina. Proveniente do contraste termal entre as águas superficiais mais frias na região e menos salinas do OP e a AT que é transportada pela CB. O esquema proposto por este autor está na **Figura II.5.1.2-58**.



Fonte: Belo (2011).

Figura II.5.1.2-58 – Cenário proposto para o esquema de recirculação interna do Giro Subtropical nos primeiros 200 – 400 m da coluna de água. CB: Corrente do Brasil, CM: Corrente das Malvinas; CAS: Corrente do Atlântico Sul; CStH: Corrente de Santa Helena; CSEs: ramo Sul da Corrente Sul Equatorial; SNB: Sub-corrente Norte do Brasil; OR: Ondas de Rossby.

Belo (2011) caracterizou a variabilidade vertical do OP na Bacia de Santos a partir de dados coletados no período entre 03/2008 e 04/2010 em um fundeio localizado na profundidade de 2.200 m, com medições em diversos níveis. A localização deste fundeio com relação aos blocos do Pré-Sal pode ser visualizada na **Figura II.5.1.2-59**.

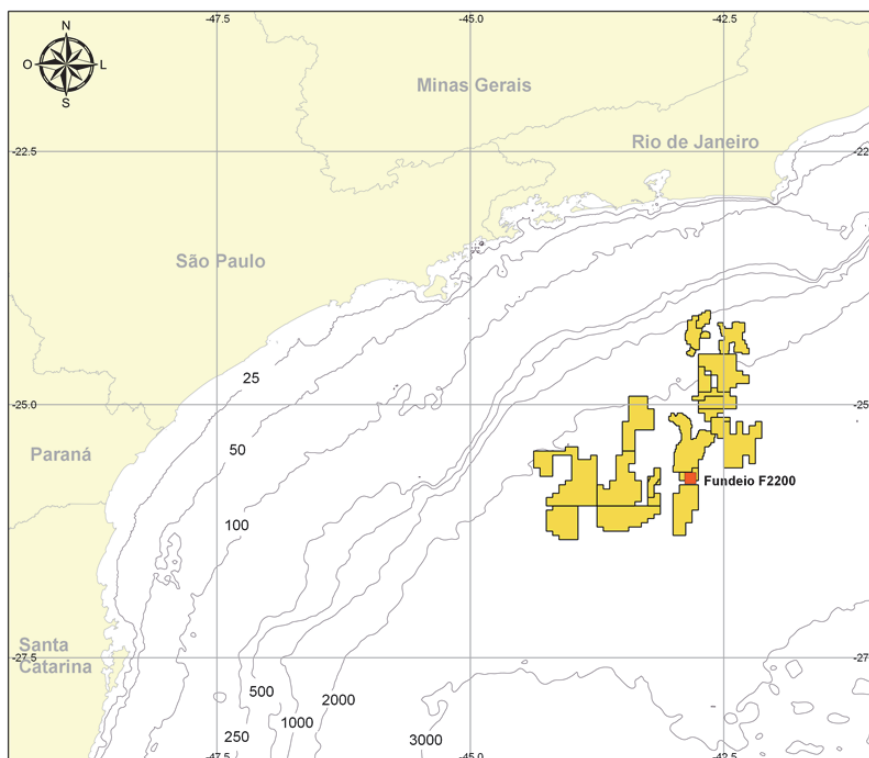
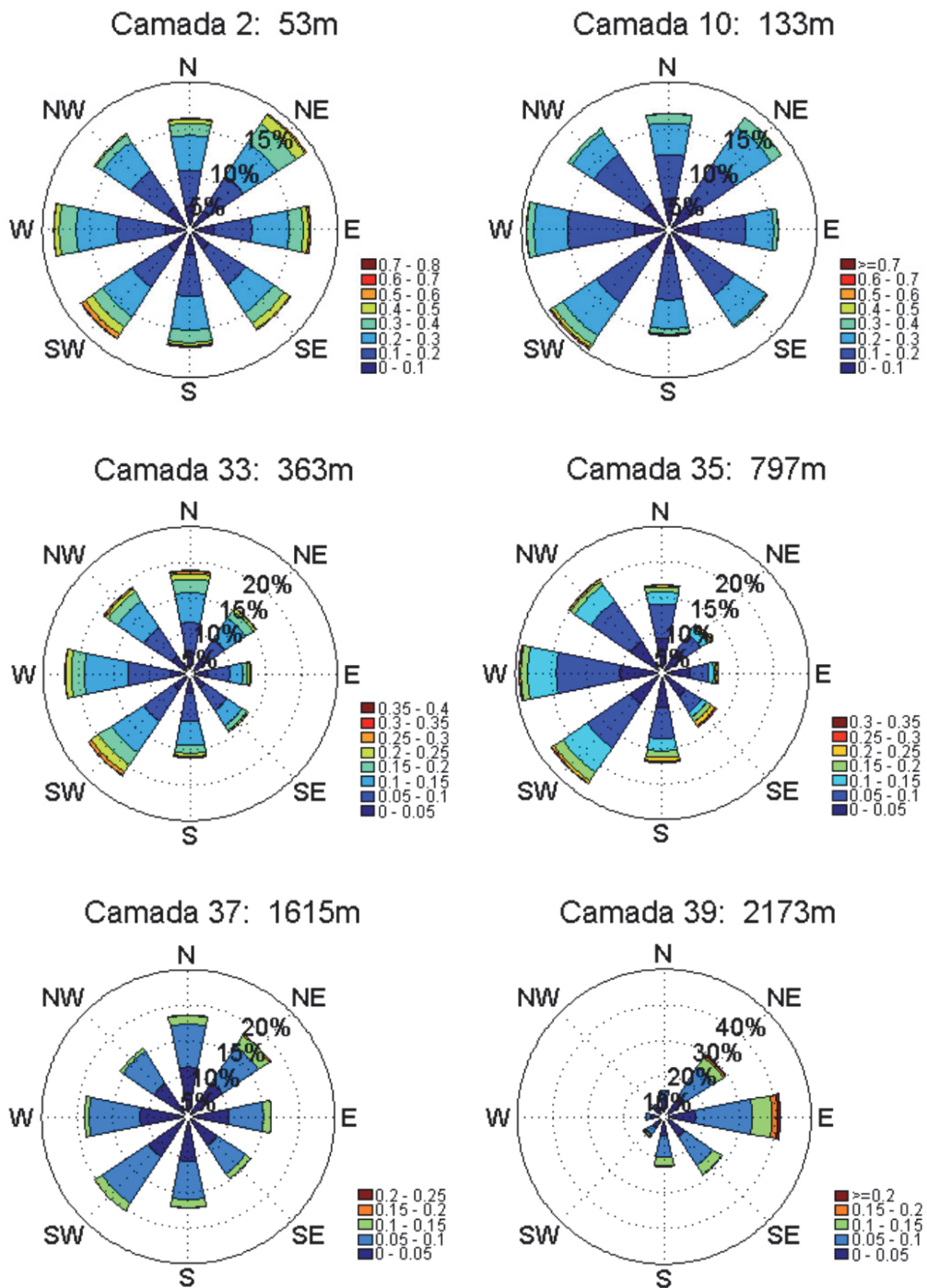


Figura II.5.1.2-59 – Local de coleta (F2200) de dados na região do polo Pré-Sal da Bacia de Santos apresentado por Belo (2011). Os polígonos amarelos indicam os blocos do Pré-Sal. Os números indicam a profundidade em m.

Na **Figura II.5.1.2-60**, mostra as distribuições de corrente daquele fundoio por classes de direção nas profundidades de 53, 133, 363, 797, 1.615 e 2.173 m. Os gráficos evidenciam que as correntes têm grande variabilidade direcional, não existindo uma direção predominante nos primeiros 130 m da coluna d'água. Belo (2011) destaca que pode ser admitido que as direções Sudeste e Nordeste se destaquem com provável contribuição dos meandros da CB e da passagem de vórtices pela região do OP adjacente ao TC.

Conforme se aproxima do nível de 400 m, este autor observou uma variação do padrão de correntes na região, predominando as de direção para Oeste, e que se tornam mais intensas até o nível de 800 m. Junto ao fundo, as correntes apresentam direção predominante para Leste.



Fonte: adaptado de Belo (2011).

Figura II.5.1.2-60 – Distribuição das correntes para fundeio instrumentado instalado em 2200 m na área do Pré-Sal da Bacia de Santos. As circunferências mostram a frequência de ocorrência em cada direção (convenção vetorial), onde o Norte aponta para cima e o Leste para a direita. As cores das barras descrevem a intensidade da corrente, de acordo com a escala graduada. Dados entre 03/2008 e 04/2010.

Desta maneira, seguindo o arcabouço teórico apresentado, para a região do TC e OP da área de estudo, o regime de correntes subinerciais tem uma configuração complexa. Sobre o TC, da superfície a aproximadamente 500 m de profundidade, está localizada a CB fluindo para S/SE. Abaixo desta, na coluna de água, está a CCI fluindo para o Norte, até a profundidade aproximada de 2.000 m. Nas proximidades do fundo marinho existe a CCP fluindo para S. Na região do OP adjacente ao TC, na área de estudo, os regimes de correntes não apresentam direção preferencial, denotando um regime fortemente influenciado por meandramentos e vórtices das correntes localizadas no TC.

Para verificar a variabilidade e estatísticas desta estrutura de correntes no TC e OP da área de estudo foram analisados dados coletados *in situ*. O programa *Deep Ocean*, integrante do *World Ocean Circulation Experiment (WOCE)*, instalou dois fundeios, BW333 e BM334, na Bacia de Santos, no TC e OP a Sudoeste da área de estudo (**Tabela II.5.1.2-1** e **Figura II.5.1.2-3**), que registraram intensidade e direção de correntes em diversos níveis de profundidade, entre 01/1991 e 11/1992.

A PETROBRAS coletou dados entre 06/2008 e 02/2009 no TC nas proximidades da área de estudo do Projeto Etapa 2, na profundidade de 500 m, denominado BS500.

As representações dessas correntes, ao longo do tempo, são apresentadas da **Figura II.5.1.2-61** até a **Figura II.5.1.2-63**, para os fundeios BW333, BM334 e BS500. Os primeiros momentos estatísticos destas representações estão dispostos da **Tabela II.5.1.2-6** até a **Tabela II.5.1.2-8**.

Tabela II.5.1.2-6 – Primeiros momentos estatísticos da intensidade das correntes coletadas pelo fundeio BW333 do programa WOCE.

Profundidade (m)	Intensidade				
	Média (m/s)	Mínimo (m/s)	Máximo (m/s)	Desvio Padrão (m/s)	Variância (m ² /s ²)
Anual					
230	0,35	0,01	0,94	0,16	0,03
475	0,20	0,01	0,68	0,10	0,01
680	0,11	0,01	0,54	0,09	0,01
885	0,11	0,01	0,44	0,08	0,01
Verão					
230	0,37	0,01	0,94	0,17	0,03
475	0,22	0,01	0,68	0,11	0,01
680	0,14	0,01	0,54	0,09	0,01
885	0,11	0,01	0,37	0,08	0,01
Inverno					
230	0,35	0,02	0,76	0,13	0,02
475	0,19	0,01	0,46	0,07	0,01
680	0,09	0,01	0,46	0,08	0,01
885	0,09	0,01	0,44	0,08	0,01

Fonte de dados: Fundeio WOCE BW333 (2013)

Tabela II.5.1.2-7 – Primeiros momentos estatísticos da intensidade das correntes coletadas pelo fundeio BM334 do programa WOCE.

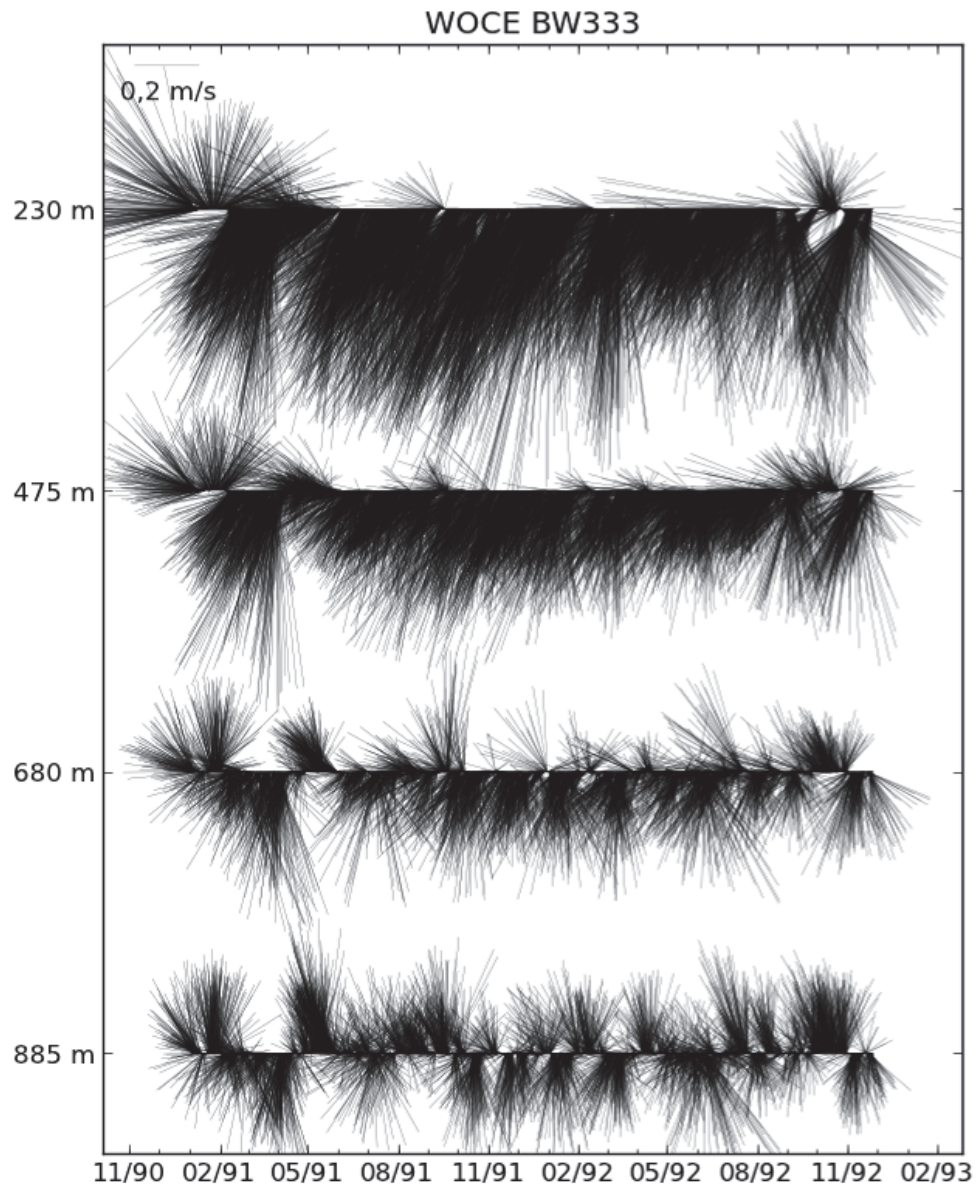
Profundidade (m)	Intensidade				
	Média (m/s)	Mínimo (m/s)	Máximo (m/s)	Desvio Padrão (m/s)	Variância (m ² /s ²)
Anual					
230	0,18	0,01	0,63	0,11	0,01
470	0,13	0,01	0,53	0,08	0,01
870	0,08	0,01	0,41	0,07	0,00
1370	0,07	0,01	0,36	0,05	0,00
2140	0,06	0,01	0,37	0,06	0,00
Verão					
230	0,23	0,01	0,63	0,15	0,02
470	0,17	0,01	0,53	0,10	0,01
870	0,12	0,01	0,41	0,09	0,01
1370	0,09	0,01	0,36	0,06	0,00
2140	0,07	0,01	0,35	0,06	0,00
Inverno					
230	0,14	0,01	0,53	0,10	0,01
470	0,11	0,01	0,36	0,07	0,00
870	0,06	0,01	0,36	0,05	0,00
1370	0,06	0,01	0,23	0,04	0,00
2140	0,06	0,01	0,33	0,06	0,00

Fonte de dados: Fundeio WOCE BM334 (2013)

Tabela II.5.1.2-8 – Primeiros momentos estatísticos da intensidade das correntes coletadas pelo fundeio BS500 da PETROBRAS.

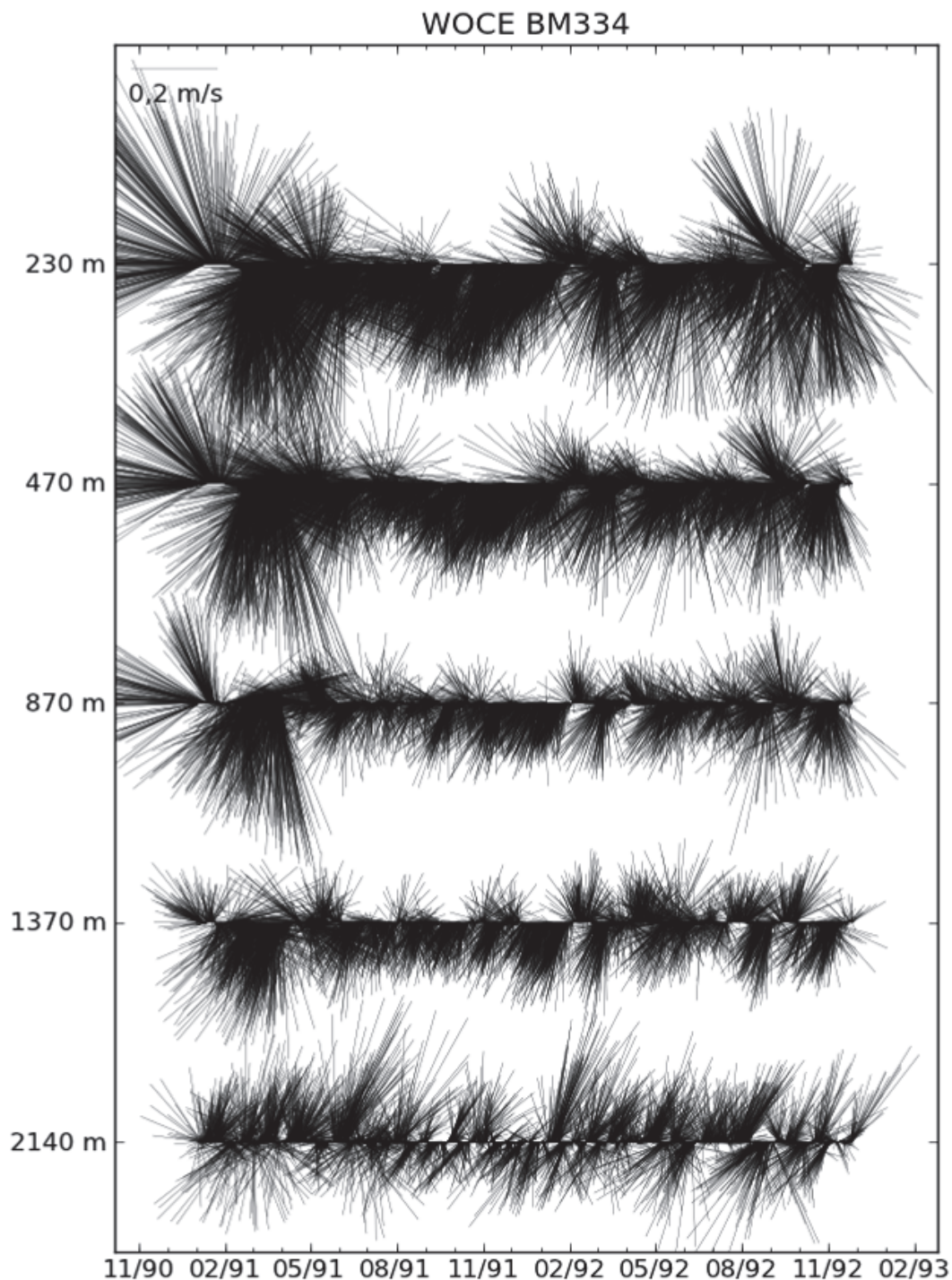
Profundidade (m)	Intensidade				
	Média (m/s)	Mínimo (m/s)	Máximo (m/s)	Desvio Padrão (m/s)	Variância (m ² /s ²)
Anual					
10	0,53	0,00	1,25	0,23	0,05
Verão					
10	0,63	0,05	1,13	0,18	0,03
Inverno					
10	0,40	0,01	0,94	0,17	0,03

Fonte de dados: Fundeio PETROBRAS BS500



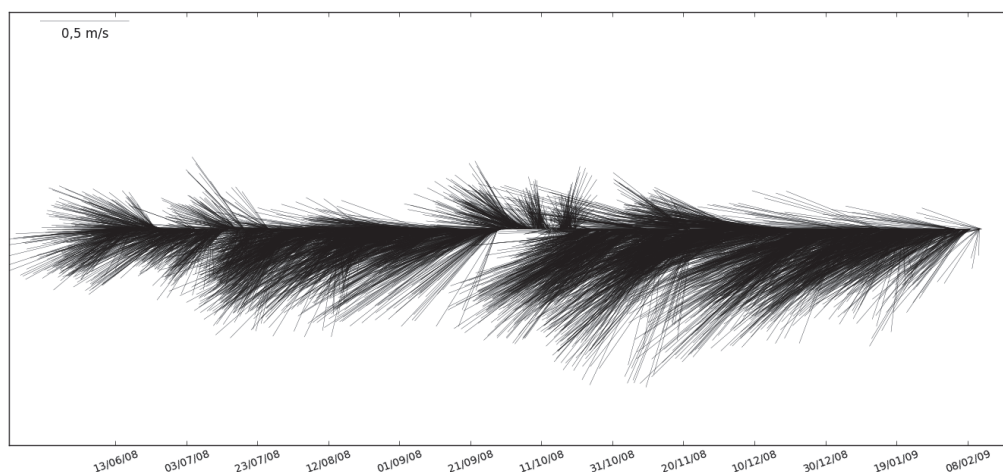
Fonte de dados: Fundeio WOCE BW333 (2013)

Figura II.5.1.2-61 – Vetores de velocidade de corrente a 230, 475, 680 e 885 m de profundidade, ao longo dos anos de 1991 e 1992, coletados pelo fundMeio BW333 do projeto WOCE, a Sudoeste da região dos empreendimentos. O Norte aponta para cima e o Leste, para direita. O vetor referência está localizado no canto superior esquerdo.



Fonte de dados: Fundeio WOCE BM334 (2013)

Figura II.5.1.2-62 – Vetores de velocidade de corrente a 230, 470, 870, 1370 e 2140 m de profundidade ao longo dos anos de 1991 e 1992, coletados pelo fundeio BM334 do projeto WOCE, a Sudoeste da região dos empreendimentos. O Norte aponta para cima e o Leste, para direita. O vetor referência está localizado no canto superior esquerdo.



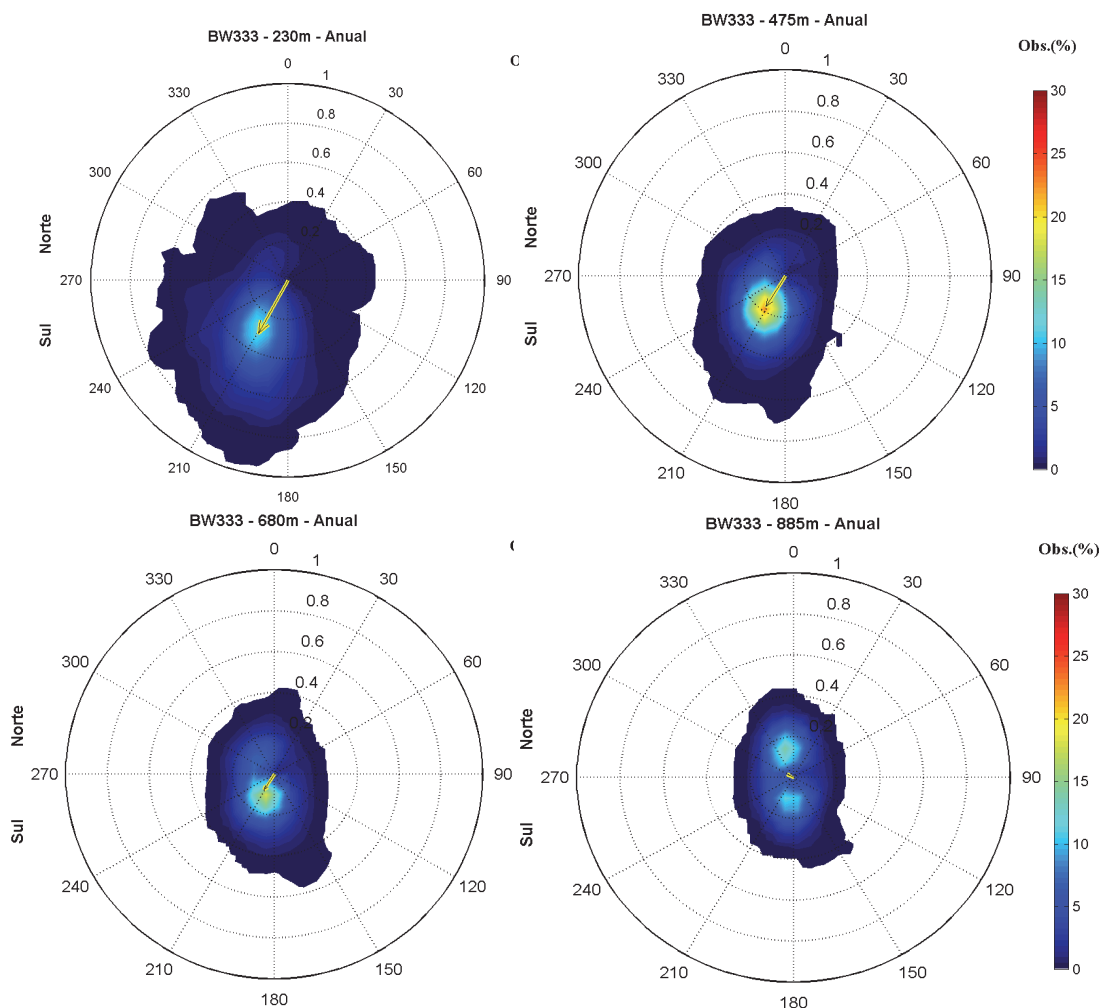
Fonte de dados: Fundeio BS500 PETROBRAS

Figura II.5.1.2-63 – Vetores de velocidade de corrente a 10 m de profundidade ao longo dos anos de 2008 e 2009, coletados pelo fundeio BS500 da PETROBRAS. O Norte aponta para cima e o Leste, para direita. O vetor referência está localizado no canto superior esquerdo.

A Tabela II.5.1.2-7 e a Tabela II.5.1.2-8, a Figura II.5.1.2-61 e a Figura II.5.1.2-62, mostram que a média da intensidade das correntes diminui com o aumento da profundidade, e as intensidades no verão são maiores que no inverno. Além disso, para as correntes em 230 m, a variabilidade da intensidade é maior que nas camadas mais profundas. Nessas camadas superiores, a variabilidade é maior no verão quando comparada ao inverno. Nota-se também que, com o aumento da profundidade, inversões do padrão de circulação são mais frequentes.

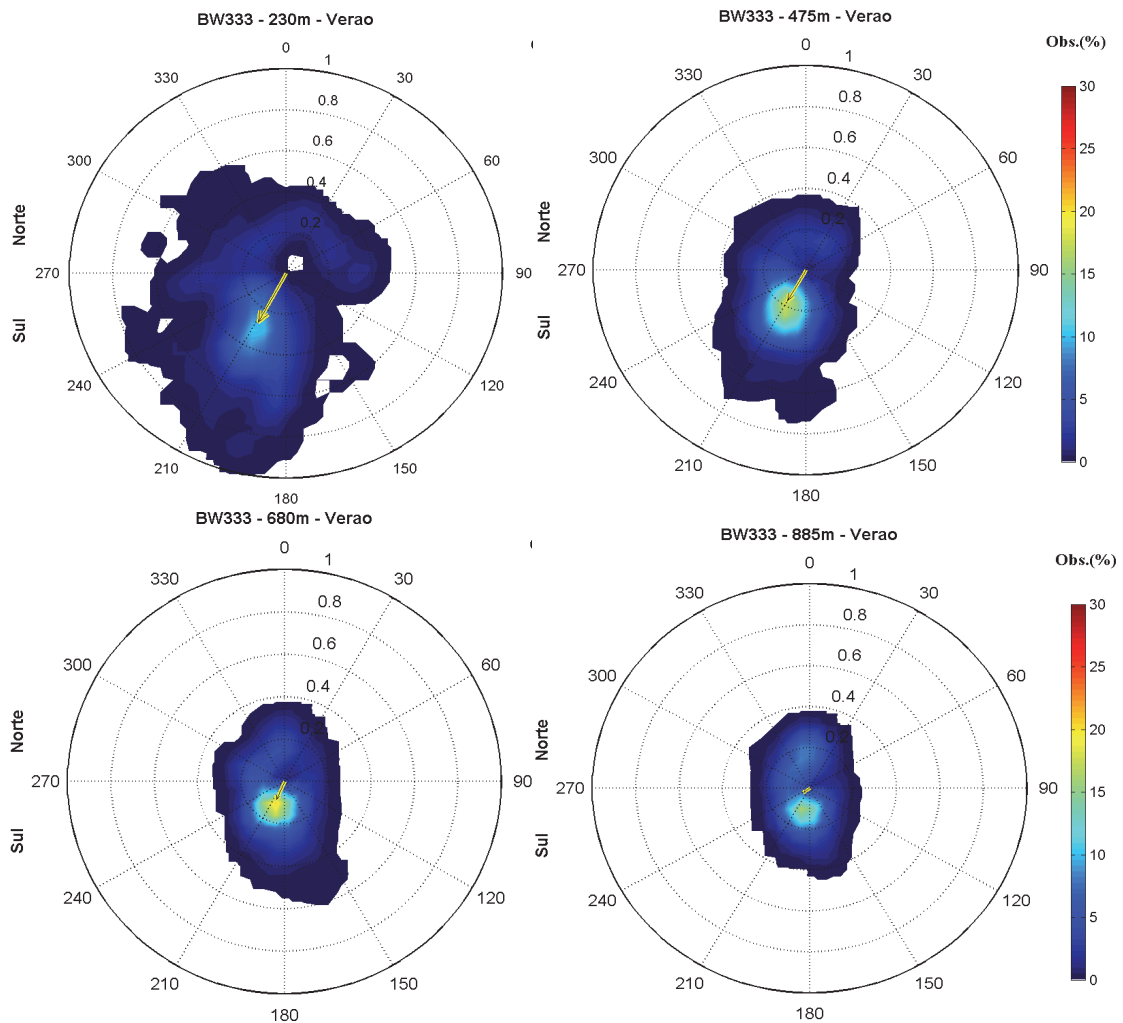
Para as velocidades coletadas a 10 m de profundidade no fundeio BS500 da PETROBRAS (Figura II.5.1.2-63) nota-se que estas possuem intensidades médias e máximas superiores às registradas nos fundeios WOCE, bem como maiores variabilidades tanto no verão quanto no inverno.

Para melhor visualização da direção preferencial das correntes, são apresentadas da Figura II.5.1.2-64 até a Figura II.5.1.2-72, contendo diagramas de dispersão, com valores anuais (Figura II.5.1.2-64, Figura II.5.1.2-67 e Figura II.5.1.2-70), de verão (Figura II.5.1.2-65, Figura II.5.1.2-68 e Figura II.5.1.2-71) e de inverno (Figura II.5.1.2-66, Figura II.5.1.2-69 e Figura II.5.1.2-72), para os três fundeios em análise.



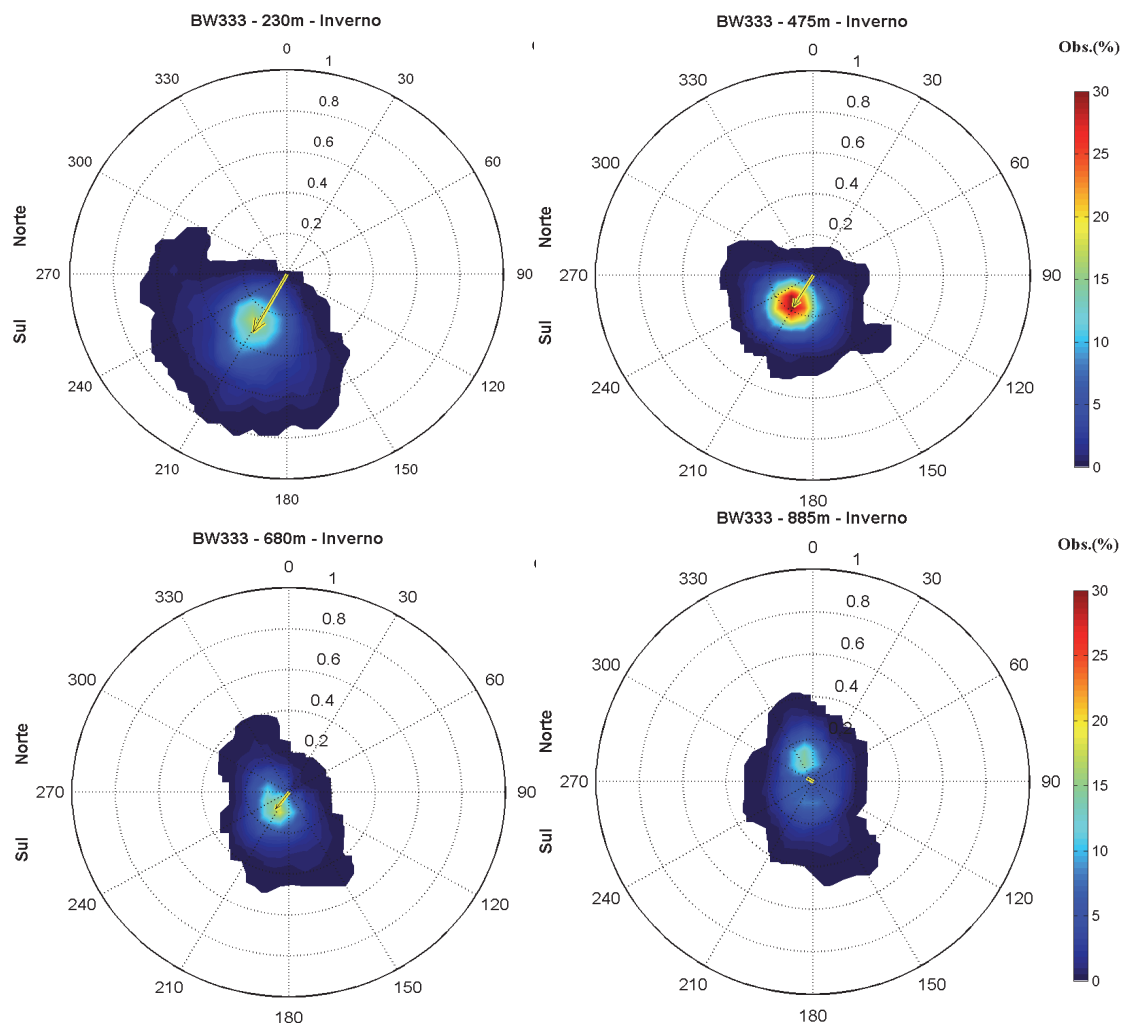
Fonte de dados: Fundeio WOCE BW333 (2013)

Figura II.5.1.2-64 – Diagramas de dispersão direcional para as correntes medidas pelo fundeio BW 333 do projeto WOCE – dados totais. Superior esquerdo representa a profundidade de 230 m, superior direito 475 m, inferior esquerdo 680 m e inferior direito 885 m. As intensidades estão representadas pelas circunferências, com valor máximo de 1,0 m/s. A direção está representada pela variação radial (0 a 360°) – convenção vetorial. As cores representam a frequência (%) de ocorrência de acordo com a intensidade e direção. O vetor no centro de cada diagrama representa a velocidade média.



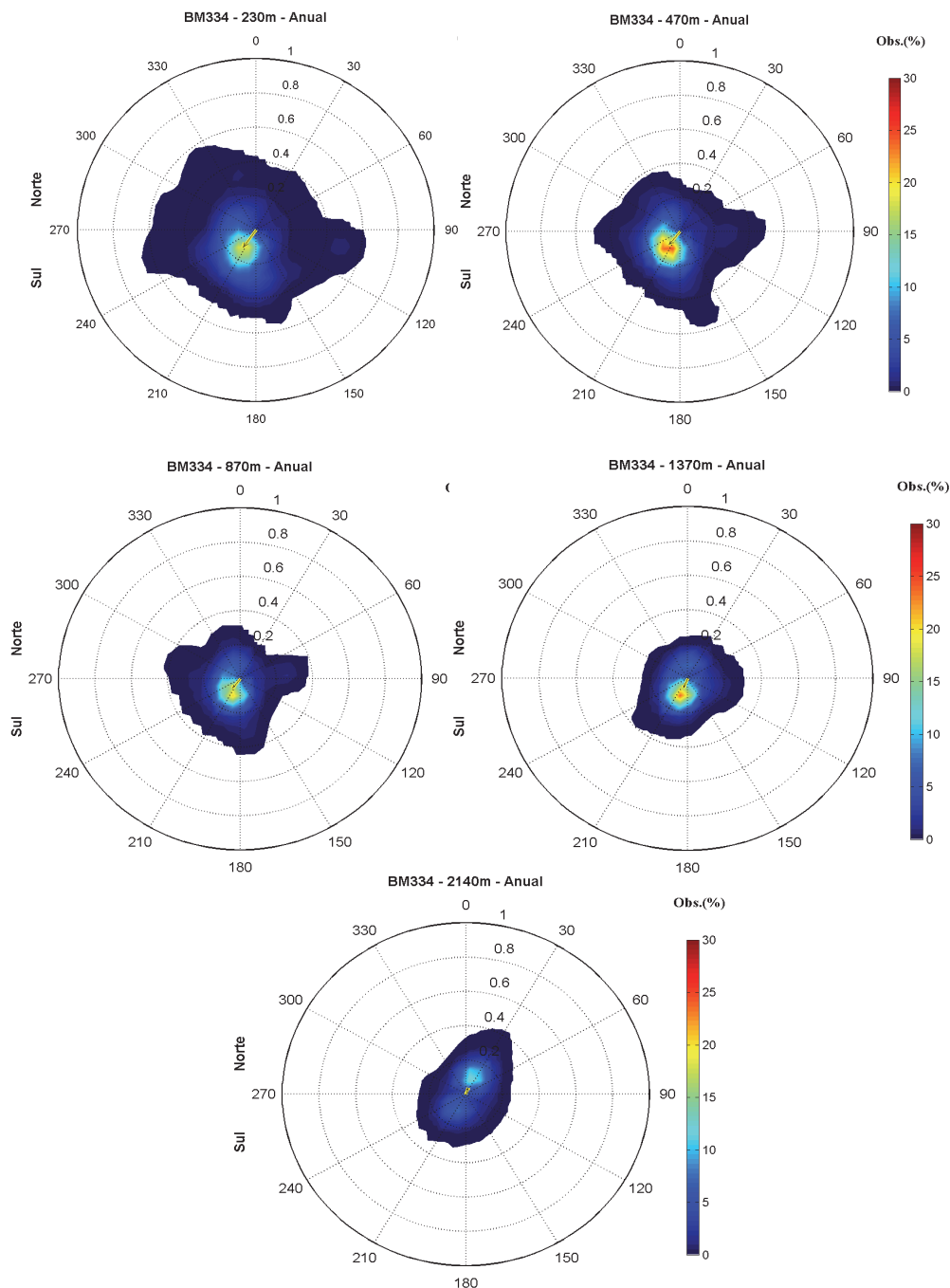
Fonte de dados: Fundeio WOCE BW333 (2013)

Figura II.5.1.2-65 – Diagramas de dispersão direcional para as correntes medidas pelo fundeio BW 333 do projeto WOCE – dados de verão. Superior esquerdo representa a profundidade de 230 m, superior direito 475 m, inferior esquerdo 680 m e inferior direito 885 m. As intensidades estão representadas pelas circunferências, com valor máximo de 1,0 m/s. A direção está representada pela variação radial (0 a 360°) – convenção vetorial. As cores representam a frequência (%) de ocorrência de acordo com a intensidade e direção. O vetor no centro de cada diagrama representa a velocidade média.



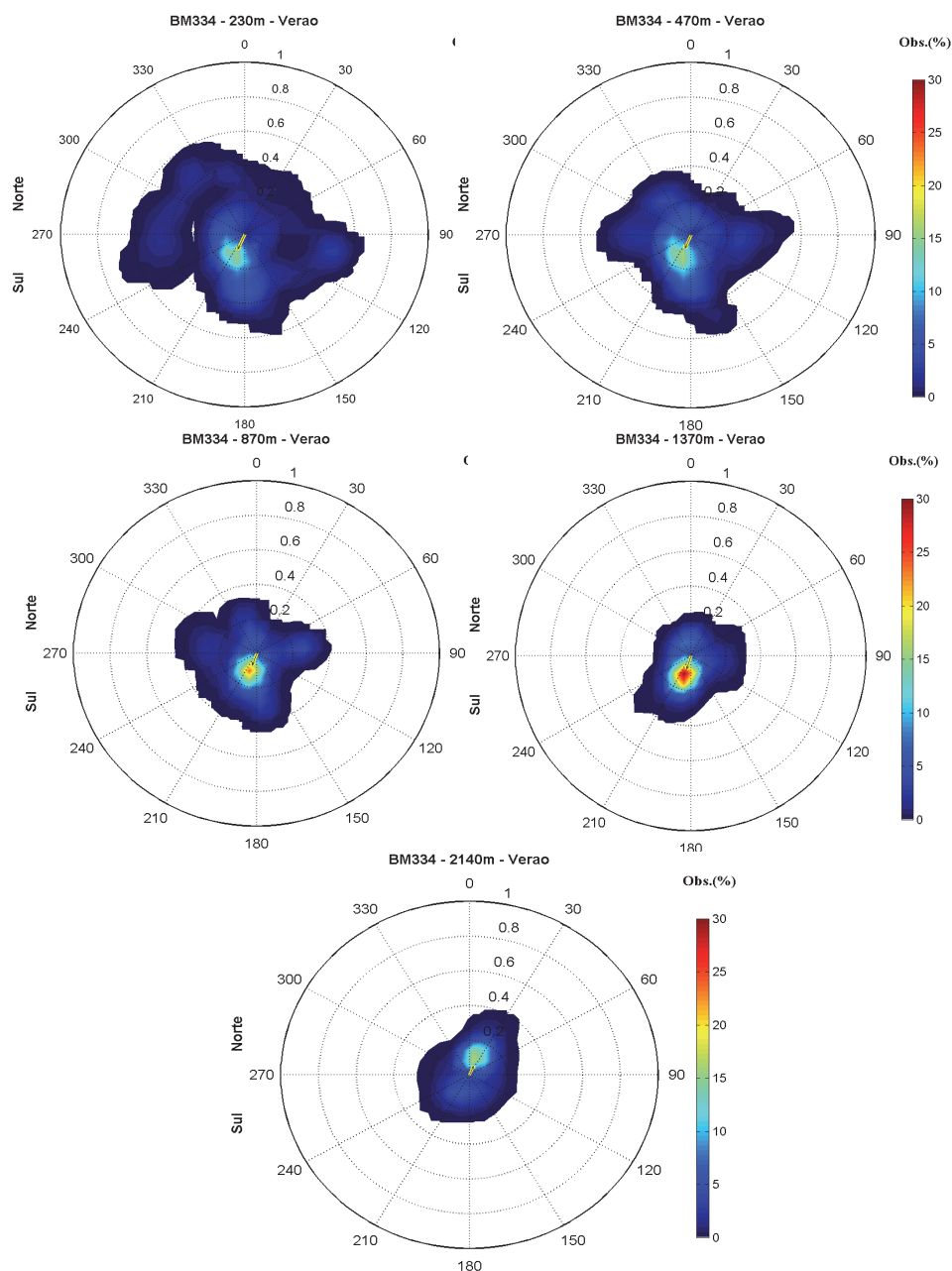
Fonte de dados: Fundeio WOCE BW333 (2013)

Figura II.5.1.2-66 – Diagramas de dispersão direcional para as correntes medidas pelo fundeio BW 333 do projeto WOCE – dados de inverno. Superior esquerdo representa a profundidade de 230 m, superior direito 475 m, inferior esquerdo 680 m e inferior direito 885 m. As intensidades estão representadas pelas circunferências, com valor máximo de 1,0 m/s. A direção está representada pela variação radial (0 a 360°) – convenção vetorial. As cores representam a frequência (%) de ocorrência de acordo com a intensidade e direção. O vetor no centro de cada diagrama representa a velocidade média.



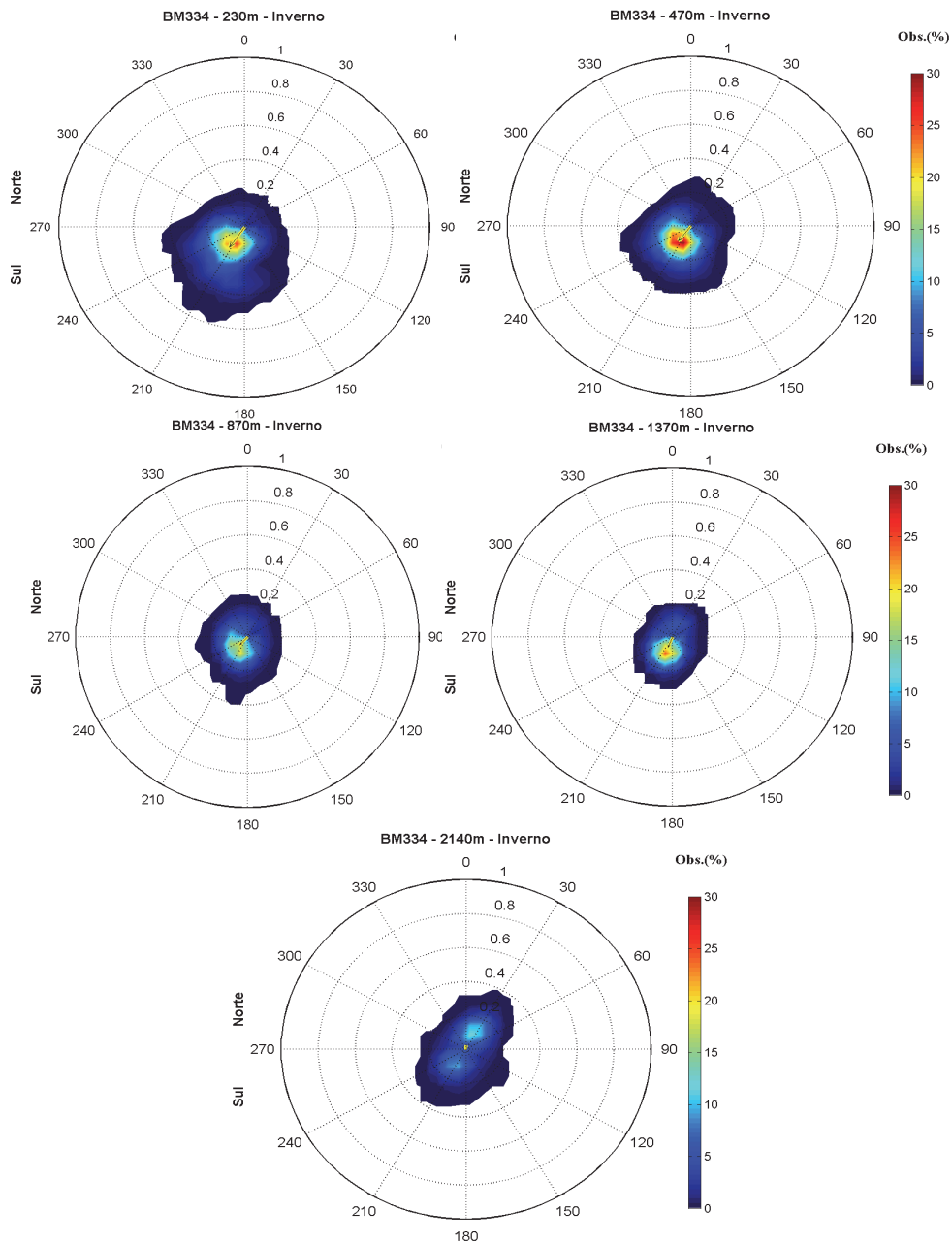
Fonte de dados: Fundeio WOCE BM334 (2013)

Figura II.5.1.2-67 – Diagramas de dispersão direcional para as correntes medidas pelo fundeio BM334 do projeto WOCE – dados totais. Superior esquerdo representa a profundidade de 230 m, superior direito 470 m, centro esquerdo 870 m, centro direito 1.370 m e inferior 2.140 m. As intensidades estão representadas pelas circunferências, com valor máximo de 1,0 m/s. A direção está representada pela variação radial (0 a 360°) – convenção vetorial. As cores representam a frequência (%) de ocorrência de acordo com a intensidade e direção. O vetor no centro de cada diagrama representa a velocidade média.



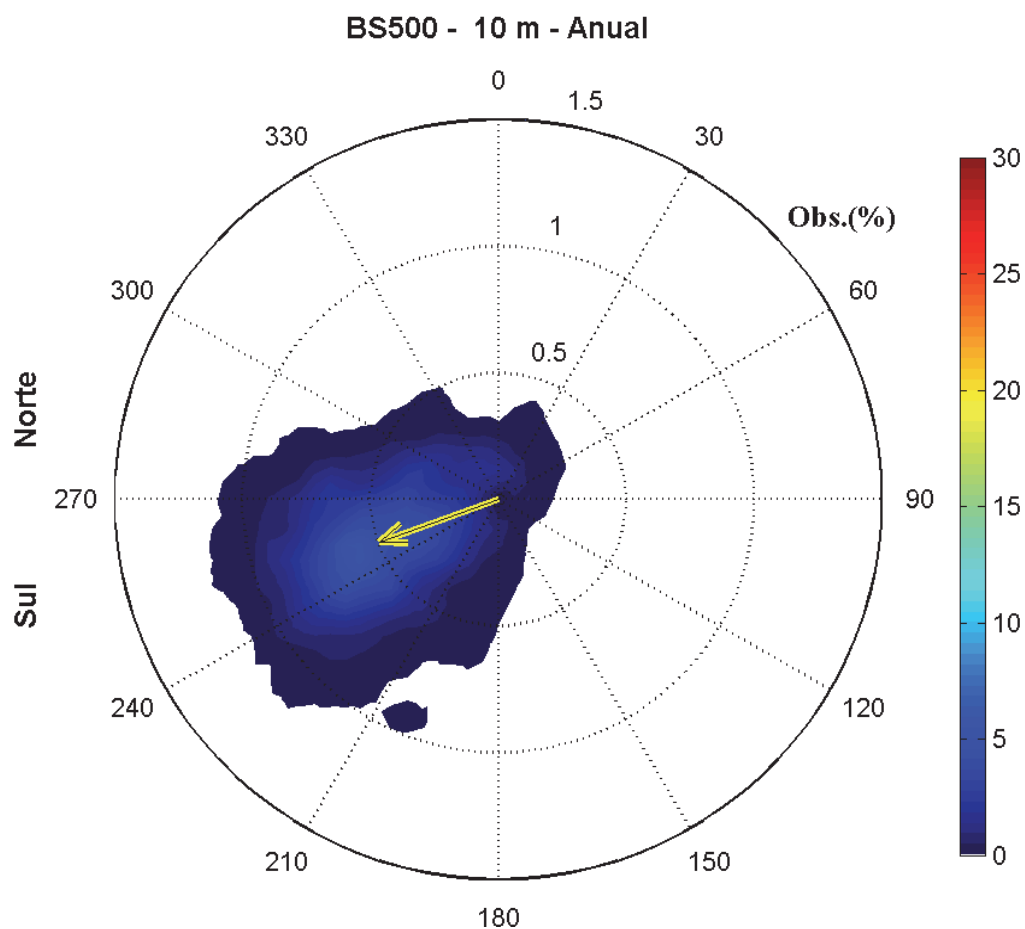
Fonte de dados: Fundeio WOCE BM334 (2013)

Figura II.5.1.2-68 – Diagramas de dispersão direcional para as correntes medidas pelo fundeio BM334 do projeto WOCE – dados de verão. Superior esquerdo representa a profundidade de 230 m, superior direito 470 m, centro esquerdo 870 m, centro direito 1.370 m e inferior 2.140 m. As intensidades estão representadas pelas circunferências, com valor máximo de 1,0 m/s. A direção está representada pela variação radial (0 a 360°) – convenção vetorial. As cores representam a frequência (%) de ocorrência de acordo com a intensidade e direção. O vetor no centro de cada diagrama representa a velocidade média.



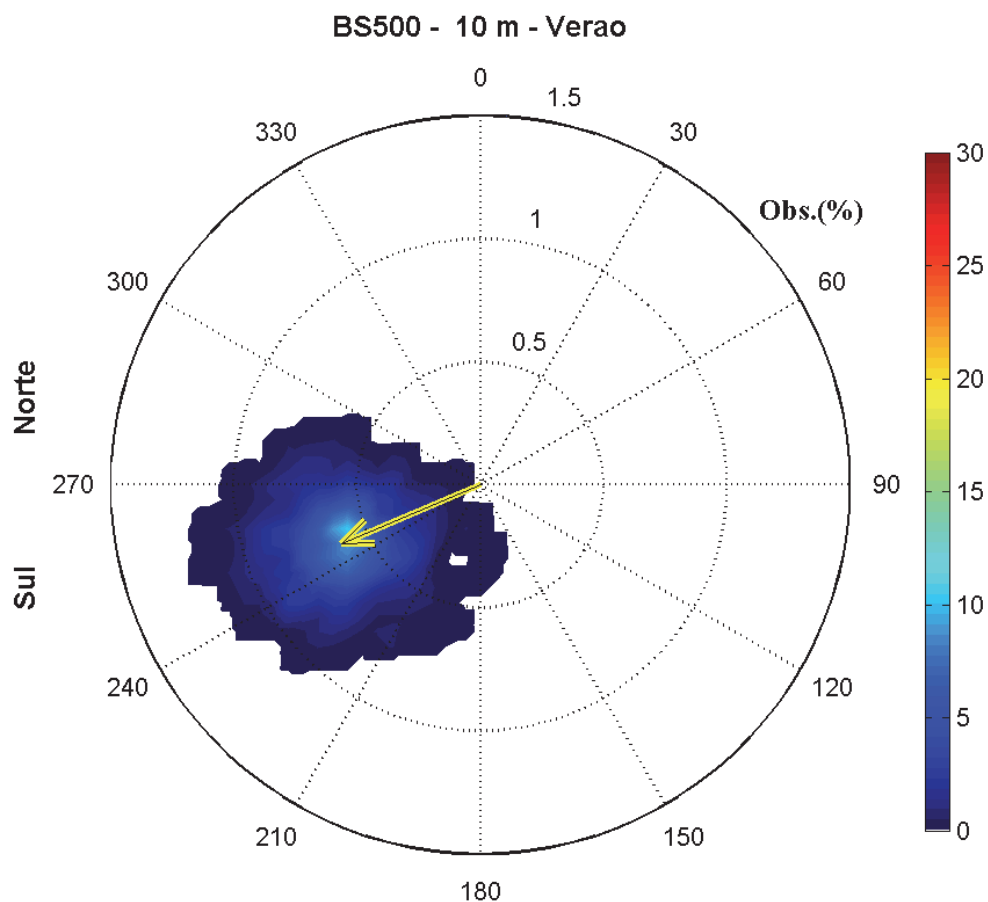
Fonte de dados: Fundeio WOCE BM334 (2013)

Figura II.5.1.2-69 – Diagramas de dispersão direcional para as correntes medidas pelo fundeio BM334 do projeto WOCE – dados de inverno. Superior esquerdo representa a profundidade de 230 m, superior direito 470 m, centro esquerdo 870 m, centro direito 1.370 m e inferior 2.140 m. As intensidades estão representadas pelas circunferências, com valor máximo de 1,0 m/s. A direção está representada pela variação radial (0 a 360°) – convenção vetorial. As cores representam a frequência (%) de ocorrência de acordo com a intensidade e direção. O vetor no centro de cada diagrama representa a velocidade média.



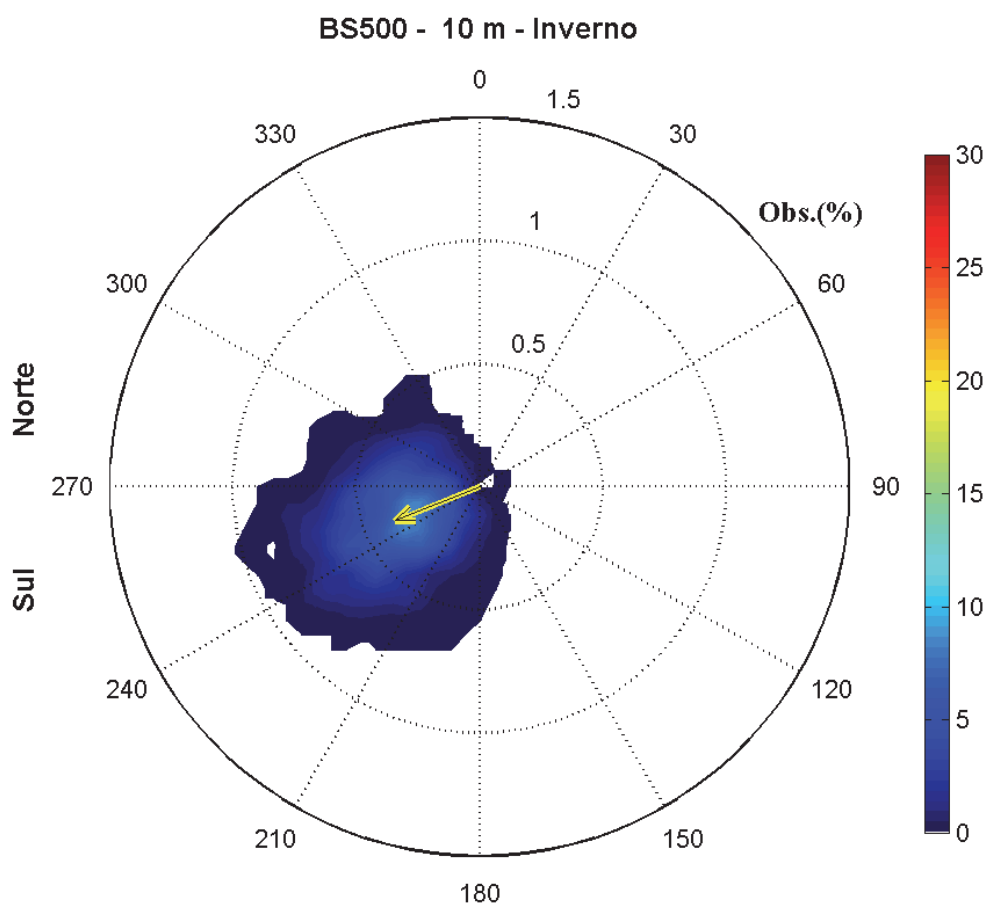
Fonte de dados: Fundeio BS500 PETROBRAS

Figura II.5.1.2-70 – *Diagrama de dispersão direcional para as correntes medidas pelo fundeio BS500 da PETROBRAS – dados anuais – para a profundidade de 10 m. As intensidades estão representadas pelas circunferências, com valor máximo de 1,0 m/s. A direção está representada pela variação radial (0 a 360°) – convenção vetorial. As cores representam a frequência (%) de ocorrência de acordo com a intensidade e direção. O vetor no centro do diagrama representa a velocidade média.*



Fonte de dados: Fundeio BS500 PETROBRAS

Figura II.5.1.2-71 – Diagrama de dispersão direcional para as correntes medidas pelo fundeio BS500 da PETROBRAS – dados de verão – para a profundidade de 10 m. As intensidades estão representadas pelas circunferências, com valor máximo de 1,0 m/s. A direção está representada pela variação radial (0 a 360°) – convenção vetorial. As cores representam a frequência (%) de ocorrência de acordo com a intensidade e direção. O vetor no centro do diagrama representa a velocidade média.



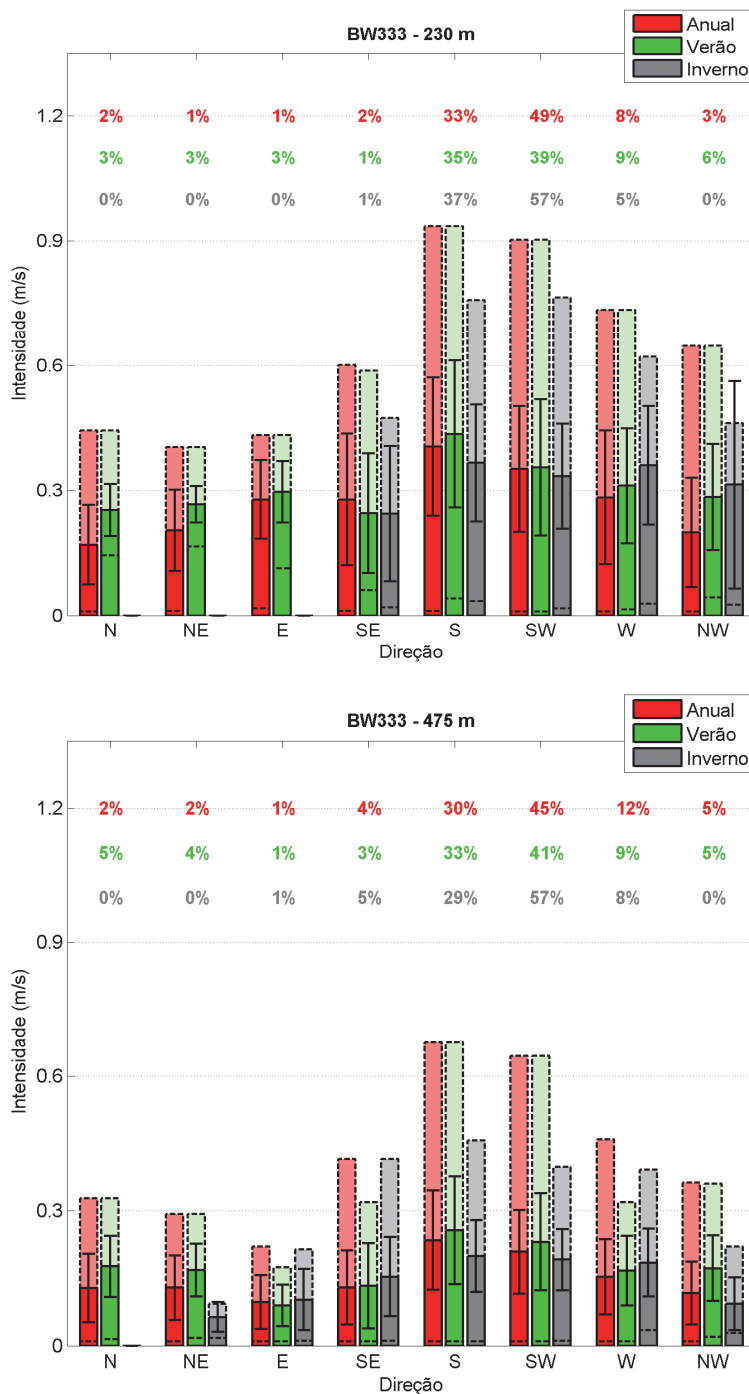
Fonte de dados: Fundeio BS500 PETROBRAS

Figura II.5.1.2-72 – Diagrama de dispersão direcional para as correntes medidas pelo fundeio BS500 da PETROBRAS – dados de inverno – para a profundidade de 10 m. As intensidades estão representadas pelas circunferências, com valor máximo de 1,0 m/s. A direção está representada pela variação radial (0 a 360°) – convenção vetorial. As cores representam a frequência (%) de ocorrência de acordo com a intensidade e direção. O vetor no centro do diagrama representa a velocidade média.

Em todas as distribuições direcionais apresentadas da **Figura II.5.1.2-64** até a **Figura II.5.1.2-72**, é possível identificar o fluxo predominantemente para Sudoeste nas camadas superiores, característico das descrições bibliográficas para a CB. As correntes nos níveis de 870 e 1370 m são predominantemente para S/SW, indicando o fluxo para Sul, caracterizando o transporte da AIA pela CB.

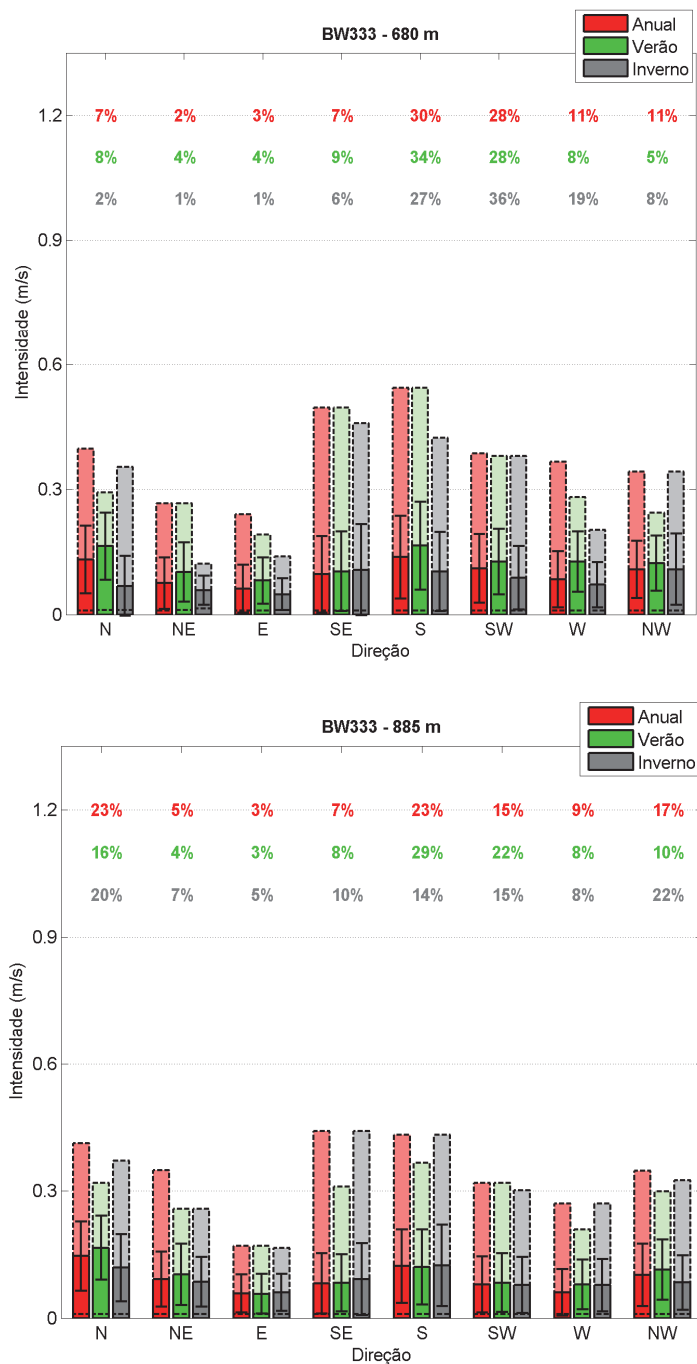
Nos dados do fundeio BW333 a 680 m, **Figura II.5.1.2-66**, o fluxo é predominantemente para S/SW, caracterizando novamente o transporte da AIA pela CB. Nas distribuições direcionais fica evidente, também, o cisalhamento vertical sofrido pelas correntes, sendo que as maiores intensidades estão situadas nas camadas mais próximas à superfície.

Os diagramas de dispersão de intensidades de correntes por classes de direção, para os fundeios BW333, BM334 e BS500, juntamente com as estatísticas associadas a estas distribuições, são apresentados na **Figura II.5.1.2-73** até a **Figura II.5.1.2-78**, em todas as profundidades coletadas.



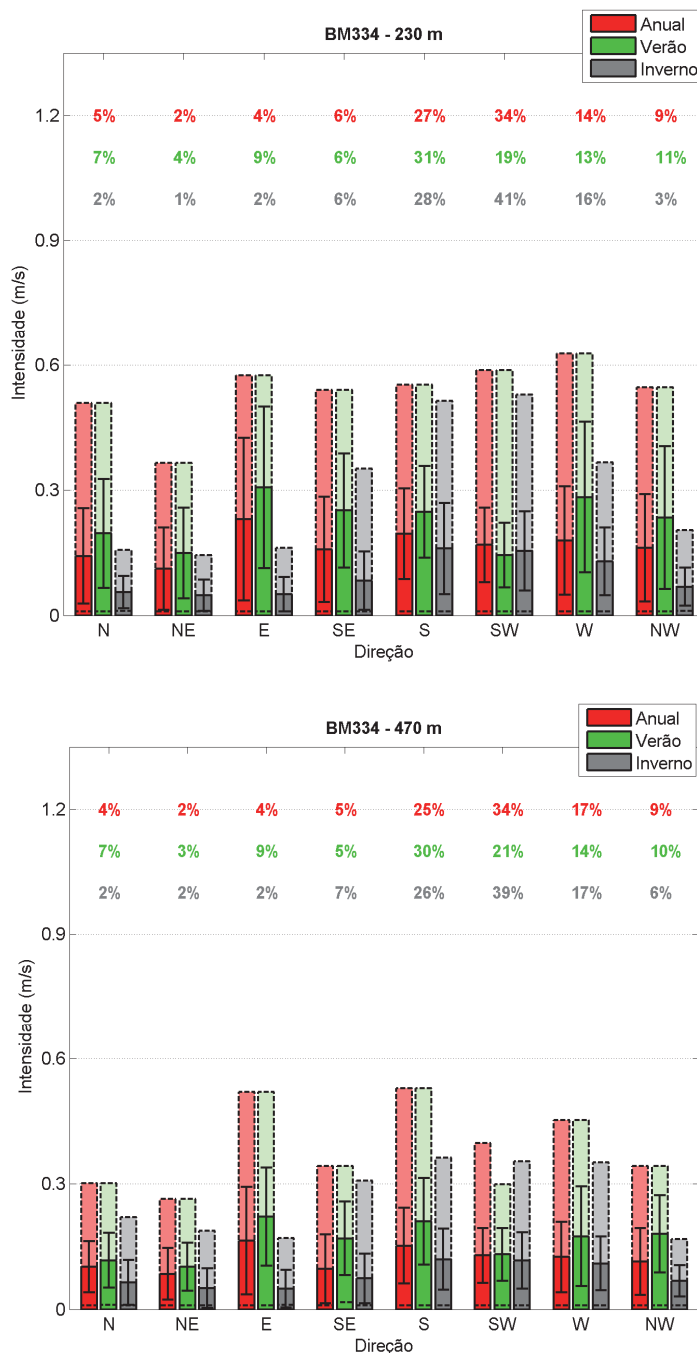
Fonte de dados: Fundeio WOCE BW333

Figura II.5.1.2-73 – Diagramas de distribuição de intensidades de correntes por classes de direção, para o fundeio BW333 do projeto WOCE. O painel superior é referente à profundidade 230 m e o inferior à 475 m. Os valores de porcentagem no gráfico indicam a frequência de ocorrência de cada classe de direção de acordo com o período (cores).



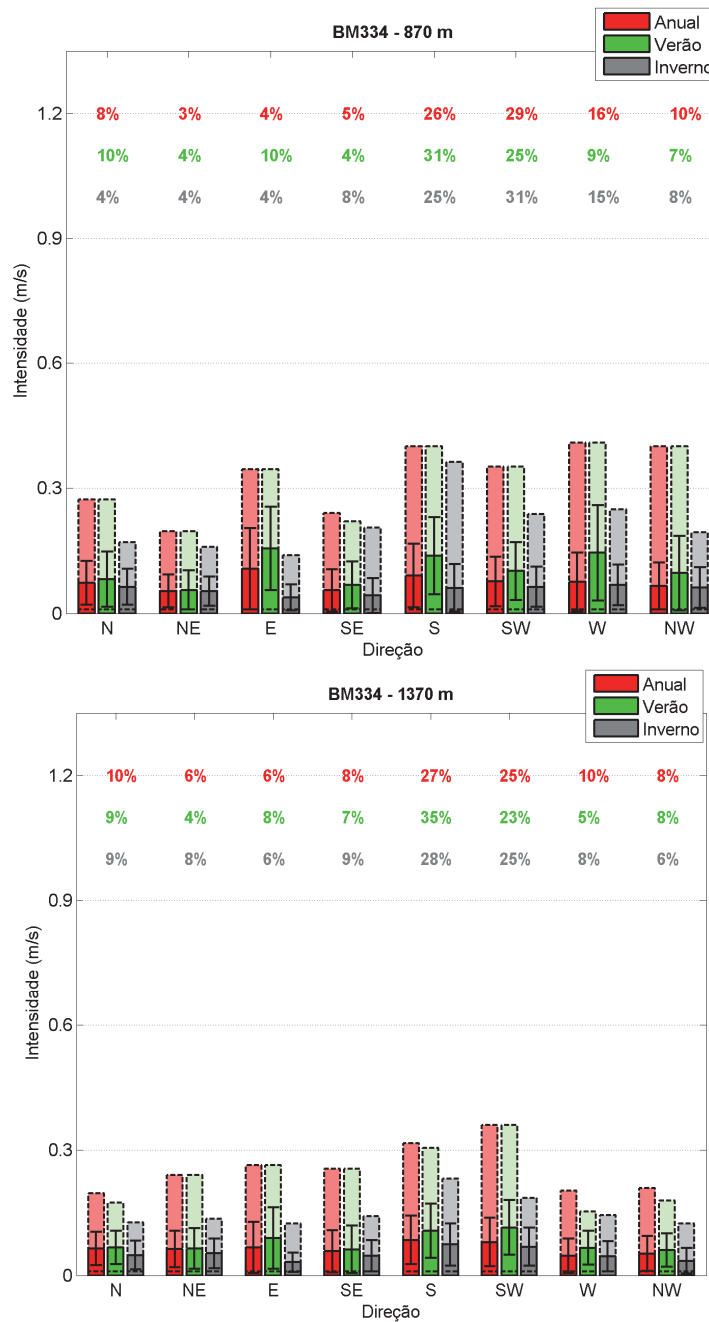
Fonte de dados: Fundeio WOCE BW333

Figura II.5.1.2-74 – Diagramas de distribuição de intensidades de correntes por classes de direção, para o fundeio BW333 do projeto WOCE. O painel superior é referente à profundidade 680 m e o inferior à 885 m. Os valores de porcentagem no gráfico indicam a frequência de ocorrência de cada classe de direção de acordo com o período (cores).



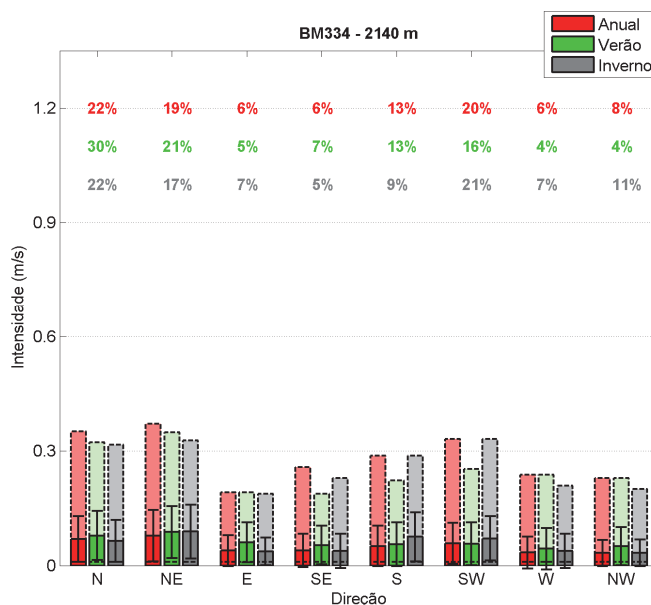
Fonte de dados: Fundeio WOCE BM334

Figura II.5.1.2-75 – Diagramas de distribuição de intensidades de correntes por classes de direção, para o fundeio BM334 do projeto WOCE. O painel superior é referente à profundidade 230 m e o inferior à 470 m. Os valores de porcentagem no gráfico indicam a frequência de ocorrência de cada classe de direção de acordo com o período (cores).



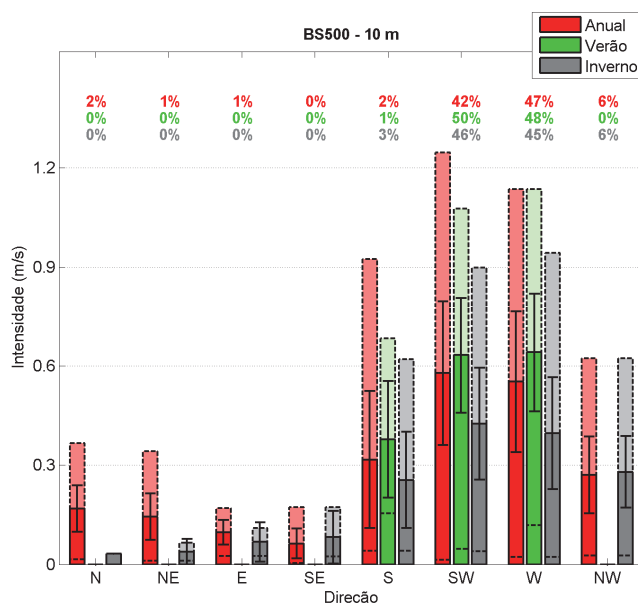
Fonte de dados: Fundeio WOCE BM334

Figura II.5.1.2-76 – Diagramas de distribuição de intensidades de correntes por classes de direção, para o fundeio BM334 do projeto WOCE. O painel superior é referente à profundidade 870 m e o inferior à 1.370 m. Os valores de porcentagem no gráfico indicam a frequência de ocorrência de cada classe de direção de acordo com o período (cores).



Fonte de dados: Fundeio WOCE BM334

Figura II.5.1.2-77 – Diagramas de distribuição de intensidades de correntes por classes de direção, para o fundeio BM334 do projeto WOCE. O painel é referente à profundidade de 2.140 m. Os valores de porcentagem no gráfico indicam a frequência de ocorrência de cada classe de direção de acordo com o período (cores).



Fonte de dados: Fundeio PETROBRAS BS500

Figura II.5.1.2-78 – Diagramas de distribuição de intensidades de correntes por classes de direção, para o fundeio BS500 da PETROBRAS, referente à profundidade de 10 m. Os valores de porcentagem no gráfico indicam a frequência de ocorrência de cada classe de direção de acordo com o período (cores).

Os gráficos apresentados da **Figura II.5.1.2-73** até a **Figura II.5.1.2-78** ilustram novamente a presença da CB em níveis superficiais, com a frequência de ocorrência de correntes para Sul e Sudoeste nas camadas superiores, e em níveis intermediários, com a grande ocorrência de correntes para Sul e Sudeste nos níveis entre 600 e 900 m. Em praticamente todas as camadas, direções e fundeios, as intensidades das correntes em meses de verão são mais intensas que em meses de inverno. Esta evidência é marcante em camadas superiores.

A **Tabela II.5.1.2-9** sintetiza os resultados para as correntes mais frequentes, em cada um dos fundeios, em todas as profundidades e em período anual, em meses de verão e em meses de inverno.

Tabela II.5.1.2-9 – Características das correntes mais frequentes nos fundeios BW333 e BM334 do projeto WOCE, entre os anos de 1991 e 1992.

PROF. (m)	DIR.	FREQ	INT. MÉDIA (m/s)	INT. MÁX. (m/s)	DIR.	FREQ	INT. MÉDIA (m/s)	INT. MÁX. (m/s)	DIR.	FREQ	INT. MÉDIA (m/s)	INT. MÁX. (m/s)
BW333												
230	SW	49%	0,35 ± 0,15	0,90	SW	39%	0,35 ± 0,16	0,90	SW	57%	0,33 ± 0,13	0,76
475	SW	45%	0,21 ± 0,09	0,64	SW	41%	0,23 ± 0,11	0,64	SW	57%	0,19 ± 0,07	0,40
680	S	30%	0,14 ± 0,10	0,54	S	34%	0,16 ± 0,11	0,54	SW	36%	0,09 ± 0,08	0,38
885	N	23%	0,15 ± 0,08	0,41	S	29%	0,12 ± 0,09	0,37	NW	22%	0,08 ± 0,06	0,32
BM334												
230	SW	34%	0,17 ± 0,09	0,59	S	31%	0,25 ± 0,11	0,55	SW	41%	0,15 ± 0,10	0,53
470	SW	34%	0,13 ± 0,07	0,40	S	30%	0,21 ± 0,10	0,53	SW	39%	0,12 ± 0,07	0,35
870	SW	29%	0,08 ± 0,06	0,35	S	31%	0,14 ± 0,09	0,40	SW	31%	0,06 ± 0,05	0,24
1370	S	27%	0,08 ± 0,06	0,32	S	35%	0,11 ± 0,06	0,30	S	28%	0,07 ± 0,05	0,23
2140	N	22%	0,07 ± 0,06	0,35	N	30%	0,08 ± 0,06	0,32	N	22%	0,06 ± 0,05	0,32
BS500												
10	W	47%	0,55	1,13	SW	50%	0,63	1,08	SW	46%	0,43	0,90

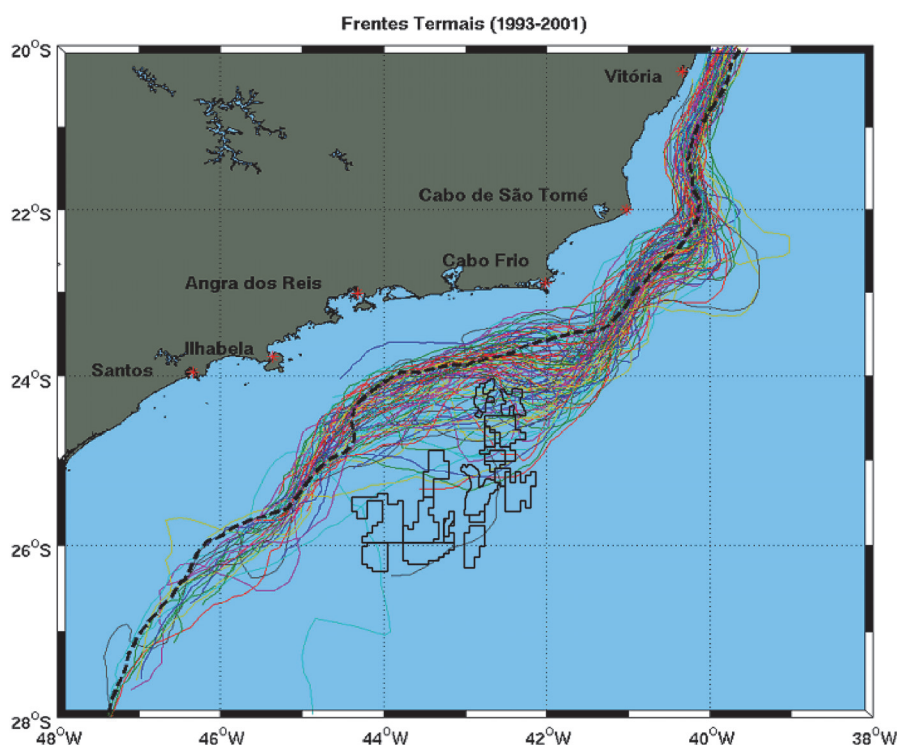
Fonte de dados: Fundeios WOCE BW333 (2013), BM334 (2013) e PETROBRAS BS500

Dos resultados apresentados na **Tabela II.5.1.2-9**, conclui-se que as camadas superiores apresentam direção média para Sul-Sudoeste, enquanto que na camada mais profunda, o fluxo é inverso (Norte).

Além das descrições sobre as correntes médias na região dos empreendimentos, é importante caracterizar como ocorre a variabilidade destas.

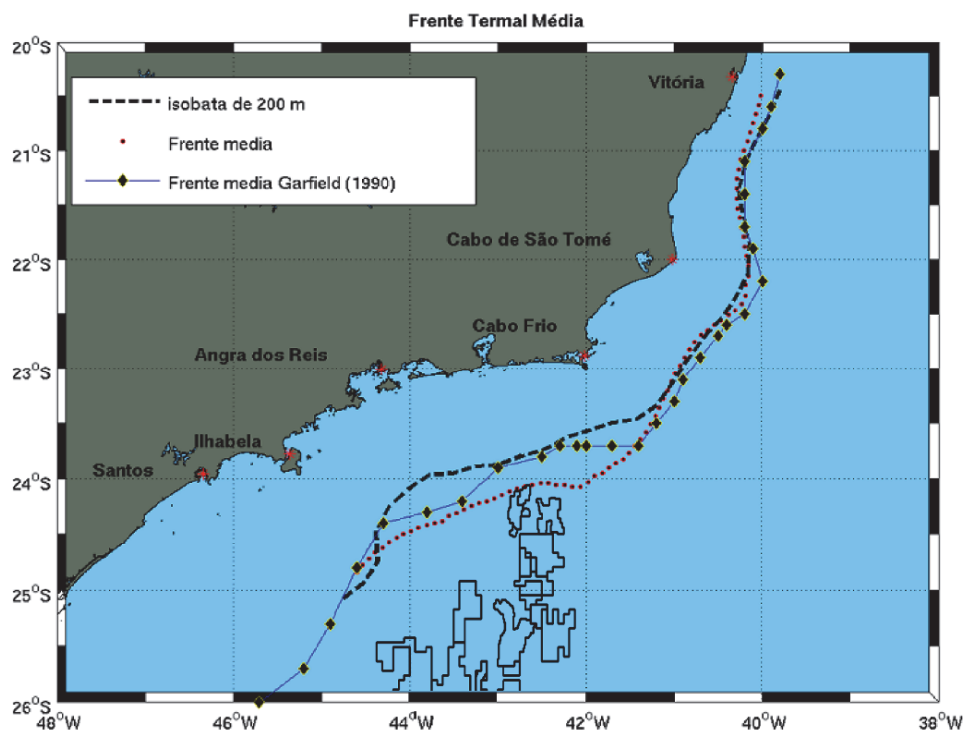
Sobre o TC e no OP, onde ocorre o domínio do sistema CB, são desenvolvidos estudos que descrevem a variação geográfica da CB.

Silveira (2007) apresentou, a partir da digitalização de imagens satelitais de temperatura do oceano (AVHRR), a localização da borda mais interna da CB no TC da área de estudo. A representação das frentes termais entre os anos de 1993 e 2001 pode ser observada na **Figura II.5.1.2-79**. A localização média desta borda interna, proveniente do mesmo estudo de Silveira (2007), é apresentada na **Figura II.5.1.2-80**.



Fonte: adaptado de SILVEIRA (2007)

Figura II.5.1.2-79 – Borda interna da CB para o período entre 1993 e 2001 na região Sudeste do Brasil. A linha tracejada representa a isóbata de 200 m. Os polígonos com bordas pretas indicam os blocos do Pré-Sal.



Fonte: adaptado de SILVEIRA (2007)

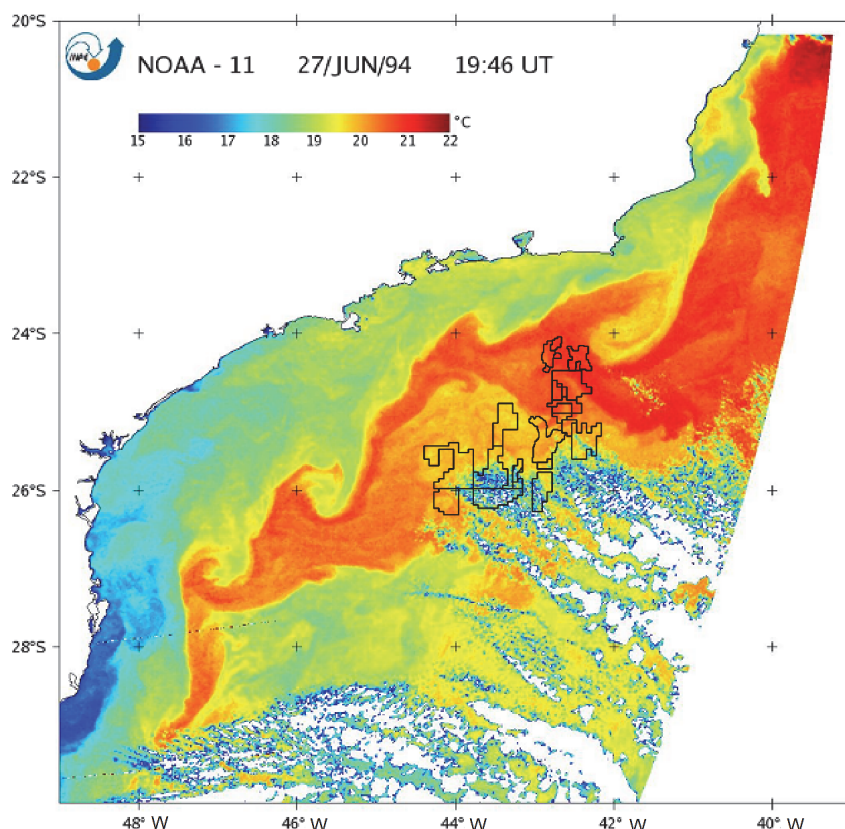
Figura II.5.1.2-80 – A linha tracejada vermelha indica a borda interna média da CB, entre 1993 e 2001, obtida por Silveira (2007). A linha tracejada preta indica a isóbata de 200 m. A linha tracejada azul com pontos pretos indica a borda interna da CB obtida por Garfield (1990). Os polígonos com bordas pretas indicam os blocos do Pré-Sal.

A partir da comparação entre a **Figura II.5.1.2-79** e **Figura II.5.1.2-80**, é possível identificar o padrão de variabilidade geográfica da borda interna da CB. Esta variabilidade é importante, pois, como descrito anteriormente, os padrões de correntes são diferentes sobre o sistema CB e sobre a PC. Nestas figuras é possível concluir que a CB encontra-se muitas vezes em sua totalidade sobre os blocos do Pré-Sal, principalmente os localizados mais ao Norte.

Outra característica importante sobre a variabilidade da CB está associada ao surgimento de meandros e vórtices. Meandros são composições de vórtices com um escoamento básico, sendo que vórtices são estruturas que se comportam aproximadamente como um corpo sólido em rotação. A CB representa o escoamento junto à borda Oeste do giro subtropical do Atlântico Sul, sendo, portanto, uma Corrente de Contorno Oeste - CCO, que é caracterizada como sendo um escoamento intenso. A CB exibe intensa atividade vinculada à

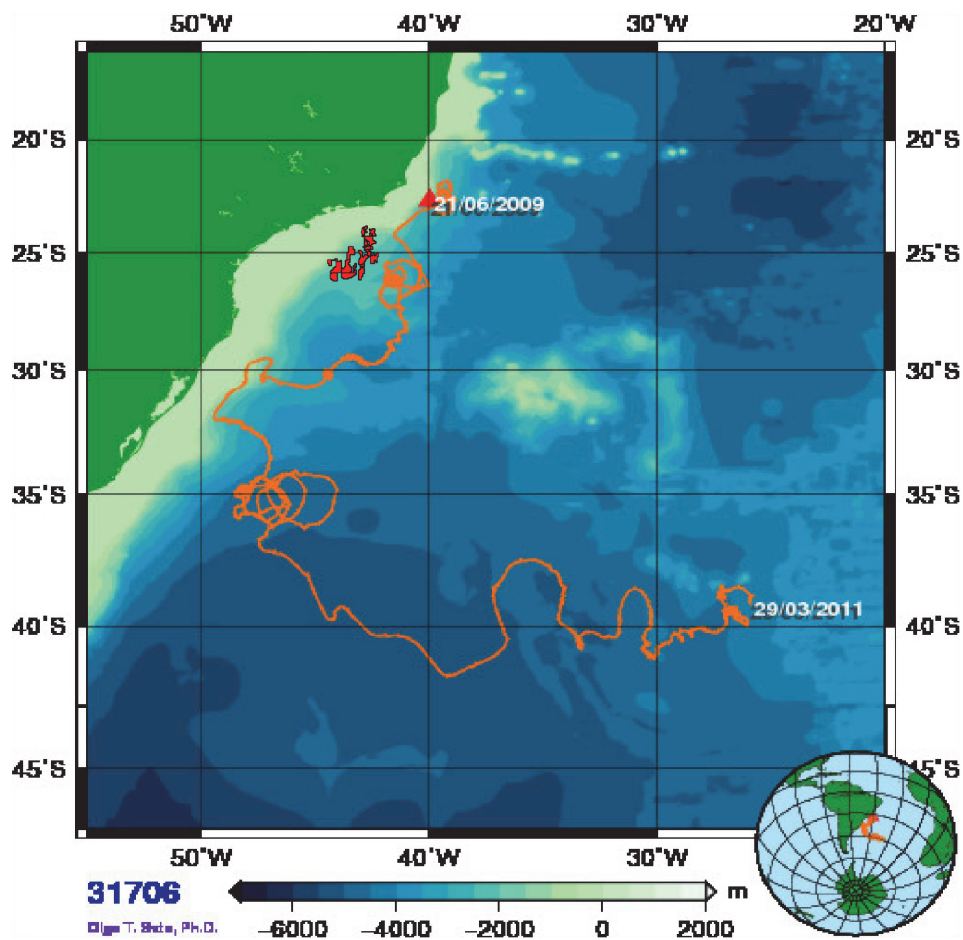
ocorrência de meandros e vórtices, a variabilidade temporal destes fenômenos é da ordem de semanas ou meses e a escala espacial varia de dezenas a algumas centenas de quilômetros.

Esses vórtices e meandros podem ser observados através de imagens satelitais de temperatura da superfície do mar, e um exemplo desta formação pode ser observado na **Figura II.5.1.2-81**. Outra forma de visualização é através da deriva de boias oceanográficas. A **Figura II.5.1.2-82** mostra a trajetória de uma boia de deriva do Projeto Nacional de Boias (PNBOIA), lançada no dia 21/06/2009 em região ao Norte da região dos empreendimentos. Nota-se o intenso movimento circular em sua trajetória, característico da ocorrência de meandramento e vórtices.



Fonte: adaptado de MATTOS (2006)

Figura II.5.1.2-81 – Temperatura da superfície do mar (TSM-AVHRR), em 27 de junho de 1994, ao longo do Sudeste brasileiro. As águas mais quentes, associada à frente térmica da CB, evidenciam seu padrão meandrante. Os blocos do Pré-Sal estão demarcados com contornos pretos.

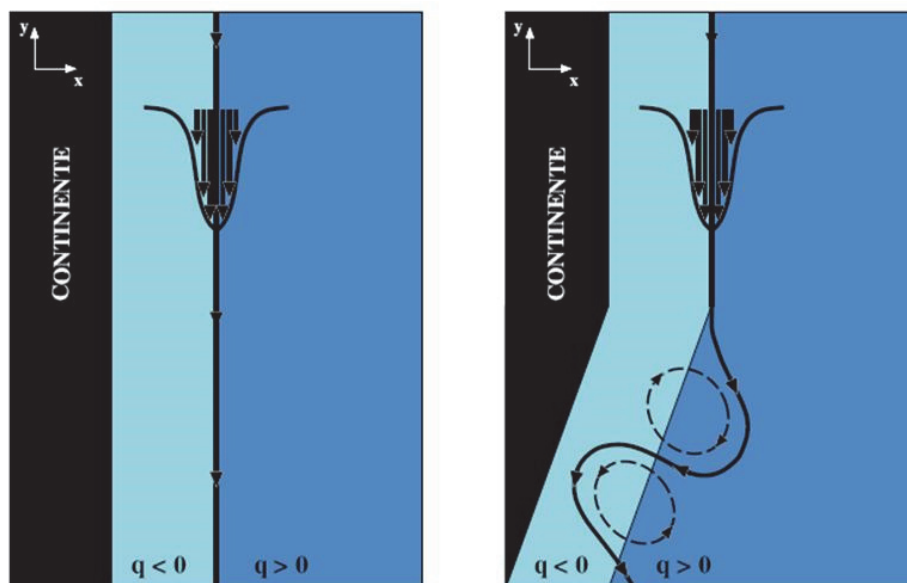


Fonte: adaptado de GOOS-Brasil (2011)

Figura II.5.1.2-82 – Trajetória (linha laranja) de boia oceanográfica lançada pelo Projeto Nacional de Boias (PNBOIA) em 2 de junho de 2009, em região próxima aos empreendimentos (blocos em vermelho). As cores representam a profundidade, de acordo com a escala graduada.

Uma das hipóteses mais clássicas que explica a formação de vórtices na CB é encontrada em Campos *et al.* (1995), demonstrada na **Figura II.5.1.2-83**. Estes autores especularam que o meandro ciclônico ao largo de Cabo Frio (22°S) é causado primariamente pela abrupta mudança da orientação da linha de costa na região. Estes autores mencionam que, quando a costa Sudeste muda de direção (relativamente à direção Norte-Sul) em torno de Cabo Frio, o fluxo da CB, antes centrado na isóbata de 1.000 m, por inércia, atinge regiões mais profundas do talude continental. Como consequência, há um estiramento da coluna de água e a CB adquire vorticidade ciclônica. Ao entrar na Bacia de Santos, a CB tenta se realinhar à isóbata de 1.000 m, atingindo regiões mais rasas e ganhando

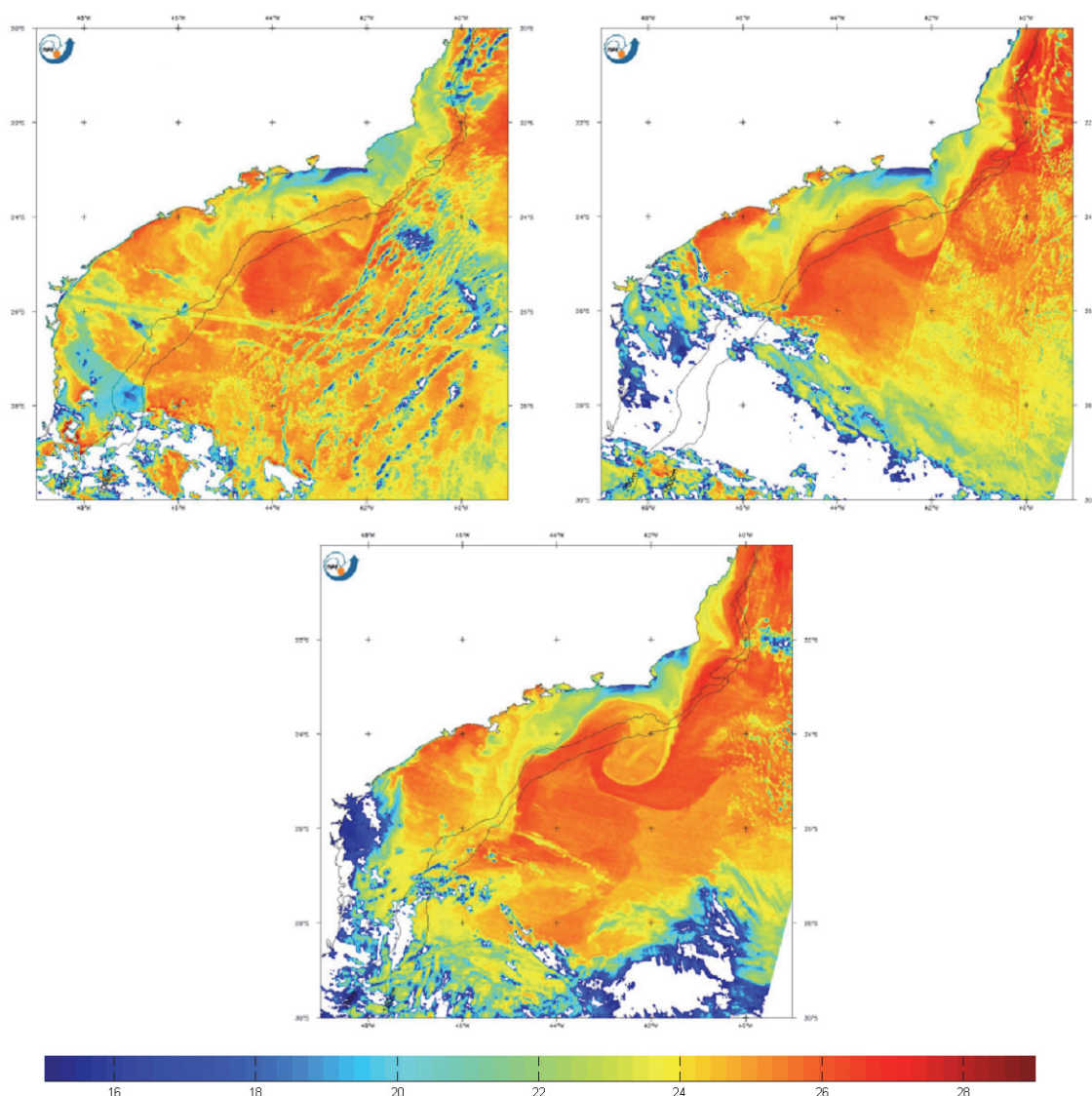
vorticidade anticiclônica. O resultado desses sucessivos estiramentos e compressões da coluna de água seria de uma onda de Rossby topográfica superposta ao fluxo básico, o qual é representado pela CB. Essa onda de Rossby topográfica representa os meandros e vórtices formados ao longo da CB nesta região.



Fonte: CAMPOS et al. (1995).

Figura II.5.1.2-83 – Esquema da hipótese de Campos et al. (1995) para a ocorrência de meandramento da CB. O painel esquerdo apresenta a costa orientada na mesma direção do fluxo básico, não propiciando a formação de meandros. O painel direito mostra a mudança brusca de direção da linha de costa, propiciando a ocorrência de meandros. A referência $q > 0$ ($q < 0$) indica regiões em que a corrente adquire vorticidade ciclônica (anticiclônica).

A **Figura II.5.1.2-84** mostra o crescimento de um vórtice, na área de estudo, entre os dias 12 e 26/04/2002.



Fonte: adaptado de SILVEIRA (2007)

Figura II.5.1.2-84 – *Imagens AVHRR da região dos empreendimentos. O painel superior esquerdo mostra a temperatura superficial da água do mar no dia 12/04/2002. O painel superior direito mostra o dia 18/04/2002 e o inferior, o dia 26/04/2002. Os valores de temperatura variam entre 15°C e 29°C, sendo que as cores frias (quentes) representam os menores (maiores) valores.*

Para analisar os eventos extremos de correntes na região, foram utilizados dados de dois fundeios: do BM334, do programa *Deep Ocean* do *WOCE*, que foi instalado na isóbata de 2.187 m, próximo à profundidade média da região dos empreendimentos e possui medições em vários níveis; e do BS500 da PETROBRAS, que embora tenha sido fundeado em profundidade menor que as

do empreendimento e apresentar apenas um nível de medição, a análise estatística mostrou as maiores médias. A posição geográfica do fundeio pode ser verificada na **Figura II.5.1.2-3**.

A **Tabela II.5.1.2-10** apresenta as estatísticas das correntes com a direção que teve a maior média entre todas as direções, em todas as profundidades amostradas, para toda a série (anual), em período de verão e em período de inverno, para ambos os fundeios.

Tabela II.5.1.2-10 – Estatística básica das correntes na direção com maior média de intensidade para o fundeio WOCE BM334. Convenção vetorial para a direção.

Profundidade	230 m	470 m	870 m	1370 m	2140 m
BM 334					
Anual					
Direção	E	E	E	S	NE
Frequência (%)	4	4	4	27	19
Intensidade Média (m/s)	0,23±0,20	0,16 ± 0,13	0,11 ± 0,10	0,08 ± 0,06	0,08 ± 0,07
Intensidade Máxima (m/s)	0,57	0,52	0,35	0,32	0,37
Verão					
Direção	E	E	E	SW	NE
Frequência (%)	9	9	10	23	21
Intensidade Média (m/s)	0,31 ± 0,19	0,22 ± 0,12	0,16 ± 0,10	0,11 ± 0,07	0,09 ± 0,07
Intensidade Máxima (m/s)	0,57	0,52	0,35	0,35	0,35
Inverno					
Direção	S	S	W	S	NE
Frequência (%)	28	26	15	28	17
Intensidade Média (m/s)	0,16 ± 0,11	0,12 ± 0,07	0,07 ± 0,05	0,07 ± 0,05	0,09 ± 0,07
Intensidade Máxima (m/s)	0,51	0,36	0,25	0,23	0,33
BS 500					
	Anual	Verão		Inverno	
Direção	W	SW		SW	
Frequência (%)	47	50		46	
Intensidade Média (m/s)	0,55 ± 0,21	0,63 ± 0,18		0,43 ± 0,17	
Intensidade Máxima (m/s)	1,13	1,08		0,90	

Fonte: Fundeio WOCE BM334 (2013) e BS500 PETROBRAS

De acordo com os valores listados na, para o fundeio WOCE BM334 nas profundidades de 230 m, 470 m e 870 m, a direção que apresenta maior média para a intensidade das correntes é E, tanto de forma anual quanto nos meses de verão. Nos meses de inverno esta direção é S, S e W, respectivamente, para as três profundidades. Ainda nessa tabela, até a profundidade de 1.370 m, as correntes são mais intensas no verão quando comparadas ao inverno, tanto de forma média quanto para os valores máximos. Na camada mais profunda (2.140 m), as estatísticas tanto anual, quanto no verão e inverno, são muito similares, inclusive na direção de maior intensidade média (NE). Para o fundeio BS500 tanto no verão quanto no inverno a direção com maior frequência de ocorrência é a SW (50% e 46%), com maiores intensidades médias para o verão (0,63 e 0,43 m/s).

Para o ajuste dos dados em valores extremos, das três distribuições (Gumbel, Freshet e Weibull) propostas por Fisher & Tippett (1928), onde os parâmetros VEG foram analisados pelo método de Probabilidade de Momentos Moderados (HOSKING *et al.*, 1985), a que mais se adequou para ambos os fundeios foi a distribuição de Gumbel. Com isso, os resultados apresentados de estatísticas de retorno das correntes são baseados na distribuição citada.

A **Tabela II.5.1.2-11** mostra a probabilidade de ocorrência de valores de correntes superiores a 0,2 m/s, 0,3 m/s, 0,4 m/s, 0,5 m/s, 0,6 m/s, 0,7 m/s e 0,8 m/s em período anual, verão e inverno, para todas as profundidades amostradas, para ambos os fundeios.

Tabela II.5.1.2-11 – Probabilidade de ocorrência de correntes superiores aos valores listados na primeira linha, calculados com base nos dados de correntes coletados pelo fundeio WOCE BM334.

Intensidade	>0,05 m/s	>0,10 m/s	>0,20 m/s	>0,30 m/s	>0,40 m/s	>0,50 m/s	>0,60 m/s
273 m							
Anual	89,2%	72,2%	34,7%	13,2%	4,6%	1,6%	0,5%
Verão	91,9%	81,0%	51,5%	27,1%	12,9%	5,8%	2,6%
Inverno	83,9%	60,4%	21,2%	5,9%	1,6%	0,4%	0,1%
470 m							
Anual	84,9%	59,0%	18,0%	4,3%	1,0%	0,2%	0,1%
Verão	91,3%	72,9%	31,2%	10,2%	3,0%	0,9%	0,3%
Inverno	78,9%	47,1%	10,1%	1,8%	0,3%	0,1%	-
870 m							
Anual	62,5%	28,4%	3,8%	0,5%	0,1%	0,0%	-
Verão	75,6%	47,2%	12,3%	2,7%	0,6%	0,1%	-
Inverno	51,2%	16,6%	1,2%	0,1%	-	-	-
1370 m							
Anual	59,4%	23,4%	2,3%	0,2%	-	-	-
Verão	66,2%	29,9%	3,7%	0,4%	-	-	-
Inverno	50,7%	15,0%	0,9%	0,1%	-	-	-
2140 m							
Anual	47,1%	15,1%	1,1%	0,1%	-	-	-
Verão	52,5%	19,6%	1,9%	0,2%	-	-	-
Inverno	51,1%	18,2%	1,6%	0,1%	-	-	-
BS500							
Anual	99,9 %	99,4 %	96,2 %	88,8 %	76,9 %	61,7 %	45,0 %
Verão	100,0 %	100,0 %	99,8 %	98,9 %	95,8 %	88,7 %	75,7 %
Inverno	99,9 %	99,1 %	93,4 %	80,2 %	60,2 %	38,0 %	19,4 %

Fonte: Fundeio WOCE BM334 (2013) e BS500 PETROBRAS

De acordo com a **Tabela II.5.1.2-11**, os meses de verão apresentam maior probabilidade de ocorrência de correntes mais intensas que os meses de inverno, para ambos os fundeios e em todas as profundidades amostradas pelo fundeio BM334. Neste fundeio as correntes mais intensas têm maior probabilidade de ocorrer nas camadas superiores.

Para a profundidade de 273 m, a probabilidade de ocorrência de correntes superiores a 0,1 m/s é superior a 60% em qualquer época do ano. Em 2.140 m este valor sempre é menor que 20%. Nesta camada, correntes com intensidades

maiores que 0,05 m/s possuem probabilidade de ocorrência acima de 50%, em períodos de verão e inverno.

A **Tabela II.5.1.2-12** apresenta as intensidades máximas ocorridas em cada uma das profundidades amostradas no fundeio BM334 e para o fundeio BS500, em toda a série, em período de verão e inverno.

Tabela II.5.1.2-12 – Intensidades máximas registradas pelos fundeios BM334 do WOCE e BS500 da PETROBRAS em todas as profundidades amostradas. Convenção vetorial para a direção.

Período	Intensidade (m/s)	Direção (°)	Ocorrência
230 m			
Anual	0,63	250 (W)	09/01/1991 07 h
Verão	0,63	250 (W)	09/01/1991 07 h
Inverno	0,53	202 (SW)	04/06/1991 19 h
470 m			
Anual	0,53	168 (S)	28/03/1991 23 h
Verão	0,52	87 (E)	09/02/1991 09 h
Inverno	0,36	192 (S)	03/06/1992 03 h
870 m			
Anual	0,41	286 (W)	08/01/1991 13 h
Verão	0,41	286 (W)	08/01/1991 13 h
Inverno	0,36	194 (S)	31/08/1992 01 h
1370 m			
Anual	0,36	220 (S)	30/03/1991 05 h
Verão	0,28	213 (SW)	18/02/1991 05 h
Inverno	0,23	186 (S)	15/06/1991 13 h
2140 m			
Anual	0,37	24 (NE)	29/05/1991 01 h
Verão	0,35	27 (NE)	13/01/1992 01 h
Inverno	0,33	212 (SW)	25/08/1992 21 h
BS500			
Anual	1,25	226 (SW)	23/12/2008 04h
Verão	1,25	226 (SW)	23/12/2008 04h
Inverno	0,94	256 (W)	10/08/2008 08h

Fonte: Fundeios WOCE BM334 e PETROBRAS BS500

De acordo a **Tabela II.5.1.2-12**, os valores máximos obtidos na profundidade de 2.140 m são superiores aos obtidos na profundidade de 1.370 m. Nas camadas superiores, com exceção do verão na profundidade de 470 m, todos os

valores máximos obtidos foram na mesma direção predominante da CB. Na camada mais profunda, com exceção do inverno, as correntes máximas estão orientadas no sentido da CCP. Para o fundeio BS500, corrente a 10 m, fica evidente as maiores intensidades para SW denotando a marcante presença da CB nesta região e profundidade.

Nível do Mar

Para a avaliação do nível do mar no TC e OP da área de estudo, são apresentadas da **Figura II.5.1.2-85** até a **Figura II.5.1.2-88**, que se constituem de mapas co-tidais (elevação e fase) das quatro principais componentes astronômicas, provenientes do modelo global inverso TPXO 7.2 (EUROFEEVA *et al.*, 2002), que calcula as amplitudes e fases das componentes de maré através das medições de altimetria por satélites. As fases são referentes ao meridiano 43°W.

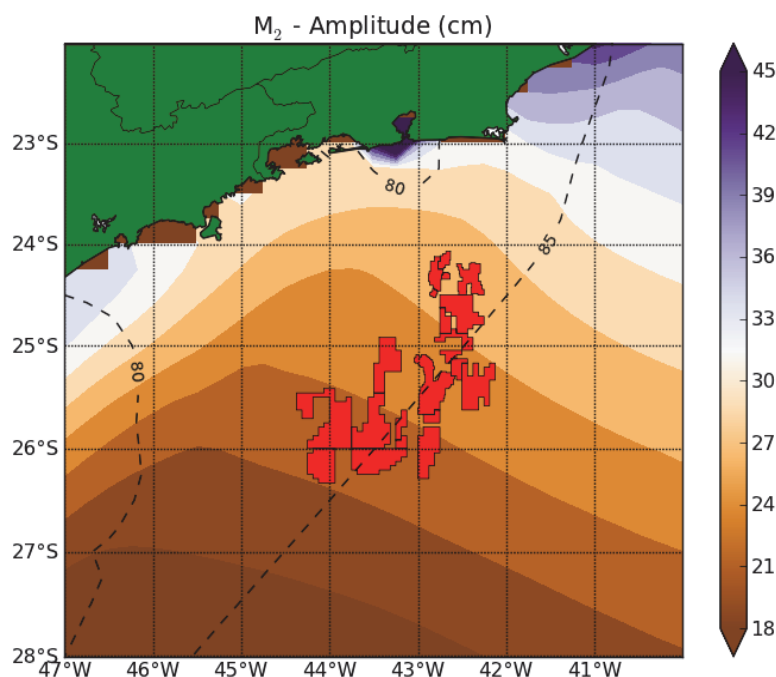


Figura II.5.1.2-85 – Mapa co-tidal da componente astronômica M₂. As cores indicam a amplitude, e as linhas pretas, as fases, em graus, relativas ao meridiano de 43°W.

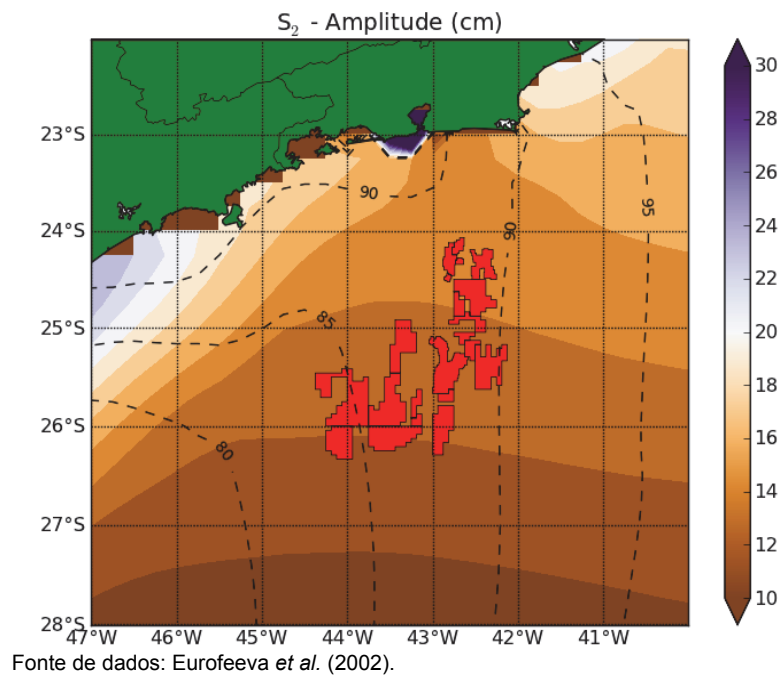


Figura II.5.1.2-86 – Mapa co-tidal da componente astronômica S_2 . As cores indicam a amplitude, e as linhas pretas, as fases, em graus, relativas ao meridiano de $43^\circ W$.

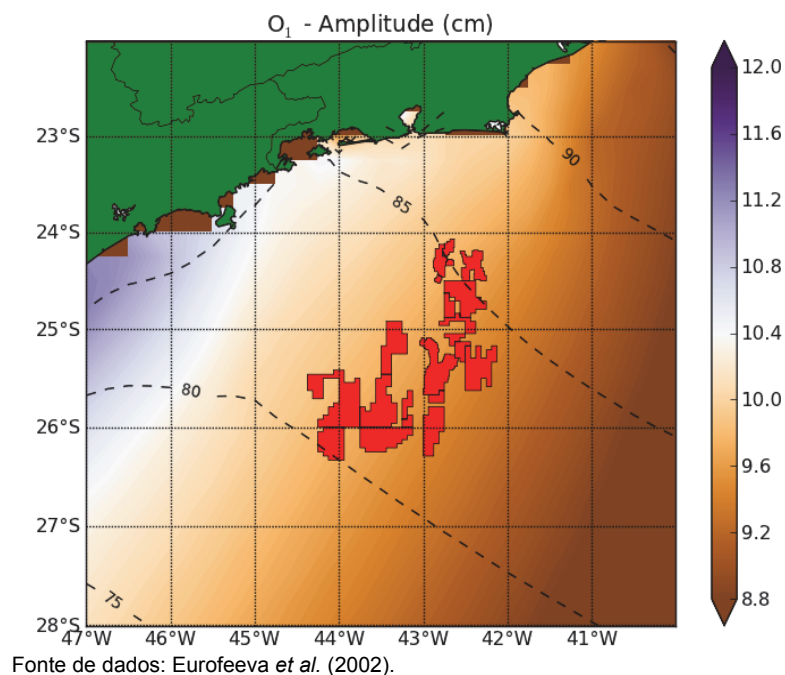


Figura II.5.1.2-87 – Mapa co-tidal da componente astronômica O_1 . As cores indicam a amplitude, e as linhas pretas, as fases, em graus, relativas ao meridiano de $43^\circ W$.

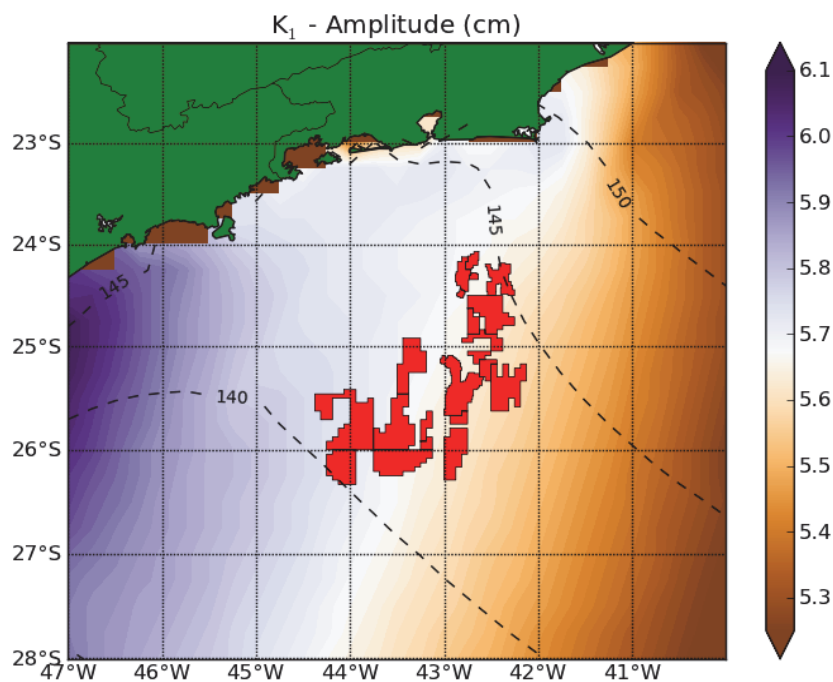


Figura II.5.1.2-88 – Mapa co-tidal da componente astronômica K_1 . As cores indicam a amplitude, e as linhas pretas, as fases, em graus, relativas ao meridiano de $43^\circ W$.

De acordo com a **Figura II.5.1.2-85** a **Figura II.5.1.2-88**, observa-se que, na região oceânica, as amplitudes não variam horizontalmente de forma significativa. A componente M_2 varia desde 21 a 27 cm com fase de 85° , enquanto que a componente S_2 oscila entre 12 e 16 cm, com fase entre 85° e 90° na região dos empreendimentos. Para as componentes diurnas, O_1 e K_1 , as variações sobre a referida região são de 9,2 a 10 cm com $80-85^\circ$ de fase e 5,5 a 5,8 cm com $140-145^\circ$ de fase.

Comparando estes valores com a análise harmônica para região costeira, especificamente para o Porto do Rio de Janeiro (**Figura II.5.1.2-16**), observa-se que, em especial, as duas principais componentes semidiurnas (M_2 e K_2) sofrem amplificação na costa (estação costeira) quando comparadas aos valores de oceano aberto. As fases são similares entre o oceano profundo e a estação costeira do Porto do Rio de Janeiro.

D) Regime de Ondas

As ondas presentes em um determinado local, próximo à costa ou em mar aberto, podem ser classificadas em vagas e marulho (CANDELLA, 1997). Vagas (em inglês *wind-sea*) são ondas localizadas na zona de geração, ou seja, estão em processo de formação, recebendo energia do vento. O marulho (em inglês *swell*) é composto por ondas que se propagaram para fora da zona de geração (CANDELLA, 1997).

As maiores ondas que atingem a costa Sul-Sudeste brasileira, onde se encontra a área de estudo, são do tipo marulho com direções entre SW e SE, e as principais zonas de geração estão nas tempestades ocorridas entre os paralelos 35°S e 55°S (FREIRE, 1960). Porém, é possível que ocorram algumas ondas de amplitudes significativas vindas do quadrante Nordeste (SEIXAS, 1997).

Pinho (2003) propõe a classificação do estado de mar na Bacia de Campos de acordo com os sistemas meteorológicos que dominam a circulação dos ventos em cada situação. Estes cenários podem ser estendidos para a Bacia de Santos, área de estudo do Projeto Etapa 2, por estar sujeita, na maior parte do tempo, aos mesmos padrões atmosféricos. São basicamente três situações:

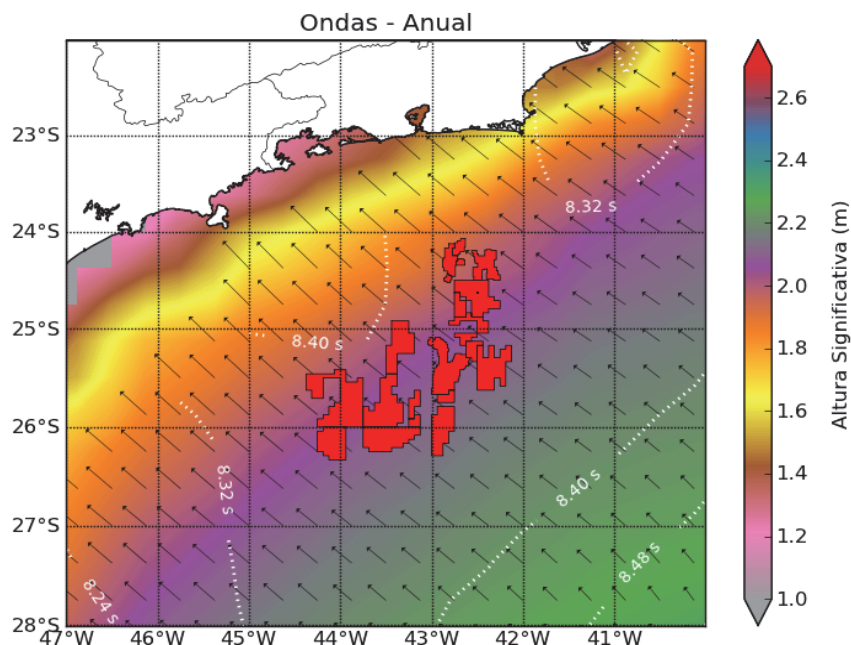
- a) Situação de Bom Tempo: ondulações de N, NE e E (principalmente NE), com ASAS dominante;
- b) Situação de Mau Tempo de SW: ondulações de SW e S em que há a passagem de frente fria seguida de um ciclone extratropical;
- c) Situação de Mau Tempo de SE: após a passagem de uma frente fria, um anticiclone polar domina a circulação na região.

Para a caracterização do regime de ondas na área de estudo foram utilizados dados do modelo global *WaveWatch III* (TOLMAN, 2002), desenvolvido pelo *Marine Modeling and Analysis Branch/ Environmental Modeling Center* do NCEP, com resolução espacial de 1° e temporal de 8 h, com rodadas disponibilizadas pelo próprio centro.

Foram utilizados dados de janeiro de 1997 a dezembro de 2009 e analisadas distribuições horizontais médias de direção, altura significativa e período de pico para a área de estudo. Além disto, também foi analisada uma série temporal

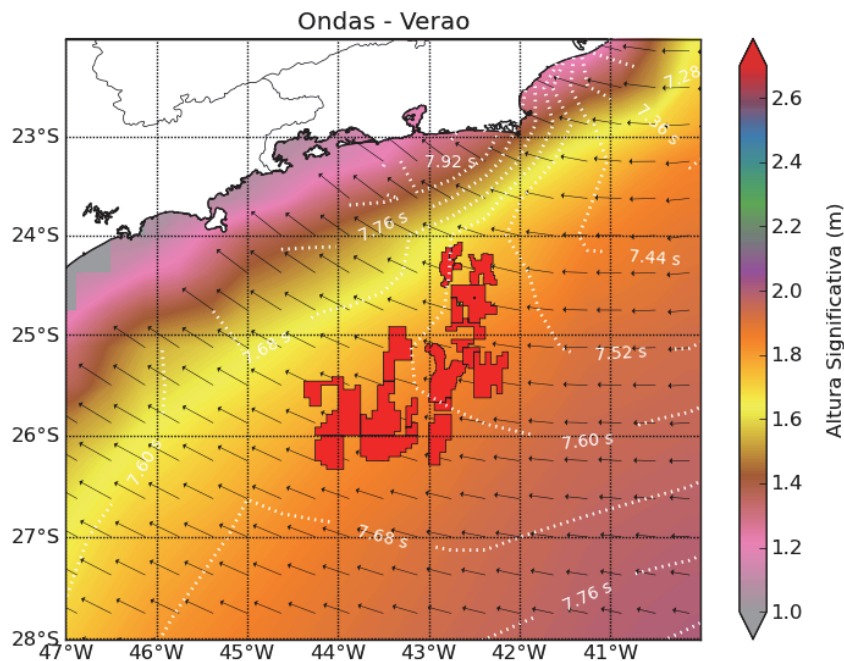
gerada na área de estudo, nas proximidades dos blocos do Pré-Sal, na coordenada 24°S, 42°W, que pode ser observada na **Figura II.5.1.2-1**.

Da **Figura II.5.1.2-89** até a **Figura II.5.1.2-91** mostra-se o campo de altura significativa, período de pico e direção de onda para a área de estudo em médias anual, de verão e de inverno.



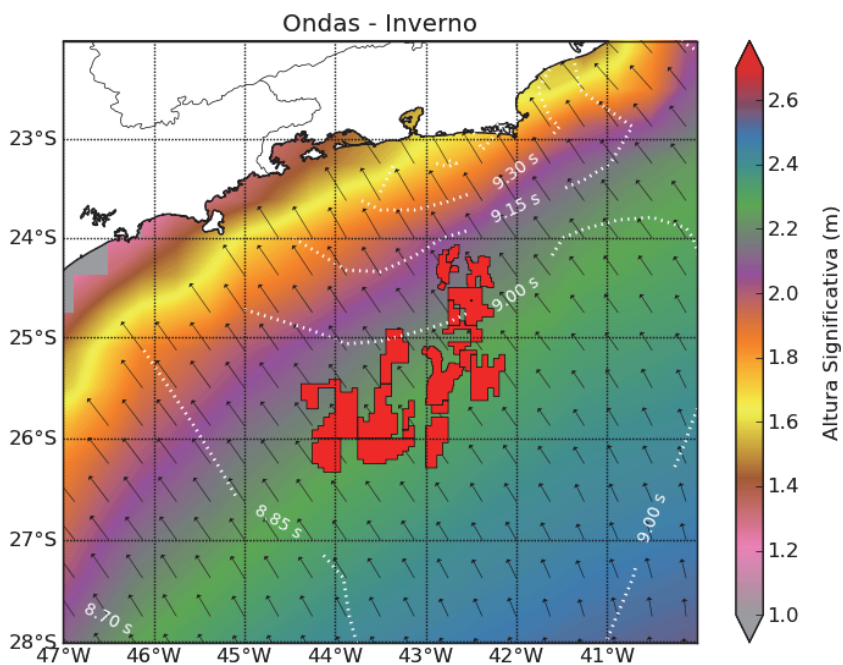
Fonte de dados: WaveWatch III Global (1997-2009).

Figura II.5.1.2-89 – *Altura significativa (escala de cores), período de pico (isolinha branca - s) e direção de onda (vetores) - média anual.*



Fonte de dados: WaveWatch III Global (1997-2009).

Figura II.5.1.2-90 – Altura significativa (escala de cores), período de pico (isolinha branca - s) e direção de onda (vetores) - média de verão.



Fonte de dados: WaveWatch III Global (1997-2009).

Figura II.5.1.2-91 – Altura significativa (escala de cores), período de pico (isolinha branca - s) e direção de onda (vetores) - média de inverno.

O campo característico médio anual de onda, apresentado na **Figura II.5.1.2-89** mostra que a média anual da altura significativa varia de 2,1 m na região oceânica e de 1,2 m na região costeira da área de estudo. O período médio anual é de aproximadamente 8 s na área de estudo e a direção de incidência é de SE.

No verão (**Figura II.5.1.2-90**), a altura significativa de onda média é de 1,8 e de 1,0 m em regiões oceânicas e costeiras, respectivamente, e o período 7 s para toda a área de estudo. Já no inverno (**Figura II.5.1.2-91**), a altura significativa de onda média de inverno é de 2,3 m em região oceânica e 1,4 m em regiões costeiras e o período médio na região é de 9 s.

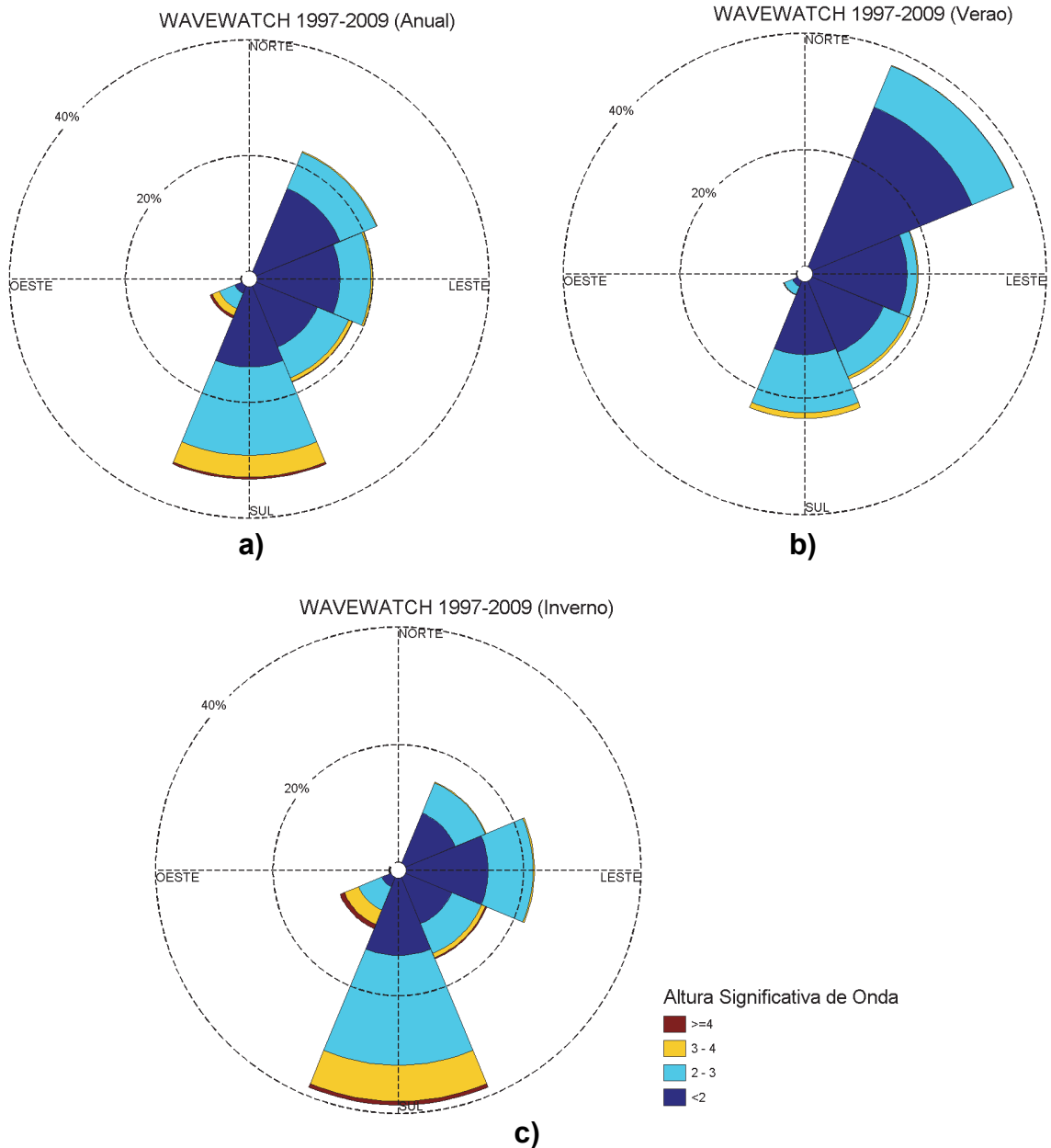
Para a série temporal obtida para o ponto na **Figura II.5.1.2-1**, é apresentado na **Figura II.5.1.2-92** e na **Figura II.5.1.2-93**, o diagrama de dispersão de altura significativa e de período de pico para o período total, para os meses de verão e de inverno, respectivamente. Os primeiros momentos estatísticos para estes dados estão listados na **Tabela II.5.1.2-13**.

Tabela II.5.1.2-13 – Primeiros momentos estatísticos para altura e período de pico de onda obtidos no ponto situado em 24 S e 42°W, na Bacia de Santos.

	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Variância (m ² ou s ²)
Anual					
Altura (m)	1,99	0,47	6,26	0,65	0,42
Período (s)	8,39	3,31	17,02	2,19	4,81
Verão					
Altura (m)	1,75	0,70	4,25	0,50	0,25
Período (s)	7,52	3,39	16,59	1,88	3,54
Inverno					
Altura (m)	2,15	0,54	5,71	0,70	0,50
Período (s)	9,03	3,41	17,02	2,24	5,00

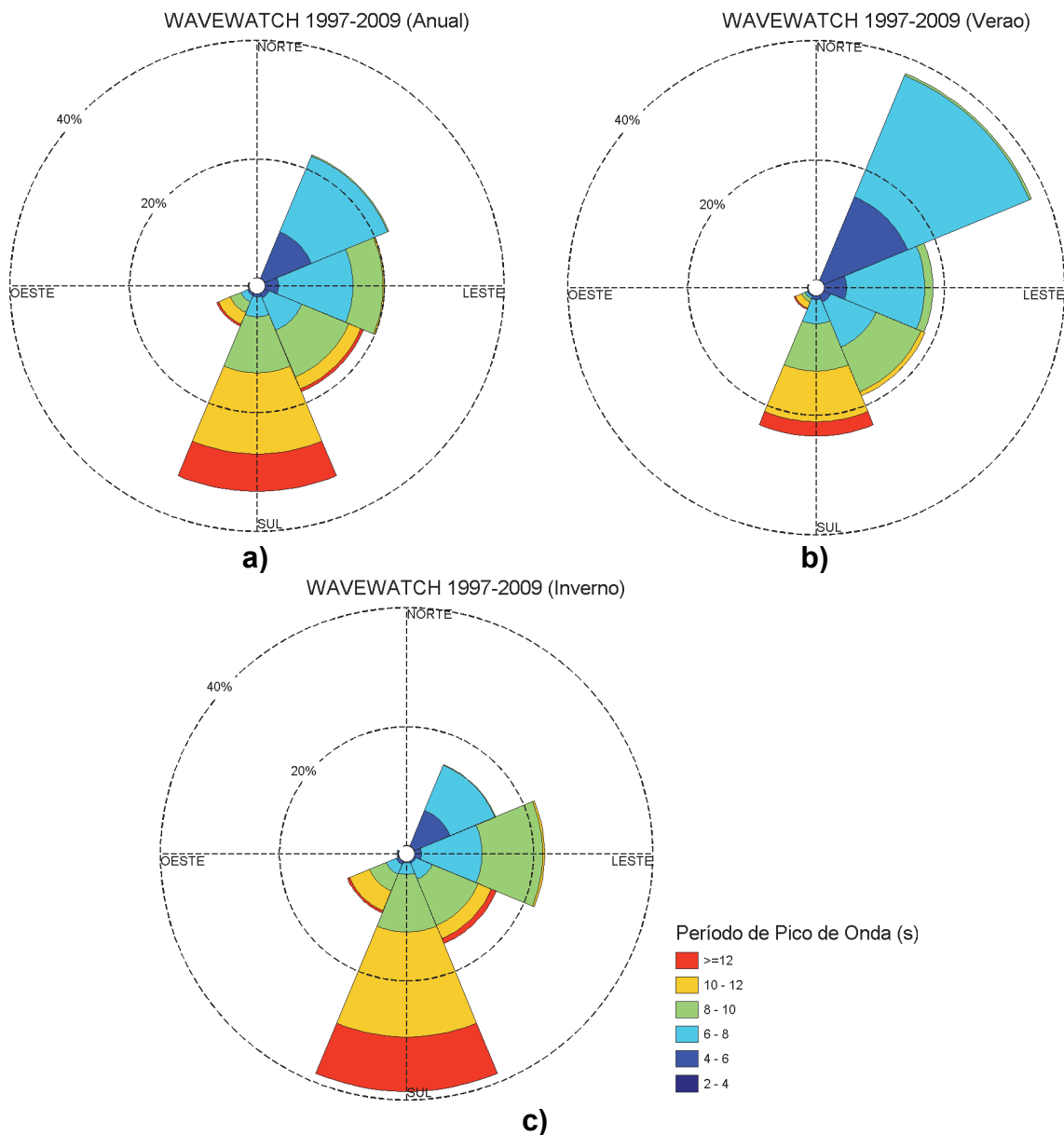
Fonte de dados: WaveWatch III Global (1997-2009)

Os dados apresentados na **Tabela II.5.1.2-13** confirmam os valores médios descritos anteriormente na **Figura II.5.1.2-89** e na **Figura II.5.1.2-91**. Estes valores mostram ainda que no período de inverno ocorre maior variabilidade de altura e período, quando comparados com as médias anual e de verão.



Fonte de dados: WaveWatch III Global (1997-2009).

Figura II.5.1.2-92 – Altura significativa de onda (m) para período anual (a), de verão (b) e de inverno (c) em local próximo à região dos empreendimentos (24°S e 42°W). As cores representam a altura significativa de acordo com a escala, e os anéis, as porcentagens de observação (máximo de 40%). Convenção meteorológica para as direções.



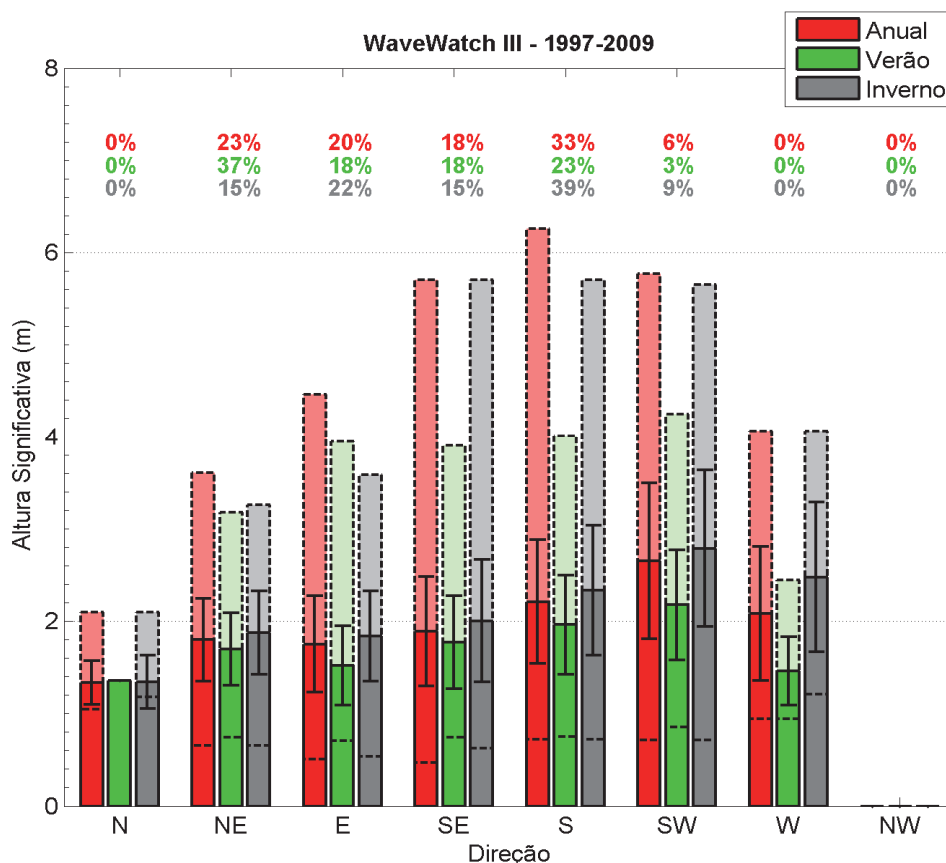
Fonte de dados: WaveWatch III Global (1997-2009).

Figura II.5.1.2-93 – Período de pico de onda (s) para período anual (a), de verão (b) e de inverno (c) em local próximo à região dos empreendimentos (24°S e 42°W). As cores representam a altura significativa de acordo com a escala, e os anéis, as porcentagens de observação (máximo de 40%). Convenção meteorológica para as direções.

A **Figura II.5.1.2-92** e a **Figura II.5.1.2-93**, mostram que, anualmente, a maior frequência de ocorrência de ondas na área de estudo é de origem S, com alturas entre 2 e 2,5 m e períodos de 10 a 12 s. No verão, a direção predominante é de NE, com altura de 1,5 a 2,0 m e o período, de 6 a 8 s. No inverno, a ondulação

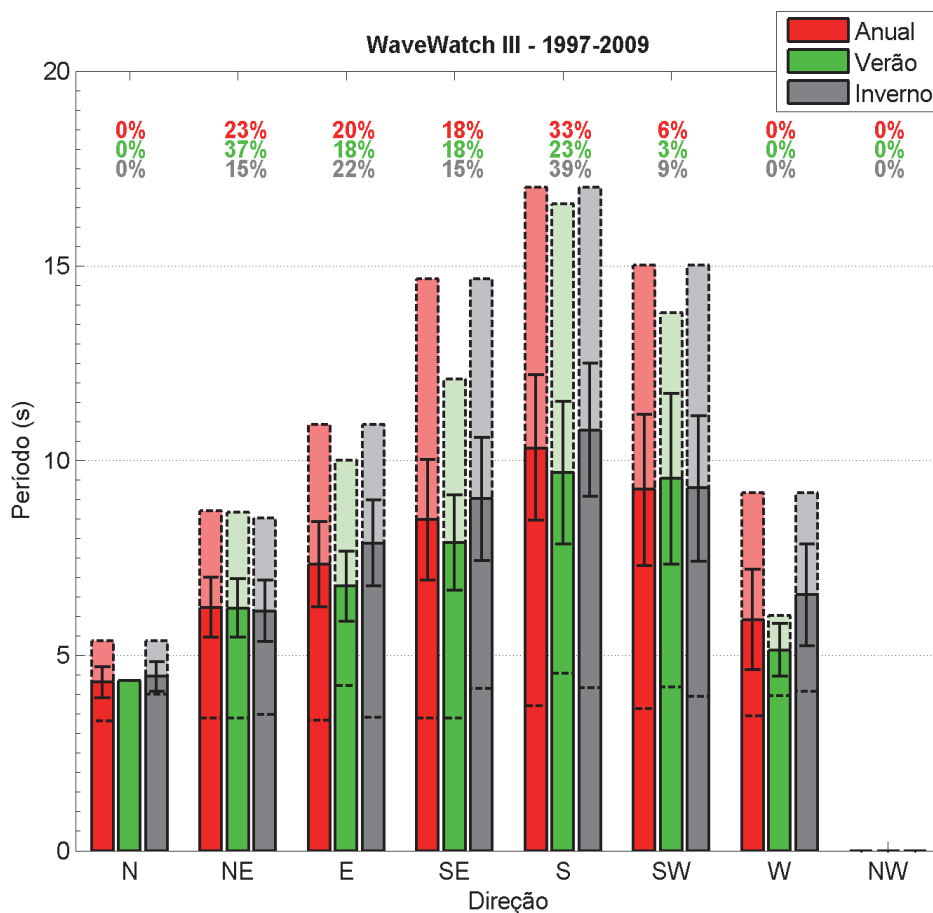
predominante é de S, com maior ocorrência de alturas entre 2 a 2,5 m e períodos de 10 a 12s.

As mesmas distribuições apresentadas na **Figura II.5.1.2-92** e **Figura II.5.1.2-93**, podem ser convertidas em formatos gráficos, que agregam informações exibidas por classe de direção, como valores médios e respectivos máximos, mínimos e desvios padrão (**Figura II.5.1.2-94** a **Figura II.5.1.2-96**).



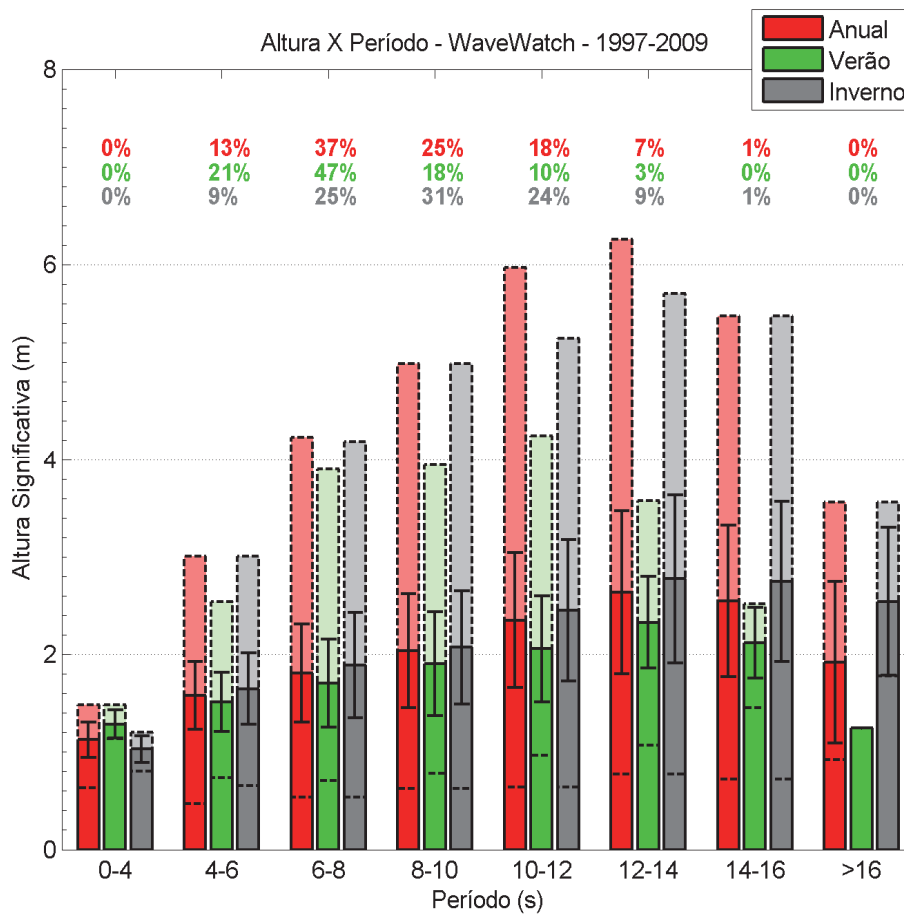
Fonte de dados: WaveWatch III Global (1997-2009).

Figura II.5.1.2-94 – Distribuição de altura significativa por direção de onda em ponto próximo à região dos empreendimentos (24° S e 42° W). As linhas tracejadas indicam os valores máximos e mínimos, e as linhas sólidas, os respectivos desvios padrão. Convenção meteorológica para a direção.



Fonte de dados: WaveWatch III Global (1997-2009).

Figura II.5.1.2-95 – Distribuição de período por direção de onda em ponto próximo à região dos empreendimentos (24°S e 42 W). As linhas tracejadas indicam os valores máximos e mínimos, e as linhas sólidas, os respectivos desvios padrão. Convenção meteorológica para a direção.



Fonte de dados: WaveWatch III Global (1997-2009).

Figura II.5.1.2-96 – Distribuição de altura significativa por período de onda em ponto próximo à região dos empreendimentos (24 S e 4° W). As linhas tracejadas indicam os valores máximos e mínimos, e as linhas sólidas, os respectivos desvios padrão.

Da **Figura II.5.1.2-94** até a **Figura II.5.1.2-96** é mostrado que, em todas as classes de direções, as ondas na área de estudo apresentam maior altura durante o inverno, quando comparado à estação de verão. Excluindo-se a classe de período de ondas entre 0 e 4 s, para todas as demais classes de períodos as ondas no inverno foram mais altas do que no verão na área de estudo. De modo geral, as propriedades no inverno são superiores à média anual, e, no verão, é observado o oposto.

A **Tabela II.5.1.2-14** sintetiza os resultados para as ondulações na área de estudo, conforme a direção de maior ocorrência.

Tabela II.5.1.2-14 – Síntese do regime de ondas em ponto situado próximo à região dos empreendimentos (24°S e 42°W), para a direção de maior frequência de ocorrência.

	Direção	Frequência	Média (o)	Máxima (o)
Anual				
Altura	S	33%	2,21±0,67 m	6,26 m
Período	S	33%	10,33±1,88 s	17,02 s
Verão				
Altura	NE	37%	1,69±0,39 m	3,17 m
Período	NE	37%	6,21±0,75 s	8,66 s
Inverno				
Altura	S	39%	2,34±0,70 m	5,71 m
Período	S	39%	10,78±1,72 s	17,02 s

Fonte de dados: WaveWatch III Global (2013).

A **Tabela II.5.1.2-14** mostra que, anualmente, as ondas atingem a área de estudo com direção predominante de S. Tais ondas apresentam altura média de 2,21 m e período de 10,33 s. No verão, predominam ondas de NE, para as quais a altura média é de 1,69 m e o período, de 6,21 s. No inverno, houve predomínio de ondas de S, que apresentaram altura média de 2,34 m e período de 10,78 s.

Para se obter maior detalhamento sobre as condições extremas do regime de ondas na área de estudo foi realizada uma análise de extremo com a mesma série temporal utilizada na descrição do regime de ondas.

A **Tabela II.5.1.2-15** apresenta as estatísticas das ondas na direção que apresenta a maior média de altura e período, em toda a série analisada, em meses de verão e de inverno.

Tabela II.5.1.2-15 – Síntese do regime de ondas em ponto situado próximo à região dos empreendimentos (24°S e 42°W), para a direção que apresenta maior média de altura e período de onda.

	Direção	Frequência (%)	Média (o)	Máxima (o)
Anual				
Altura	SW	6 %	2,65±0,84 m	5,77 m
Período	SW	6 %	9,25±1,95 s	15,2 s
Verão				
Altura	SW	3 %	2,17±0,59 m	4,25 m
Período	SW	3 %	9,53±2,20 s	13,79 s
Inverno				
Altura	SW	9 %	2,79±0,85 m	5,65 m
Período	SW	9 %	9,28±1,88 s	15,02 s

Fonte de dados: WaveWatch III Global (2013).

A **Tabela II.5.1.2-15** lista as maiores alturas e períodos médios, provenientes do setor SW. Em toda a série, a frequência de ocorrência dessa ondulação é de 6%, com média de altura de 2,65 m e período de 9,25 s. Os máximos registrados para a altura e o período nessa direção, ao longo do ano, foram de 5,77 m e 15,2 s. Para os meses de verão, a incidência é de 3%, com valores de 2,17 m e 9,53 s de altura e períodos médios, respectivamente, e de 4,25 m e 13,79 s para altura e período máximos. No inverno, a incidência de ondulações de SW é de 9%, com alturas e períodos médios de 2,79 m e 9,28 s. Os máximos verificados para altura e período foram de 5,65 m e 15,02 s.

A **Tabela II.5.1.2-16** apresenta os resultados de maiores alturas de ondas registradas na área de estudo pela série analisada, em período anual, durante os meses de verão e inverno.

Tabela II.5.1.2-16 – Alturas máximas registradas em todo o período, meses de verão e inverno, para ponto situado próximo à área de estudo (24°S e 42°W).

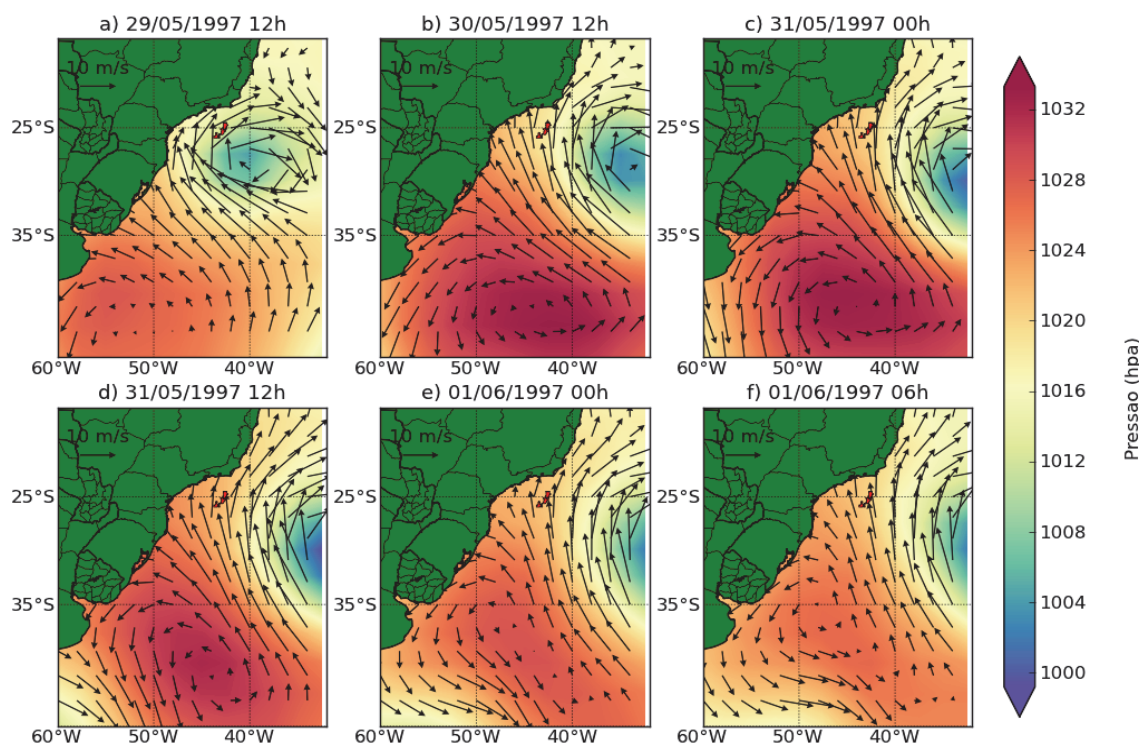
Período	Altura (m)	Período (s)	Direção (°)	Ocorrência
Anual	6,3	12	189 (S)	30/05/1997 12 h
Verão	4,2	13	209 (SW)	14/12/2009 12 h
Inverno	5,7	13	158 (S)	01/06/1997 03 h

Fonte de dados: WaveWatch III Global (2013).

A **Tabela II.5.1.2-16** mostra a maior altura registrada na série ocorrendo no outono de 1997 (30-05-1997), com 6,3 m, 12 s de período e direção de origem S. O maior registro para o período de inverno ocorreu dois dias depois, com 5,7 m de altura, 13 s de período e direção S. Para os meses de verão, a máxima altura registrada foi no ano de 2009 (14-12-2009), com 4,2 m, período de 13 s e direção SW.

Com isto tem-se que, nestas duas estações, os máximos absolutos de altura de onda na área de estudo tiveram origem do quadrante S-SW.

Para o máximo de inverno, a **Figura II.5.1.2-97** mostra os campos de ventos e pressão na superfície (NCEP/NCAR), em momento anterior, no instante e em momentos posteriores ao registro de máxima altura observada.



Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

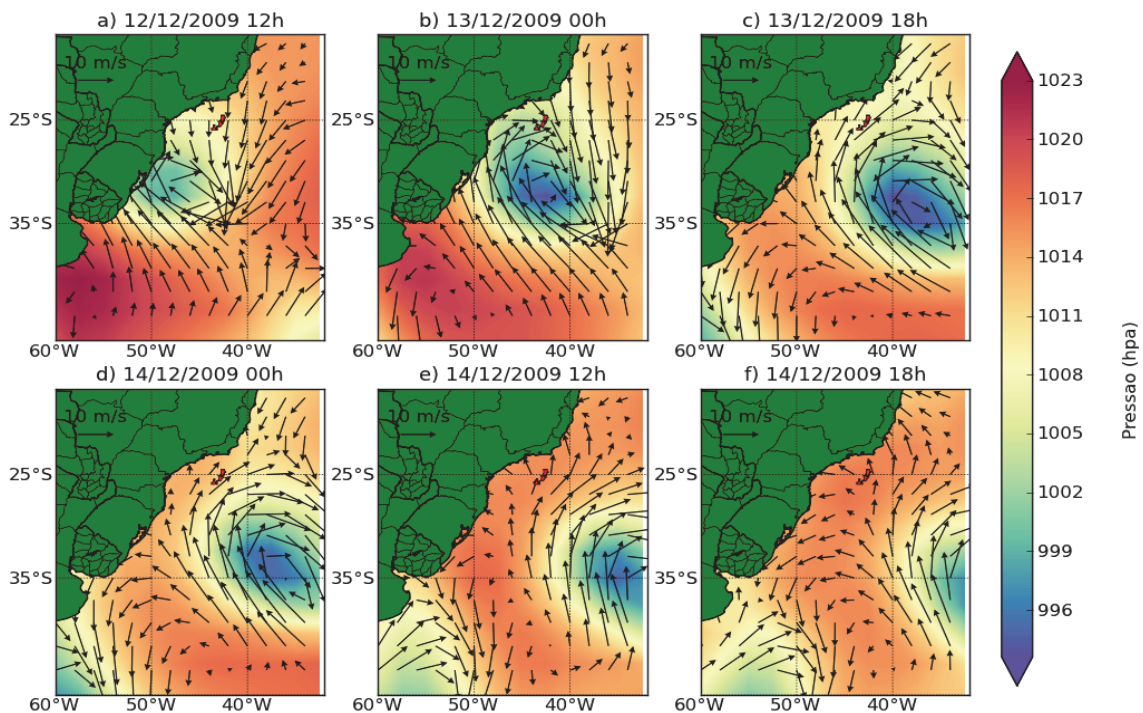
Figura II.5.1.2-97 – Campo de ventos (vetores) e pressão (cores) no período de 29 de maio a 1º de junho de 1997.

Na **Figura II.5.1.2-97**, no dia 29/05/1997, é possível identificar a presença de um centro de baixa pressão próximo ao Sudeste brasileiro. Este se desloca sentido oceano, nos dias seguintes (**Figura II.5.1.2-97c**). No Boletim Climanálise

(1997), este fenômeno é descrito da seguinte maneira: “a presença de um cavado em médios e altos níveis associaram-se a um sistema frontal vindo pelo Oceano no dia 28, o que originou uma frontogênese e ciclogênese no litoral da Região Sul. Durante a sua trajetória, causou chuvas nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. No dia 30, a frente fria encontrava-se no Oceano, na altura do litoral do Rio de Janeiro, onde se dissipou”.

Este fenômeno foi responsável pelo registro da maior altura significativa de onda em toda a série e da maior altura significativa de onda para os meses de inverno.

Para a máxima altura de onda registrada no mês de verão (14/12/2009), os campos de ventos e pressão em superfície (NCEP/NCAR), em momentos anteriores, no instante, e em momento posterior ao registro, são apresentados na **Figura II.5.1.2-98**.



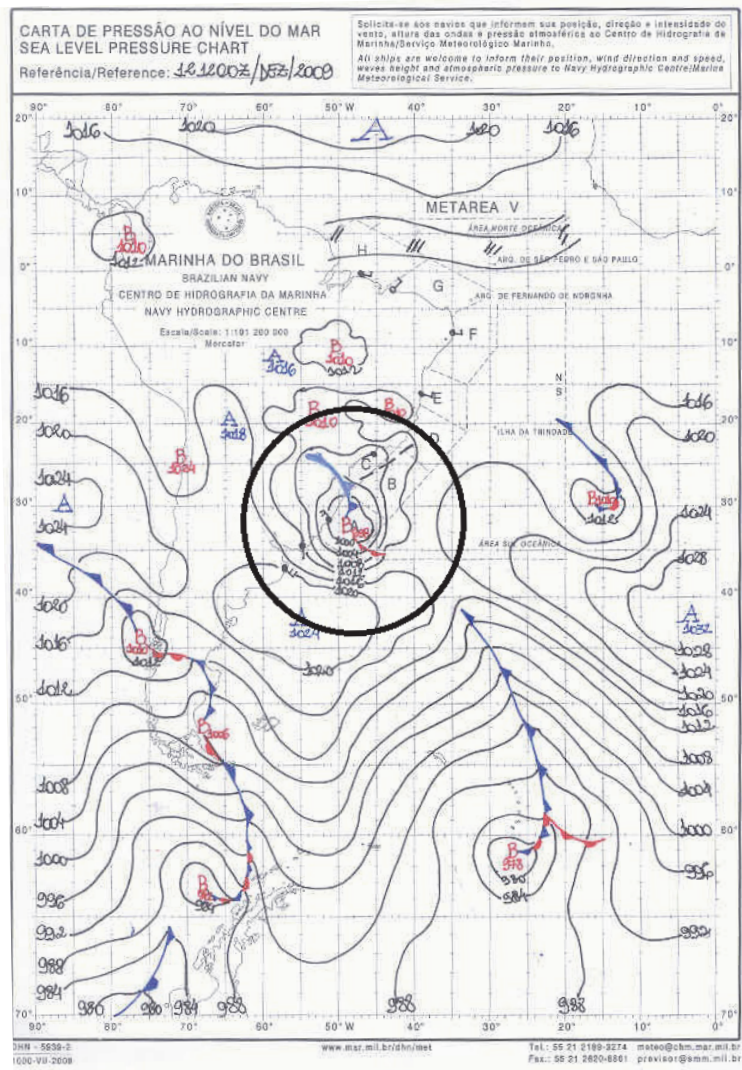
Fonte de dados: NCEP/NCAR (2013).

Figura II.5.1.2-98 – Campo de ventos (vetores) e pressão (cores) no período de 12 a 14 de dezembro de 2009.

Como descrito para o evento de inverno, no verão (**Figura II.5.1.2-98**), o posicionamento de um centro de baixa pressão ao Sul da região ocasionou o

máximo registrado. No Boletim Climanalise (2009), o evento foi descrito da seguinte maneira: “no dia 12, o sistema frontal configurou-se no Leste do Rio Grande do Sul. Este sistema deslocou-se até Vitória-ES, onde se posicionou no dia 14. A formação do ciclone extratropical associado a este sistema causou ventos fortes e chuvas acentuadas no Rio Grande do Sul”.

Na carta sinótica de superfície, apresentada na **Figura II.5.1.2-99**, pode-se observar a configuração desse sistema frontal.



Fonte: modificado de MB (2013)

Figura II.5.1.2-99 – Carta Sinótica para o dia 12/12/2009 12 h. Círculo preto indica o sistema de baixa pressão.

Analisando os mapas de ventos e campos de pressão para os fenômenos registrados como máximos para o período analisado, pode-se inferir que as maiores causadoras de fenômenos extremos em ondas na área de estudo são as passagens de sistemas frontais.

Ajustando os dados de onda para análise de valores extremos segundo a distribuição de Weibull (distribuição esta que apresentou melhor ajuste, quando comparada a outras, como Gumbell), é possível calcular a probabilidade de ocorrência de alturas significativas (**Tabela II.5.1.2-17**).

Tabela II.5.1.2-17 – Probabilidade de ocorrências de alturas significativas de onda superior a 1,5 m, 2,0 m, 2,5 m, 3,0 m, 3,5 m, 4 m e 5 m.

Altura (m)	Anual (%)	Verão (%)	Inverno (%)
>1,5	82,3	77,7	86,0
>2,0	60,7	46,4	68,2
>2,5	35,7	16,1	45,4
>3,0	15,5	2,5	24,0
>3,5	4,6	0,1	9,5
>4,0	0,9	0,0	2,7
>5,0	0,0	0,0	0,1

Fonte de dados: WaveWatch III Global (2013).

A **Tabela II.5.1.2-17** mostra que, em período de verão, existe probabilidade inferior a 50% de ocorrerem ondas superiores a 2 m na área de estudo, porém, em períodos de inverno, essa probabilidade é superior a 65%. Ondas acima de 3,5 m apresentam a probabilidade de menos de 1% de ocorrerem no verão e mais de 9% de ocorrerem no inverno. Ondas acima de 5,00 m são muito raras em qualquer época do ano.

E) Estudo de dinâmica sedimentar

O Termo de Referência CGPEG/DILIC/IBAMA 002/13 solicita que de acordo com a possibilidade da presença de feições de fundo ativas na região deve-se elaborar estudo de dinâmica sedimentar nas regiões nas quais há pretensão de instalação de estruturas de fundo.

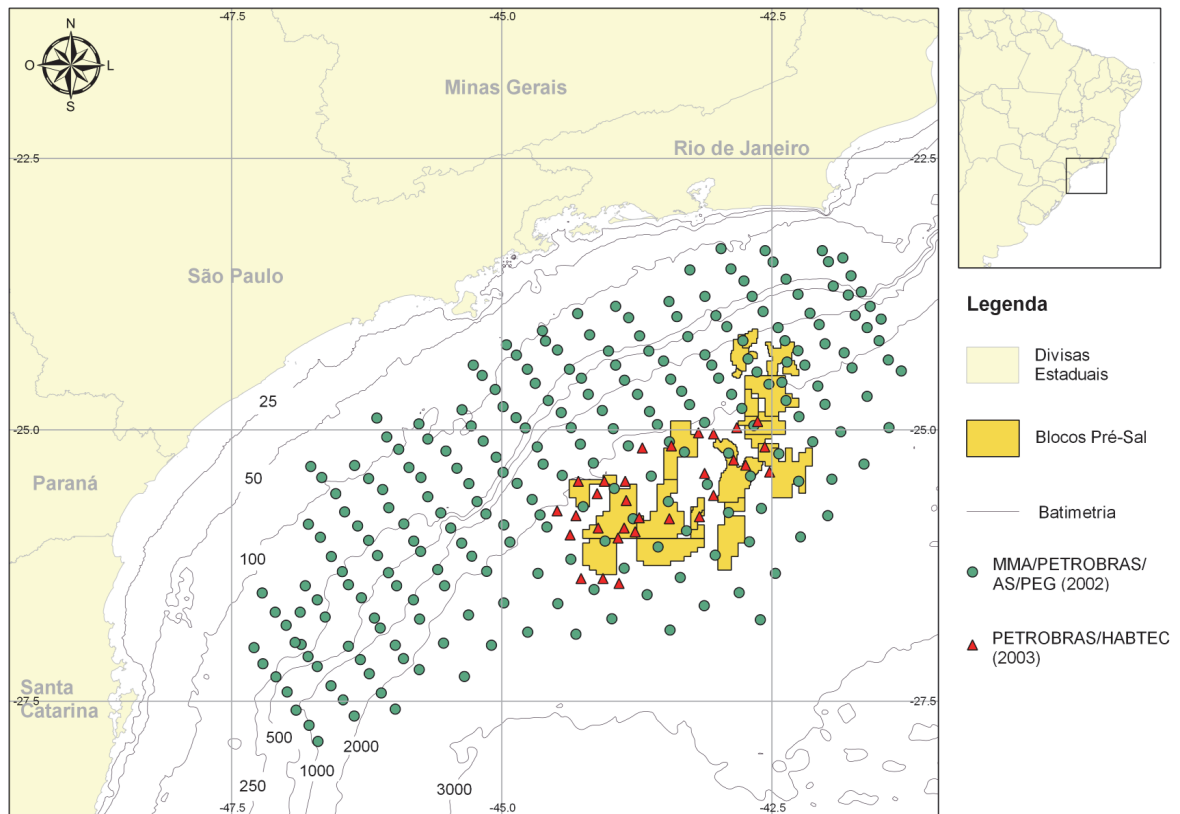
De acordo com o subitem **II.5.1.4 – Geologia e geomorfologia** apresentado na sequência deste item, os mapas faciológicos, as imagens provenientes de sonares de varredura lateral, batimetrias multifeixe, perfis sísmicos e imageamento por meio de veículos não tripulados mostraram que em todos os blocos onde serão desenvolvidas atividades não existe a presença de feições de fundo ativas na região.

II.5.1.3 - Qualidade de Água e Sedimento

Para caracterizar a qualidade da água e dos sedimentos na área de estudo, foram utilizados dados oriundos de projetos desenvolvidos pela PETROBRAS na região oceânica da Bacia de Santos, compreendendo:

- Relatório de Caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002);
- Caracterização Ambiental dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 (PETROBRAS/HABTEC, 2003).

Nas campanhas do projeto PETROBRAS/HABTEC (2003) foram coletadas amostras de água e sedimento nas isóbatas de 2.100 m (6 estações), 2.150 m (6 estações), 2.200 m (4 estações), 2.225 m (2 estações) e 2.425 m (2 estações), totalizando 20 estações amostrais distintas no mês de agosto de 2002 (inverno). Já no projeto MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) realizou-se medições por toda a área da Bacia de Santos. Um mapa com a localização das estações amostrais de ambos os projetos é apresentado na **Figura II.5.1.3-1**.



Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003) e MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

Figura II.5.1.3-1 – Estações de coleta de água e sedimentos na Bacia de Santos para as referências utilizadas neste diagnóstico. Batimetria em metros.

O **Quadro II.5.1.3-1** mostra as metodologias de coleta de água e sedimentos utilizadas pelos estudos referenciados neste diagnóstico.

Quadro II.5.1.3-1 – Metodologias de coleta de amostras de água e sedimentos para as referências utilizadas neste diagnóstico.

Referência	Compartimento Amostrado	Método de Amostragem
PETROBRAS/HABTEC (2003)	Água	Garrafa de Niskin (10 L)
	Sedimento	BoxCorer
MMA/Petrobras/AS/PEG (2002)	Água	Garrafa Go-Flo (10 L)
	Sedimento	Box Corer

Para a análise da qualidade de água, foram contemplados os parâmetros: oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico, carbono orgânico total, fenóis,

hidrocarbonetos totais de petróleo, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, nutrientes (amônia, nitrito, nitrato e fosfato), sulfetos e clorofila-a.

Para a qualidade de sedimentos foram descritos os parâmetros: carbono orgânico total, nitrogênio total, fósforo total, teor de carbonato, teor de matéria orgânica, granulometria, metais (ferro, níquel, cromo, zinco, chumbo, cobre, vanádio, cádmio, bário, manganês, mercúrio e arsênio), hidrocarbonetos totais de petróleo e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.

O **Quadro II.5.1.3-2** e o **Quadro II.5.1.3-3** apresentam respectivamente as metodologias de análise das amostras de água e sedimento.

Quadro II.5.1.3-2 – Metodologia de análise das amostras de água para as referências utilizadas neste diagnóstico.

Parâmetro	Referência	Método Analítico
Oxigênio Dissolvido (OD)	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Titulação por Winkler
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Oxímetro
Potencial Hidrogeniônico (pH),	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Potenciômetro
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	PH-metro digital modelo HI9622
Carbono orgânico total (COT)	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Titulometria
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG(2002)	Combustão catalítica à alta temperatura seguida de quantificação do CO ₂ em um detector de infravermelho não disperso
Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Cromatografia Gasosa
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Cromatografia gasosa com detector de chama CG-FID (HP modelo 6890) (EPA 8015C)
Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)	PETROBRAS/HABTEC (2003)	EPA 8270C
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	EPA 8270C
Amônia	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Derivado do Método Koroleff, 1969
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Derivado do Método Koroleff, 1969
Nitrito	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Baseado na reação de Griess e aplicado em águas salgadas por Bendschneider e Robinson, 1952
Nitrato	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Método de redução com coluna de Cd e Cu segundo Aminot e Chaussepied, 1983
Fosfato	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Aminot & Chaussepied, 1983
Sulfeto	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Clorimetria
Clorofila - a	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Método tricromático
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Espectrofluorimétrico

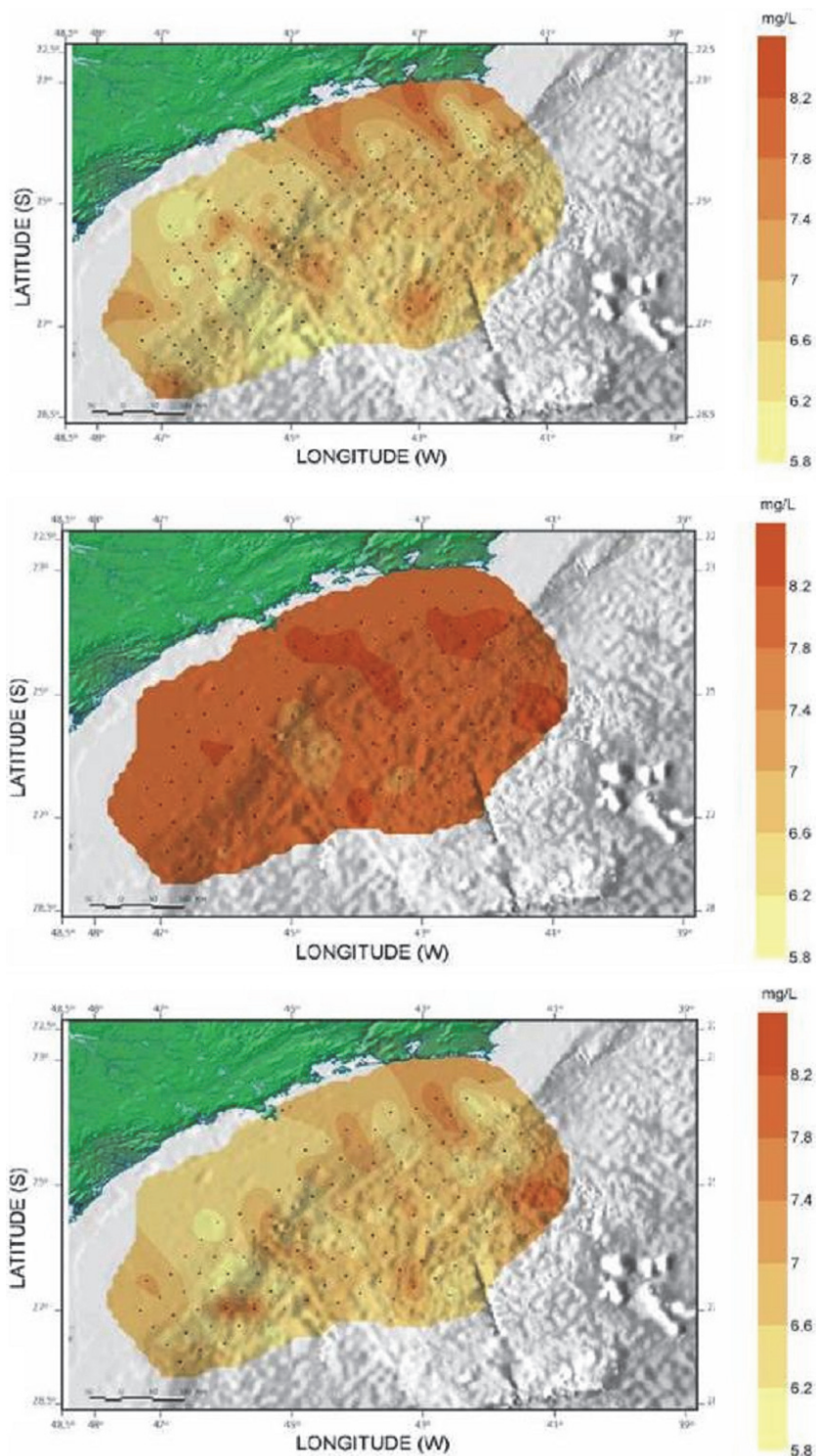
Quadro II.5.1.3-3 - Metodologia de análise das amostras de sedimento para as referências utilizadas neste diagnóstico.

Parâmetro	Referência	Método Analítico
Carbono Orgânico Total (COT)	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Digestão com Dicromato de Potássio
Nitrogênio Total	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Método de Kjeldal
Fósforo Total	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Digestão com Ácido Sulfúrico
Teor de Carbonato	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Acidificação com HCl
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Acidificação com HCl
Teor de Matéria Orgânica	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Queima com H ₂ O ₂
Granulometria	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Peneiramento e pipetagem
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Holme & MCinyre (1984) e Suguio (1973)
Metais (Ferro, Níquel, Cromo, Zinco, Chumbo, Cobre, Vanádio, Cádmio, Bário, Manganês e Arsênio)	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Espectrofotometria de emissão de plasma
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Espectrofotometria de emissão de plasma e Espectrofotometria de Absorção Atômica
Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Cromatografia gasosa com detector de chama CG-FID (EPA 8015C)
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Cromatografia gasosa com detector de chama CG-FID (EPA 8015C)
Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa (GC/MS)
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	EPA 8270C
Metais (Mercúrio)	PETROBRAS/HABTEC (2003)	Espectrofotometria de emissão de plasma
	MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002)	Espectrofotometria de Absorção Atômica

A) Qualidade de Água

Oxigênio Dissolvido (OD)

A **Figura II.5.1.3-2** apresenta os valores de oxigênio dissolvido obtidos pelo estudo MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002), na profundidade de 10 m, em meia água e fundo (atingindo no máximo 200 m).

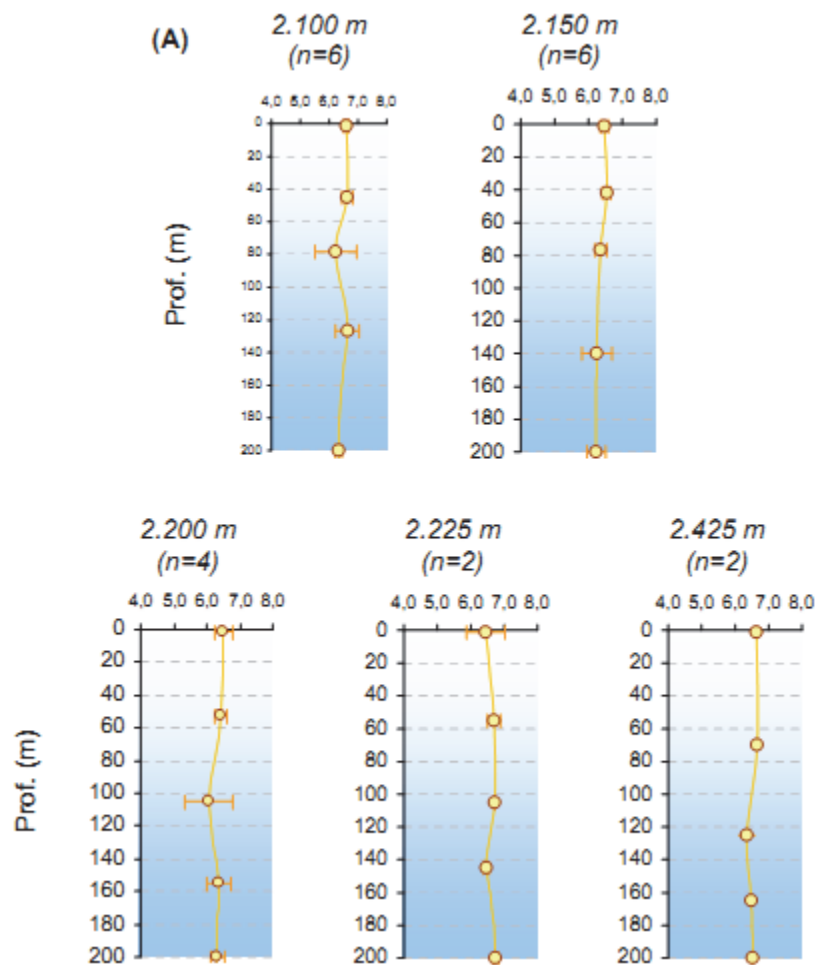


Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

Figura II.5.1.3-2 – *Varição espacial de oxigênio dissolvido na água (mg/L) na Bacia de Santos. O painel superior é referente à profundidade de 10 m, o central, meia água e o inferior, fundo (atingindo no máximo 200 m).*

As concentrações de oxigênio dissolvido apresentadas na **Figura II.5.1.3-2** variam entre 5,8 e 8,4 mg/L. Estes valores são mais elevados em meia água, nas proximidades da termoclina, com valores entre 7,4 e 8,2 mg/L. As concentrações nas superfície e fundo são similares, variando desde 5,8 a 7,4 mg/L.

A **Figura II.5.1.3-3** apresenta os resultados obtidos por PETROBRAS/HABTEC (2003).



Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

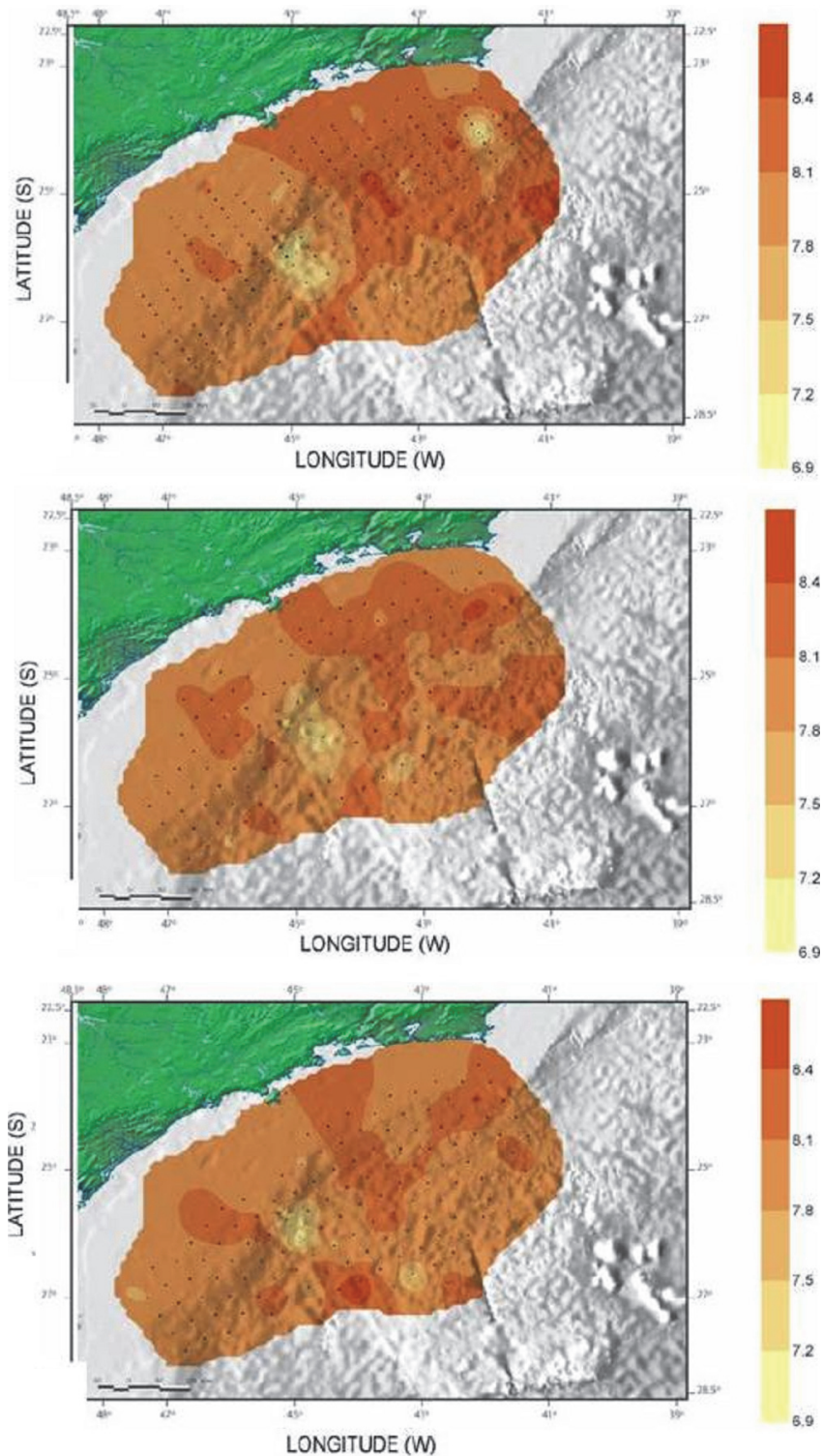
Figura II.5.1.3-3 – Variação vertical de oxigênio dissolvido na água (mg/L) nas estações profundas da Bacia de Santos. São apresentados somente os 200 m iniciais da coluna de água. A barra laranja horizontal indica o desvio padrão (n – nº de estações)

A **Figura II.5.1.3-3** apresenta valores variando entre 6,05 e 6,86 mg/L nas camadas superficiais, similarmente ao obtido para a mesma profundidade no estudo de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002). Estes valores têm pouca variação ao longo da coluna de água, sendo desta forma diferente do obtido por MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002), que encontrou maiores valores próximos à termoclina (**Figura II.5.1.3-2**).

Segundo Niencheski *et al.* (1999), somente a concentração de oxigênio dissolvido é insuficiente para a caracterização de um ambiente, devido aos inúmeros fatores físicos e biológicos que podem afetar a sua distribuição. Dentre esses fatores, podem ser atribuídos: contato com o oxigênio da atmosfera nas camadas superficiais (REDFIELD, 1963), variação da pressão atmosférica, aquecimento ou resfriamento da água (HAYWARD & MANTYLA, 1990), processos biológicos de produção (fotossíntese) e consumo (respiração) de oxigênio (AIDAR *et al.*, 1993). Ainda, de forma local, o vento, ondas e precipitação atmosférica podem influenciar na concentração de oxigênio dissolvido na água do mar.

Potencial Hidrogeniônico (pH)

A variação espacial de pH apresentada em MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) é exibida na **Figura II.5.1.3-4**. Nessa figura, é possível observar variações de pH entre 6,9 e 8,4.

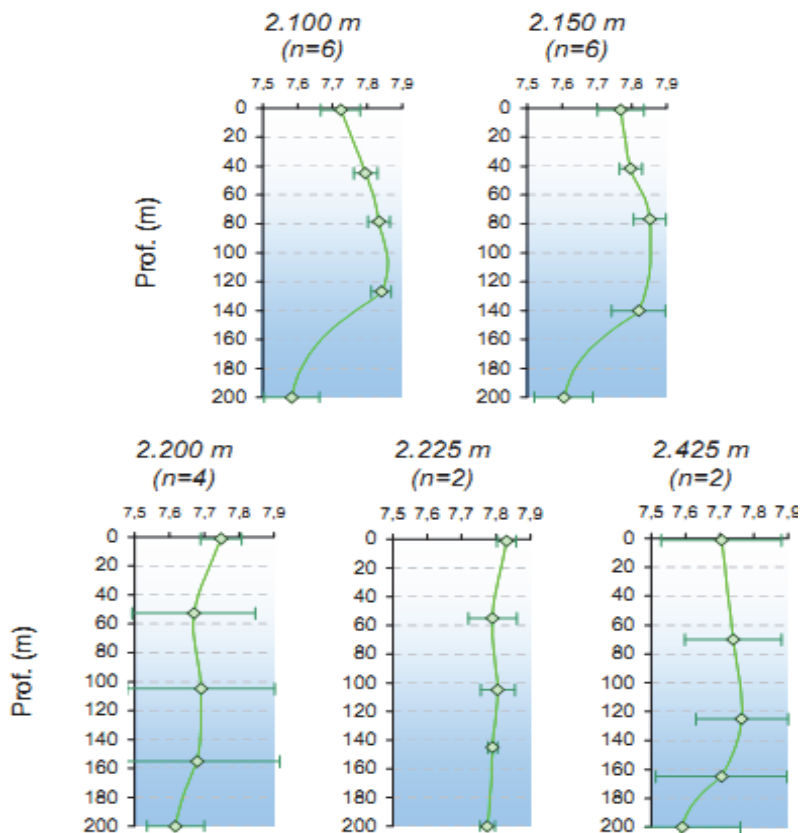


Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

Figura II.5.1.3-4 – *Variação espacial de pH na Bacia de Santos. O painel superior é referente à profundidade de 10 m, o central, meia água e o inferior, fundo (atingindo no máximo 200 m).*

No estudo de PETROBRAS/HABTEC (2003), são apresentados os valores para os primeiros 200 m de profundidade (**Figura II.5.1.3-5**). Em superfície, o pH variou entre 7,58 e 7,85, não sendo significativamente alterado até a profundidade de 200 m.

O pH médio da água do mar é em torno de 8,2, ou seja, levemente básico. Fatores como atividades de respiração, fotossíntese e trocas entre a atmosfera e o oceano fazem com que o equilíbrio dos íons CO_2 , HCO_3^- e CO_3^{2-} seja alterado, modificando os valores de pH (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983).



Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

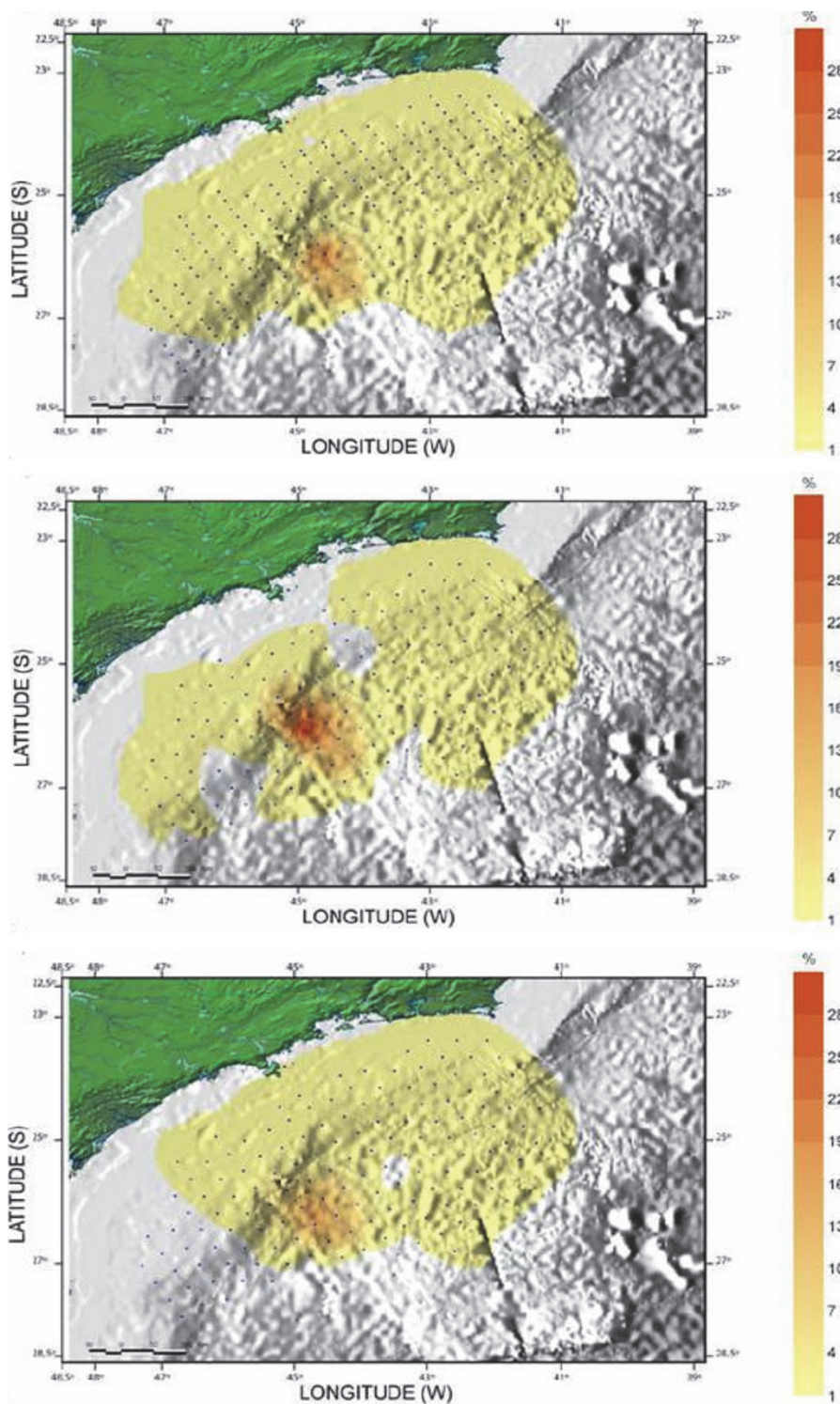
Figura II.5.1.3-5 – Variação vertical de pH nas estações profundas da Bacia de Santos. São apresentados somente os 200 m iniciais da coluna de água. A barra horizontal indica o desvio padrão (n – n° de estações)

Carbono Orgânico Total (COT)

A variação espacial, em superfície, meia água e fundo, para o carbono orgânico total (COT) proveniente de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) na Bacia de Santos é apresentada na **Figura II.5.1.3-6**.

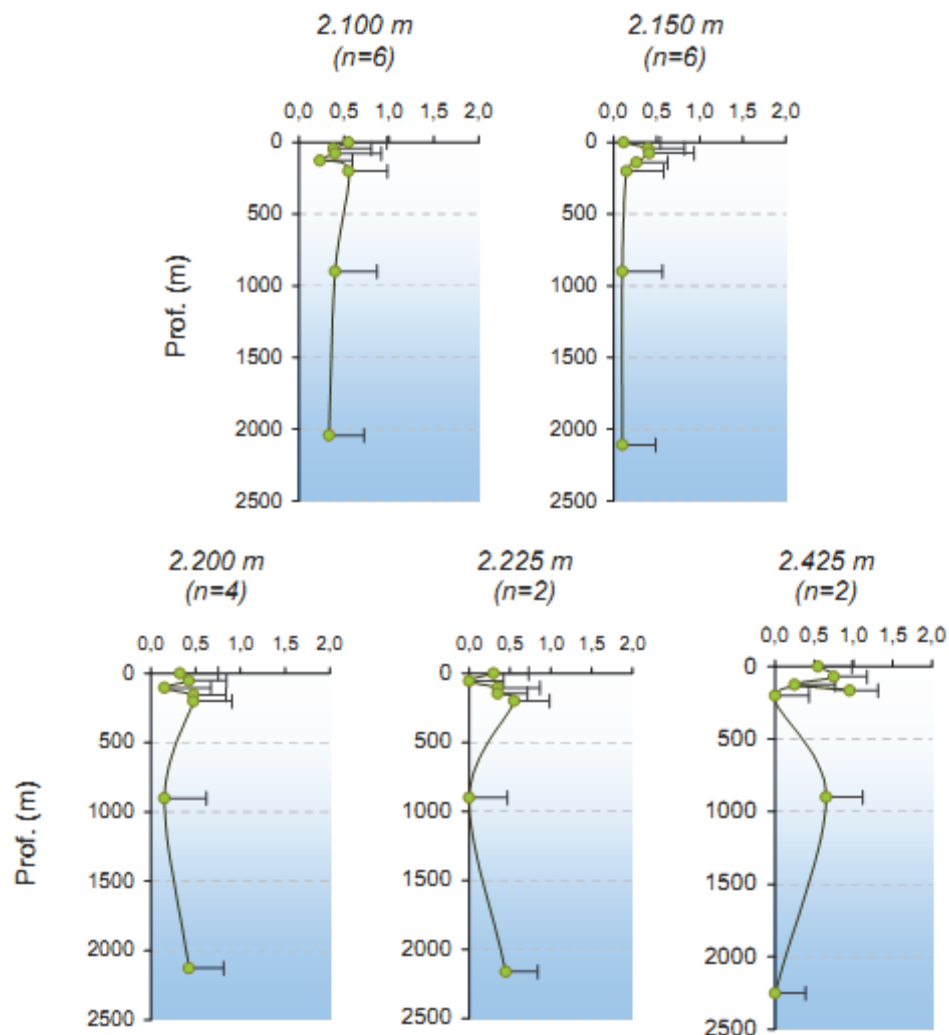
Os valores verticais provenientes de PETROBRAS/HABTEC (2003) aparecem na **Figura II.5.1.3-7**.

Os valores encontrados no projeto PETROBRAS/HABTEC (2003) encontram-se entre 0,5 e 1 mg/L, em todas as estações e profundidades amostradas, e as maiores variações foram encontradas entre superfície e termoclina.



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

Figura II.5.1.3-6 – *Variação espacial de carbono orgânico total (COT) na Bacia de Santos. O painel superior é referente à profundidade de 10 m, o central, meia água e o inferior, fundo (atingindo no máximo 200 m).*



Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Figura II.5.1.3-7 – *Varição vertical de carbono orgânico total (mg/L) nas estações profundas da Bacia de Santos. A barra horizontal indica o desvio padrão (n – nº de estações)*

Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)

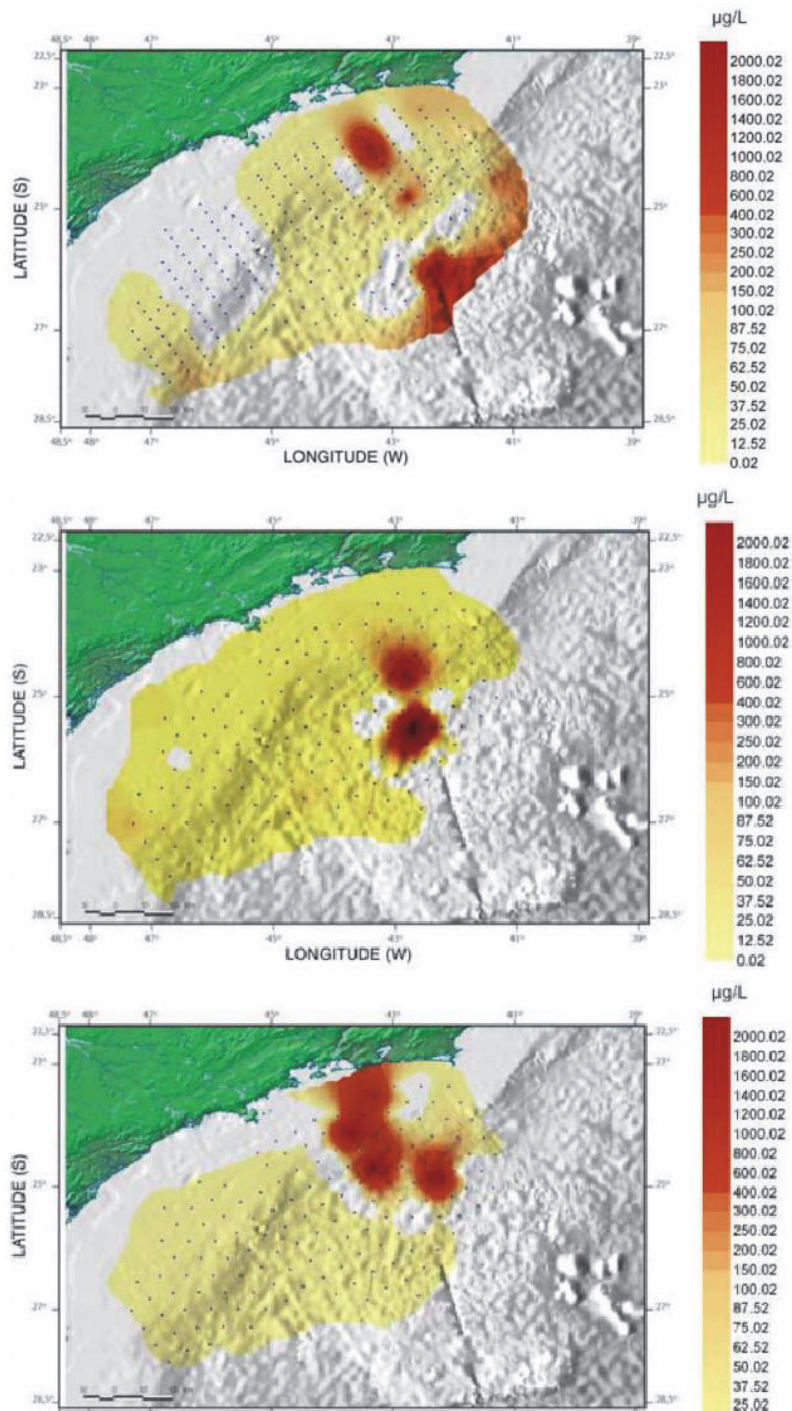
A variação espacial em superfície, meia água e em fundo, da concentração de hidrocarbonetos totais proveniente de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) para a Bacia de Santos é apresentada na **Figura II.5.1.3-8**.

De modo geral, os resultados apresentam baixas concentrações de HTP na Bacia de Santos, com valor máximo de 2.706 $\mu\text{g/L}$ e média de 64 $\mu\text{g/L}$ (considerando toda a extensão horizontal e vertical apresentada).

Em superfície, maiores concentrações foram observadas nas proximidades do talude na região ao largo do estado do Rio de Janeiro e na mesma radial, contudo em oceano profundo. Estes valores máximos são próximos a 2.000 µg/L.

Em meia água, pontos ao largo da Baía de Guanabara/RJ, no talude e no oceano profundo, apresentaram os maiores valores (próximos a 2.000 µg/L). Nesta profundidade, as demais regiões tiveram valores próximos a zero.

Na camada de 200 m, região de plataforma continental e talude ao largo da Baía de Guanabara, encontraram-se as maiores concentrações (próximas a 2.000 µg/L). Sobre o trabalho realizado por PETROBRAS/HABTEC (2003) não foi detectada concentração de HTP.

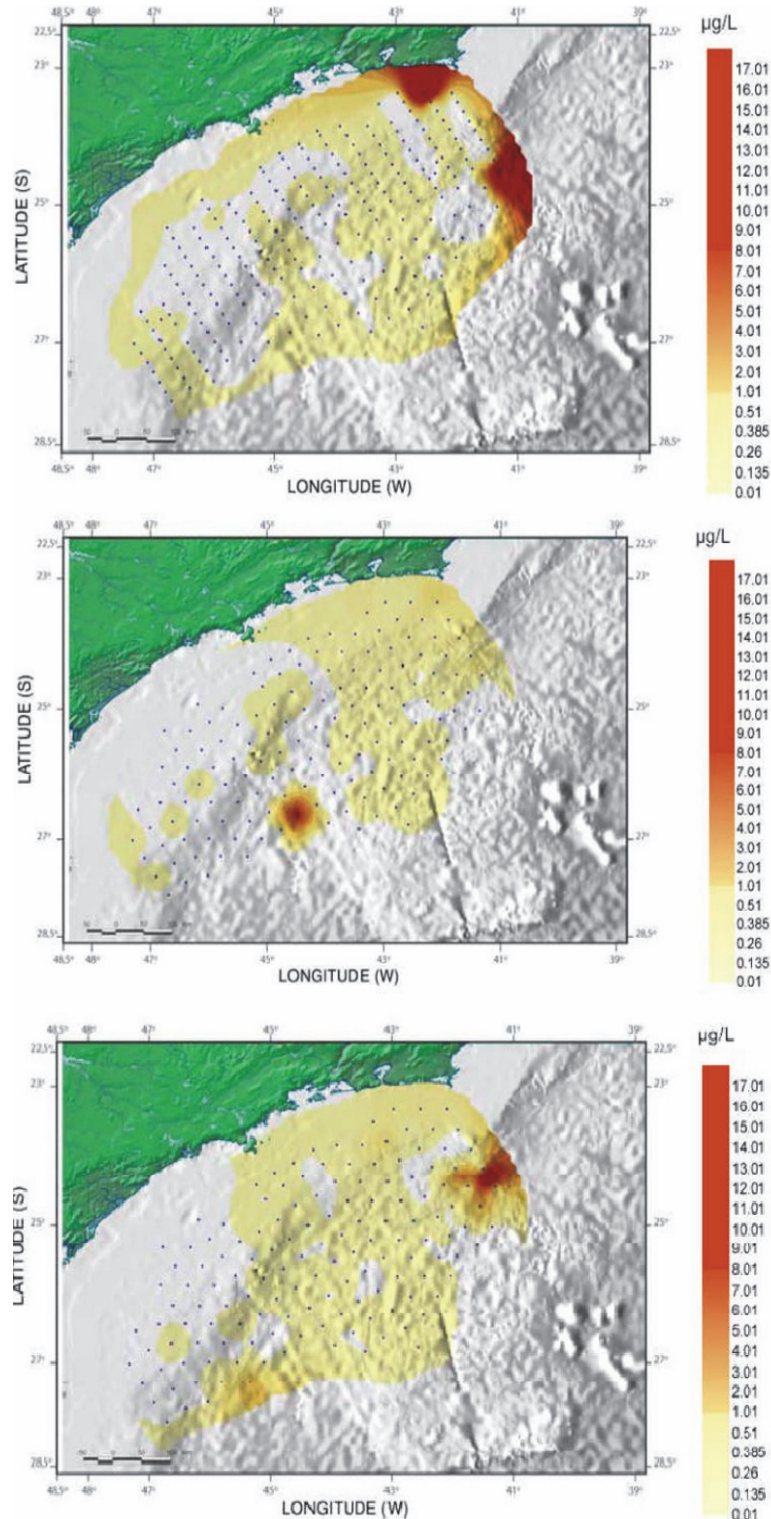


Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

Figura II.5.1.3-8 – *Variação espacial de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) na Bacia de Santos. O painel superior é referente à profundidade de 10 m, o central, meia água e o inferior, fundo (atingindo no máximo 200 m).*

Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA)

A **Figura II.5.1.3-9** mostra a variação espacial para a concentração de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos nas camadas de superfície, meia água e fundo nas regiões da plataforma continental e talude da Bacia de Santos, proveniente de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).



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

Figura II.5.1.3-9 – *Variação espacial de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos na Bacia de Santos. O painel superior é referente à profundidade de 10 m, o central, meia água e o inferior, fundo (atingindo no máximo 200 m).*

Assim como o observado para os HTP, as concentrações observadas de HPA também foram baixas. A concentração máxima observada foi de 21,30 µg/L e a média, de 0,44 µg/L. Ressalta-se que as maiores concentrações em superfície foram obtidas na porção norte da Bacia de Santos, tanto próximo ao continente quanto em oceano aberto. Em meia água o valor máximo (14 µg/L) foi encontrado em oceano profundo ao largo de Santos. Para a camada de fundo, a maior concentração observada foi em região de oceano profundo (a 200m), na porção Norte da Bacia de Santos (15 µg/L).

Para o trabalho de PETROBRAS/HABTEC (2003), não foi detectada concentração de HPA.

Nutrientes (Amônia, Nitrito, Nitrato e Fosfato)

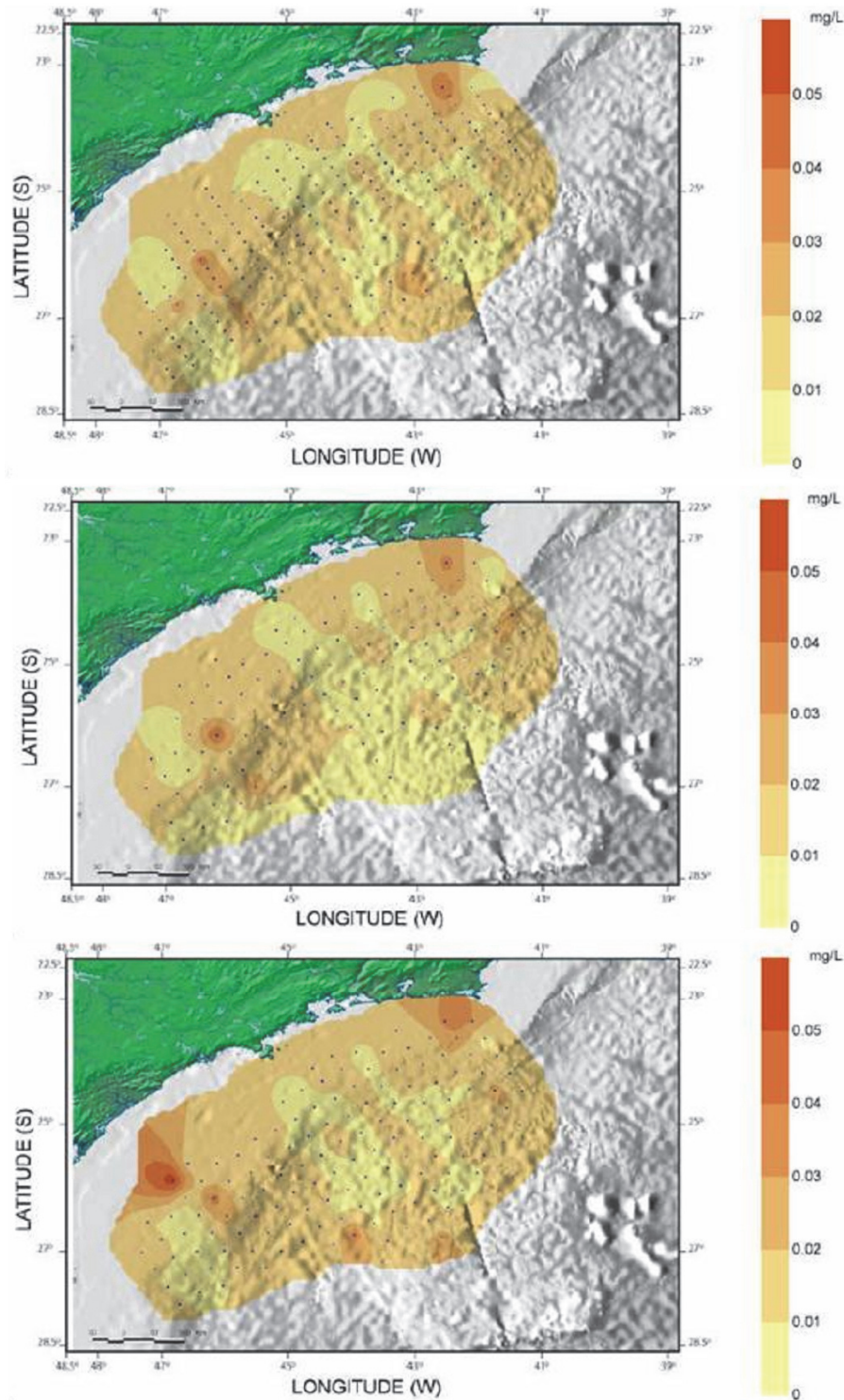
1) Amônia

A **Figura II.5.1.3-10** apresenta as variações horizontais (superfície, meia água e fundo) da concentração de amônia apresentada no relatório MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002), enquanto a **Figura II.5.1.3-11**, apresenta a variação vertical das concentrações de amônia proveniente do estudo de PETROBRAS/HABTEC (2003) na Bacia de Santos.

Os valores encontrados em MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) tiveram máximo de 0,060 mg/L e mínimo de 0,003 mg/L. As concentrações mais elevadas foram encontradas na camada profunda, em pontos mais próximos ao continente, porém, não foram observadas tendências espaciais.

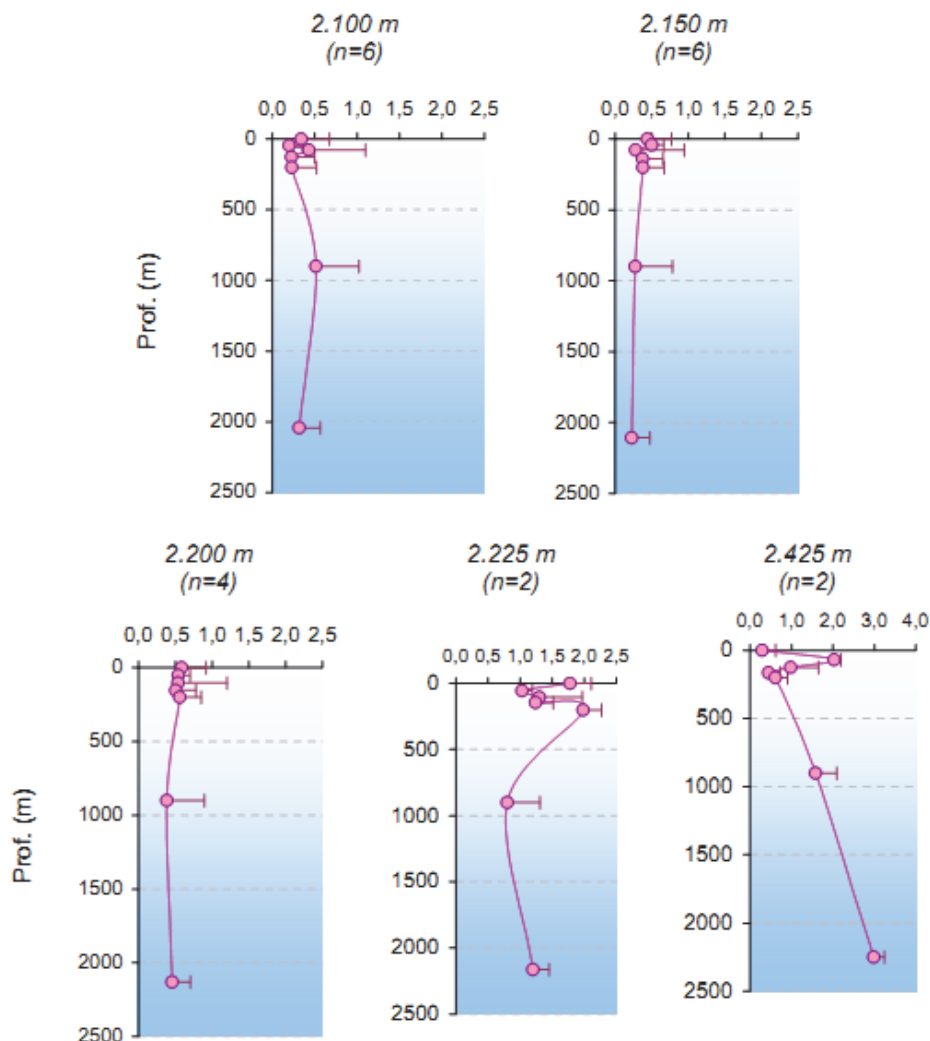
Para PETROBRAS/HABTEC (2003), foram encontrados valores entre 0,01 a 3,0 µmol/l (0,0002 mg/L a 0,052 mg/L), com relativa homogeneidade vertical nas estações das isóbatas de 2.100, 2.150 e 2.200 m. Para as estações da isóbata de 2.225 m foram observados maiores valores nas proximidades de 250 m, e nas de 2.425 m a maior concentração observada foi próxima ao fundo.

Por se tratar de um nutriente, é comum que concentrações de amônia sejam maiores em camadas profundas, onde não existe disponibilidade luminosa, diminuindo seu consumo por organismos fotossintetizantes (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002).



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

Figura II.5.1.3-10 – *Varição espacial de amônia na Bacia de Santos. O painel superior é referente à profundidade de 10 m, o central, meia água e o inferior, fundo (atingindo no máximo 200 m).*



Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

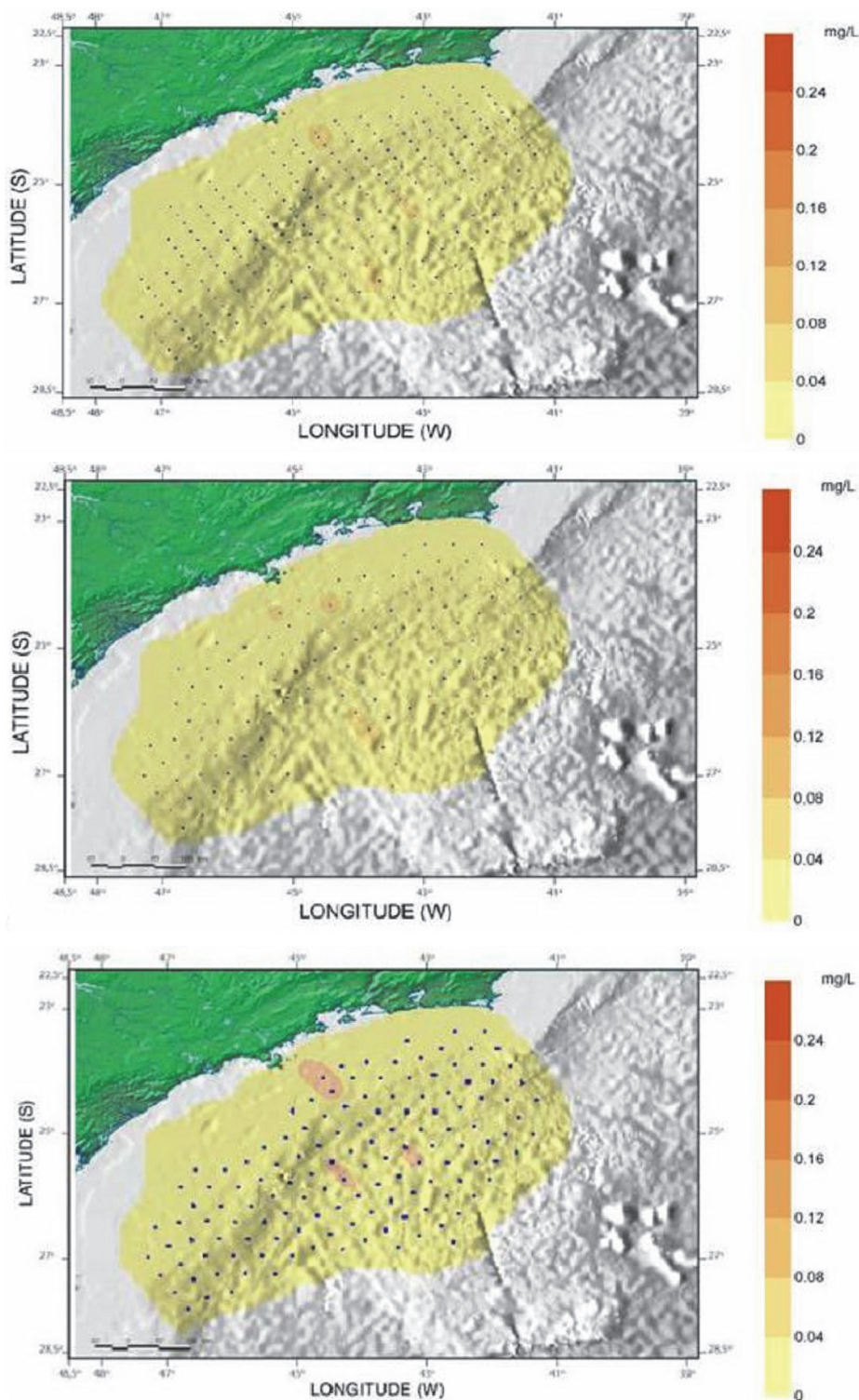
Figura II.5.1.3-11 – Variação vertical de amônia ($\mu\text{mol/l}$) nas estações profundas da Bacia de Santos. A barra horizontal indica o desvio padrão ($n - n^\circ$ de estações)

2) Nitrito

A variação horizontal (superfície, meia água e fundo) para o nitrito, proveniente de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002), é apresentada na **Figura II.5.1.3-12**. Na **Figura II.5.1.3-13** aparecem os perfis verticais das estações amostradas por PETROBRAS/HABTEC (2003).

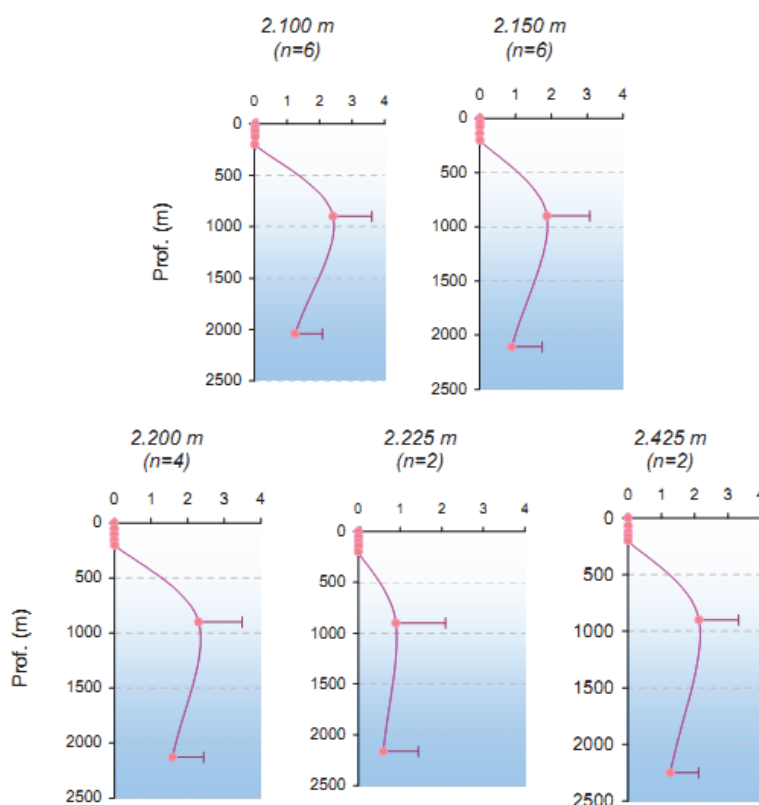
A partir de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) identifica-se que as concentrações variaram entre 0,002 mg/L e 0,07 mg/L, sendo os maiores valores obtidos na camada de fundo (200 m) em região da plataforma continental ao largo

de São Sebastião/SP. No estudo PETROBRAS/HABTEC (2003), os valores médios obtidos estiveram entre 0,01 e 2,09 $\mu\text{mol/L}$ (0,0046 mg/L a 0,92 mg/L). As estações apresentaram, em sua maioria, padrão de estratificação similar, com valores muito baixos nas camadas superficiais e aumento na camada intermediária, indicando enriquecimento das massas de águas mais profundas. Os valores na camada de fundo se dispuseram de forma intermediária entre os valores de superfície e meia água.



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

Figura II.5.1.3-12 – *Varição espacial de nitrito na Bacia de Santos. O painel superior é referente à profundidade de 10 m, o central, meia água e o inferior, fundo (atingindo no máximo 200 m).*

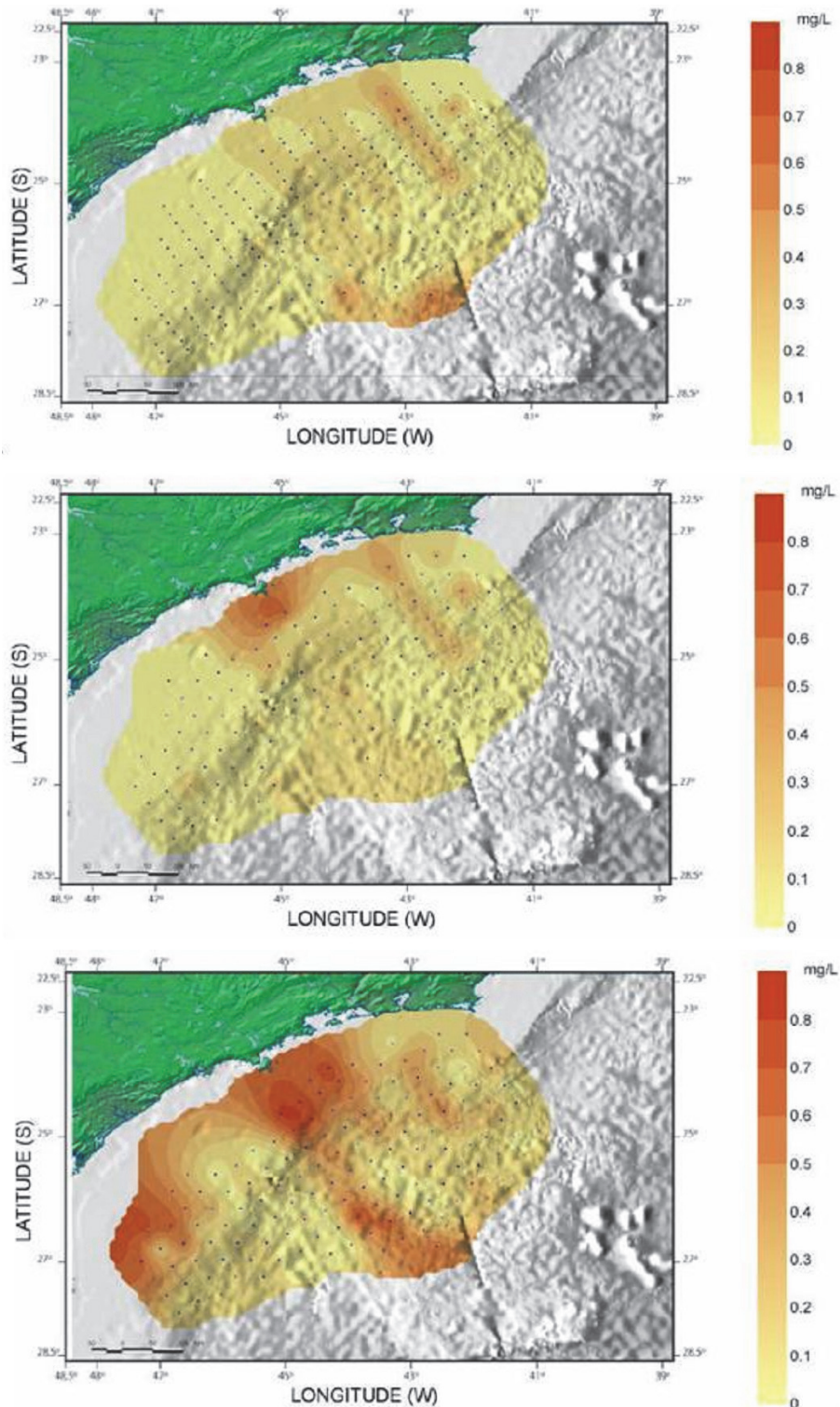


Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Figura II.5.1.3-13 – Variação vertical de nitrito ($\mu\text{mol/l}$) nas estações profundas da Bacia de Santos. A barra horizontal indica o desvio padrão ($n - n^\circ$ de estações)

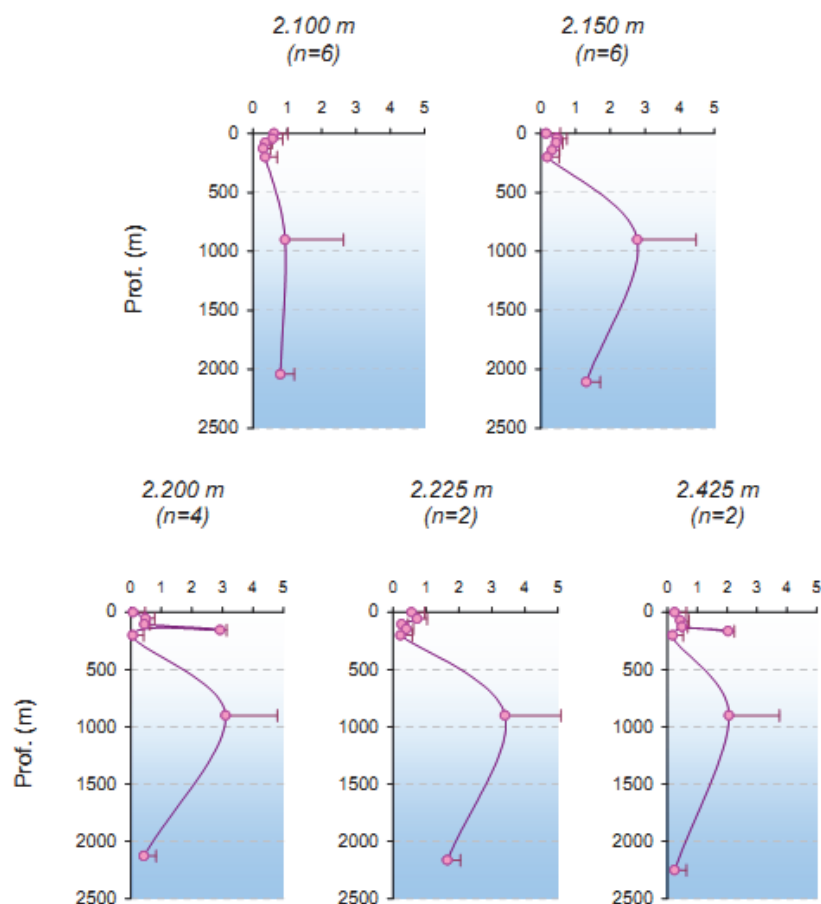
3) Nitrato

As concentrações de nitrato de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) são apresentadas na **Figura II.5.1.3-14** e os valores verticais provenientes de PETROBRAS/HABTEC (2003) são exibidos na **Figura II.5.1.3-15**.



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

Figura II.5.1.3-14 – *Varição espacial de nitrato na Bacia de Santos. O painel superior é referente à profundidade de 10 m, o central, meia água e o inferior, fundo (atingindo no máximo 200 m).*



Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Figura II.5.1.3-15 – Variação vertical de nitrato ($\mu\text{mol/l}$) nas estações profundas da Bacia de Santos. A barra horizontal indica o desvio padrão ($n - n^\circ$ de estações)

Os valores de nitrato de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) estiveram entre as concentrações de 0,066 mg/L e 0,835 mg/L, sendo que os maiores valores foram observados na camada de fundo (200 m). Em superfície, os maiores valores foram obtidos na região de oceano profundo, enquanto que em meia água as maiores concentrações foram obtidas sobre a Plataforma Continental, entre Santos e São Sebastião/SP. Esta mesma região apresentou as maiores concentrações na camada de fundo, juntamente com a porção Sul da Bacia de Santos.

A partir de PETROBRAS/HABTEC (2003), pôde-se verificar variações verticais de nitrito entre 0,01 $\mu\text{mol/l}$ e 3,00 $\mu\text{mol/l}$ (0,0062 mg/L e 1,86 mg/L) e, em

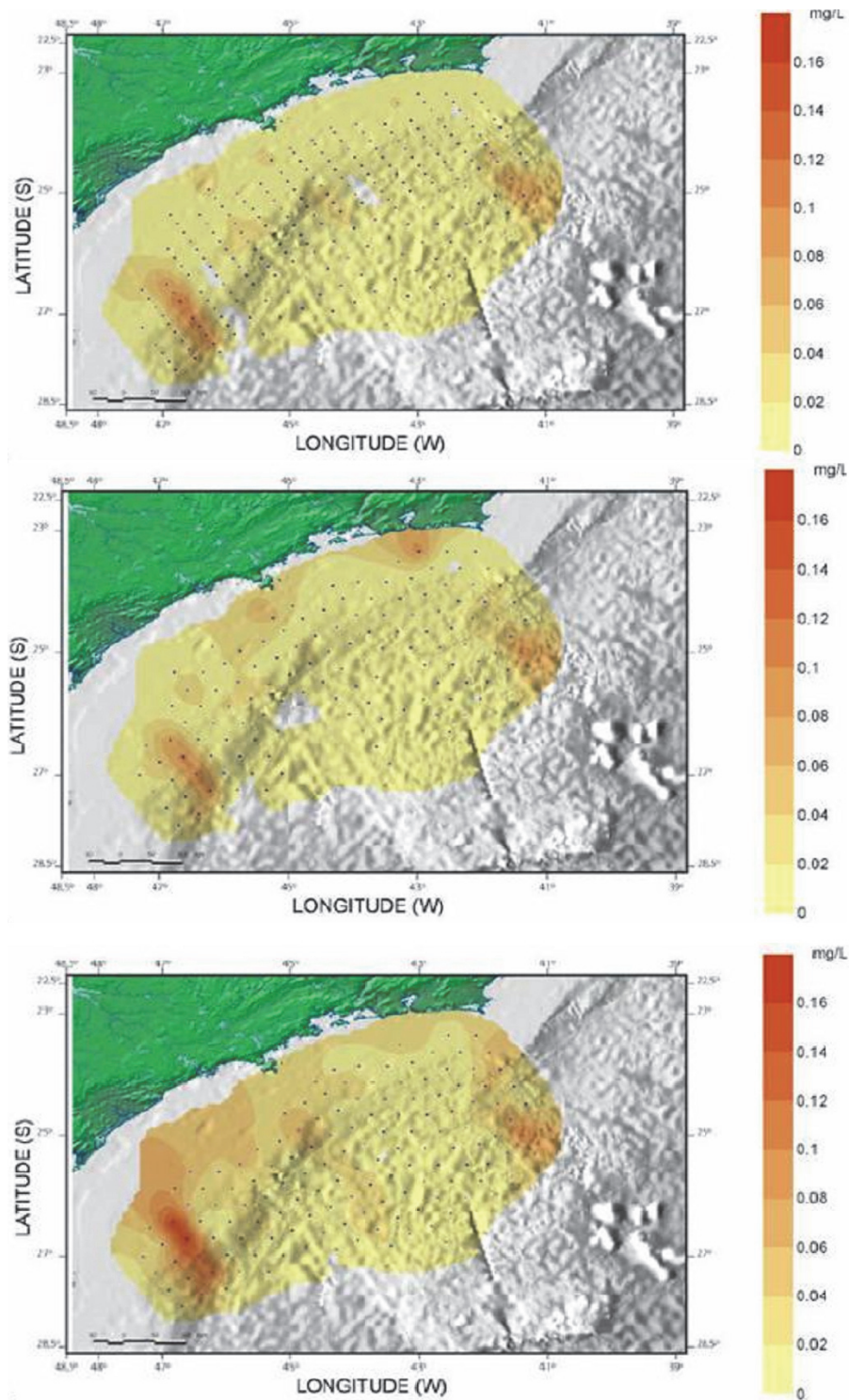
praticamente todas as estações, profundidades próximas a 1.000 m apresentaram os maiores valores, quando comparados a superfície e fundo.

4) Fosfato

As variações horizontais da concentração de fosfato em superfície, meia água e fundo, da Bacia de Santos, proveniente de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) é exibida na **Figura II.5.1.3-16**. A variação vertical proveniente de PETROBRAS/HABTEC (2003) é apresentada na **Figura II.5.1.3-17**.

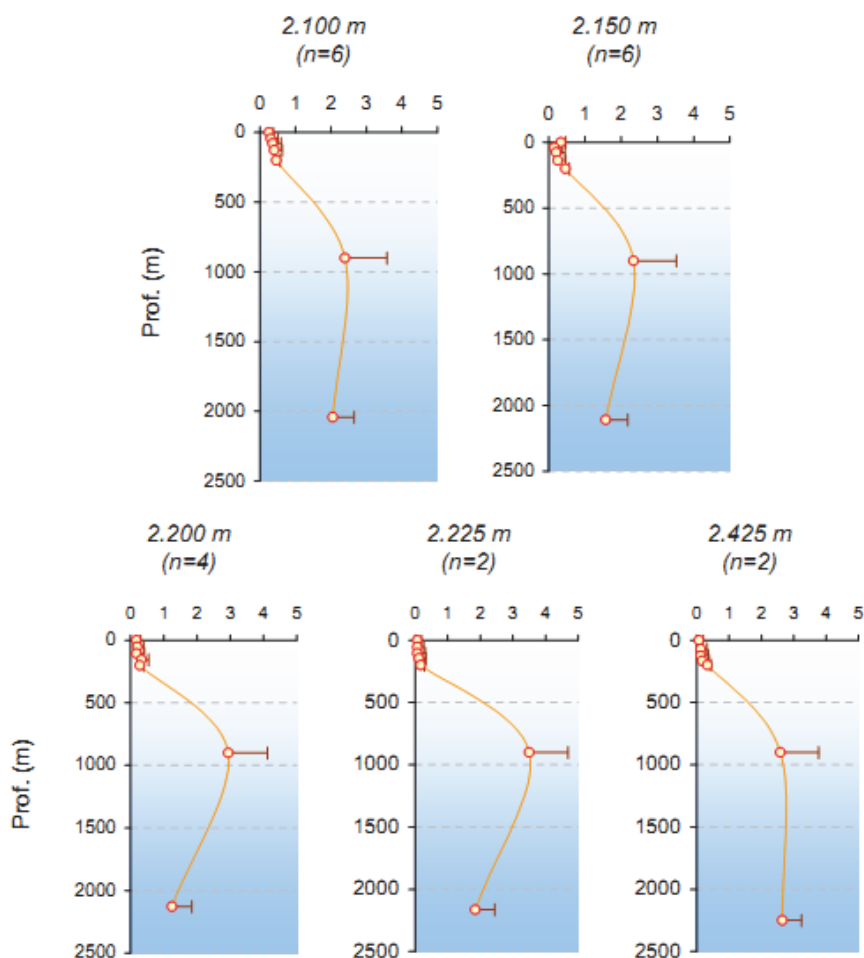
Os valores observados de MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002) estiveram entre 0,01 e 0,165 mg/L, tendo sua média próxima a 0,02 mg/L. Foi observada homogeneidade horizontal, destacando-se região próxima ao talude continental na porção Sul da Bacia de Santos que, em todas as profundidades amostradas, apresentou maiores valores que as regiões adjacentes. Principalmente em meia água e fundo (200 m), a região de plataforma continental tem, em média, valores superiores aos observados em oceano profundo.

Nas amostragens verticais provenientes de PETROBRAS/HABTEC (2003), os valores médios oscilaram entre 0,07 $\mu\text{mol/l}$ e 3,00 $\mu\text{mol/l}$ (0,066 mg/L e 2,85 mg/L), com maiores concentrações nas camadas mais profundas e valores máximos na profundidade de 900 m, aproximadamente.



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

Figura II.5.1.3-16 – *Varição espacial de fosfato na Bacia de Santos. O painel superior é referente à profundidade de 10 m, o central, meia água e o inferior, fundo (atingindo no máximo 200 m).*



Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Figura II.5.1.3-17 – Variação vertical de fosfato ($\mu\text{mol/l}$) nas estações profundas da Bacia de Santos. A barra horizontal indica o desvio padrão (n – n° de estações)

Sulfeto

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

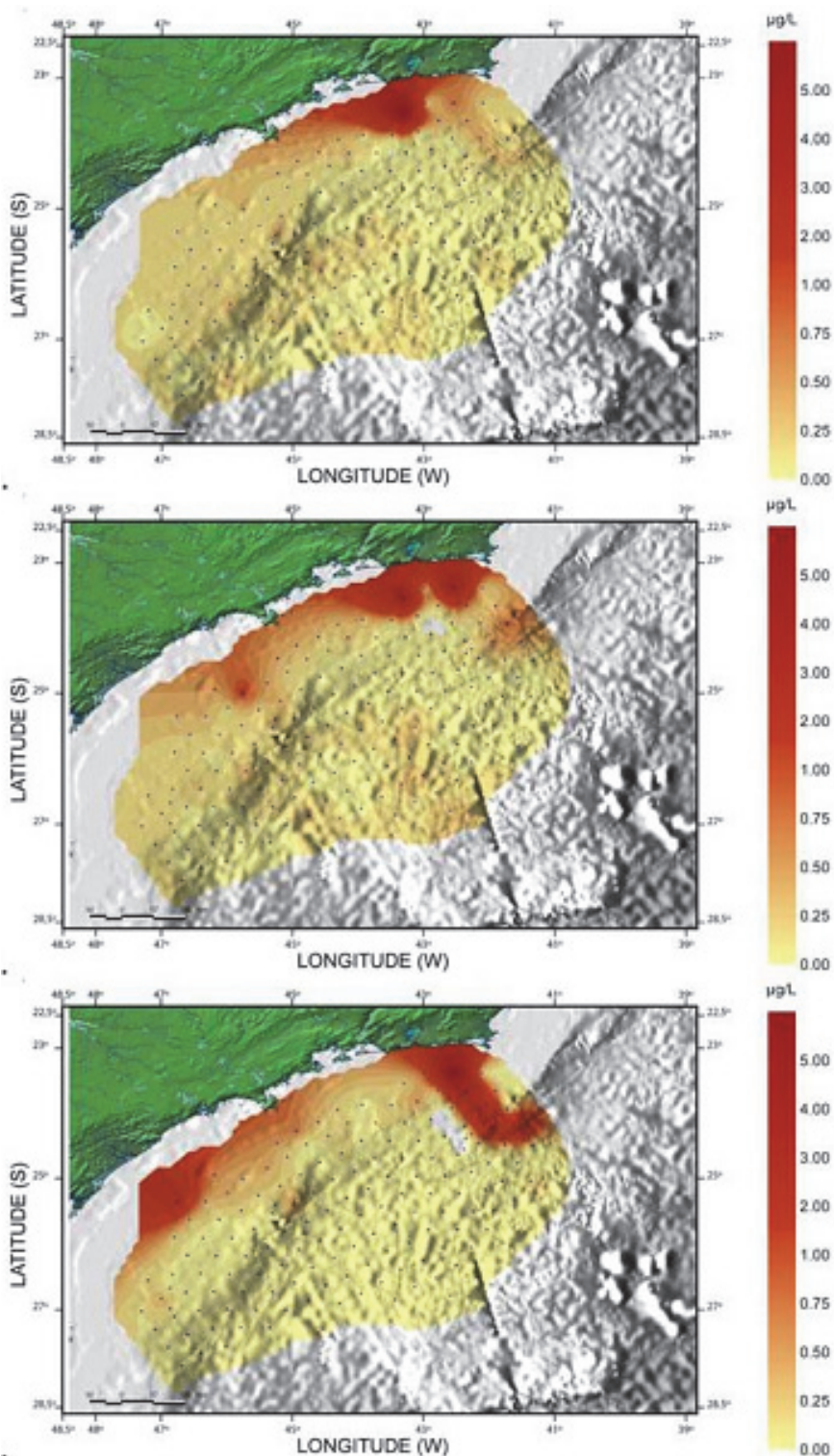
O estudo realizado pela PETROBRAS/HABTEC (2003) apresentou concentrações de sulfetos variando entre $<0,001$ e $0,93 \mu\text{mol/l}$ ($0,00032 \text{ mg/L}$ e $0,30 \text{ mg/L}$). As concentrações mais altas foram encontradas nas camadas mais profundas, com o pico de concentração a cerca de 900 m de profundidade.

Clorofila -a

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

O estudo realizado para a caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) apresentou concentrações de Clorofila-a variando de $0,0403$ a $6,308 \mu\text{g/L}$ a 10 m de profundidade; de $0,0157$ a $4,1543 \mu\text{g/L}$ junto à termoclina e de $0,0026$ a $6,0472 \mu\text{g/L}$ próximo ao fundo (profundidade máxima de 200 m) nas estações profundas (**Figura II.5.1.3-18**).

Em superfície e meia água, os maiores valores encontrados foram sobre a Plataforma Continental, nas proximidades do continente, na porção Norte da Bacia de Santos. Na camada de fundo (atingindo no máximo 200 m), a região da plataforma continental apresenta maiores valores, em média, que os observados em oceano profundo, sendo que as porções Sul e Norte da Bacia de Santos tiveram valores superiores aos da porção central.



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

Figura II.5.1.3-18 – *Variação espacial de clorofila-a na Bacia de Santos. O painel superior é referente à profundidade de 10 m, o central, meia água e o inferior, fundo (atingindo no máximo 200 m).*

B) Qualidade de Sedimentos

Carbono Orgânico, Nitrogênio e Fósforo Total

De acordo com Mahiques *et al.* (2002), os teores de carbono orgânico no sedimento superficial da plataforma continental externa da Bacia de Santos variaram entre 2 e 18 mg/g, com valor máximo próximo à isóbata de 100 m, em frente ao litoral de Cabo Frio. Os teores de Nitrogênio obtidos por este mesmo autor tiveram valores máximos de 3 mg/g.

O estudo realizado por PETROBRAS/HABTEC (2003), em águas ultraprofundas da Bacia de Santos, indicou que a distribuição de carbono orgânico nos sedimentos é muito homogênea, apresentando variações de concentração de 0,41 a 0,88%. O nitrogênio total (N total) encontrado possui variação de 0,046% a 0,123% (465 µg/g a 1.226 µg/g) e o fósforo total no sedimento da área dos blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 variou entre 0,03% e 0,06% (320 µg/g e 628 µg/g). A **Figura II.5.1.3-19** mostra os valores de Carbono Orgânico, Nitrogênio e Fósforo obtidos no estudo de PETROBRAS/HABTEC (2003).



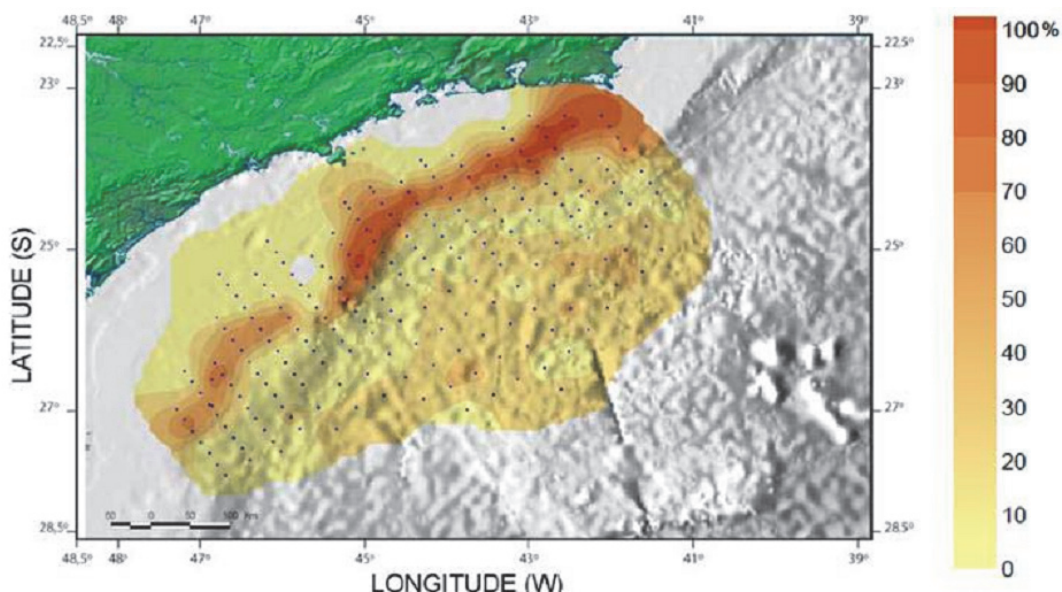
Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Figura II.5.1.3-19 – Painéis superior, central e inferior representam, respectivamente, concentrações de carbono orgânico, nitrogênio e fósforo totais nos sedimentos da Bacia de Santos. Os números no eixo horizontal representam as estações de coleta de dados.

Carbonato e Matéria Orgânica

No estudo de caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002), foi evidenciada a ocorrência de uma faixa de altas concentrações de carbonato entre as isóbatas de 100 e 150 m de profundidade, como pode ser observado na **Figura II.5.1.3-20**.

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

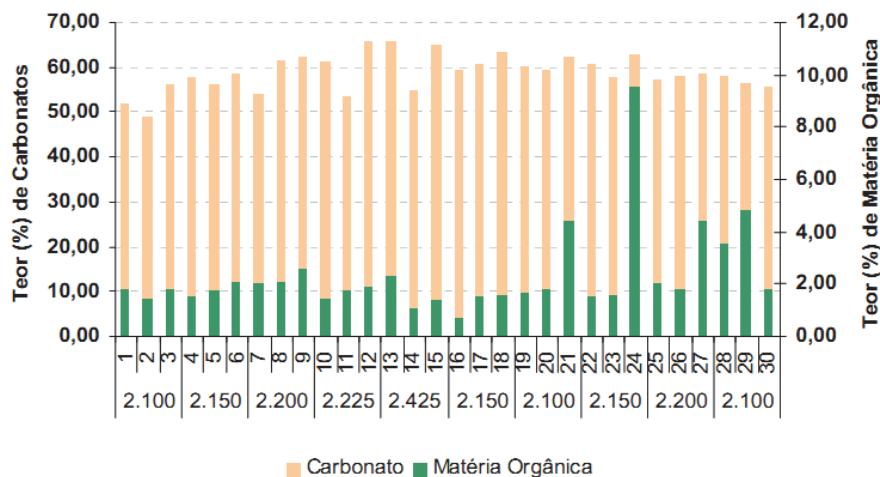


Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

Figura II.5.1.3-20 – Variação espacial de carbonato nos sedimentos da Bacia de Santos.

O estudo realizado na região ultraprofunda da Bacia de Santos (PETROBRAS/HABTEC, 2003) indicou que o teor de carbonato nos sedimentos da região variou de 56,65% a 61,74% e o de matéria orgânica, de 0,75% a 9,57% (**Figura II.5.1.3-21**).

A relação entre a distribuição do carbono orgânico e a análise textural dos sedimentos mostra que as maiores concentrações do carbono orgânico estão associadas às frações lamosas, o que pode ser explicado pela conhecida relação entre sedimentos mais finos e retenção de substâncias (OVALLE *et al.*, 2000).



Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

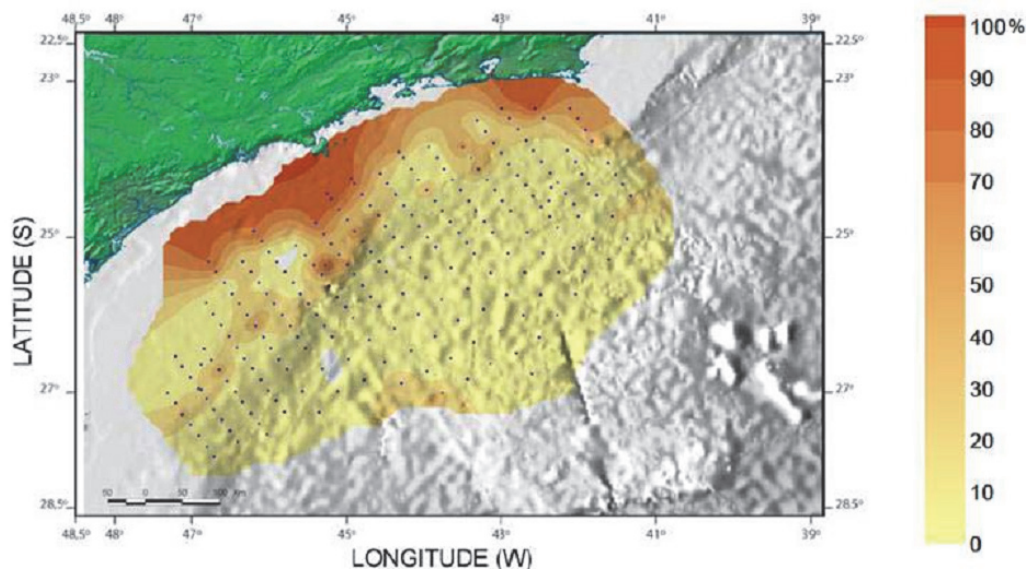
Figura II.5.1.3-21 – Teor de carbonato (amarelo) e matéria orgânica (verde) encontrado nas estações profundas da Bacia de Santos. Os números no eixo horizontal representam as estações de coleta de dados.

Granulometria

No estudo de caracterização da Bacia de Santos, produzido por MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002), o silte predominou em 89,2% das amostras, a areia em 9,9%, com maior contribuição de areia muito fina (5,6%) e areia fina (3,3%). A argila predominou em 0,9% das amostras. O cascalho foi encontrado em 3,3% das estações, areia muito grossa, em 7,5%, areia grossa, em 11,7%, areia média, em 14,9%, areia fina, em 18,2% e areia muito fina, em 5,6%.

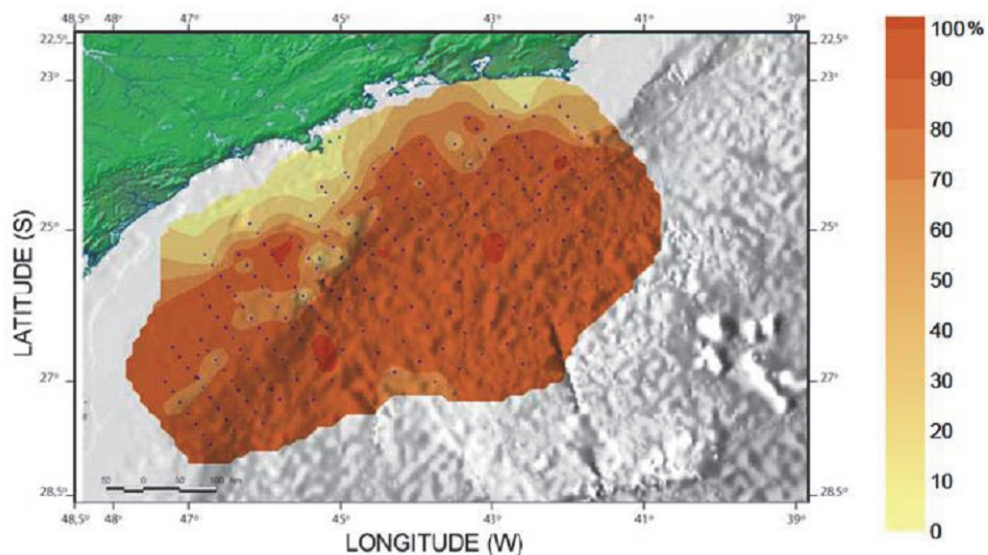
Como pode ser observado na **Figura II.5.1.3-22** e na **Figura II.5.1.3-23**, pelas análises da contribuição de sedimentos arenosos e lamosos nas estações de coleta na Bacia de Santos, há predomínio de fração mais grossa nas áreas adjacentes ao continente com diminuição da granulometria em direção a *offshore*,

concomitante com o aumento de profundidade. Essa observação ratifica alguns estudos pré-existentes na região como Mahiques & Furtado (1989) e Furtado & Mahiques (1990).



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

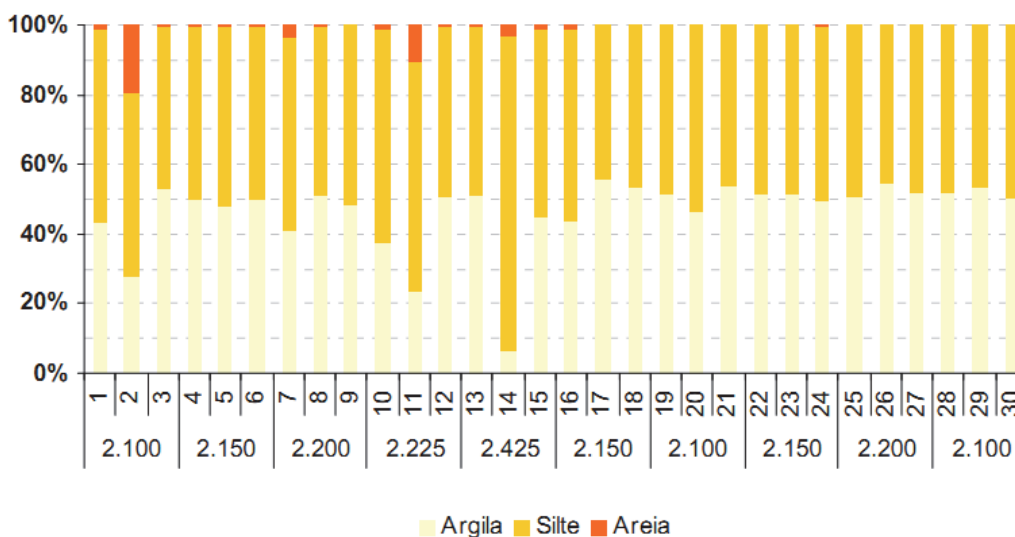
Figura II.5.1.3-22 – Variação espacial da distribuição da fração arenosa nos sedimentos da Bacia de Santos.



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

Figura II.5.1.3-23 – Variação espacial da distribuição da fração lamosa nos sedimentos da Bacia de Santos.

De forma geral, a área da Bacia de Santos é caracterizada pela presença de sedimentos finos, com a fração lamosa associada diretamente ao aumento da batimetria. A plataforma interna apresenta uma tendência à presença de sedimentos mais grossos. As análises realizadas na região da Bacia de Santos em águas ultraprofundas (PETROBRAS/HABTEC, 2003) revelaram um sedimento bastante homogêneo. A fração fina possui um percentual superior a 99% na maioria das estações. Somente em duas estações (estação n°2 a 2.100 m e estação n°11 a 2.225 m) o percentual de sedimentos mais grossos (fração areia) foi superior a 10% (**Figura II.5.1.3-24**).



Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Figura II.5.1.3-24 – Porcentagem de argila (amarelo claro), silte (amarelo) e areia (alaranjado) no sedimento da região profunda da Bacia de Santos. Os números no eixo horizontal representam as estações de coleta de dados.

Metais

Nos ambientes aquáticos, os compostos metálicos geralmente ocorrem em baixas concentrações, normalmente em nanogramas a microgramas por litro (ESPINOZA-QUIÑONES *et al.*, 2005). Metais pesados têm proveniência de fontes naturais, a partir do intemperismo de rochas e solos, ou por aportes antropogênicos. Dependendo da solubilidade de cada elemento, esses podem

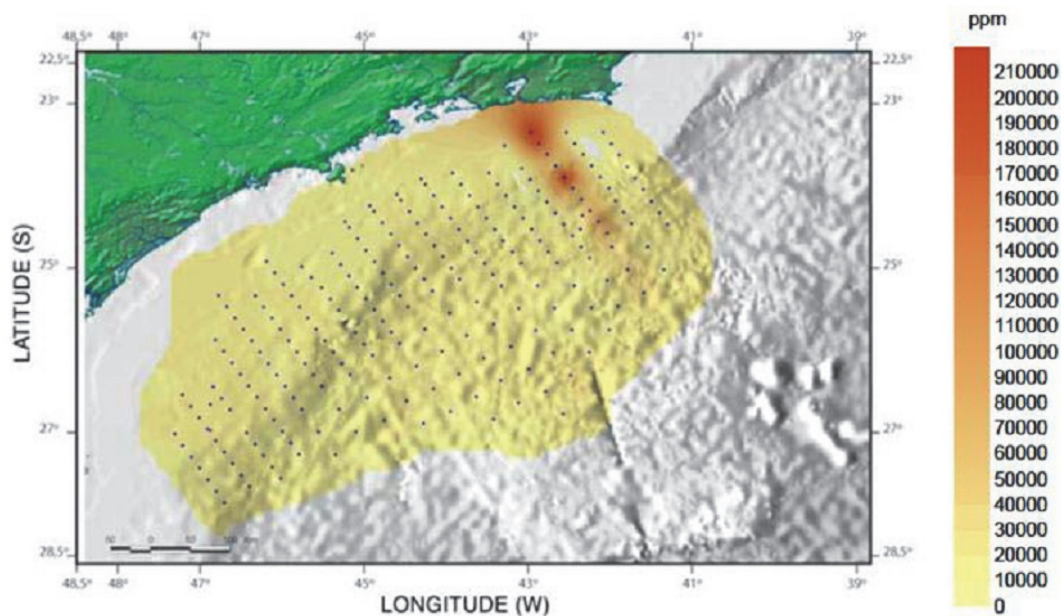
estar dissolvidos ou associados a elementos particulados, os quais podem decantar e acumular-se nos sedimentos (ESPINOZA-QUIÑONES, *op. cit.*). A alta concentração de metais nos sedimentos e, em geral, no ambiente aquático, possui efeito deletério em sua biota (NEFF *et al.*, 2000).

A análise de metais é imprescindível para a caracterização ambiental de locais destinados a produção de petróleo, visto que estes elementos são encontrados como constituintes da maioria dos fluídos de perfuração utilizados (PATIN, 1999). Tais substâncias comumente são descartadas no ambiente marinho como fluido aderido a cascalhos residuais, alcançando os sedimentos devido à deposição dessas partículas ao longo da coluna d'água (PATIN, *op. cit.*; NRC, 2002; ABÍLIO, 2006).

1) Ferro

A caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) indicou que os teores de metais foram altos em toda a bacia. O teor médio de ferro no conjunto amostrado foi de 16.427,02 µg/g (1,64%), com desvio padrão de 25.902,77 µg/g.

Os sedimentos coletados em áreas próximas aos poços de petróleo estão com valores dentro da média, e pode-se concluir que a presença de ferro no sedimento está muito mais ligada ao tipo de rochas e à quantidade de carbonatos e argilas presentes nestes sedimentos (**Figura II.5.1.3-25**).



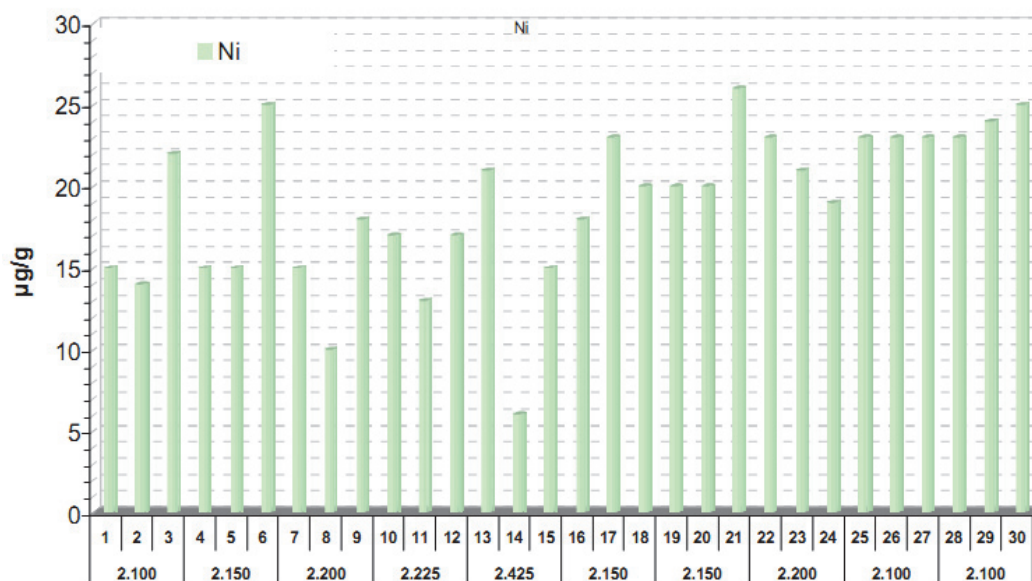
Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

Figura II.5.1.3-25 – Variação espacial da distribuição de ferro nos sedimentos da Bacia de Santos.

2) Níquel

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

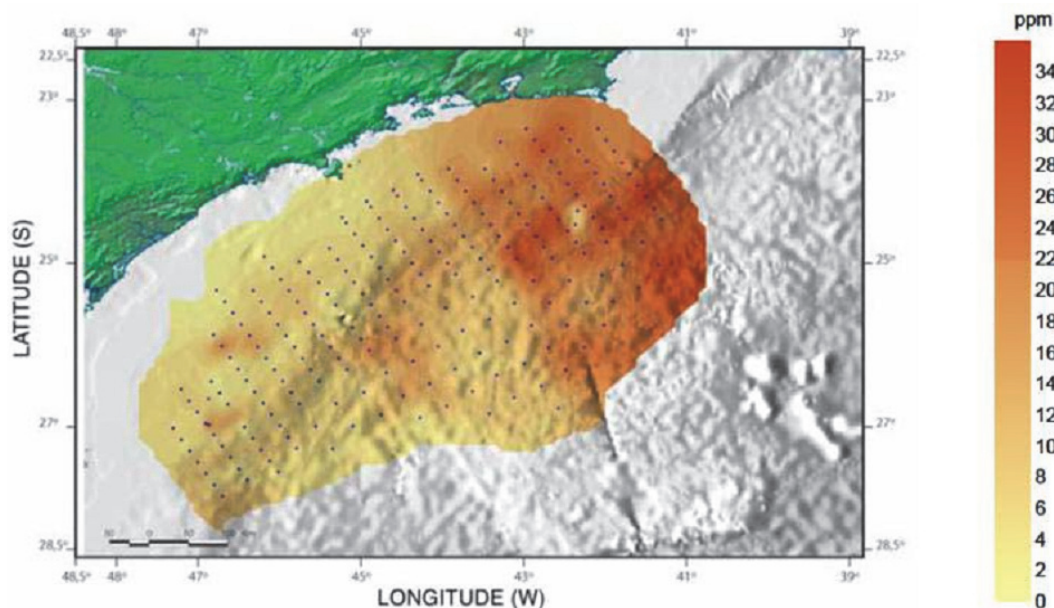
O estudo realizado pela PETROBRAS/HABTEC (2003), encontrou concentrações médias de níquel em torno de $19 \pm 2 \mu\text{g/g}$ (Figura II.5.1.3-26).



Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Figura II.5.1.3-26 – Concentração de níquel ($\mu\text{g/g}$) presente nos sedimentos na região profunda da Bacia de Santos. Os números no eixo horizontal representam as estações de coleta de dados.

De acordo com a caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002), em toda a bacia foi obtido um valor médio de níquel de $13,30 \mu\text{g/g}$, com desvio padrão de $8,32 \mu\text{g/g}$. Como pode ser observado na **Figura II.5.1.3-27**, as concentrações de níquel tendem a ser menores em direção ao Sul da Bacia de Santos.



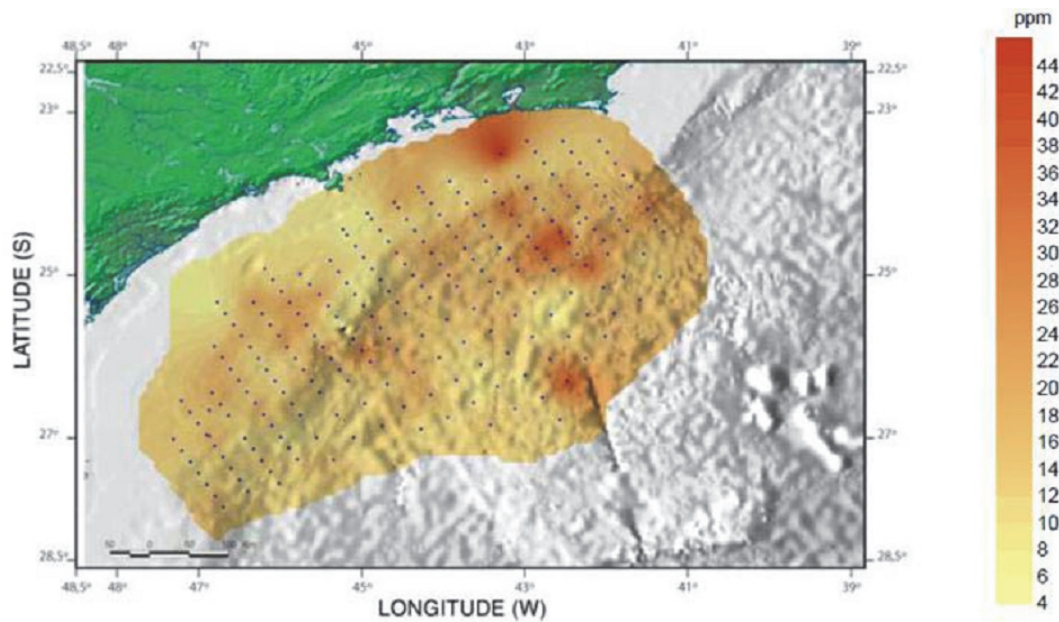
Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

Figura II.5.1.3-27 – Variação espacial da distribuição de níquel nos sedimentos da Bacia de Santos.

3) Cromo

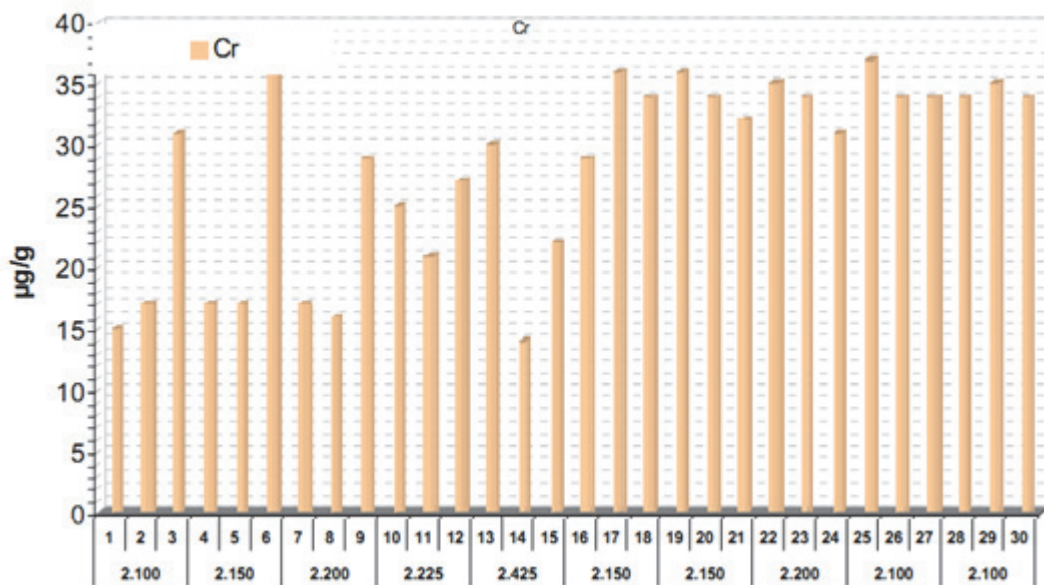
A caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) encontrou uma tendência à obtenção de maiores concentrações de cromo em direção ao Norte da bacia, com valor médio de $15,41 \pm 6,84 \mu\text{g/g}$, sendo observado um aumento das concentrações na região da plataforma continental próxima à Baía de Guanabara (**Figura II.5.1.3-28**).

Na região ultraprofunda, a concentração média de Cromo foi de $28 \pm 3 \mu\text{g/g}$ (**Figura II.5.1.3-29**) (PETROBRAS/ HABTEC, 2003).



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

Figura II.5.1.3-28 – Variação espacial da distribuição de cromo nos sedimentos da Bacia de Santos.

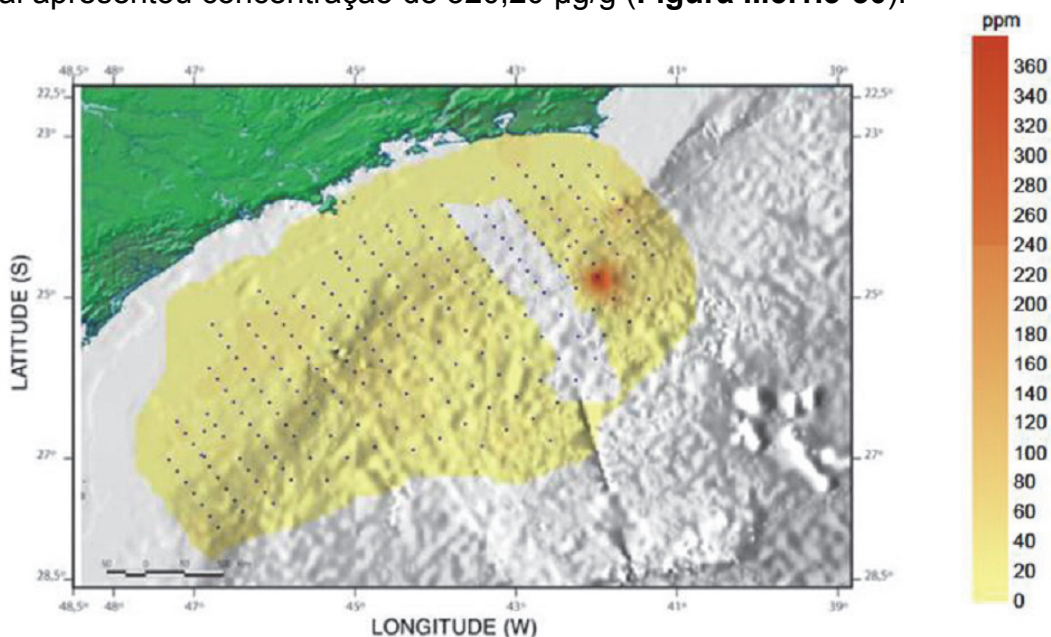


Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Figura II.5.1.3-29 – Concentração de cromo (µg/g) presente nos sedimentos na região profunda da Bacia de Santos. Os números no eixo horizontal representam as estações de coleta de dados.

4) Zinco

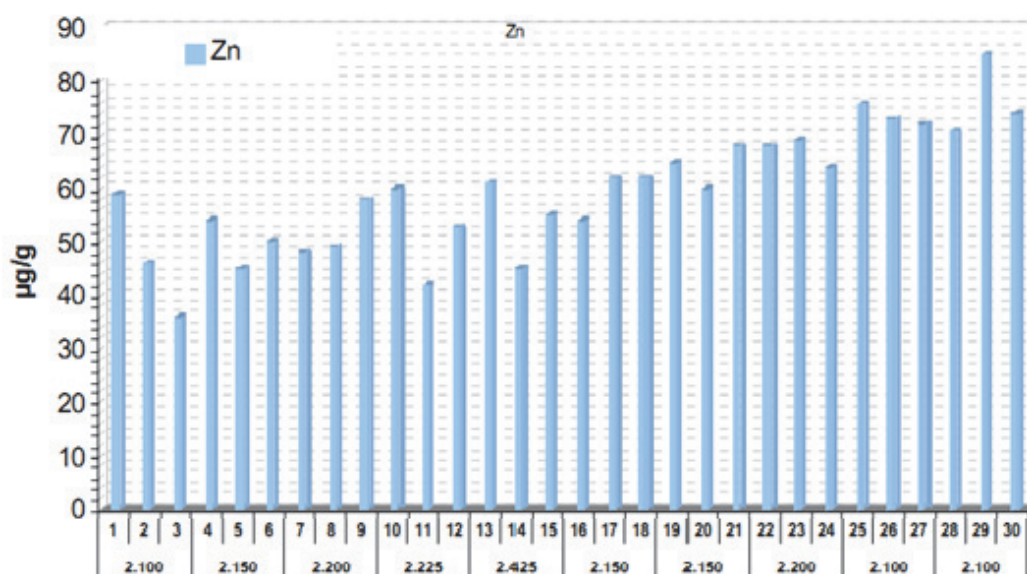
Os dados da caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) apresentaram um valor médio de zinco de 19,13 µg/g. Estes valores não apresentaram grandes variações, com exceção de um ponto de amostragem, o qual apresentou concentração de 320,20 µg/g (**Figura II.5.1.3-30**).



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

Figura II.5.1.3-30 – *Variação espacial da distribuição de zinco nos sedimentos da Bacia de Santos.*

A concentração média de zinco para a região ultraprofunda da Bacia de Santos foi de 59 ± 4 µg/g (**Figura II.5.1.3-31**) (PETROBRAS/HABTEC, 2003).

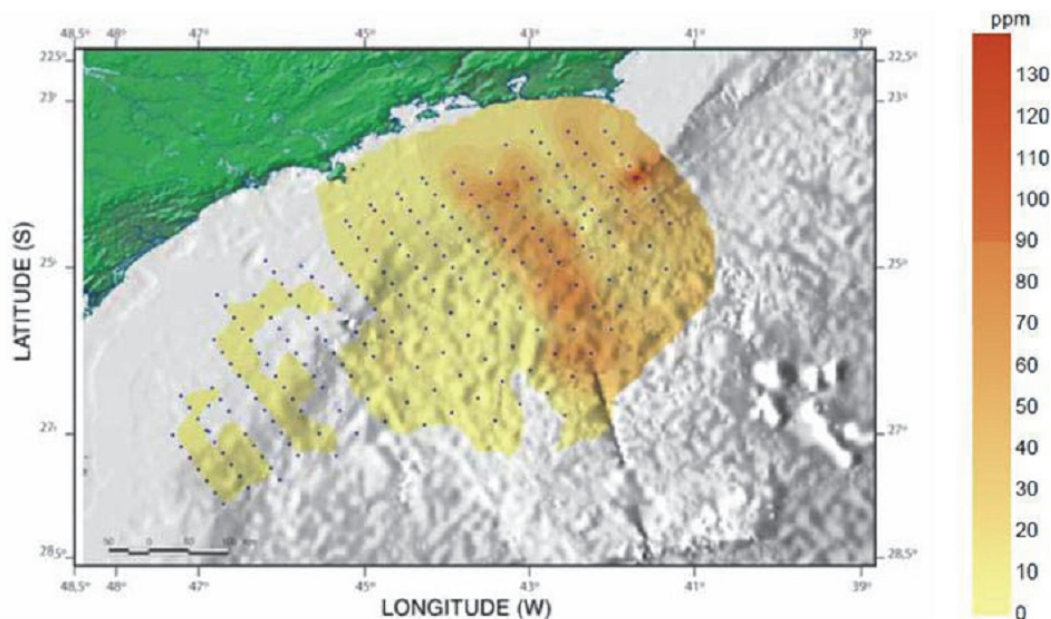


Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Figura II.5.1.3-31 – Concentração de zinco ($\mu\text{g/g}$) presente nos sedimentos na região profunda da Bacia de Santos. Os números no eixo horizontal representam as estações de coleta de dados.

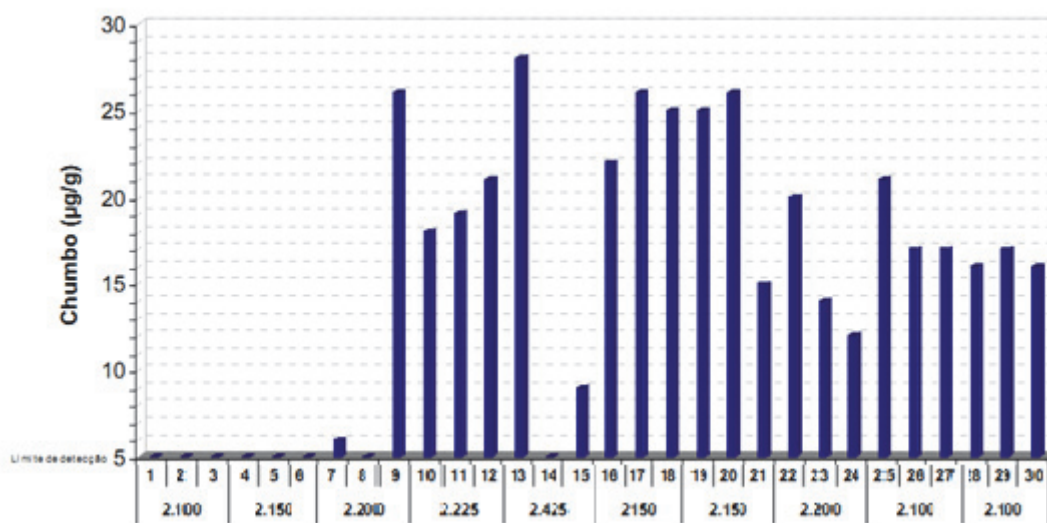
5) Chumbo

Os resultados do estudo de caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) indicaram que as maiores concentrações de chumbo na região estão localizadas na porção Norte da bacia (**Figura II.5.1.3-32**). O valor médio foi de $14,26 \pm 21,90 \mu\text{g/g}$. A concentração média de chumbo na região ultraprofunda da Bacia de Santos foi de $19 \pm 6 \mu\text{g/g}$ (PETROBRAS/HABTEC, 2003) (**Figura II.5.1.3-33**).



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

Figura II.5.1.3-32 – Variação espacial de chumbo nos sedimentos da Bacia de Santos.



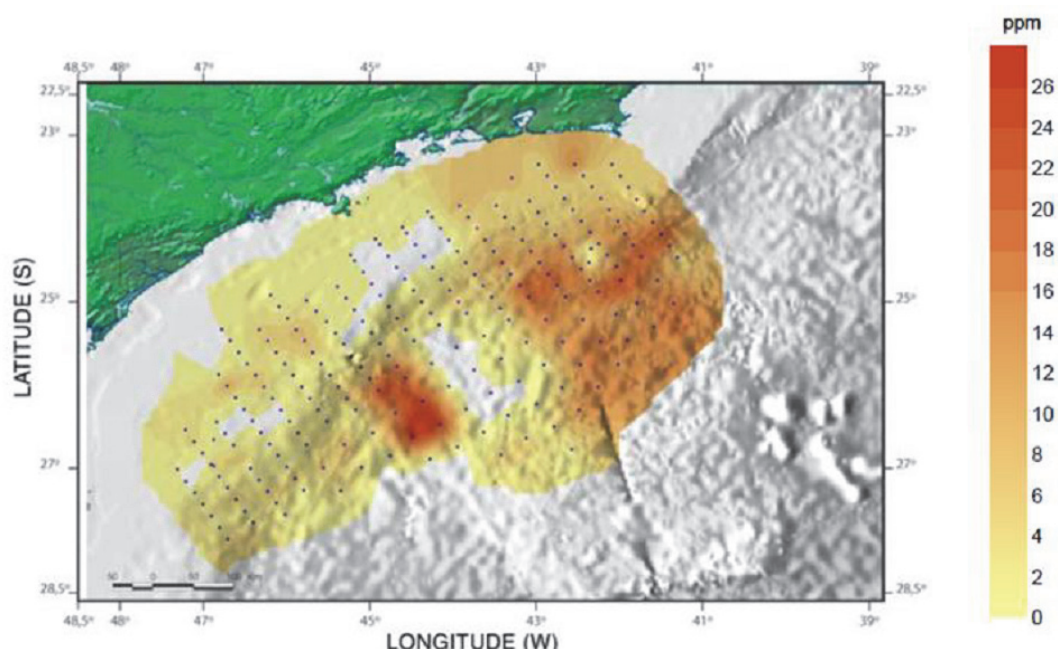
Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Figura II.5.1.3-33 – Concentração de chumbo (µg/g) presente nos sedimentos na região profunda da Bacia de Santos. Os números no eixo horizontal representam as estações de coleta de dados.

6) Cobre

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

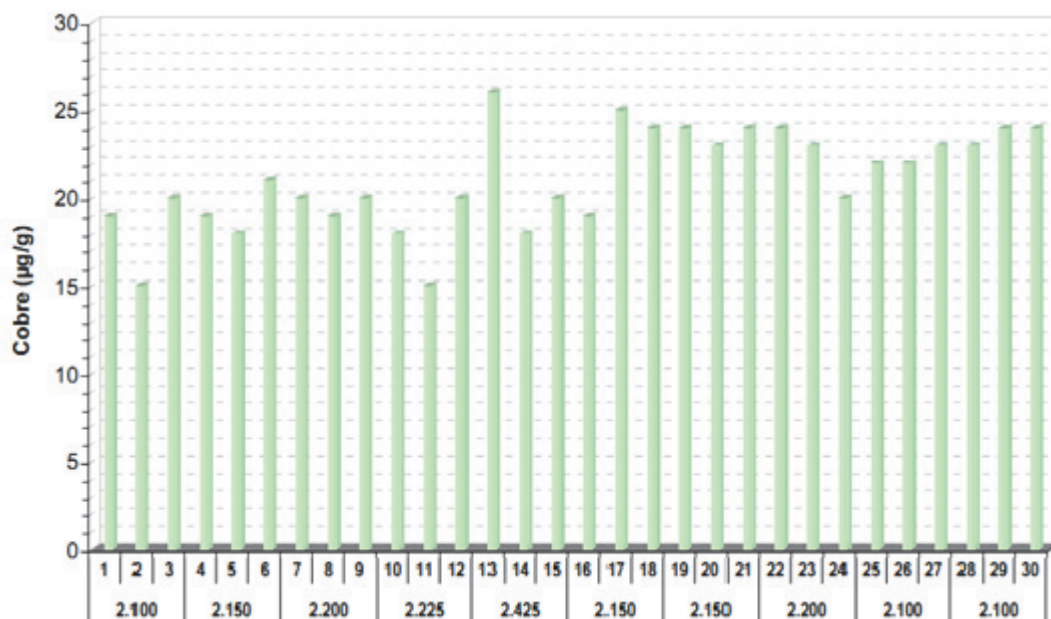
A concentração média de cobre na caracterização da Bacia de Santos foi de $5,7 \pm 6,90 \mu\text{g/g}$, com uma tendência a maiores valores nas partes Norte e central da bacia (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) (**Figura II.5.1.3-34**).



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

Figura II.5.1.3-34 – Variação espacial da distribuição de cobre nos sedimentos da Bacia de Santos.

Na região ultraprofunda, a média foi de $21 \pm 1 \mu\text{g/g}$ (**Figura II.5.1.3-35**), com distribuição relativamente homogênea entre as estações (PETROBRAS/HABTEC, 2003).



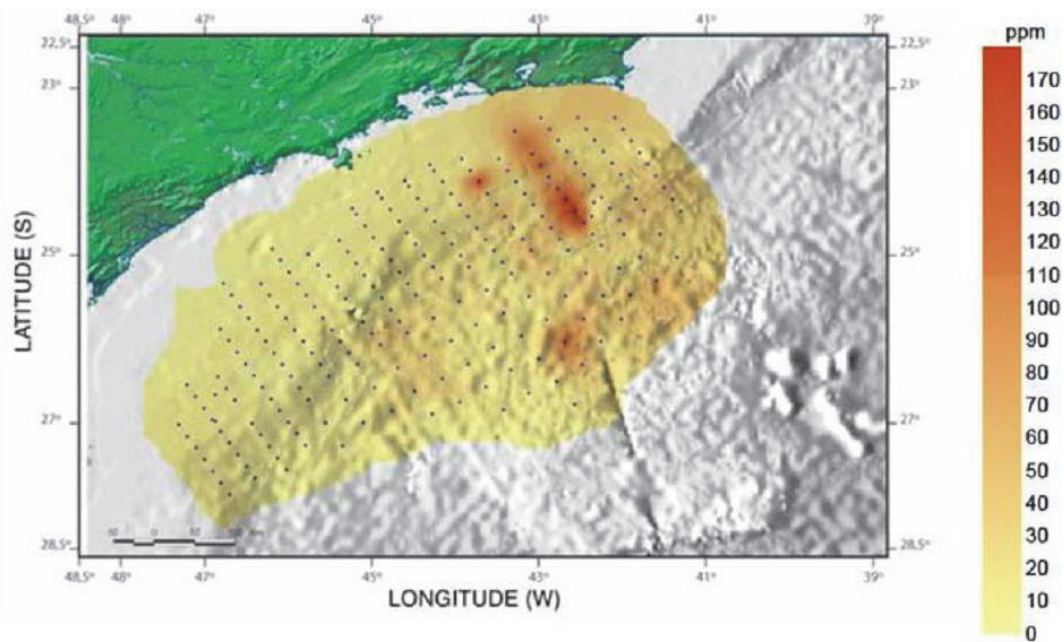
Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Figura II.5.1.3-35 – Concentração de cobre ($\mu\text{g/g}$) presente nos sedimentos na região profunda da Bacia de Santos. Os números no eixo horizontal representam as estações de coleta de dados.

7) Vanádio

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

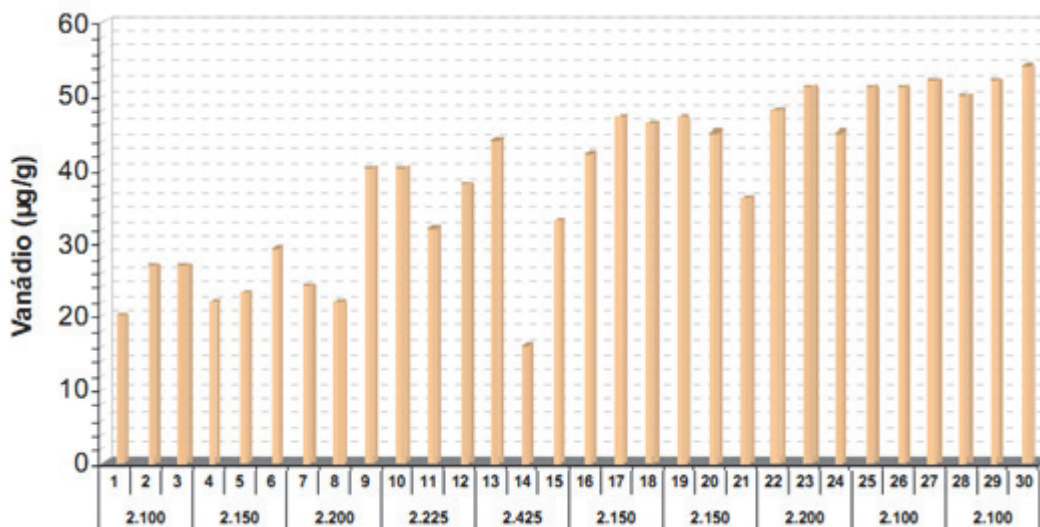
Os dados da caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) apresentam concentrações de vanádio em torno de $26,01 \mu\text{g/g}$. Ocorreram concentrações máximas da ordem de $160 \mu\text{g/g}$ na região da plataforma continental em frente à Baía de Guanabara (**Figura II.5.1.3-36**).



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

Figura II.5.1.3-36 – *Variação espacial da distribuição de vanádio nos sedimentos da Bacia de Santos.*

A distribuição deste elemento se mostra coincidente com a do níquel. No estudo realizado pela PETROBRAS/HABTEC (2003) a distribuição do vanádio apresentou concentração média de $38 \pm 4 \mu\text{g/g}$ (**Figura II.5.1.3-37**).



Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Figura II.5.1.3-37 – Concentração de vanádio ($\mu\text{g/g}$) presente nos sedimentos na região profunda da Bacia de Santos. **Os números no eixo horizontal representam as estações de coleta de dados.**

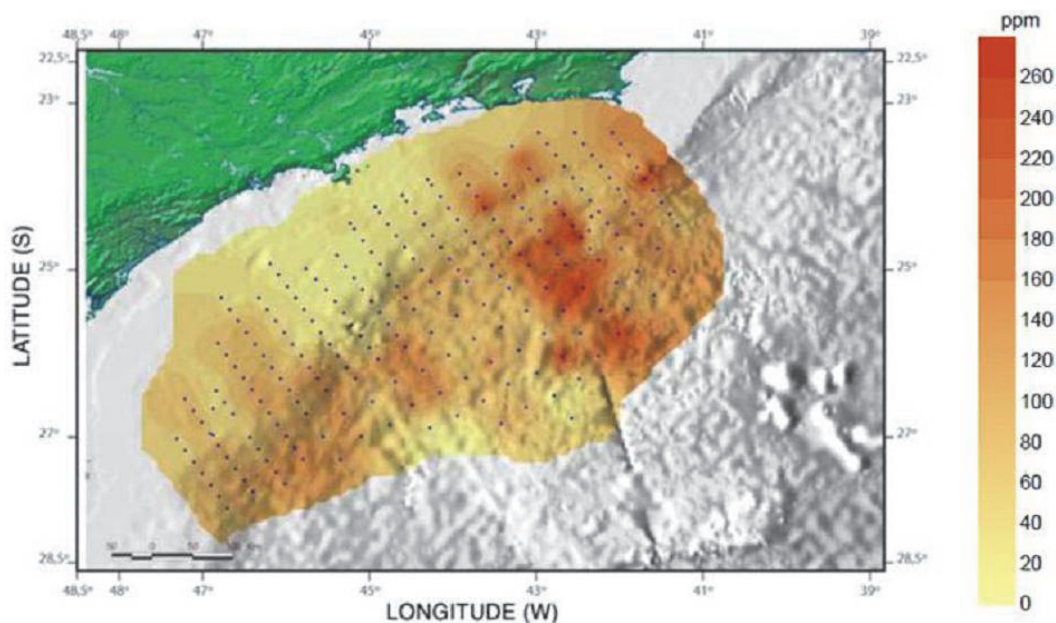
8) Cádmio

As amostras analisadas para a caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002), em sua maioria, apresentaram concentrações de cádmio abaixo do limite de detecção do método, com resultados oscilando entre 0,2 a 0,5 $\mu\text{g/g}$. O mesmo ocorreu no estudo PETROBRAS/HABTEC (2003), nas amostras ultraprofundas da Bacia de Santos, onde as concentrações de cádmio estiveram abaixo do limite de detecção do método (0,2 $\mu\text{g/g}$).

9) Bário

O levantamento realizado na região ultraprofunda da Bacia de Santos indicou concentração média de bário de $124 \pm 18 \mu\text{g/g}$ (PETROBRAS/HABTEC, 2003), enquanto que na caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) apresentada na **Figura II.5.1.3-38**, o teor médio deste elemento no conjunto amostrado foi de 88,87 $\mu\text{g/g}$ com desvio

padrão de 59,11 $\mu\text{g/g}$. Percebe-se que os valores apresentaram grande variação ao longo da área.

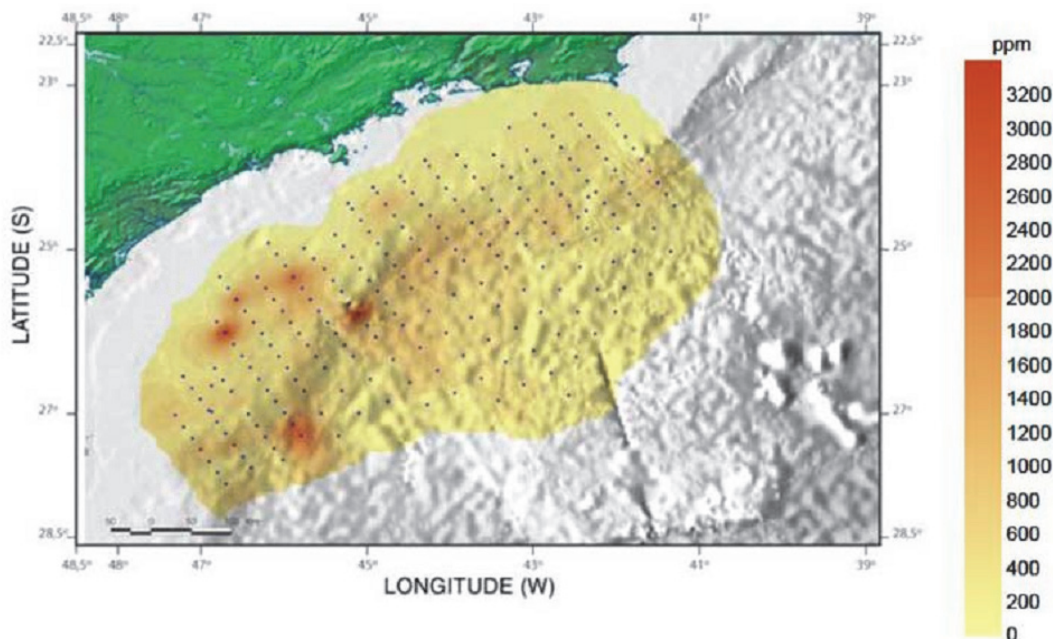


Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

Figura II.5.1.3-38 – *Variação espacial da distribuição de bário nos sedimentos da Bacia de Santos.*

10) Manganês

A concentração média de manganês na região ultraprofunda da Bacia de Santos foi de $602 \pm 30 \mu\text{g/g}$ (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Na caracterização de toda a bacia (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002), este elemento apresentou teor médio de $540,75 \mu\text{g/g}$ (**Figura II.5.1.3-39**). Assim como o ferro, o manganês é um elemento muito associado ao tipo de sedimento presente na região, e a sua variação está fortemente relacionada com a granulometria da área.



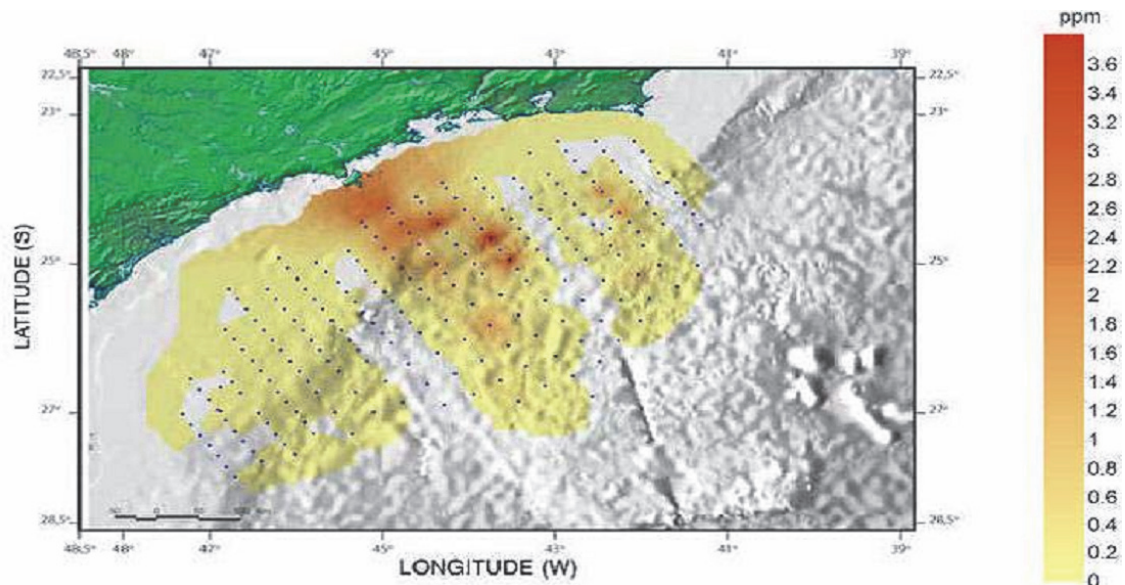
Fonte: MMA/PETROBRAS/AS/PEG (2002).

Figura II.5.1.3-39 – *Variação espacial da distribuição de manganês nos sedimentos da Bacia de Santos.*

11) Mercúrio

A caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) indicou que o mercúrio apresentou baixas concentrações na região, com valores mais altos na área da plataforma continental, em frente ao município de Ilhabela. As concentrações verificadas variaram desde ausência até teores na faixa de 4,0 mg/kg (**Figura II.5.1.3-40**).

As concentrações de mercúrio obtidas na parte ultraprofunda da Bacia de Santos (PETROBRAS/HABTEC, 2003) foram muito próximas ao limite de detecção do método (0,1 µg/g).



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

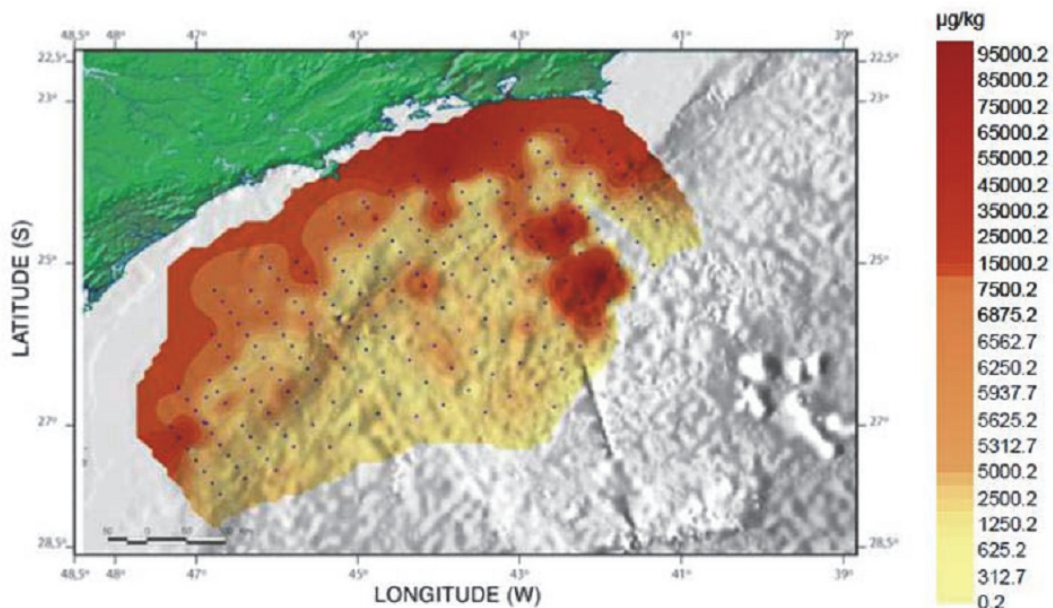
Figura II.5.1.3-40 – Variação espacial da distribuição de mercúrio nos sedimentos da Bacia de Santos.

12) Arsênio

Não existem estudos que contemplem a descrição da distribuição de arsênio ao longo da Bacia de Santos.

Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)

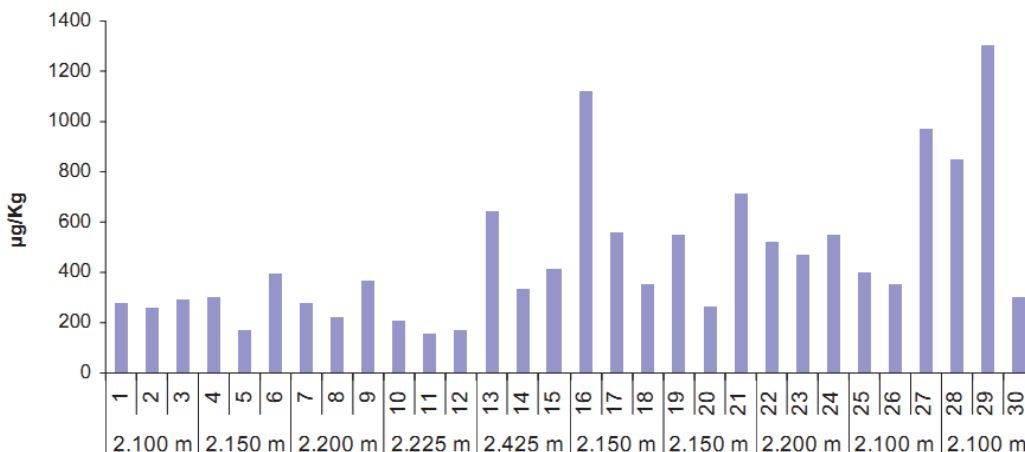
A caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) indicou maiores concentrações de HTP próximo à costa. As concentrações variaram de 403 a 127.598 $\mu\text{g}/\text{kg}$, com a média de 6.760 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Os níveis mais altos foram registrados ao Norte da Bacia, na região compreendida entre a desembocadura das Baías de Sepetiba e de Guanabara **Figura II.5.1.3-41**.



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

Figura II.5.1.3-41 – Variação espacial da distribuição de hidrocarbonetos totais (HTP) nos sedimentos da Bacia de Santos.

Na região ultraprofunda da Bacia de Santos (PETROBRAS/HABTEC, 2003), as concentrações de HTP variaram de 159 µg/kg a 1.303 µg/kg (Figura II.5.1.3-42).

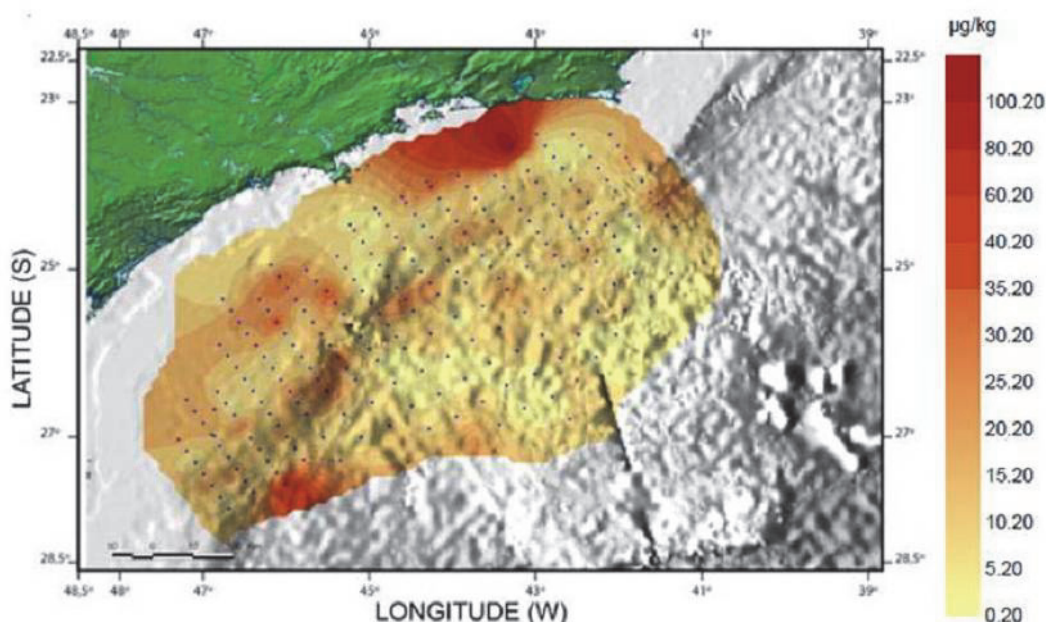


Fonte: PETROBRAS/HABTEC (2003).

Figura II.5.1.3-42 – Concentração de hidrocarbonetos totais (µg/Kg) presentes nos sedimentos na região profunda da Bacia de Santos. Os números no eixo horizontal representam as estações de coleta de dados.

Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)

O levantamento realizado para a caracterização da Bacia de Santos (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002) indicou que as concentrações de HPA nos sedimentos variaram de <0,1 até 130,6 µg/kg, com média de 12,1 µg/kg e desvio padrão de 11,2 µg/kg (**Figura II.5.1.3-43**), com maiores concentrações próximo à região da baía da Guanabara.



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

Figura II.5.1.3-43 – Concentração de hidrocarbonetos poliaromáticos (µg/Kg) presentes nos sedimentos na região profunda da Bacia de Santos. Os números no eixo horizontal representam as estações de coleta de dados.

II.5.1.4 - Geologia e Geomorfologia

Este subitem apresenta a caracterização da geologia e geomorfologia da Bacia de Santos, sobretudo com relação aos aspectos estruturais, estratigráficos e fisiográficos em escala regional e na área do empreendimento. As informações foram integradas e resumidas a partir da avaliação e compilação de dados existentes, apresentados nos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) elaborados

para a PETROBRAS bem como nos dados primários coletados para este diagnóstico. Os EIAs pretéritos utilizados são:

- Projetos Integrados de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural no Polo Pré-Sal, Bacia de Santos, realizado pela consultora ICF Consultoria do Brasil Ltda. (PETROBRAS/ ICF, 2012);
- Testes de Longa Duração (TLDs) nas Áreas de Guará e Carioca (BM-S-9) e Tupi Nordeste e Iracema (BM-S-11), Bacia de Santos, realizado pela consultora ICF Consultoria do Brasil Ltda. (PETROBRAS/ ICF, 2009);
- Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás da Área de Tupi, Bloco BM-S-11, Bacia de Santos, realizado pela consultora ICF Consultoria do Brasil Ltda. (PETROBRAS/ ICF, 2008);
- Atividade de Produção de Gás e Condensado no Campo de Mexilhão, Bacia de Santos, realizado pela empresa Habtec Engenharia Ambiental (PETROBRAS/ HABTEC, 2007);
- Atividade de Perfuração Marítima na Área Geográfica de Santos, realizado pela consultora ICF Consultoria do Brasil Ltda. (PETROBRAS/ ICF, 2006).

A) Caracterização Geológica e Geomorfológica Regional

A Bacia de Santos situa-se na região Sudeste da margem continental brasileira, entre os paralelos 23° e 28° Sul, ocupando cerca de 350.000 km² até a cota batimétrica de 3.000 m (**Figura II.5.1.4-1**).

Abrange os litorais dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina, limitando-se ao Norte com a Bacia de Campos pelo Alto de Cabo Frio, e ao Sul com a Bacia de Pelotas pela Plataforma de Florianópolis (MOREIRA *et al*, 2007).

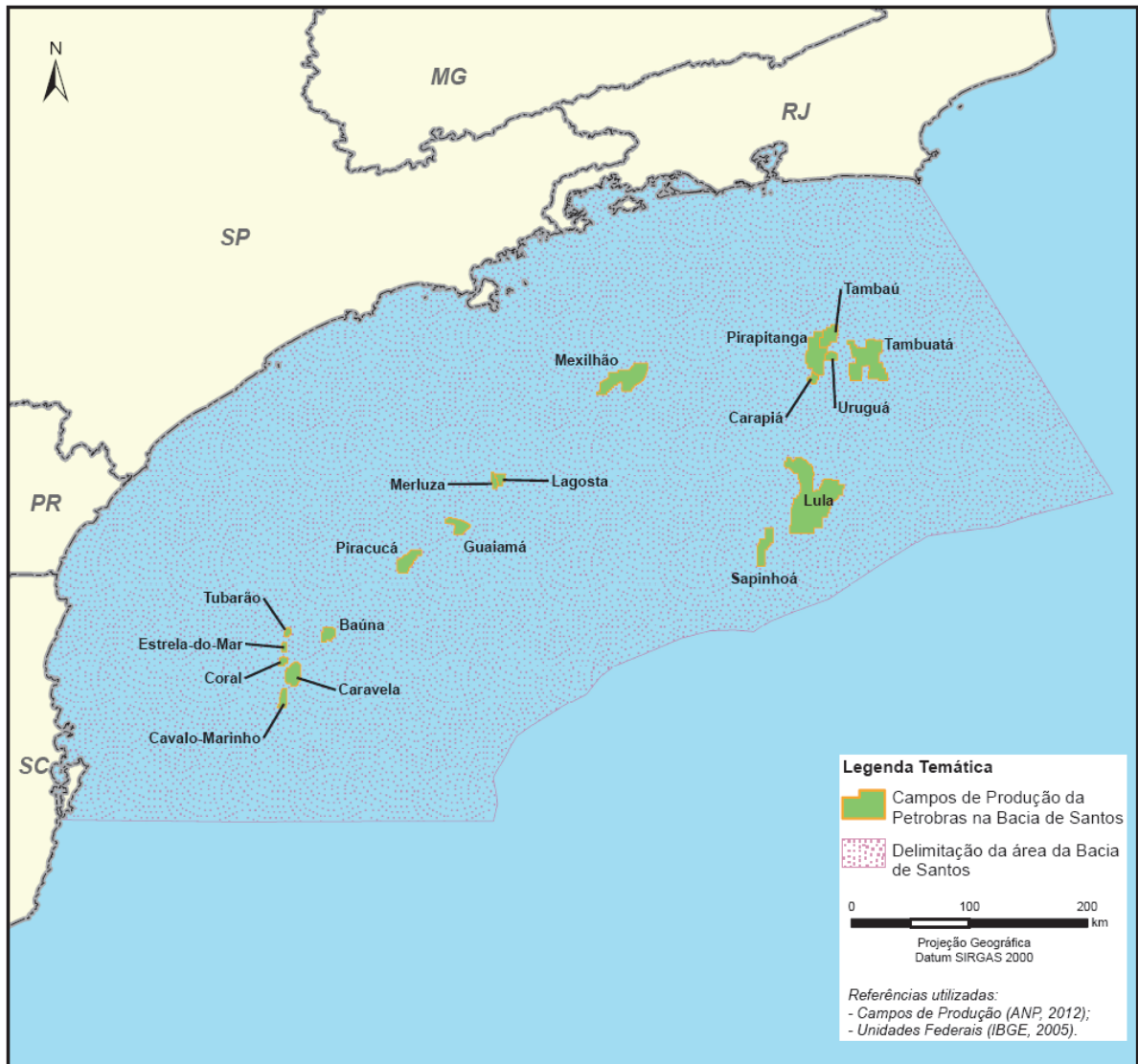


Figura II.5.1.4-1 – Localização da Bacia de Santos.

Origem e Evolução

A história da formação da Bacia de Santos remete à separação dos continentes Africano e Sul-Americano. Esses dois continentes, juntamente com o continente Antártico, a Austrália, a Índia e Madagascar, formavam um grande continente no Hemisfério Sul, que existiu entre aproximadamente 200 e 150 milhões de anos atrás, denominado Gondwana. Junto com a Laurásia, esse continente formava o Supercontinente Pangea, que existiu entre 450 e 200 milhões de anos atrás, aproximadamente.

Com a fragmentação do supercontinente, iniciaram-se os processos que culminaram na formação da bacia, através da formação de rochas a partir de magmas, e transferência significativa de material de porções mais profundas (manto), para porções mais superficiais (crosta terrestre).

Tais processos têm início com um afinamento da crosta em função da ascensão de material aquecido do manto, pela ação de correntes de convecção internas, aumentando a instabilidade e provocando fraturamentos e falhamentos de grande magnitude. A partir dessas fraturas e falhas, ocorre a ascensão do magma para a crosta, extravasando na superfície em imensas áreas com grandes espessuras.

Devido ao posterior resfriamento e consolidação das rochas oriundas do manto, ocorre um processo descendente, com leve abatimento, promovendo a formação de bacias e o aparecimento de grandes lagos continentais, onde são depositados sedimentos.

Os processos anteriormente descritos, que culminaram com a formação da bacia sedimentar continental e deposição dos sedimentos, representam a primeira fase evolutiva da Bacia de Santos, antes da deposição das camadas de sal. Na margem continental brasileira, Mohriak (2004), *in* MANTESSO-NETO *et al.*, (2004) destaca o episódio de magmatismo como fase da reativação tectônica meso-cenozoica, cujo início foi marcado pelo soerguimento do Arco de Ponta Grossa, com a intrusão de grande quantidade de diques básicos de direção Noroeste e pela efusão de enorme quantidade de lavas basálticas, tanto na Bacia do Paraná como nas bacias de Pelotas, Santos e Campos.

O autor indica o intervalo de 133-129 milhões de anos como de intrusão dos diques, e que esses “são aproximadamente contemporâneos com os basaltos da Bacia do Paraná”, cuja idade atualmente admitida para os derrames do evento Serra Geral é de 132±5 milhões de anos (MILANI *et al.*, 2007). Isso significa dizer que as rochas basálticas da formação Serra Geral, ao provocarem o abatimento de grandes áreas da crosta situadas nas bordas Leste da América do Sul e Oeste da África, tornaram-se o embasamento para a sequência sedimentar da Bacia de Santos.

Na região da crosta continental, forças tectônicas de tração provocaram fraturamentos de grande amplitude e levaram ao desenvolvimento de vales profundos, onde predominam falhas de gravidade com rejeitos normais (*grabens* e *horsts*), favorecendo a grande acumulação de sedimentos.

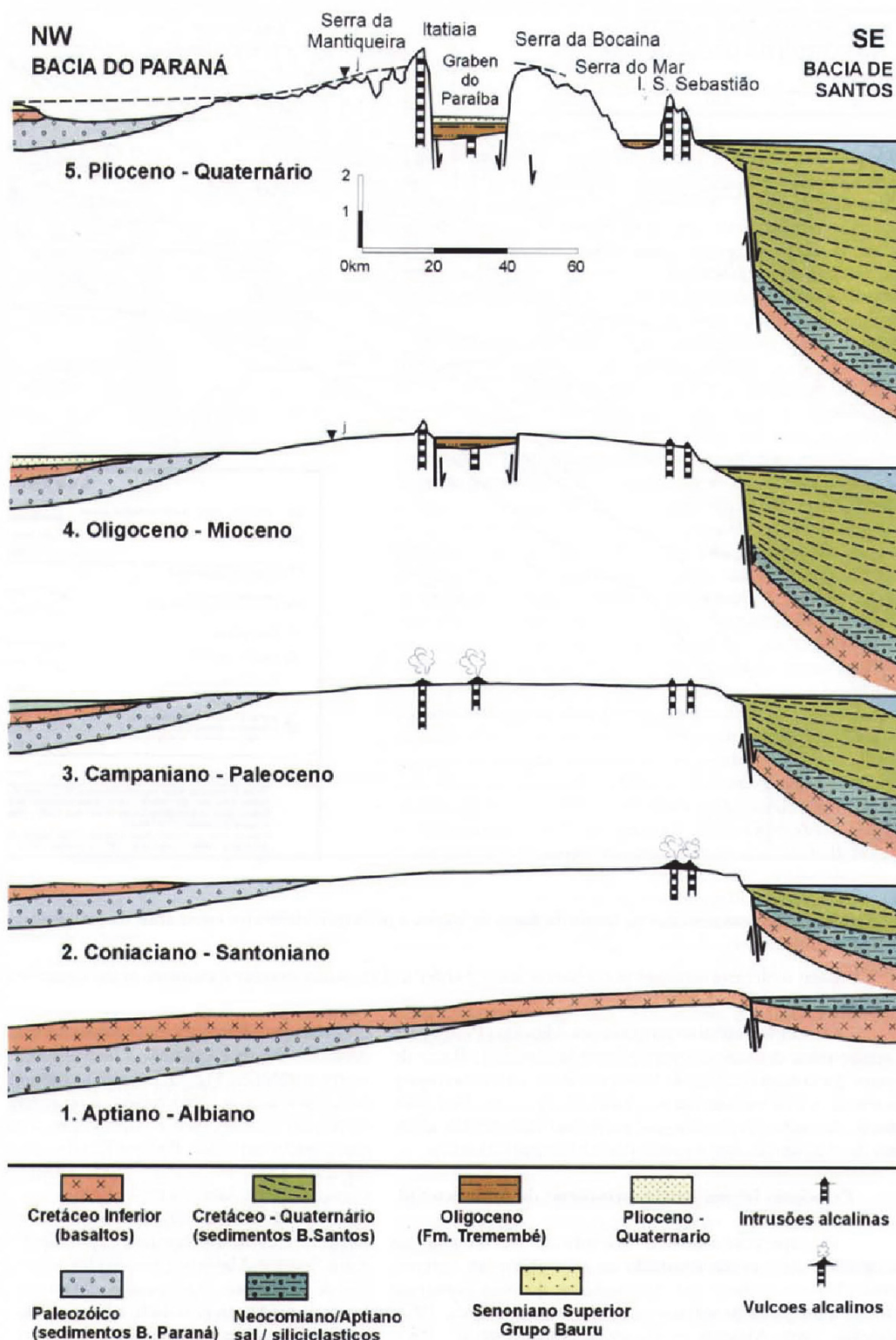
Por outro lado, no interior do continente, na depressão provocada pela pressão do pacote basáltico, formou-se, no Cretáceo Superior (entre 100 e 65 milhões de anos, aproximadamente) e em condições semiáridas a desérticas, a Bacia Bauru, que abrange parte dos estados de SP, PR, MS e MG.

A **Figura II.5.1.4-2** apresenta a reinterpretação efetuada por Mohriak (2004), acerca da proposta de Almeida (1976; *apud* MONTESSO-NETO, 2004), para a possível evolução da porção Sudeste brasileira (aproximadamente 120 milhões de anos).

Na **fase 1**, no período Aptiano-Albiano (até 100 milhões de anos, aproximadamente), representa-se uma extensa capa de basaltos cobrindo todo o embasamento cristalino e os sedimentos da Bacia do Paraná, a Oeste; na porção central, o embasamento já se encontra deformado, com a formação de um alto, com a indicação de falhamento junto à linha de costa; na região a Leste observa-se o embaciamento já formado, com camadas de sedimentos e a cobertura de sal da Bacia de Santos.

Na **fase 2**, no Coniaciano-Santoniano (90-85 milhões de anos, aproximadamente), houve a erosão de grande parte da cobertura de basaltos e da Bacia do Paraná, expondo uma extensa área de embasamento cristalino entre a linha de costa, à Leste, e os sedimentos da Bacia do Paraná, à Oeste. Com o Atlântico já formado, ocorre acentuada subsidência da Bacia de Santos, exibindo intrusões alcalinas na borda do continente que representam, hoje, a maior parte das rochas da Ilha de São Sebastião, mais resistentes aos processos de intemperismo e erosão.

Nas **fases 3 e 4**, acentuam-se os processos de falhamentos, com soerguimentos e abatimentos de blocos, de subsidência regional a Oeste, com a formação da Bacia Bauru (entre 90 e 65 milhões de anos); e de intemperismo e erosão, chegando, na **fase 5**, à configuração atual, com o Grupo Bauru sobre os basaltos da formação Serra Geral; a depressão periférica, com a acentuada erosão dos sedimentos da Bacia do Paraná; e com limite dado pelas escarpas dos basaltos da Serra de Botucatu e correlatas. Na porção intermediária dessa evolução, onde ocorrem rochas do embasamento cristalino, destacam-se as serras da Mantiqueira, da Bocaina e do Mar, o Pico de Itatiaia (rochas alcalinas vulcânicas), a Bacia do Paraíba, depositada num *graben* originado por falhamentos, o canal e a Ilha de São Sebastião e, a Leste, as grandes espessuras dos sedimentos da Bacia de Santos.



Fonte: Mohriak (2004), modificado de Almeida (1976), apud MONTESSO-NETO (2004).

Figura II.5.1.4-2 – Evolução tectono-magmática da borda continental da Bacia de Santos.

Os episódios de evolução da crosta ocorridos no continente Gondwana Ocidental apresentam registros, em maior ou menor grau, nas bacias marginais da borda Leste da América do Sul e da borda Oeste da África. As sequências evaporíticas, ou as camadas de rochas salinas da costa Leste brasileira, cuja deposição ocorreu no Aptiano Superior, estão distribuídas de maneira praticamente contínua desde a Bacia de Santos até a Bacia de Sergipe-Alagoas.

Na distribuição das bacias evaporíticas na fase pré-deriva, tem-se, a Sul, a formação de crosta oceânica entre os continentes, com estreitamento para Norte até a Dorsal de São Paulo. Em direção à parte Norte, a faixa correspondente à cadeia mesoatlântica, onde há a formação da crosta oceânica, desloca-se para Leste, de forma que a porção de bacia evaporítica da área da Bacia de Santos não apresenta correspondente do lado africano, ficando toda para o lado brasileiro.

Vale salientar que a Dorsal de São Paulo funcionou como um alto durante os eventos que levaram à deposição das camadas evaporíticas. Esse alto estrutural, que foi gerado no final do Aptiano, criou condições para a evaporação e consequente deposição das camadas salinas, constituídas de halita, na base, e anidrita no topo, representando, respectivamente, ambientes de sedimentação de mar baixo e de mar alto. Esses eventos de deposição de sal aconteceram em um espaço de tempo de aproximadamente 500 mil anos (GAMBOA *et al.*, 2008, *in* MOHRIAK, SZATMARI e ANJOS, 2008), com um pacote da ordem de 2.000 m de espessura.

A **Figura II.5.1.4-3** apresenta uma seção geológica regional da Bacia de Santos, com direção aproximada NW-SE, onde são indicados os domínios tectônicos atuantes na área da Bacia. Na porção mais a Oeste, mais próxima à costa, predominam esforços extensionais e são frequentes os diápiros de sal (que podem chegar a milhares de metros) e domos, dentre outras feições.

Na metade Oeste da porção intermediária predominam esforços compressivos e é a região em que a estratigrafia das camadas está mais preservada, contrastando com a parte mais a Leste desta porção, que apresenta as sequências evaporíticas altamente deformadas. É importante notar o grande número de falhamentos com abatimentos e soerguimentos relativos blocos, na metade Oeste da seção geológica, mais próximos à costa, e a sua quase ausência na metade Leste, o que pode indicar a atenuação dos processos tectônicos nas porções mais distantes da costa.

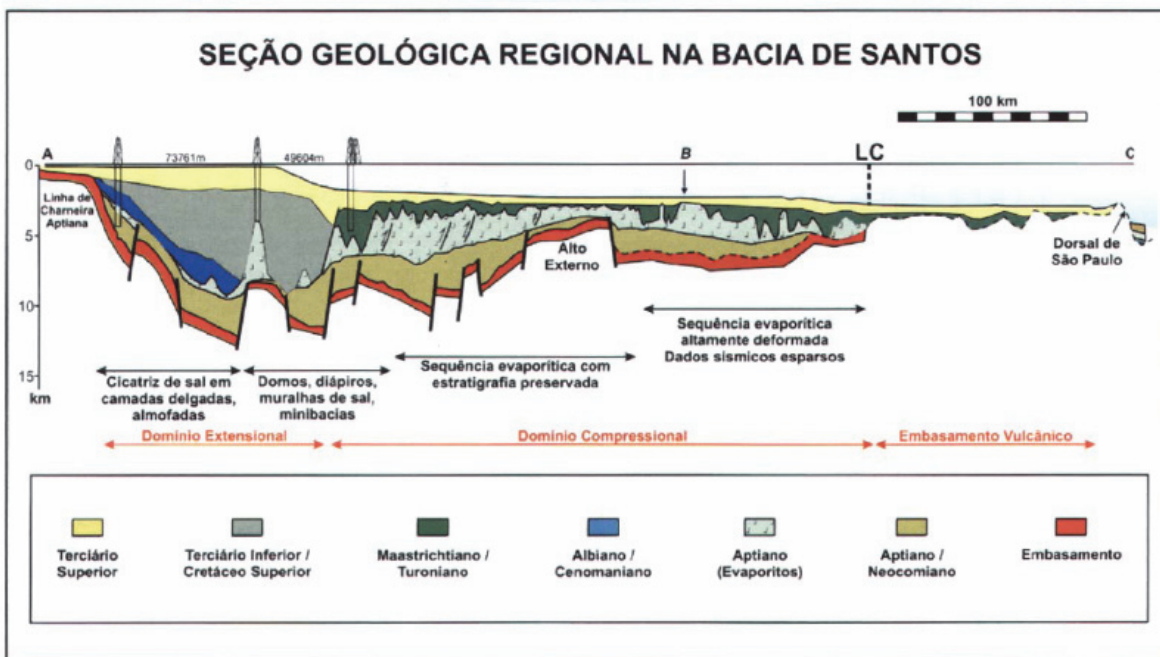


Figura II.5.1.4-3 – Seção geológica regional da parte central da Bacia de Santos, evidenciando os domínios distensivos e compressivos no pacote de evaporitos.

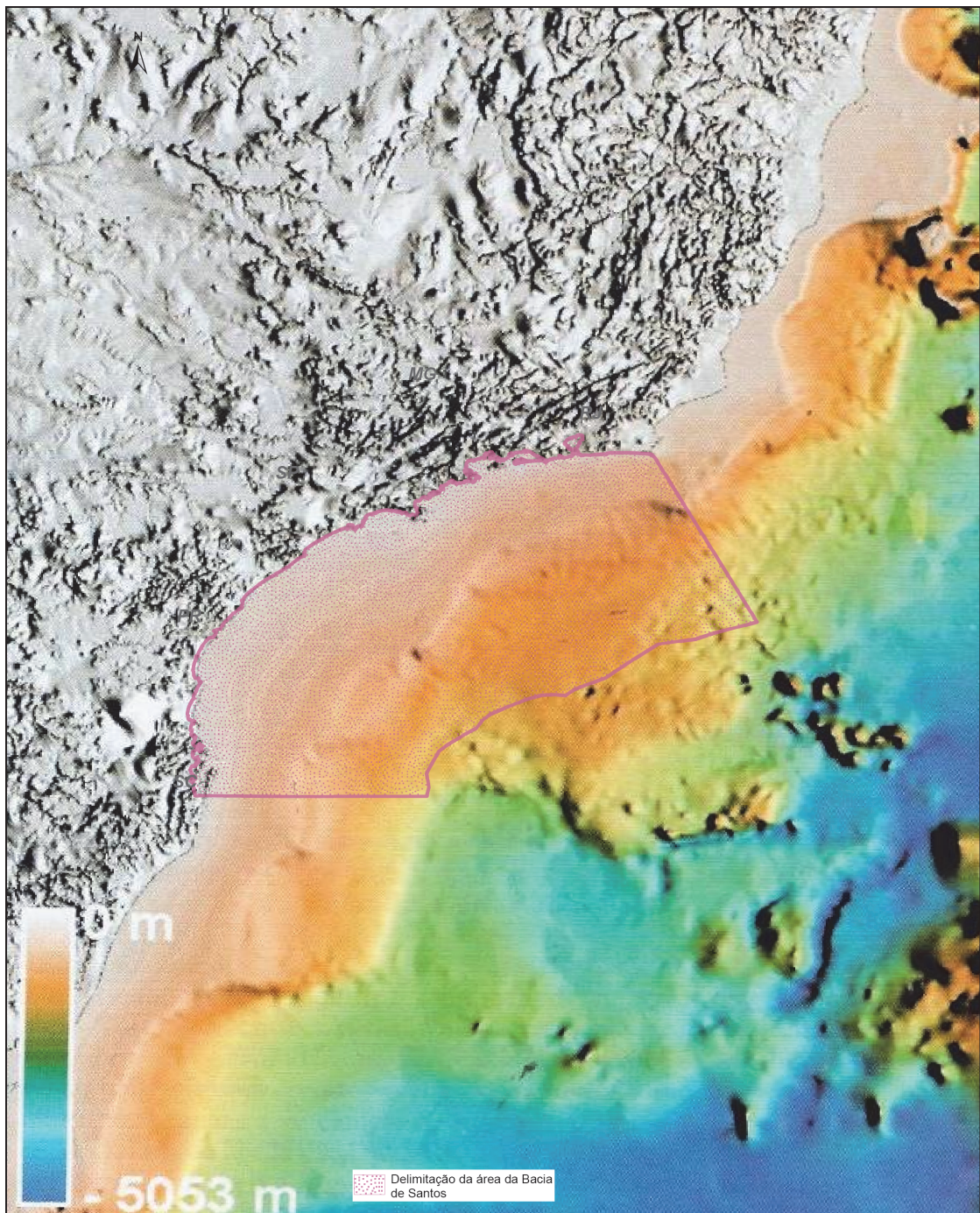
Geologia Estrutural

O sistema de *rifts* formou as bacias da margem continental brasileira (principalmente no segmento entre Sergipe-Alagoas e Santos) como consequência de processos extensionais, datados do Neojurássico ao Eocretáceo (ASMUS & BAISCH, 1983; SZATMARI *et al.*, 1985; CHANG *et al.*, 1992).

Há evidências de esforços extensionais polifásicos nas regiões extremas da placa Sul-americana, com idades de sedimentos preenchendo *grabens* que atingem até o Triássico, corroboradas por datação geocronológica de rochas intrusivas e extrusivas precedendo a fase principal de rifteamento (CONCEIÇÃO *et al.*, 1988; MIZUSAKI *et al.*, 1988; MIZUSAKI *et al.*, 2002). O ápice do rifteamento deu-se no intervalo Neojurássico-Eocretáceo, no mesmo momento ou logo após a formação de lavas basálticas (RABINOWITZ & LABRECQUE, 1979; MÜLLER *et al.*, 1997).

O mapa topobatimétrico (**Figura II.5.1.4-4**), apresenta a geomorfologia da plataforma continental na Região Sudeste, feições estruturais da margem e

alguns elementos tectônicos da região intracontinental (CAINELLI & MOHRIAK, 1998; BASSETTO *et al.*, 2000).



Fonte: adaptado de Mohriak (2004).

Figura II.5.1.4-4 – Mapa topobatimétrico com geomorfologia da Região Sudeste.

Vários autores (ALMEIDA, 1976; CORDANI *et al.*, 1984) mencionam que o sistema de falhas do *rift* mesozóico do segmento entre a Bahia e o Rio de Janeiro

apresenta uma direção predominantemente NNE herdada dos eventos pré-cambrianos (Transamazônico e Brasileiro), observando-se uma notável inflexão dessas direções para a direção E-W entre Cabo Frio/RJ e a Ilha Grande/SP (MOHRIAK, 2004).

Segundo Mohriak (2004), nas bacias de Santos, Campos e Espírito Santo está localizado o Platô de São Paulo, a mais importante feição fisiográfica da margem Sudeste brasileira (KOWSMANN *et al.*, 1982; ASMUS, 1984; PALMA, 1984). O Platô de São Paulo apresenta, em sua maior parte, um substrato de crosta continental (KOWSMANN *et al.*, 1982; GUIMARÃES *et al.*, 1982; MACEDO, 1989; SEVERINO & GOMES, 1991; GOMES *et al.*, 1993; SOUZA *et al.*, 1993). Entretanto, a extensão das estruturas do *rift* na região da província de diápiros e muralhas de sal em águas ultraprofundas não são calibradas por poços exploratórios.

Ao Sul da bacia de Santos é possível caracterizar cadeias vulcânicas provavelmente relacionadas a altos vulcânicos pós-*rift*, interpretados em crosta continental (exemplo, cadeia Avedis; DEMERCIAN & SZATMARI, 1999), ou em propagadores oceânicos (exemplo, cadeia Abimael; MOHRIAK, 2001), como centros de espalhamento ativos durante a formação de crosta proto-oceânica e posteriormente abortados (LEYDEN, 1976; KUMAR & GAMBOA, 1979; MOHRIAK, 2001; MEISLING *et al.*, 2001).

A **Figura II.5.1.4-5** apresenta uma interpretação tectônica do arcabouço do *rift* na margem Sudeste, com depocentros sedimentares separados por zonas de transferências (localmente associadas a falhas cisalhantes), e com zonas de fraturas Leste-Oeste em crosta oceânica (exemplo, Zona de Fratura do Rio de Janeiro, Zona de Fratura de Florianópolis) (MOHRIAK, 2004).

Vários montes submarinos são identificados na região de crosta oceânica da Região Sudeste (**Figura II.5.1.4-5**), em particular, os montes Almirante Saldanha ao Sul da Bacia de Campos e o complexo de montes vulcânicos Jean Charcot ao Sul da Bacia de Santos (SEVERINO & GOMES, 1991).

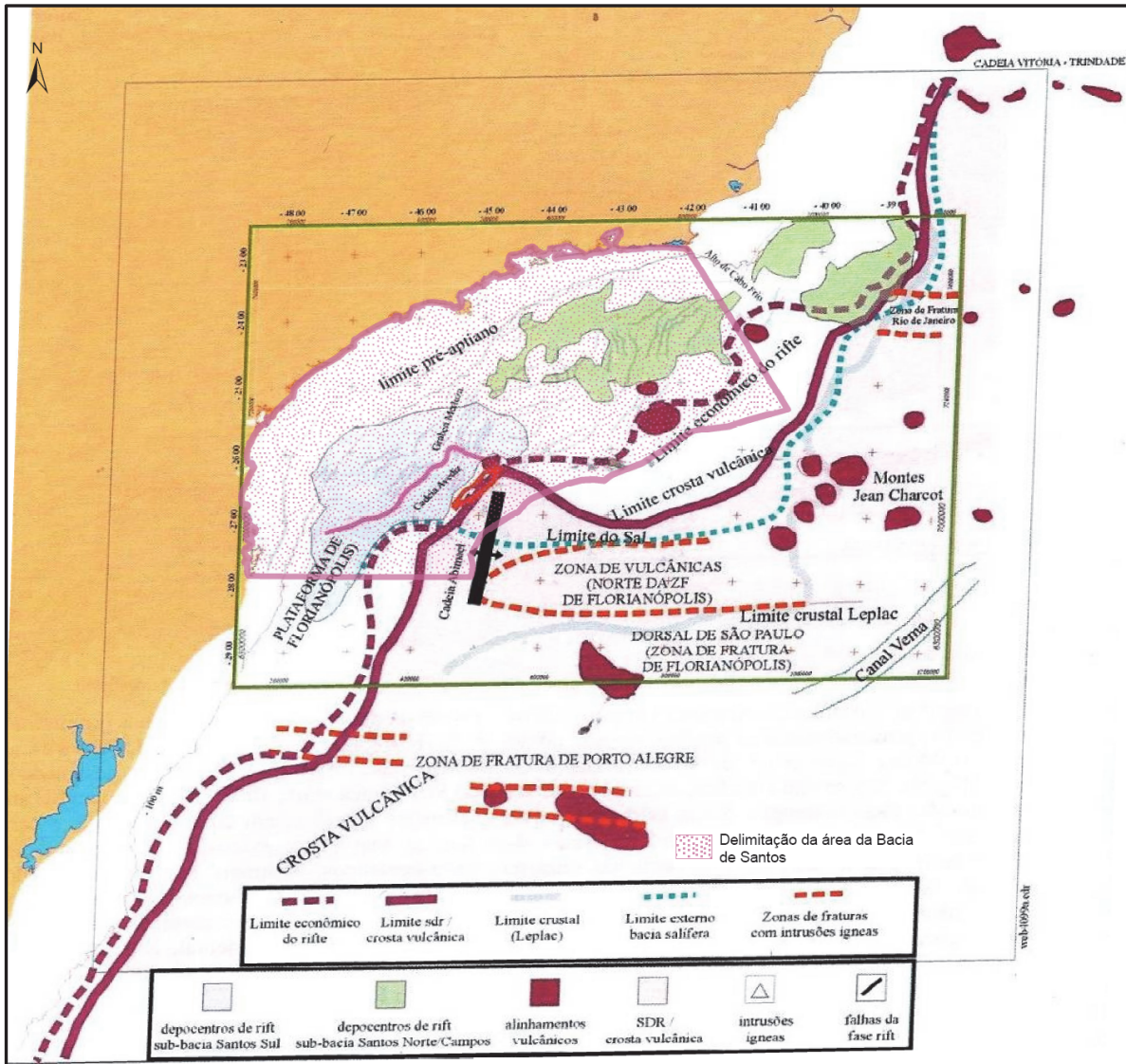
As falhas de borda das bacias da margem Leste e Sudeste são caracterizadas por direção NE-SW, com direções E-W e NW-SE correspondentes a zonas de transferência (MEISLING *et al.*, 2001), sendo que algumas das quais

foram reativadas durante a formação de zonas de fraturas oceânicas (ASMUS & FERRARI, 1978).

Em mapas tectônicos com as principais feições das bacias da região Sul-Sudeste (exemplo **Figura II.5.1.4-5**) é possível caracterizar a linha de charneira como uma feição NE subparalela à linha de costa e com uma notável inflexão Leste-Oeste na parte Norte, subparalela às zonas de fraturas oceânicas (Zona de Fratura do Rio de Janeiro) (MOHRIAK, 2004).

A maior inflexão Leste-Oeste ao longo da margem continental Leste brasileira localiza-se ao longo do estado do Rio de Janeiro, entre as bacias de Campos e Santos. A deflexão do limite pré-aptiano dessas bacias, que em geral tem direção NE, é marcada, na província de Cabo Frio, por ampla atividade magmática de composição marcadamente alcalina, datadas do Neocretáceo a Eoterciário (SADOWSKI & DIAS-NETO, 1981; MOHRIAK *et al.*, 1990; ALMEIDA, 1991; MIZUSAKI & MOHRIAK, 1992).

De acordo com Mohriak (2004), uma das principais feições observadas no Atlântico Sul corresponde ao alinhamento NW que se estende desde a região emersa como o Alto do Paranaíba, separando as bacias do Paraná e São Francisco (CORDANI *et al.*, 1984), e atinge a região da plataforma continental nas proximidades do Alto de Cabo Frio (**Figura II.5.1.4-5**), entre as bacias de Santos e Campos (CAINELLI & MOHRIAK, 1998). Esse lineamento, designado como Cruzeiro do Sul (SOUZA *et al.*, 1993) continua para SE através de várias intrusões ígneas e, em crosta oceânica, é caracterizado por feições tectônicas extensionais interpretadas como *rift* intraoceânicos.



Fonte: adaptado de MOHRIAK (2004).

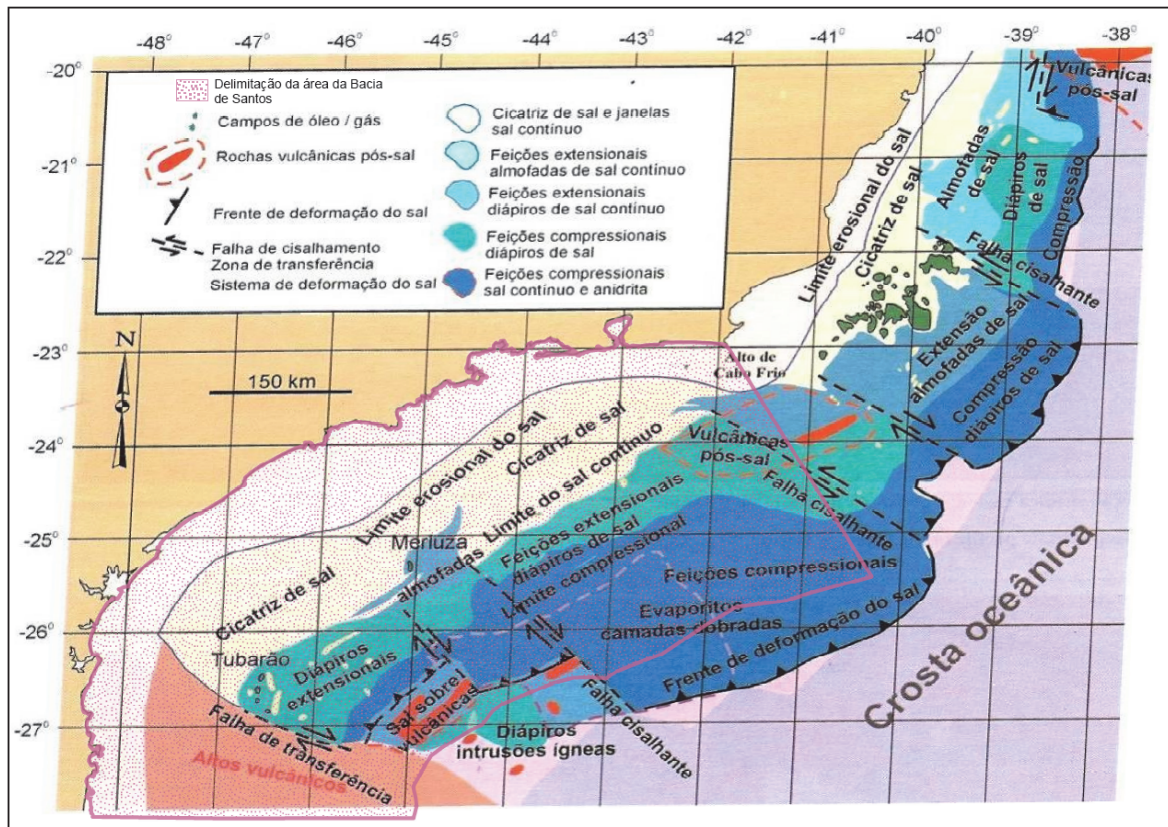
Figura II.5.1.4-5 – Mapa tectônico da região Sudeste.

Na margem Leste-Sudeste (Platô de São Paulo), a tectônica de sal foi responsável pela formação de mini-bacias e *grabens* de evacuação de sal, expressos na batimetria como irregularidades deprimidas no fundo do mar, enquanto que intrusões ígneas e massas vulcânicas (exemplo, Monte Submarino Almirante Saldanha na Bacia de Campos e Monte Submarino Jean Charcot na Bacia de Santos) produzem contornos circulares positivos na batimetria (**Figura II.5.1.4-6**) (MOHRIAK, 2004).

A bacia evaporítica é caracterizada por vários domínios tectônicos, desde os compartimentos extensionais com almofadas de sal e o compartimento com diápiros de sal, até a região de muralhas de sal com grandes empurrões e

dobramentos, localmente invertendo as mini bacias (SZATMARI & DEMERCIAN, 1993; COBBOLD *et al.*, 1995; MOHRIAK & NASCIMENTO, 2000; MEISLING *et al.*, 2001).

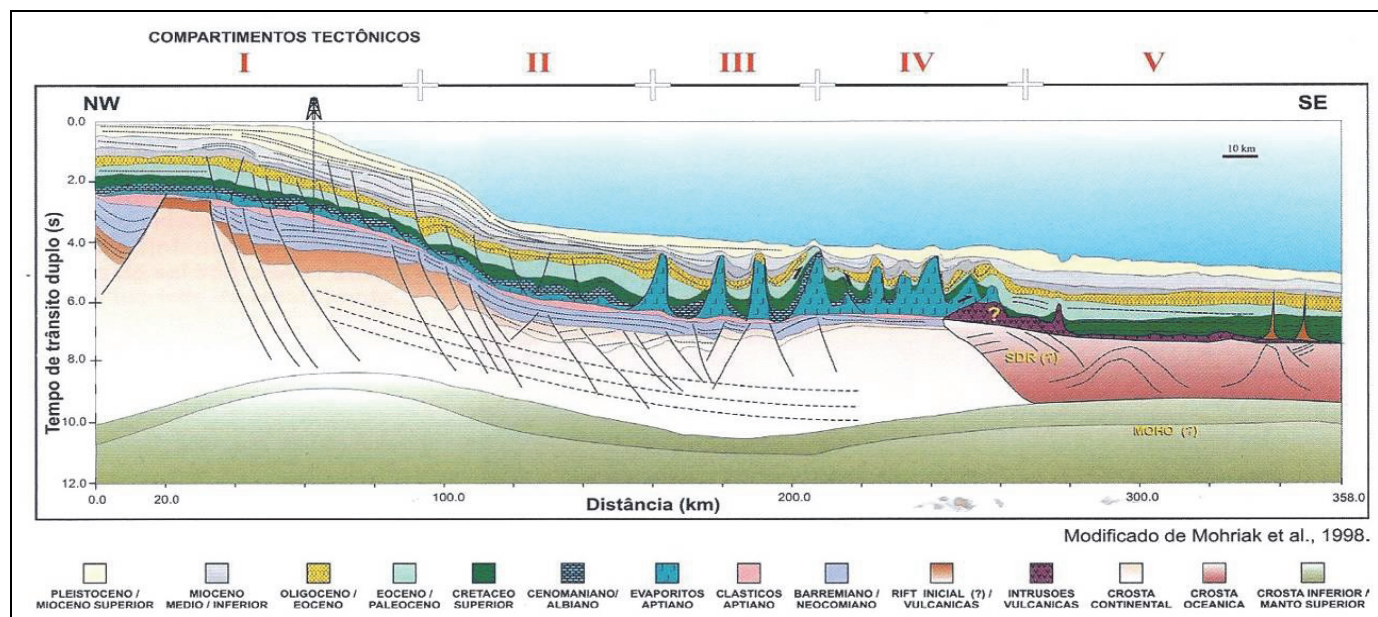
A **Figura II.5.1.4-6** apresenta um mapa tectônico simplificado da área de ocorrência de feições halocinéticas na Região Sudeste, e a ocorrência de acumulações de petróleo nas bacias de Campos e Santos (MOHRIAK, 2004).



Fonte: adaptado de MEISLING *et al.*, 2001 in MOHRIAK (2004).

Figura II.5.1.4-6 – Distribuição das estruturas halocinéticas no Platô de São Paulo.

A **Figura II.5.1.4-7** apresenta uma seção geosísmica com a interpretação dos diversos domínios tectônicos relacionados à halocinese no limite Sul da bacia de Campos e a Norte da Bacia de Santos. Esses compartimentos incluem uma região com tectônica de sal incipiente (domínio I), uma região com almofadas de sal e feições extensionais (domínio II), uma região com diápiros de sal e feições compressoriais localmente afetadas por inversão (domínio III), um domínio mais distal, com feições compressoriais (falhas de empurrão, repetição de camada, etc.) e sal em diápiros.



Fonte: Waisman (2008).

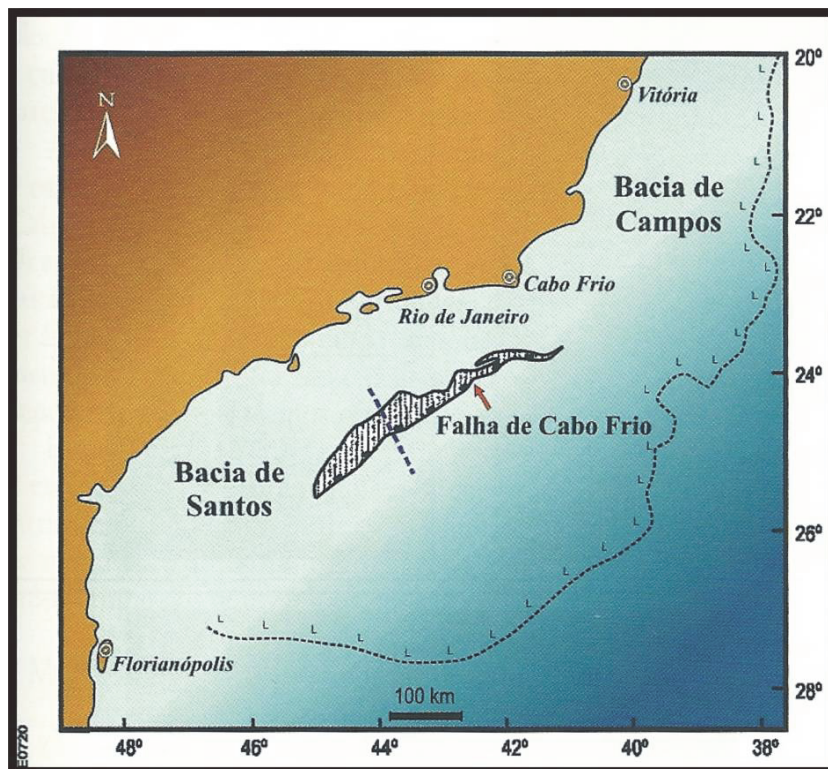
Figura II.5.1.4-7 – Seção geológica regional mostrando os domínios tectônicos na província de sal (I, tectônica de sal incipiente; II, tectônica de sal extensional; III, província de diápiros de sal com tectônica compressional; IV, tectônica de sal fortemente compressional próxima do limite entre crosta continental e crosta oceânica; V, camadas de sedimentos que localmente avançam sobre o substrato vulcânico).

Na Bacia de Santos são caracterizadas zonas de transferência, frequentemente com direção NW, que também controlam a tectônica de sal (SZATMARI & DEMERCIAN, 1993; DEMERCIAN & SZATMARI, 1999), destacando-se: (1) a zona de transferência de Tubarão, que separa a parte Sudoeste da Bacia de Santos, da plataforma de Florianópolis; (2) a zona de transferência de Merluza, que separa a província SW, da província central; e (3) a zona de transferência de Cabo Frio, que separa a parte Norte da Bacia de Santos, da parte Sul da Bacia de Campos (CAINELLI & MOHRIAK, 1998; DEMERCIAN & SZATMARI, 1999; MEISLING *et al.*, 2001).

Uma feição estrutural reconhecida na área da Bacia de Santos é a Falha de Cabo Frio, uma grande falha normal lítrica, antitética, que desloca a camada de sal aptiana e atinge cerca de 300 km de comprimento, aproximadamente paralela à costa (**Figura II.5.1.4-8**). A componente horizontal do rejeito para os sedimentos albianos chega a atingir 50 km ao longo dessa falha, cujo bloco baixo apresenta uma sequência progradante de rochas siliciclásticas neocretácicas e paleogênicas (DEMERCIAN *et al.*, 1993; MOHRIAK *et al.*, 1995).

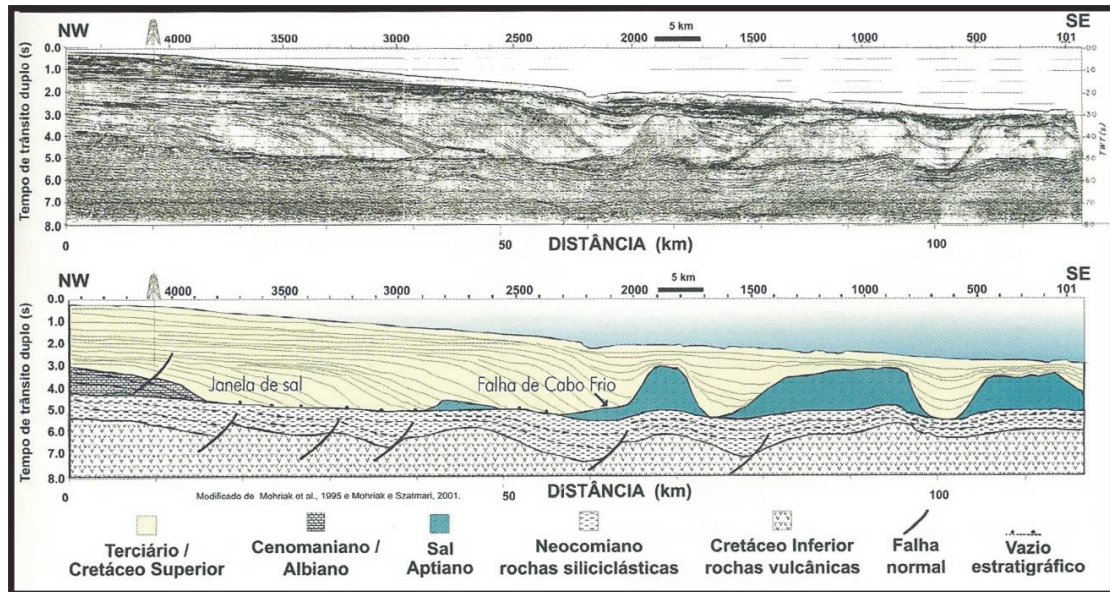
Alguns modelos físicos foram realizados com o intuito de testar diferentes hipóteses levantadas para explicar a gênese da Falha de Cabo Frio e em um deles, descrito abaixo, reproduziu com sucesso o desenvolvimento da falha e as deformações associadas interpretadas em sísmica. Esse modelo testou a hipótese de que a Falha de Cabo Frio formou-se no limite de uma cunha sedimentar progradante, que criou uma sobrecarga diferencial sobre a camada de sal, resultando na expulsão do sal subjacente. O sal expulso migrou bacia adentro no bloco alto de uma falha lítrica, provocando grande deslocamento dos sedimentos da cobertura (SZATMARI *et al.*, 1996).

A **Figura II.5.1.4-8** mostra a localização da Falha de Cabo Frio na Bacia de Santos e a linha sísmica regional apresentada na interpretação dessa falha na **Figura II.5.1.4-9**.



Fonte: GUERRA & SZATMARI (2008).

Figura II.5.1.4-8 – *Localização da Falha de Cabo Frio na Bacia de Santos e linha sísmica regional com direção NW-SE. Esta estrutura corresponde a uma grande falha normal listrica antitética. O hachurado indica a localização da lacuna estratigráfica da sequência albiana (modificado de MOHRIAK et al., 1995).*



Fonte: GUERRA & SZATMARI (2008).

Figura II.5.1.4-9 – Seção sísmica e interpretação da Falha de Cabo Frio.

Estratigrafia

Em recente trabalho de atualização, devido ao grande volume de dados obtidos desde que Pereira e Feijó (1994) estabeleceram o arcabouço cronoestratigráfico da Bacia de Santos em termos de sequências deposicionais, Moreira *et al.* (2007) consideraram a geologia da Bacia de Santos genericamente descrita com três unidades geológicas fundamentais: embasamento da Bacia, supersequências deposicionais e magmatismo.

O embasamento cristalino da bacia é caracterizado por granitos e gnaisses pertencentes ao Complexo Costeiro e por metassedimentos da Faixa Ribeira, de idade pré-cambriana (aproximadamente 540 milhões de anos).

Uma importante feição do embasamento é a Charneira de Santos, que limita os mergulhos suaves do embasamento, a Oeste, dos mais acentuados, a Leste. A sedimentação cretácea ocorre somente a Leste dessa feição. O limite da crosta oceânica com a crosta continental estirada ocorre imediatamente a Leste do Platô de São Paulo.

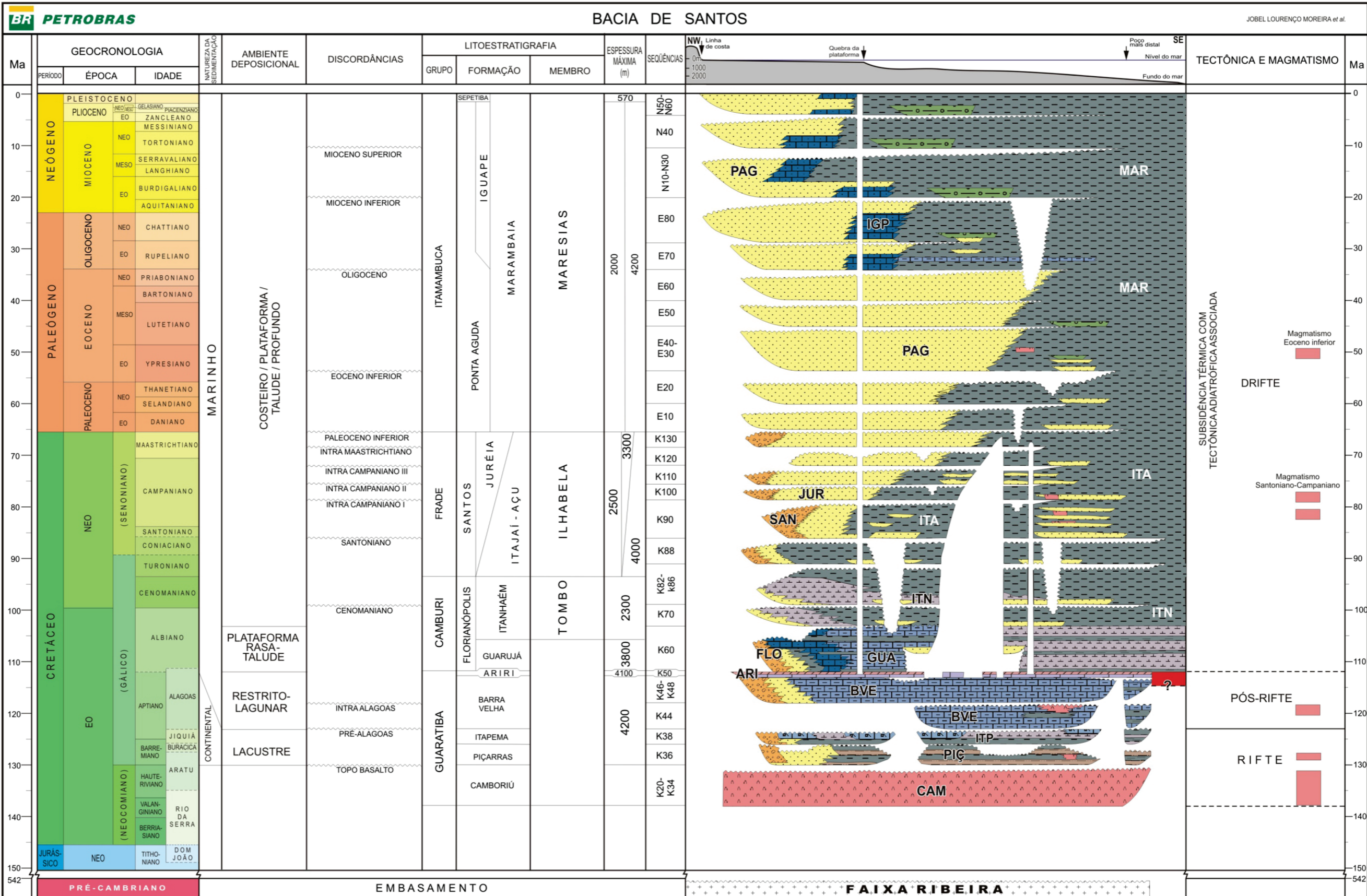
A versão mais atual da Carta Estratigráfica da Bacia de Santos está destacada na **Figura II.5.1.4-10**, onde também é apresentada a variabilidade na

representação das seções sedimentares em escala de tempo para a Bacia, conforme proposição de Moreira *et al.* (2007).

Na Carta Estratigráfica da Bacia de Santos, Moreira *et al.* (2007) reinterpreta a estratigrafia estabelecida por Pereira e Feijó (1994), elevando unidades definidas como formação, para a categoria de grupo ou agrupando determinadas formações em um mesmo grupo. As fases *Rift*, de Transição e de Margem Passiva, da Carta Estratigráfica de 1994 (PEREIRA & FEIJÓ, 1994), foram denominadas de Supersequências *Rift*, Pós-*Rift* e *Drift*. Desta forma, para a porção basal da bacia, foi criado o Grupo Guaratiba, que engloba todas as sequências das supersequências *Rift* e Pós-*Rift*, ou seja, desde a formação Camboriú (**CAM**; Sequência K20-K34), na base da fase *rift*, até a formação Ariri (**ARI**; Sequência K50), no topo da fase pós-*rift*.

A formação Guaratiba, conforme Pereira e Feijó (1994), foi subdividida por Moreira *et al.* (2007) em três formações: Piçarras (**PIÇ**; Sequência K36), Itapema (**ITP**; Sequência K38), ambas pertencentes à Supersequência *Rift*, e Barra Velha (**BVE**; Sequências K44 e K46-48), pertencente à Supersequência Pós-*Rift*, como pode ser observado na **Figura II.5.1.4-10** e na **Figura II.5.1.4-11**.

As unidades da Supersequência *Drift* foram englobadas em três grandes grupos: Camburi, Frade e Itamambuca, cada uma delas com diversas formações (**Figura II.5.1.4-10** e **Figura II.5.1.4-11**).



PETROBRAS **MINERAL**
ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE

EIA DA ATIVIDADE DE PRODUÇÃO E ESCOAMENTO DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL DO POLO PRÉ-SAL DA BACIA DE SANTOS - ETAPA 2

COLUNA CRONOESTRATIGRÁFICA ESQUEMÁTICA DA BACIA DE SANTOS

Data:	Anexo:	Escala:	Rev.
Agosto/2013	F gura II.5.1.4-10	1:3.000.000	0

Fonte: Moreira et al., 2007.

Como já referido, foram definidas três supersequências deposicionais para a Bacia de Santos: *Rift*, *Pós-Rift* e *Drift*, cada uma delas composta por diversas Sequências, as quais são descritas adiante, com dados obtidos de Moreira *et al.* (2007).

A **Supersequência Rift** corresponde à fase tectônica de fragmentação do Gondwana Ocidental, engloba o pacote de rochas depositadas na Bacia de Santos incluindo os derrames de lavas basálticas da formação Camboriú (Sequência K20-K34), na base, as camadas de sedimentos terrígenos da formação Piçarras (Sequência K36), na porção intermediária, e os sedimentos com fragmentos de conchas da formação Itapema (Sequência K38). Este conjunto de rochas pode atingir espessura de alguns milhares de metros e destaca-se por conter excelente teor de matéria orgânica para a geração de hidrocarbonetos, ou seja, constituem-se nas rochas geradoras da camada pré-sal.

A Sequência K20-K34 (formação Camboriú), com idade de 132+5 milhões de anos, é constituída por derrames basálticos que recobrem discordantemente as rochas do embasamento cristalino, de idade pré-cambriana (mais velhos que 542 milhões de anos, início do período Cambriano do Eratema Paleozóico), ou seja, há um hiato de tempo da ordem de 400 milhões de anos. Os basaltos são cinza escuros, de granulação fina a média, constituídos principalmente por plagioclásio e piroxênio (augita), em geral pouco alterados, e são considerados como o embasamento econômico (ou seja, de interesse à exploração) da Bacia.

Há também um hiato erosivo após a consolidação dos basaltos da formação Camboriú, antes da deposição da formação Piçarras (Sequência K36), possivelmente de alguns milhões de anos, uma vez que a deposição dos sedimentos da formação Piçarras é tida como do Barremiano (entre 130 e 126,4 milhões de anos aproximadamente), correspondente aos andares cronoestratigráficos locais Aratu Superior e Buracica.

A Sequência K36 (formação Piçarras) é constituída, litologicamente, por leques aluviais de conglomerados e arenitos polimíticos formados por fragmentos de basalto, quartzo e feldspato, nas porções proximais, e por arenitos, siltitos e folhelhos nas porções lacustres.

A sequência K38 (formação Itapema), informalmente denominada “sequência das coquinas” na Bacia de Campos, foi depositada entre a discordância

intrabarremiano e a discordância da base do andar Alagoas (entre 126,4 Ma e 123 milhões de anos, aproximadamente) e é caracterizada pela presença de intercalações de *grainstones* e *rudstones* a bivalve com folhelhos escuros. Os *grainstones* e *rudstones* a bivalves são constituídos por fragmentos de conchas de pelecípodes, com ostracodes associados que frequentemente encontram-se dolomitizados e/ou silicificados. Nas porções mais distais ocorrem folhelhos escuros, ricos em matéria orgânica.

A **Supersequência Pós-Rift** (Fase SAG) é constituída pelas sequências que compõem as formações Barra Velha (**BVE**; Sequências K44 e K46-48) e Ariri (**ARI**; Sequência K50), depositadas no intervalo aproximado entre 123 e 112 milhões de anos. A Sequência K44, que corresponde à porção inferior da formação Barra Velha do Grupo Guaratiba, foi depositada em ambiente de transição entre o continental e o marinho raso, entre 123 e 117 milhões de anos, e é constituída por calcários microbiais, estromatólitos, esferulitos, laminitos e lamitos nas porções proximais (mais próximas à costa), e folhelhos nas porções distais (mais distantes da costa, em águas mais calmas). Ocorrem também *grainstones* e *packstones*, compostos por fragmentos de estromatólitos (algas calcárias) e bioclastos (ostracodes) associados. Esses carbonatos encontram-se, por vezes, parcial ou totalmente dolomitizados e/ou silicificados.

A Sequência K46-K48, que corresponde à porção superior da formação Barra Velha do Grupo Guaratiba, depositada entre 117 e 113 milhões de anos, também em ambiente transicional entre continental e marinho raso, marca a passagem da sequência sedimentar clástica/carbonática para um ambiente evaporítico. De modo geral, é formada por leques aluviais de arenitos e conglomerados, nas porções proximais, e por calcários microbiais intercalados a folhelhos nas porções mais distais.

A Sequência K50 corresponde aos evaporitos (camadas de sal) da formação Ariri, unidade de topo do Grupo Guaratiba, depositados no Neoptiano, equivalente ao Andar Alagoas superior, e tem seu limite inferior no contato com os carbonatos da Sequência K46-K48 (113 milhões de anos). O tempo estimado de deposição para os evaporitos é de 0,7 a 1 milhão de ano (DIAS, 1998, *apud* MOREIRA *et al.*, 2007), permanecendo ainda imprecisa a taxa de acumulação, devido à alta mobilidade da halita. Entretanto, Gamboa *et al.* (2008, *in* MOHRIAK,

et al., 2008), afirmam que o “pacote evaporítico com espessura original em torno de 2.000 m foi depositado em aproximadamente 500.000 anos e, apesar da deformação plástica intensa que se prolongou até o final do Cretáceo, sua estratificação cíclica original ficou preservada sobre uma extensa área”.

Segundo Moreira *et al.* (2007), os evaporitos da Sequência K50 são compostos, geralmente, por halita e anidrita, tendo sido constatada também a presença de sais mais solúveis, tais como, taquidrita, carnalita e, localmente, silvinita.

Os cinturões evaporíticos do Atlântico Sul, ao longo das margens brasileira e africana, dos quais a Sequência K50 é a representante na Bacia de Santos, compõem limites conjugados em escala regional e documentam o término do episódio sedimentar que antecede o rompimento do segmento Sul americano-africano (ocidental) do Gondwana e a consequente ligação do Atlântico Equatorial e do Atlântico Sul (GAMBOA *et al.*, 2008, *in* MOHRIAK *et al.*, 2008).

A **Supersequência Drift** compreende os sedimentos depositados em ambiente tectônico de margem passiva, conforme a Carta Estratigráfica da Bacia de Santos, de 1994 (PEREIRA & FEIJÓ, 1994). Corresponde aos sedimentos continentais de ambiente de plataforma rasa e talude, depositados no Albiano (Eo-Cretáceo), e aos sedimentos marinhos de ambiente costeiro / plataforma / talude / profundo, depositados a partir do final do Albiano (Neo-Cretáceo), Paleógeno e Neógeno. Ou seja, a Supersequência *Drift* engloba toda a coluna de sedimentos depositados sobre as camadas evaporíticas da Sequência K50.

As rochas sedimentares da Supersequência *Drift*, que podem atingir no total mais de 6.000 m de espessura, foram englobadas em três grandes grupos: Camburi, Frade e Itamambuca, cada um deles com diversas formações.

O Grupo Camburi abrange as formações Florianópolis (**FLO**; Sequência K60), Guarujá (**GUA**; Sequência K60) e Itanhaém (**ITN**; Sequências K70 e K82-86). O Grupo Frade engloba as formações Santos (**SAN**; Sequências K88 a K130); Juréia (**JUR**; Sequências K88 a K130) e Itajaí-Açu (**ITA**; Sequências K88 a K130). Do Grupo Itamambuca, que engloba todas as unidades do Cenozóico da Bacia de Santos, fazem parte as formações Ponta Aguda (**PAG**; Sequências E10 a E80 e N10 a N60), Marambaia (**MAR**; Sequências E10 a E80 e N10 a N60) e Iguape (**IGP**; Sequências E70 a E80 e N10 a N60) e Sepetiba, que engloba os

sedimentos do Pleistoceno. A seguir descrevem-se resumidamente as características de todas as sequências que compõem a Supersequência *Drift* (MOREIRA *et al.*, 2007).

A **Sequência K60** é composta por três sequências deposicionais de 3ª ordem, perfazendo uma duração total de 8,9 milhões de anos. Ocorrem três importantes folhelhos radioativos que representam três grandes períodos de inundações marinhas, desde o Albiano inferior até a porção basal do Albiano superior. É constituída pela parte inferior da formação Florianópolis, formação Guarujá e porção basal da formação Itanhaém. Seu limite inferior é o topo das anidritas da formação Ariri e seu limite superior é marcado pela entrada dos primeiros sedimentos arenosos da formação Itanhaém.

A formação Florianópolis corresponde às fácies proximais e está constituída por conglomerados, arenitos e folhelhos, associados a sistemas de leques aluviais e deltaicos.

A formação Guarujá é caracterizada por uma plataforma carbonática albiana que se divide em interna e externa. Na interna ocorrem folhelhos e calcilutitos, de um sistema lagunar, e calcirruditos e calcarenitos oolíticos, pertencentes ao banco raso em borda de plataforma. Na plataforma externa ocorrem calcilutitos e margas gradando ou interdigitando com folhelhos escuros nas porções bacinais, onde há intervalos com potenciais geradores de hidrocarbonetos. A parte inferior da formação Itanhaém é constituída pelo folhelho radioativo Marco Beta e margas calcilutitos sobrejacentes.

A **Sequência K70** corresponde às formações Florianópolis (proximal) e Itanhaém (distal), do Grupo Camburi, e o Membro Tombo. O limite inferior é dado pelo Marco Beta, nas porções distais, e pela discordância do topo dos sedimentos carbonáticos da formação Guarujá, nas porções proximais. O limite superior é marcado por uma discordância que coincide com a passagem do Cretáceo inferior para o superior.

Os depósitos da formação Florianópolis correspondem a arenitos e folhelhos de leques aluviais e deltaicos, enquanto que a formação Itanhaém é caracterizada por folhelhos e, mais raramente, margas de origem marinha distribuídas desde a plataforma até as regiões bacinais.

Intercalados na formação Itanhaém encontram-se depósitos arenosos de sistemas originados de fluxos gravitacionais densos que compõem o Membro Tombo. Os depósitos da Sequência K70 são representativos de uma progressiva subida relativa do nível do mar.

A **Sequência K82-K86** tem como limite inferior a discordância que marca a passagem do Cretáceo inferior para o Cretáceo superior. Seu limite superior é caracterizado pela discordância de 91,2 milhões de anos. Engloba unidades dos grupos Camburi (formações Florianópolis e Itanhaém) e Frade (formações Santos, Juréia e Itajaí-Açu), e seus depósitos representam a maior ingressão marinha do registro sedimentar.

Na porção proximal ocorrem os depósitos arenosos e pelíticos da formação Florianópolis e os sedimentos conglomeráticos avermelhados de origem continental da formação Santos.

Na formação Juréia ocorrem sedimentos arenosos, folhelhos, siltitos e argilitos depositados desde os ambientes continentais até os mais distais da plataforma, podendo ocorrer níveis de coquina e calcilitos intercalados.

A formação Itanhaém é constituída por argilitos e folhelhos com conteúdo carbonático maior na porção basal, e corresponde às margas do intervalo palinológico conhecido como gama (MOREIRA *et al.*, 2007).

A formação Itajaí-Açu constitui-se por folhelhos e argilitos cinza-escuros depositados nos ambientes de plataforma distal, talude e bacia.

A **Sequência K88** corresponde aos depósitos referentes aos andares Turoniano e Coniaciano, envolvendo as formações Santos, Juréia e Itajaí-Açu e Membro Ilhabela, pertencentes ao Grupo Frade. Depositada ao longo de 5,4 milhões de anos, possui como limite inferior a discordância intraturoniana e como limite superior a discordância santoniana de 85,8 milhões de anos.

A formação Juréia é composta por sedimentos arenosos, folhelhos, siltitos e argilitos, depositados desde os ambientes continentais até as porções mais distais da plataforma. Os arenitos relacionados ao Membro Ilhabela do andar Turoniano, foram gerados a partir de fluxos que produziram depósitos menos encaixados que os da sequência inferior.

A **Sequência K90** abrange unidades da porção intermediária do Grupo Frade (formações Santos, Juréia, Itajaí-Açu e Membro Ilhabela). Abriga os sedimentos

siliciclásticos dos Andares Santoniano a Campaniano inferior. Possui como limite inferior a discordância de 85,2 milhões de anos e, como limite superior, a discordância de 79,2 milhões de anos. A formação Juréia é constituída por sedimentos arenosos, siltitos e folhelhos depositados em ambiente continental até as porções mais proximais da plataforma. Interacamado a esses depósitos ocorre intenso vulcanismo extrusivo. A formação Itajaí-Açu está representada por sedimentos argilosos, que predominam nas porções distais da plataforma, talude e bacia, enquanto que o Membro Ilhabela é constituído por arenitos, muito expressivos em área e espessura.

O vulcanismo santoniano verificado está associado ao aumento da taxa de subsidência na Bacia e a outras feições vulcânicas e tectônicas presentes no continente com o surgimento da Serra do Mar.

A **Sequência K100** abrange unidades da porção intermediária do Grupo Frade (formações Santos, Juréia, Itajaí-Açu e Membro Ilhabela). Corresponde aos sedimentos siliciclásticos do Andar Campaniano. Possui como limite inferior a discordância de 79,2 milhões de anos e como limite superior a discordância de 76,8 milhões de anos. Engloba conglomerados continentais da formação Santos, que se interdigitam com arenitos plataformais a costeiros da formação Juréia e que passam gradualmente para siltitos e folhelhos, além de diamictitos e margas da formação Itajaí-Açu, depositados nas regiões de plataforma distal, talude e bacia. O Membro Ilhabela é representado por arenitos resultantes de fluxos turbidíticos relacionados a escavações no talude e plataforma.

A **Sequência K110** abrange unidades da porção intermediária a superior do Grupo Frade (formações Santos, Juréia, Itajaí-Açu e Membro Ilhabela). Compreende os sedimentos siliciclásticos dos Andares Campaniano a Maastrichtiano, possuindo como limite inferior a discordância de 76,8 milhões de anos e, como limite superior, a discordância de 72 milhões de anos.

Engloba conglomerados continentais da formação Santos, os arenitos plataformais a costeiros da formação Juréia e os siltitos e folhelhos, além de diamictitos e margas da formação Itajaí-Açu, depositados nas regiões de plataforma distal, talude e bacia, além de margas. O Membro Ilhabela é representado por arenitos resultantes de fluxos turbidíticos relacionados a escavações no talude e plataforma. Assim como a Sequência K100, apresenta

um padrão regressivo, deslocando a quebra da plataforma cerca de 100 km costa afora.

A **Sequência K120** abrange unidades da porção superior do Grupo Frade (formações Santos, Juréia, Itajaí-Açu e Membro Ilhabela). Compreende os sedimentos siliciclásticos dos Andares Campaniano Superior a Maastrichtiano. Seu limite inferior é a discordância Neo-Campaniana de 72 milhões de anos e, o limite superior, a discordância de 68,8 milhões de anos. Continuando a tendência regressiva das sequências anteriores, esta sequência mostra o avanço da quebra da plataforma, caracterizada pela presença de expressivas escavações nas regiões de plataforma e talude, formando cânions que serviam de conduto para a passagem de grande quantidade de areia para as regiões mais profundas da bacia.

A **Sequência K130** abrange unidades do topo do Grupo Frade (formações Santos, Juréia, Itajaí-Açu e Membro Ilhabela). Compreende os sedimentos siliciclásticos do Andar Maastrichtiano. Possui como limite inferior a discordância de 68,8 milhões de anos e, como limite superior, a transição Cretáceo-Paleógeno (65 milhões de anos). As rochas que compõem essa sequência correspondem a arenitos resultantes de fluxos turbidíticos devido a escavações no talude e plataforma (Membro Ilhabela). Nas regiões de plataforma distal, talude e bacia, predominam siltitos e folhelhos, além de diamictitos e margas, da formação Itajaí-Açu. Nas porções proximais ocorrem arenitos plataformais a costeiros da formação Juréia e conglomerados continentais da formação Santos.

O padrão regressivo também é característico, e a linha de costa apresenta seu máximo deslocamento durante o Cretáceo, posicionando-se cerca de 200 km costa afora.

A **Sequência E10** inclui parte das unidades da base do Grupo Itamambuca (formações Ponta Aguda e Marambaia e Membro Maresias). Engloba os sedimentos depositados no início do Paleoceno (Andares Daniano e parte do Selandiano), tendo como limite inferior a discordância da passagem do Cretáceo para o Paleoceno (65 milhões de anos) e, como limite superior, a discordância do Eoceno inferior (60,2 milhões de anos), que pode ser relacionada a um importante rebaixamento relativo do nível do mar. É constituída por arenitos avermelhados, depositados em leques aluviais, sistemas fluviais e depósitos costeiros (formação

Ponta Aguda); siltitos e folhelhos, além de diamictitos e margas, depositados nas regiões de plataforma distal, talude e bacia (formação Marambaia); e arenitos de fluxos turbidíticos (Membro Maresias), resultado do desenvolvimento de cânions no interior da formação Marambaia.

A **Sequência E20** inclui parte das unidades da base do Grupo Itamambuca (formações Ponta Aguda e Marambaia e Membro Maresias), que são constituídas pelas mesmas rochas descritas na sequência anterior. Compreende os sedimentos do Paleoceno superior (andares Seladiano e Thanetiano) e do Eoceno Inferior (parte inferior do Ypresiano), tendo como limite inferior a discordância de 60,2 milhões de anos, no Paleoceno inferior, e, como limite superior, a discordância do Eoceno inferior, de 54 milhões de anos. Estudos apontam o soerguimento das serras do Mar e Mantiqueira, a cerca de 60 milhões de anos, como coincidente com a discordância que limita esta sequência.

A **Sequência E30-E40** inclui parte das unidades da base do Grupo Itamambuca (formações Ponta Aguda e Marambaia e Membro Maresias). Compreende os sedimentos depositados entre o final do Eoceno inferior e o Eoceno médio. Tem como limite inferior a discordância do Eoceno inferior (54 milhões de anos) e, como limite superior, a discordância do Eoceno médio, de 45 milhões de anos.

É constituída por arenitos plataformais a continentais da formação Ponta Aguda; siltitos, folhelhos, diamictitos e margas, depositados em ambiente de plataforma distal, talude e bacia, da formação Marambaia; e por arenitos resultantes de fluxos turbidíticos relacionados a escavações de talude e plataforma, do Membro Maresias. Durante a deposição dessa sequência ocorreu um significativo vulcanismo de caráter basáltico-alcálico na Bacia, com cones vulcânicos e derrames submarinos, o que é mais comum nas proximidades do Alto de Cabo Frio (OUREIRO, 2006, *apud* MOREIRA *et al.*, 2007). Ocorrem também corpos magmáticos intrusivos sob a forma de soleiras de diabásio.

A **Sequência E50** abrange parte das unidades da porção inferior a média do Grupo Itamambuca (formações Ponta Aguda e Marambaia e Membro Maresias). Compreende os sedimentos da parte superior do Eoceno médio. Tem como limite inferior a discordância interna ao Eoceno médio, de 45 milhões de anos, e limite superior a discordância do Eoceno superior, de 40,4 milhões de anos. Nas

porções proximais, ocorrem arenitos plataformais a continentais da formação Ponta Aguda; nas regiões de plataforma distal, talude e bacia, predominam siltitos e folhelhos, além de expressivos depósitos de diamictitos relacionados a escorregamentos na borda da plataforma, pertencentes à formação Marambaia. Subordinadamente, ocorrem arenitos resultantes de fluxos turbidíticos relacionados a escavações no talude e plataforma, do Membro Maresias.

A **Sequência E60** abrange parte das unidades da porção média do Grupo Itamambuca (formações Ponta Aguda e Marambaia e Membro Maresias). Engloba os sedimentos da parte superior do Eoceno médio (Bartoniano) e Eoceno superior (andar Priaboniano). Possui como limite superior a discordância de 40,4 milhões de anos e, como limite inferior, a discordância em torno de 33,9 milhões de anos. Esta sequência representa a maior queda na variação do nível do mar durante o Paleógeno, onde a quebra da plataforma continental foi deslocada dezenas de quilômetros além da quebra atual.

As rochas que compõem essa sequência seguem o padrão descrito anteriormente, com arenitos resultantes de fluxos turbidíticos relacionados a escavações no talude e plataforma (Membro Maresias). Nas regiões de plataforma distal, predominam siltitos e folhelhos, além de diamictitos da formação Marambaia e, nas porções proximais, arenitos plataformais a continentais da formação Ponta Aguda.

A **Sequência E70** abrange parte das unidades da porção média do Grupo Itamambuca (formações Ponta Aguda e Marambaia e Membro Maresias), além de parte da porção inferior da formação Iguape, correspondendo aos sedimentos do Oligoceno inferior (Andar Rupeliano). Possui como limite inferior a discordância de 33,9 milhões de anos e, como limite superior, a discordância de 28,6 milhões de anos.

Essa sequência encontra-se melhor conservada na porção Sudeste da Bacia e é representativa de importante aumento relativo do nível do mar, que propiciou expressivo recuo da borda da plataforma em relação à sequência anterior. Suas rochas seguem o padrão descrito para as sequências anteriores, com arenitos turbidíticos (Membro Maresias), nas regiões proximais; folhelhos, siltitos e diamictitos (formação Marambaia), na plataforma, talude e bacia; e arenitos costeiros a continentais nas porções proximais (formação Ponta Aguda). Em

posições proximais à quebra de plataforma aparecem, pela primeira vez, calcarenitos e calcirruditos da formação Iguape.

A **Sequência E80** abrange parte das unidades da porção média a superior do Grupo Itamambuca (formações Ponta Aguda, Marambaia e Iguape e Membro Maresias). Compreende os sedimentos da porção superior do Oligoceno (Andar Chatiano) e Mioceno inferior (Andar Aquitaniano). Possui como limite inferior a discordância de 28,6 milhões de anos e, como limite superior, a discordância em torno de 20,4 milhões de anos. Apresenta suas maiores espessuras na porção Sudeste da bacia, nas regiões de talude e de bacia com fortes feições de corte e preenchimento e, aparentemente, com espessos corpos de diamictitos. Nas regiões de talude e plataforma, apresenta-se delgada devido à forte erosão de 20,4 milhões de anos.

Constitui-se de arenitos resultantes de fluxos turbidíticos (Membro Maresias); siltitos e folhelhos, além de diamictitos e margas da formação Marambaia. Nas porções proximais ocorrem arenitos plataformais (formação Ponta Aguda) e, em posições próximas à quebra da plataforma, calcarenitos e calcirruditos da formação Iguape.

A **Sequência N10-N30** abrange parte das unidades da porção superior do Grupo Itamambuca (formações Ponta Aguda, Marambaia e Iguape e Membro Maresias). Corresponde aos sedimentos da porção superior do Mioceno inferior (Burdigaliano) e médio (Serravaliano). Possui como limite inferior a discordância de 20,4 milhões de anos e, como limite superior, em torno de 11 milhões de anos, correspondendo a uma importante discordância que representa um rebaixamento global do nível do mar, provocando extenso evento erosivo nas áreas emersas e formação de cunhas fortemente progradantes nas porções submersas das bacias (ARAI, 2006).

A partir da discordância de 20,4 milhões de anos, as sequências de ordem menor se desenvolvem em uma tendência transgressiva que culminam no Mioceno terminal (Serravaliano) por um aumento significativo do nível do mar, que corresponde ao evento de 16 milhões de anos. Esta sequência representa a maior variação do nível do mar desde o Mioceno até o recente, responsável pela deposição de um grande volume de sedimentos nas porções costeira e interior da placa Sul-americana.

O pacote de rochas dessa sequência está composto por arenitos (Membro Maresias), siltitos e folhelhos, além de diamictitos e margas (formação Marambaia). Nas porções proximais ocorrem arenitos plataformais da formação Ponta Aguda e, em posições próximas à quebra de plataforma, calcarenitos e calcirruditos da formação Iguape.

A **Sequência N40** abrange parte das unidades da porção superior do Grupo Itamambuca (formações Ponta Aguda, Marambaia e Iguape e Membro Maresias). Engloba os sedimentos do Mioceno superior (Andares Tortoniano e Messianiano) e parte inferior do Plioceno (Andar Zancleano). Possui como limite inferior a discordância de 11 milhões de anos, que é relacionada à queda eustática global e, como limite superior, a discordância em 4,2 milhões de anos.

Essa sequência é composta por sedimentos avermelhados, de origem aluvial e costeira, da formação Ponta Aguda; por calcarenitos e calcirruditos bioclásticos intercalados com argilitos cinza-esverdeados, siltitos e margas da formação Iguape; e por espessos pacotes de folhelhos cinzentos e margas cinza-claro, das fácies distais da plataforma continental, talude e bacia, da formação Marambaia.

A **Sequência N50-N60** abrange parte das unidades do topo do Grupo Itamambuca (formações Marambaia e Sepetiba e Membro Maresias). Corresponde aos sedimentos do Plioceno e Pleistoceno, englobando os andares Gelasiano, Piacenziano e a parte superior do Zancleano. Possui como limite inferior a discordância de 4,2 milhões de anos (do Plioceno inferior) e como limite superior, os sedimentos atuais do fundo marinho.

A faciologia dominante é representada, na porção plataformal, por arenitos cinza esbranquiçados, glauconíticos e por coquinas de moluscos e, na porção de talude, os sedimentos lamíticos que são cortados por cânions preenchidos por sedimentos lamíticos ou arenosos, correspondentes à formação Sepetiba; na porção bacinal predominam as cunhas de diamictitos e lamas de águas profundas da formação Marambaia, além dos arenitos de origem turbidítica do Membro Maresias.

Magmatismo

Foram reconhecidos eventos magmáticos pós-aptianos nos seguintes andares: Albiano, Santoniano, Maastrichtiano, Paleoceno e Eoceno. As rochas magmáticas extrusivas do Paleoceno e do Eoceno foram originadas, principalmente, por estratovulcões de formato cônico.

Encontram-se identificados três eventos de magmatismo básico pré-albianos datados pelo método Ar/Ar:

- Derrames basálticos provavelmente subaéreos da formação Camboriú, associados ao embasamento econômico (132+5 milhões de anos);
- Basaltos subaquosos intercalados à seção *rift* (121-130 milhões de anos);
- Na porção inferior do pós-*rift* (118 milhões de anos).

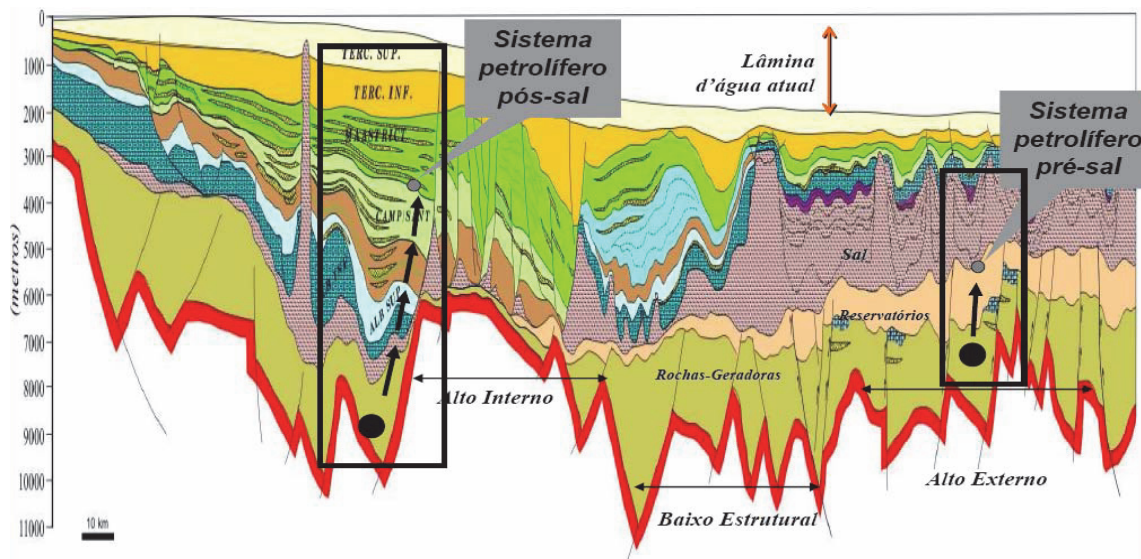
Sistemas Petrolíferos

Para a bacia de Santos leva-se em conta a existência, genericamente, de dois sistemas exploratórios: o sistema petrolífero pré-sal e o sistema petrolífero pós-sal. Ambos apresentam as mesmas camadas de rochas geradoras, cuja composição apresenta alta quantidade de matéria orgânica que, levadas a determinadas condições de pressão e temperatura, podem vir a ser transformadas em hidrocarbonetos.

A **Figura II.5.1.4-11** apresenta uma seção geológica regional da Bacia de Santos com a representação esquemática das diversas unidades geológicas presentes e a indicação dos dois sistemas exploratórios. Nela há a indicação de que os sedimentos da Bacia podem atingir profundidades da ordem de 11.000 m, em um baixo estrutural situado na sua porção intermediária. Por outro lado, há também a indicação da existência de dois altos estruturais: um interno, situado a Oeste do referido baixo estrutural, e outro externo, situado a Leste do baixo estrutural.

A observação da **Figura II.5.1.4-11** mostra que estes altos apresentam importante significado geológico para a exploração petrolífera. A representação mostra que o prospecto do sistema petrolífero pós-sal situa-se a menores profundidades e a Oeste do Alto Interno, mais próximo à costa, enquanto que o

sistema pré-sal situa-se a Leste do referido Alto e a profundidades significativamente maiores, com lâmina d'água em torno de 2.000 m. Não se obteve, entretanto, dados sobre a existência, ou não, de acumulações de hidrocarbonetos nas camadas acima da camada de sal situadas mais para Leste da bacia, ou seja, mais diretamente acima do sistema do pré-sal (PETROBRAS/ICF, 2012).



Fonte: IPT (2009).

Figura II.5.1.4-11 – Seção geológica esquemática da Bacia de Santos, com a indicação dos principais pacotes de rochas existentes e dos sistemas pré e pós-sal.

Outra observação que se obtém da **Figura II.5.1.4-11** refere-se ao comportamento das camadas de sal, e que é de importância prática muito grande para a prospecção e exploração de petróleo.

Como indicado anteriormente, a espessura total das camadas de sal originalmente depositadas situa-se em torno de 2.000 m; entretanto, o que se acha indicado como sal apresenta formato e espessura totalmente irregulares, havendo quase ausência em alguns pontos, e significativos trechos com espessuras da ordem de 4.000 m e, ainda, locais onde se têm diápiros com mais de 5.000 m. Tais irregularidades devem-se às características e propriedades do sal que, num processo denominado de halocinese ou tectônica salina, as rochas

evaporíticas apresentam alta fluidez e deformam-se plasticamente em resposta aos esforços que são submetidas no interior da bacia.

Se, por um lado, essas irregularidades representam dificuldades para a operacionalidade das atividades de perfuração e exploração, por outro lado, propiciam a formação de excelentes armadilhas. Isso, aliado à impermeabilidade das rochas salinas, que as tornam selantes por natureza, favorece a estanqueidade, e acaba proporcionando condições para a existência de grandes acumulações de petróleo.

Outra verificação importante é que as camadas de rochas geradoras, tanto para o sistema petrolífero pré-sal quanto para o sistema petrolífero pós-sal são as mesmas, e situam-se abaixo das camadas de sal. Ou seja, as rochas geradoras são aquelas camadas de sedimentos depositados na Bacia de Santos quando esta ainda configurava uma bacia continental, antes da separação da África e América do Sul. São aqueles sedimentos da Supersequência *Rift*, pertencentes principalmente às formações Piçarras e Itapema, porção inferior do Grupo Guaratiba, depositadas em ambiente lacustre (PETROBRAS/ICF, 2012).

Os reservatórios do pré-sal são as rochas carbonáticas da Supersequência Pós- *Rift*, porção superior do Grupo Guaratiba, pertencentes à porção superior da formação Itapema e à formação Barra Velha.

As rochas reservatórios do pós-sal são constituídas por lentes de sedimentos clásticos arenosos existentes em meio a sedimentos finos, como argilitos e folhelhos, impermeáveis, nas quais o óleo se alojou após ter migrado a partir das geradoras situadas abaixo das camadas de sal, para o que foram utilizados como condutos os falhamentos e fraturamentos existentes nas camadas subjacentes. Assim, são rochas potencialmente armazenadoras os arenitos da formação Juréia e, possivelmente, os conglomerados da formação Santos, estando ambas interdigitadas aos sedimentos mais finos, como argilitos e folhelhos da formação Itajaí-Açu. Todas essas unidades são englobadas no Grupo Frade, do Santoniano, Campaniano e Maastrichtiano, porção superior do Neo-Cretáceo.

Segundo análise do potencial do sistema petrolífero da Bacia de Santos, foram identificados dois sistemas petrolíferos. São eles: **Guaratiba – Guarujá e Itajaí-Açu – Ilhabela**, cujas rochas geradoras apresentam características de deposição em ambientes lacustres e marinhos, respectivamente, sendo a

formação Guaratiba considerada sua principal fonte geradora de hidrocarbonetos, e a formação Itajaí-Açú, como a mais bem estudada, devido à passagem de praticamente todos os poços exploratórios por esse sistema. A seguir, será dada ênfase ao sistema petrolífero mais profícuo: **Itajaí-Açu – Ilhabela**, situado na sequência *drift* da Bacia de Santos.

A primeira descoberta nos arenitos turbidíticos da formação Itajaí-Açu na Bacia de Santos ocorreu em 1980, pela Pecten, no campo de Merluza (PEREIRA & MACEDO, 1990; PEREIRA, 1994).

Após a criação da Lei do Petróleo (1997), novas descobertas foram realizadas pela PETROBRAS e empresas estrangeiras nos campos de Tubarão, Coral, Estrela do Mar e Caravela, dessa vez em reservatórios carbonáticos albianos no Sul da Bacia.

As análises sísmo-estratigráficas para interpretação de sistemas deposicionais, com ênfase à exploração de petróleo, foram feitas por Brown *et al.* (1975 *apud* GONÇALVES *et al.* (1979). Essa análise foi complementada por técnicos da PETROBRAS, com a integração de dados geofísicos e geoquímicos para um modelo geológico da plataforma Sul, visando a prospecção de hidrocarbonetos

A halocinese foi o principal agente causador das estruturas adiastróficas que modelaram a seção pós-*rift* da Bacia de Santos. Essas estruturas apresentam importante influência nas acumulações de petróleo, especialmente com relação à migração e à geração de trapas (PEREIRA & MACEDO, 1990; DEMERCIAN & SZATMARI, 1993; SZATMARI *et al.*, 1994; DEMERCIAN, 1996; GE *et al.*, 1996).

Pereira & Macedo (1990) apontaram como os principais *plays* petrolíferos as acumulações descobertas em calcarenitos oolíticos da formação Guarujá e em arenitos turbidíticos do Membro Ilhabela. Também indicaram como *plays* os arenitos costeiros/marinhos rasos da porção inferior da formação Juréia, sobre almofadas de sal; os arenitos continentais/marinhos da porção superior da formação Juréia, em ápice de domos; os arenitos turbidíticos da porção média inferior da formação Santos (águas profundas); e os arenitos turbidíticos terciários da formação Marambaia (águas profundas).

Através de um projeto intitulado “Interpretação e Mapeamento dos Sistemas Petrolíferos da Bacia de Santos” (convênio UNESP-ANP 2002), foi possível fazer

o levantamento das seguintes informações da Bacia de Santos: i) interpretação sísmica de horizontes que constituem o arcabouço geológico-estrutural da bacia; ii) análise estratigráfica de 145 poços por meio de seções geológicas que permitiram a subdivisão vertical da bacia em 14 sequências deposicionais separadas por discordâncias regionais; iii) processamento e interpretação de dados magnetométricos e gravimétricos que nortearam a construção do arcabouço estrutural do embasamento da bacia e; iv) análises geoquímicas de óleos provindos dos campos de produção, que auxiliaram na interpretação da origem da rocha geradora e nas modelagens geoquímicas de maturidade, geração e expulsão de hidrocarbonetos.

Através da integração de tais informações geofísicas, geoquímicas e geológicas, aliadas a ferramentas de processamento, permitiu-se a obtenção de dados sobre a época de geração e expulsão de hidrocarbonetos, bem como a definição dos principais modelos de acumulações responsáveis por reservas da ordem de 120 Mbbl, na seção pós-*rift*; e da ordem de 6 a 8 Bbbl, na seção *rift*.

Após a sedimentação evaporítica instala-se um sistema deposicional misto, com acumulação de siliciclásticos na borda (formação Florianópolis) e de carbonatos na porção mais distal (formação Guarujá).

Rochas geradoras da formação Itajaí-Açu

Composta por folhelhos geradores em sua porção inferior, este intervalo é o que apresenta maior quantidade de dados geoquímicos disponíveis, uma vez que boa parte dos poços da bacia atravessou esta unidade. Esta, porém, encontra-se nos estágios iniciais de maturidade térmica, podendo apresentar condições de expulsão de hidrocarbonetos em baixos localizados, adjacentes aos grandes domos e diápiros de sal.

A deposição da unidade ocorreu em ambiente marinho anóxico, durante o Cenomaniano/Meso-Turoniano, período correlacionável ao segundo evento anóxico do Cretáceo (OAE-2). O valor de TOC médio para este intervalo encontra-se ao redor de 1%, com máximo de 6%. Já os valores médios de S1 e S2 são 0,41 mg HC/g de rocha e 2,19 mg HC/g de rocha, respectivamente.

Reservatórios

A Bacia de Santos possui boa variedade de rochas-reservatório, desde os carbonatos de água rasa da formação Guarujá, até os arenitos turbidíticos eocênicos da formação Marambaia. Os carbonatos oolíticos da formação Guarujá constituem o reservatório mais importante da seção pós-*rift*, devido ao maior volume de óleo descoberto nestas rochas, aglutinando os campos de Tubarão, Estrela do Mar, Coral, Caravela e Cavalo-Marinho. Por sua vez, o membro Ilhabela da formação Itajaí-Açu, composto por arenitos turbidíticos de idade neo-turoniana a eo-santoniana, que formam, entre outras acumulações sub-comerciais, os campos de Merluza e Lagosta, também constitui importante alvo exploratório (CHANG *et al.*, 2008).

Rochas Carbonáticas da formação Guarujá

Os carbonatos depositados em ambiente de águas rasas constituem importante reservatório na porção Sul da Bacia de Santos. Foi nesta região que se desenvolveu extensa plataforma carbonática (formação Guarujá) durante o Albiano Inferior-Médio e onde se localizam os campos de Tubarão, Estrela do Mar, Coral, Caravela e Cavalo-Marinho. Este reservatório é constituído de calcarenitos oolíticos de variada gama textural, essencialmente *grainstones*.

O Campo de Tubarão, posicionado na porção Sul da Bacia de Santos, é o principal exemplo deste tipo de reservatório. As zonas porosas estão posicionadas no topo da formação Guarujá, em profundidades superiores a 4.500 m, sendo constituídas por *grainstones* oolíticos e oolíticos-oncolíticos, depositados em ambiente de alta energia, comprovado por amostras de calha, o que mostra que mesmo em ambientes de elevada profundidade, cerca de 5000 m, pode existir uma porosidade também elevada, e só a partir desse ponto há um declínio mais acentuado da porosidade (CHANG *et al.*, 2008).

Selos e Trapas

De maneira geral, os selos para as diversas rochas reservatório da Bacia de Santos são constituídos por pelitos e calcilutitos intercalados aos próprios reservatórios. No caso da formação Guarujá, as rochas selantes são tanto os calcilutitos intercalados aos calcarenitos porosos, que formam os ciclos de *coarsening-upward*, quanto, na porção mais superior, os calcilutitos e pelitos da formação Itanhaém. Considerando os reservatórios siliciclásticos, as rochas selantes são os pelitos intercalados aos arenitos das formações Itajaí-Açu, Santos/ Juréia e Marambaia.

As principais acumulações da bacia mostram trapas de caráter estrutural e misto. A grande maioria das armadilhas geradas está associada a domos ou diápiros salinos. Assim sendo, mesmo quando são observadas feições estratigráficas passíveis de armazenamento, estas encontram-se deformadas pela halocinese, gerando trapas mistas. O período de formação das trapas ligadas à halocinese estende-se desde o Neo-Albiano, em águas rasas, até o Oligoceno, na região de águas profundas.

Como já mencionado anteriormente, a intensa movimentação halocinética transformou armadilhas eminentemente estratigráficas em mistas. No entanto, não se deve descartar a importância destas trapas estratigráficas, que podem ocorrer principalmente nas unidades mais recentes, principalmente no Terciário e, em menor grau, no Maastrichtiano. As trapas mais comuns em regiões com intensa halocinese, que devem ser consideradas para a região de águas profundas, são os acunhamentos de corpos arenosos contra a parede de domos e diápiros salinos (*pinch-out*) (CHANG *et al.*, 2008).

Maturidade Termal

Modelagens numéricas multidimensionais da maturidade termal da Bacia de Santos apontam o intervalo de 70 a 90 milhões de anos como o pico máximo da geração e expulsão de hidrocarbonetos provindos da formação Guaratiba. Porém, pela grande extensão geográfica, as rochas da formação Guaratiba não entraram

na janela de geração de óleo de maneira uniforme, podendo a geração ter-se estendido até o Paleoceno (CHANG *et al.*, 2008).

Migração e Acumulação

No caso dos hidrocarbonetos gerados na formação Itajaí-Açu, estes migraram preferencialmente pelas falhas lístricas ou de transferência originadas pela halocinese. As modelagens realizadas indicam que a fase de geração e expulsão de hidrocarbonetos da seção *rift* iniciou-se por volta de 100 milhões de anos tendo seu pico entre 90 e 70 milhões de anos, estendendo-se até o Eoceno, aí já com menor intensidade.

Desta forma, tais condições viabilizaram o trapeamento em todos os reservatórios citados, tanto os carbonatos da formação Guarujá quanto os arenitos do Membro Ilhabela (formação Itajaí-Açu), do Neo-Cretáceo (formação Juréia) e do Eoceno (formação Marambaia). Por outro lado, para as rochas geradoras da porção basal da formação Itajaí-Açu, cujas modelagens indicam geração a partir do Maastrichtiano, verifica-se a existência de sincronismo para todos os reservatórios da seção pós-evaporítica (PETROBRAS/ICF, 2012).

Modelos de Acumulações de Hidrocarbonetos na Bacia de Santos

Como a Bacia de Santos compreende uma bacia do tipo margem passiva, apresenta uma variação sedimentar muito rica, devido aos eventos episódicos de regressão e transgressão marinha. Essa mudança de sedimentação permitiu a definição de um sistema petrolífero completo, com a formação de rochas geradoras (folhelhos marinhos e lacustres), reservatórios (calcilutitos e turbiditos) e selantes (evaporitos).

Os resultados mostraram a evolução tectono-sedimentar da fase *drift* da bacia. Suas sequências, períodos de regressão e transgressão e suas formações são um modelo que fornece grande riqueza de informações a respeito desse tipo de ambiente. Antes de ser descoberto o pré-sal, a sequência *drift* era a mais importante descoberta petrolífera de que se tinha conhecimento. Só com novas

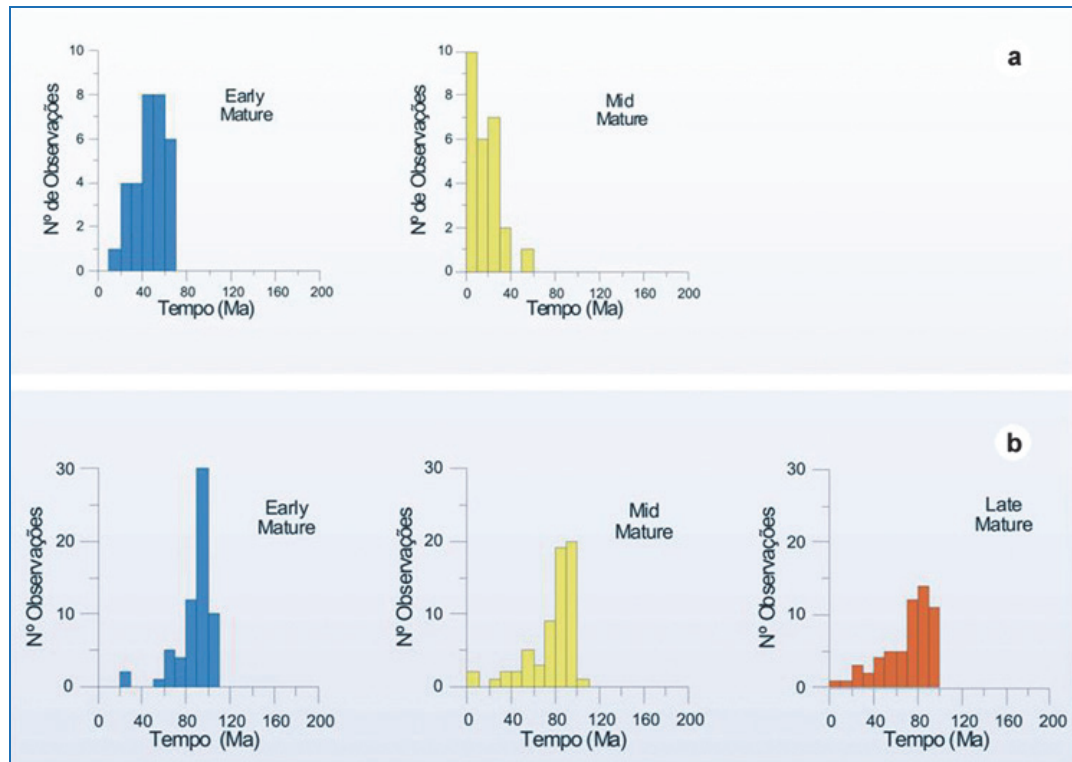
tecnologias e estudos é que se pode hoje afirmar que o pré-sal da Bacia de Santos se tornou o sistema petrolífero mais promissor do Brasil.

A acumulação de sedimentos na Bacia de Santos ocorreu inicialmente em condições de ambiente flúvio-lacustre, posteriormente seguiu para um estágio de bacia evaporítica, evoluindo em seguida para uma bacia de margem passiva (CHANG *et al.*, 2008).

Segundo Chang *et al.*, (2008), analisando modelagens numéricas multidimensionais da maturidade termal da Bacia de Santos, o intervalo de 70 a 90 milhões de anos, indicaram o pico máximo de geração e expulsão de hidrocarbonetos oriundos da Formação Guaratiba (fase *rift*). Devido a sua grande extensão de ocorrência geográfica, as rochas da formação Guaratiba não entraram na janela de geração de óleo de maneira uniforme, podendo ter a geração se estendido até o Paleoceno (**Figura II.5.1.4-12**).

De acordo com os mapas de maturação para a seção *rift*, a geração teve início no Neo-Albiano/Eo-Cenomaniano, em uma calha alongada com direção NE, onde com o passar do tempo foi se estendendo em sentido às águas rasas bem como às águas profundas (**Figura II.5.1.4-12**). Durante o Neo-Cretáceo, a área da bacia com potencial de geração de hidrocarbonetos era significativa, sendo coincidente com as maiores espessuras da sequência pós-*rift* (CHANG *et al.*, 2008).

A análise dos modelos de acumulação indica que a formação Guaratiba seria o principal gerador de hidrocarbonetos para os reservatórios calcareníticos plataformais e turbiditos pertencentes à formação Guarujá (Albiano Superior ao Mioceno), assim como siliciclásticos e carbonáticos da fase *rift*. A migração ocorre através de falhas, janelas de sal e *carrierbeds* (imigração de óleo/gás através de rochas porosas, arenito e carbonatos, por exemplo) (PETROBRAS/ICF, 2012).



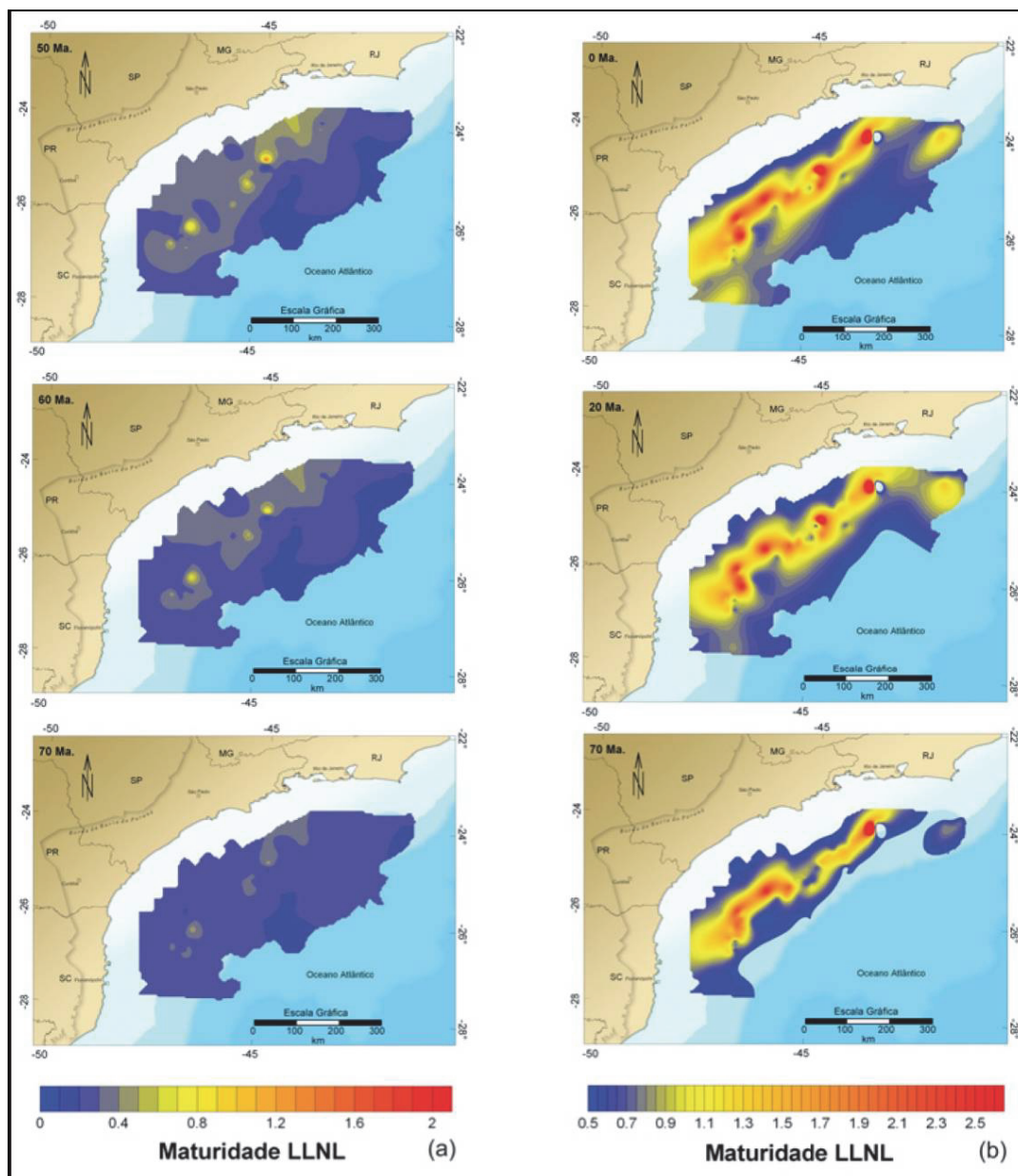
Fonte: Chang et al. (2008).

Figura II.5.1.4-12 – Distribuição temporal da maturação. a) gerador Itajaí-Açu. b) gerador Guaratiba. Early Mature corresponde ao estágio inicial de maturação ($0.5 < Ro\% < 0.7$). Mid Mature corresponde ao pico de maturação ($0.7 < Ro\% < 1.0$). Late Mature corresponde à fase final de geração ($1.0 < Ro\% < 1.3$).

A rocha selante é composta por folhelhos e calcilutitos intraformacionais, bem como da espessa camada de evaporitos atuando como selo para seção *rift*, sobretudo em águas profundas. A sobrecarga sedimentar causada pela grande espessura das seções do Cretáceo Médio e Superior contribuiu consideravelmente para a geração e expulsão de hidrocarbonetos nesse período. As trapas (estruturas geológicas que permitem a acumulação de óleo e gás) identificadas podem ser do tipo estrutural (*rollovers* e casca-de-tartaruga), estratigráfica (*pinch-out* de corpos arenosos) ou mista (*pinch-out* de turbiditos contra a parede de domos salinos) (PETROBRAS/ICF, 2012).

Os principais *plays* (parte elementar do sistema de petróleo que contém sempre uma ou mais acumulações de hidrocarbonetos identificados por características geológicas em comum, características de engenharia em comum, ou as propriedades de fluxo e fluidez) estariam nos calcários eo-mesoalbianos da

formação Guarujá, nos turbiditos do Membro Ilhabela, nos turbiditos do Cretáceo Superior, nas areias situadas entre o Paleoceno/Eoceno. Destaca-se que os *plays* da formação Guarujá e do Membro Ilhabela são os mais importantes até o momento na bacia (CHANG, 2008; MULTIMIN, 2006).



Fonte: CHANG et al. (2008).

Figura II.5.1.4-13 – Mapas temporais de maturidade da rocha geradora obtidos a partir de modelagens numéricas. (a) Mapas de maturidade da Formação Itajaí-Açu. (b) Mapas de maturidade da Formação Guaratiba.

Com relação aos principais campos petrolíferos conhecidos na Bacia de Santos (**Figura II.5.1.4-1**), estes estariam relacionados com reservatórios em rochas carbonáticas do Albiano Inferior da formação Guarujá, com reservas globais de 79 Bbl de óleo leve (40° a 45° API) e 2,160 BCF de gás natural (MULTIMIN, 2006):

- Campo de Tubarão -170 km da costa em lâmina d'água de 145 m - Óleo leve (48° API) e gás natural.
- Campo de Estrela do Mar – 12 km ao Sul de Tubarão - Óleo leve (43° API) e gás natural.
- Campo de Coral – 13 km ao Sul de Coral - Óleo leve (39,5° API) e gás natural.
- Campo de Caravela – 17 km ao Sul de Estrela do Mar - Óleo leve (40,2° API) e gás natural.
- Campo de Mexilhão que se encontra a 165 km do litoral de Caraguatatuba/SP, possuindo profundidades d'água com cerca de 500 m. – Gás natural e condensado.
- Campo de Merluza que se encontra localizado defronte ao município de Praia Grande/SP, a cerca de 180 km do continente. Gás natural e condensado.

Nos últimos anos foi identificada a presença de reservatórios carbonáticos e bioclásticos de origem microbial abaixo da camada de sal, cujos reservatórios passaram a ser denominados de “Reservatórios do Pré-sal”, por exemplo:

- Campo de Lula que se encontra a 227 km do litoral do Rio de Janeiro, lâmina d'água de 2100 m - Óleo (28 a 30° API) e gás natural.
- Campo de Sapinhola, 310 km distante da costa em lâmina d'água de 2100 m - Óleo (30° API) e gás natural .

O grau API é uma escala hidrométrica idealizada pelo American Petroleum Institute – API, juntamente com a National Bureau of Standards e utilizada para medir a densidade relativa de líquidos. O grau API é classificação dos óleos, e pode ser obtido pela fórmula:

$$^{\circ}\text{API} = (141,5/\rho) - 131,5$$

Onde:

ρ é a densidade específica do óleo (densidade do óleo/densidade da água). O grau API é medido na condição padrão de 25°C (68°F) e 1 atm (condição *standard*).

Portanto, quanto maior o grau API, mais leve será o petróleo e maior seu valor de mercado.

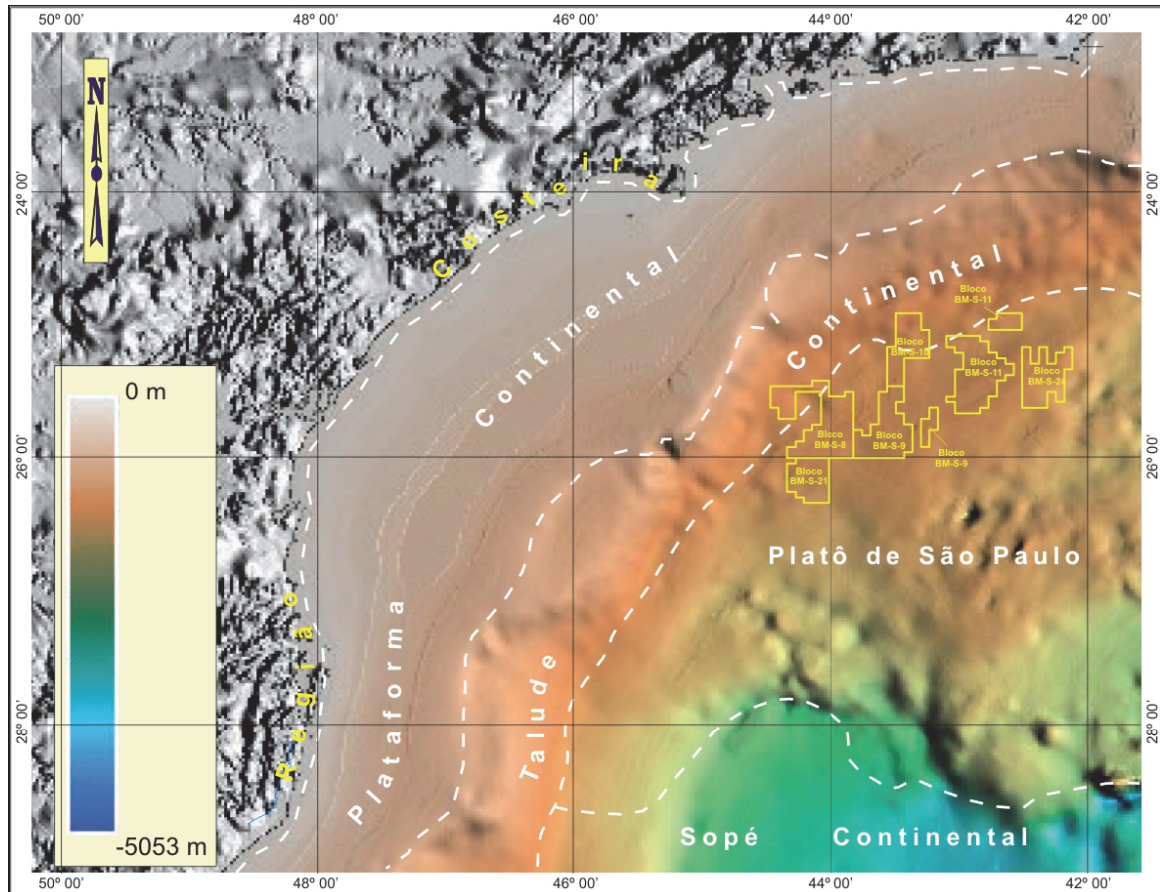
Características Fisiográficas Regionais

São identificadas cinco Unidades Fisiográficas na área da Bacia de Santos. A região considerada para este estudo está inserida no chamado Litoral Sudeste ou das Escarpas Cristalinas, as quais se estendem de Cabo Frio até o Cabo de Santa Marta (PETROBRAS/ICF, 2009).

Segundo Muehe (1998), a presença do embasamento junto à linha de costa é uma característica que inibe a formação de planícies costeiras neste compartimento, limitando sua ocorrência em áreas dos baixos cursos fluviais por “entulhamento sedimentar”, destacando-se as baías de Guanabara e de Sepetiba.

Verifica-se ao longo desse macrocompartimento a existência de cordões arenosos, geralmente ocorrendo como cordões duplos, dispostos paralelamente entre si e com depressão intra-cordões (MUEHE, 1998).

A **Figura II.5.1.4-14** apresenta as unidades fisiográficas existentes na Bacia de Santos.



Fonte: PETROBRAS/ICF, 2009.

Figura II.5.1.4-14 – Unidades fisiográficas principais da Bacia de Santos.

Região Costeira

No seu trecho Norte, que vai de Cabo Frio até Angra dos Reis, a área da costa varia entre tipo *ria* e costas baixas retificadas, com lagunas, por vezes totalmente colmatadas. As costas do tipo *ria* apresentam topografia continental montanhosa, com invasão do mar, gerando estuários e indentações irregulares, lagunas, baías, etc. Para Oeste de Cabo Frio, o desenvolvimento das planícies costeiras está associado a uma sucessão de cordões litorâneos, se estendendo até a Ilha de Marambaia (PETROBRAS/ICF, 2012).

No trecho entre Angra dos Reis e Santos, o relevo do tipo *ria* representa uma costa submergente, predominando pequenas enseadas e praias de bolso. Já o litoral de São Paulo pode ser dividido em duas áreas com características diversas: ao Norte, os pontões da Serra do Mar atingem o litoral em quase toda a sua

extensão (*ria*); ao Sul, grandes planícies costeiras são desenvolvidas por depósitos marinhos ou flúvio-lagunares. A mudança de uma província para outra ocorre de modo progressivo, com as planícies sendo separadas entre si por pontões do embasamento.

Na região entre Caraguatatuba e Cananéia verifica-se, de Norte para Sul, um aumento de superfície das planícies sedimentares quaternárias. No trecho entre Cananéia e Iguape, o aumento na extensão das planícies é considerado como resultado de uma diferenciação na dinâmica de deposição ou de uma diferenciação tectônica por flexura continental (SUGUIO, 1973). Além disso, o sistema de lagunas e rios nessa região se comunica com o oceano por meio de desembocaduras lagunares, formando assim quatro ilhas – Cardoso, Cananéia, Comprida e Iguape –, cada qual com características geomorfológicas distintas.

As praias da baixada santista e do litoral Sul paulista, de modo geral, são do tipo dissipativas, apresentando declividades de 1 a 5 graus. A praia de Ilha Comprida (Complexo Cananéia-Iguape) representa a feição de maior expressão. A planície litorânea ao longo da costa do Paraná possui largura máxima da ordem de 55 km, profundamente recortada por complexos estuarinos que deram origem a inúmeras ilhas (das Peças, do Mel, Rasa, da Cotinga e Rasa da Cotinga) e diversas baías, com destaque para baía de Paranaguá, a maior e mais importante. Esses complexos estuarinos, de maneira geral, são corpos de águas rasas (profundidades inferiores a 10 m) (PETROBRAS/ICF, 2012).

A costa de Santa Catarina, ao Sul, pode ser subdividida em três setores: setor Norte, com planícies costeiras de grande expressão e presença das baías de Guaratuba e São Francisco; setor intermediário, caracterizado por rochas cristalinas pré-cambrianas, seccionando a continuidade das planícies costeiras quaternárias, destacando-se a Ilha de Santa Catarina; setor Sul, até o município de Torres, identifica-se vasta planície costeira, com extensas lagunas e paleolagunas. Uma feição ainda a ser considerada, bastante característica da região, são os depósitos eólicos formados em diversas gerações (PETROBRAS/ICF, 2012).

Área Marinha

- *Plataforma Continental*

A plataforma continental brasileira, desde o Pleistoceno Superior até o Recente, passou por um grande processo de regressão (Wisconsiniana) seguida de um grande processo de transgressão (Flandriana), influenciando e determinando os processos que moldaram a topografia atual em toda a sua extensão (PETROBRAS/ICF, 2012).

A plataforma continental ao longo do litoral da Bacia de Santos se encontra consideravelmente ampla, com relevo suave e monótono. A exceção seria o trecho entre a Baía de Guanabara/RJ e São Sebastião/SP, devido à ocorrência de pontões de rochas cristalinas, normalmente dispostas obliquamente à linha de costa, chegando por muitas vezes até o mar, delimitando pequenas baías (BDT, 2006).

Os contornos batimétricos, de uma maneira geral, seguem bem de perto a linha de costa definindo uma superfície regular de grande amplitude regional com ausência de formas topográficas acrecionais ou erosivas (PETROBRAS/ICF 2012).

Na porção compreendida entre o Rio de Janeiro e Santos, a plataforma continental apresenta-se compartimentada em dois níveis – um interno e outro externo – separados por um declive intermediário pronunciado, com gradiente chegando até 1:200. Este desnível intermediário se alarga entre Santos e Florianópolis, igualando as amplitudes aos níveis interno e externo, estabelecendo uma plataforma média neste trecho (PETROBRAS/ICF, 2010).

A plataforma continental desse setor encontra-se recortada perpendicularmente por canais estreitos e rasos associados a regressões do nível do mar. A largura máxima da plataforma continental é verificada próximo à cidade de Santos, alcançando aproximadamente 230 km de extensão, ao passo que a mínima é verificada em frente à cidade de Cabo Frio com 50 km de extensão (PETROBRAS/ICF, 2012).

A quebra da plataforma ocorre entre 50 e 180 m de profundidade, sendo mais frequente entre 140 e 160 m. De fato, esta transição de plataforma seria melhor

definida como uma “zona de quebra” relativamente estreita, com largura máxima de 30 km (BOYER, 1969). O traçado também acompanha a linha de costa, ao passo que sua morfologia uniforme, convexa e arredondada, suaviza a passagem plataforma-talude.

A gênese e configuração deste trecho da plataforma continental estariam associadas a um tectonismo atuante durante o Terciário no Sudeste do continente Sul-americano, o qual provocou fraturamentos no embasamento cristalino (ASMUS & FERRARI, 1978; *apud* MUEHE & CARVALHO, 1993).

De acordo com Weissel (1990 *apud* MUEHE & CARVALHO, 1993), a configuração atual da plataforma seria o resultado de um modelamento erosivo pós-*rift*, ocorrido ao longo de zonas de fraturamento preexistentes ao soerguimento continental, anterior à abertura da bacia do Oceano Atlântico Sul.

- Talude Continental

O talude continental ao longo da área em estudo é caracterizado por um perfil geral convexo, com largura típica de moderada a ampla, além de baixos gradientes de declividade. Possui aproximadamente 2.200 km de extensão ao longo de toda região Sul. Apresenta ainda largura relativamente homogênea, entre 120 e 150 km (PETROBRAS/ICF, 2012).

A declividade do talude continental varia entre 0,5 a 2°, chegando a alcançar até 6 graus em algumas regiões.

De modo geral, essa província é compartimentada em talude superior e talude inferior, nem sempre muito evidente. O talude superior é caracterizado por ser mais estreito e íngreme, possui largura média de 13 km e declividades entre 2 e 4°. O talude inferior por sua vez é mais largo, variando de 100 até 140 km, apresentando declividades que variam de 0,3 a 1,5° (PETROBRAS/ICF, 2012).

O limite do talude inferior não é abrupto e sua transição para o sopé continental ocorre nitidamente de forma gradacional (BOYER, 1969). A profundidade desse limite inferior se dá entre 2.400 e 2.900 m, exceto nas áreas junto ao Platô de São Paulo, 2.000 m.

O relevo do fundo marinho do talude da Bacia de Santos é marcado pela presença de altos e baixos topográficos que são resultado da halocinese.

Halocinese é a movimentação de corpos salinos, originados em depósitos evaporíticos, penetrando e deformando camadas de rochas mais densas acima e produzindo estruturas dômicas (VIANA *et al.*, 2002). Diversos *pockmarks* (depressões circulares no fundo do mar) podem ser observados ao longo do talude, alcançando até 350 m de largura, podendo estar agrupados ou isolados. Cânions e ravinas ocorrem em menor quantidade no talude da Bacia de Santos, se comparado aos taludes das outras bacias da margem continental.

Na porção mais profunda estão presentes pequenos canais com larguras próximas a 2.500 m¹, sendo inativos e parcialmente preenchidos por sedimentos recentes (CALDER *et al.*, 2002).

- Platô de São Paulo

O platô de São Paulo representa uma das feições morfológicas de maior destaque na margem continental Sudeste brasileira, resultado de uma deformação da crosta e do manto superior situada diante à Bacia de Santos (GUIMARÃES *et al.*; 1982; KOWSMANN *et al.*, 1982; GORINI & CARVALHO, 1984; MACEDO, 1990; ALVES *et al.* 1997).

Trata-se de uma feição bastante ampla localizada desde a base do talude continental, numa profundidade de 2500 m, prolongando-se em direção a Leste até a profundidade de 3500 m, terminando em uma escarpa íngreme. O Platô de São Paulo é limitado ao Norte pela Cadeia Vitória-Trindade, e pela Dorsal de São Paulo ao Sul, enquanto a Leste seu limite coincide com o limite do sal Aptiano (GORINI & CARVALHO, *op. cit.*).

O Platô de São Paulo pode ser dividido em duas porções: Norte e Sul. A porção Norte possui forma regular, retangular que acompanha os contornos do talude continental com uma área aproximada de 70.000 km². As características relativas à feição de platô são pequenas, com larguras que variam entre 180 e 280 km e uma declividade entre 1:200 e 1:160. A Leste, o Platô é limitado pela

¹ O SGO (Sistema de Gerenciamento de Obstáculos) também é aplicado à Bacia de Santos, visando um mapeamento sistemático de obstáculos, naturais ou antrópicos, presentes na superfície e fundo marinho, tais como, dutos flexíveis e rígidos, manifolds, plataformas, árvores de natal, plets, feições batimétricas e áreas que delimitam levantamentos sísmicos.

faixa de ocorrência de estruturas salinas. O relevo é moderado, possuindo declividade uniforme, com feições morfológicas de maior expressão, observadas por quatro cânions que o atravessam (ZEMBRUSCKI, 1979).

Na porção Sul, o Platô de São Paulo encontra-se bem delineado, com forma irregular, ocupando uma área de 212.350 km², limitada pelo talude continental inferior a 2.000 m, a 3.200 m a Leste e 3.600 m de profundidade ao Sul. A largura máxima alcança até 500 km, com declividades entre 1:400 e 1:600. Esta área é dividida por uma escarpa pouco íngreme com gradiente que varia entre 6° e 10°, a qual se encontra em profundidades diferentes, constituindo dois patamares, o inferior e o superior. O relevo apresenta-se ondulado, intumescido e fortemente influenciado pela movimentação de diápiros de sal (ZEMBRUSCKI, *op cit.*; GORINI & CARVALHO, 1984).

- Sopé Continental

O sopé continental na área de estudo ocorre em dois setores meridionais, ao passo que no setor Embaio de São Paulo apenas uma mínima parte de sua porção proximal está inserida. Caracteriza a passagem entre o relevo abrupto dominado pela transferência de sedimentos terrígenos característicos do talude continental para um ambiente oceânico abissal, distante de todo aporte sedimentar da margem. A extensão do sopé varia entre 220 e 750 km atingindo, na sua porção mais externa, profundidades superiores a 3.000 m na área de interesse, com declividades da ordem de 1:150 a 1:400 (ZEMBRUSCKI, 1979).

Caracterização Faciológica dos Sedimentos (Escala Regional)

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

A fácies principal dos sedimentos carbonáticos na plataforma externa entre Cabo Frio e Santos são areias de recifes de algas e misturas de foraminíferos bentônicos, moluscos e briozoários. Ao Norte de Santos predominam

composições ricas em recifes de algas e briozários, assim como seus produtos de desagregação. A contribuição desse tipo de carbonato diminui para o Sul (KEMPH, 1972 *apud* KOWSMANN & COSTA, 1979; ROCHA *et al.*, 1975 *apud* KOWSMANN & COSTA, 1979).

De acordo com Rocha *et al.* (1975 *apud* KOWSMANN & COSTA, 1979), entre o Rio de Janeiro e Ilha de São Sebastião, verifica-se abaixo da isóbata de 50 m uma grande área de sedimentos finos, sobretudo areias e siltes argilosos, enquanto abaixo da isóbata de 110 m, os sedimentos voltam a apresentar um caráter mais arenoso.

Os depósitos lagunares costeiros localizados na plataforma média entre Santos e Arroio Chuí, constituem uma extensa fácies lamosa com predominância de silte e argila. Ao Sul de Santos as lamelas chegam próximas do talude continental, e ao Norte de Florianópolis avançam até a plataforma interna. No trecho entre Santos e Cabo Frio a ocorrência já não é tão contínua, ainda que essas lamelas mantenham o caráter de unidade faciológica destacada.

À medida que se afasta da costa em direção a zonas mais profundas, o teor de lama nos sedimentos aumenta, sendo maior do que 50% ao longo da isóbata de 70 m. Da mesma maneira, apesar da pequena quantidade, amostras coletadas na plataforma ao longo do Estado do Paraná indicam um aumento progressivo no teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) com a profundidade. Na costa do Paraná e Santa Catarina, as areias da plataforma interna são quartzosas, bem selecionadas e ricas em material biodetrítico. Nas enseadas predominam silte e areia muito fina (PETROBRAS/ICF, 2010).

Vale salientar que os depósitos superficiais de areia, lama e *beach rock* na plataforma interna, média e externa apresentam-se no estágio diagenético I de Strakhov (1953), que, segundo Suguio (2003), “iniciam-se sob temperaturas ambientes, sem aumento ponderável da pressão litostática devido à superposição de sedimentos mais novos.

Deste modo, a redução de óxidos (ou hidróxidos) férricos pela matéria orgânica ou a expulsão da água em sedimentos lamosos processam-se praticamente sob condições superficiais. Isto se deve à restrição para livre circulação dos fluidos intersticiais e, eventualmente, até a completa inibição em sedimentos mais pelíticos.

A migração das substâncias mais solúveis processa-se principalmente através da difusão, que constitui um fenômeno muito lento de transferência de materiais. Ainda neste estágio, principalmente quando em presença de matéria orgânica, os fluidos intersticiais adquirem propriedades redutoras (Eh negativo). A cimentação de areias pode ser observada localmente por influência da água subterrânea. Embora de natureza restrita, a cimentação muito conspícua de areias em fase de diagênese precoce é verificada em rochas praias

Caracterização Geotécnica Regional

O assoalho submarino ao longo da plataforma continental pode ser considerado estável, com movimentos de massa de origem gravitacional ocorrendo em zonas de quebra da plataforma, talude continental e sopé continental (PETROBRAS/ICF, 2012).

Os movimentos de massa estão associados a todos os processos de ressedimentação, os quais transportam sedimentos de águas rasas para águas profundas sobre o assoalho oceânico. Por meio de forças gravitacionais, tais movimentos englobam deslizamentos submarinos de grandes blocos de sedimentos, correntes de turbidez e fluxo de detritos (PETROBRAS/ICF, 2012).

Segundo Esteves (1996), o caráter contínuo dos processos de deslizamentos e fluxo pode estar relacionado a processos iniciais de instabilidade dos sedimentos, associados a vários 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, entre outros.

Por meio de levantamentos sísmicos de alta resolução (3,5 khz), Silva *et al.* (1999), identificaram, sobretudo no Talude Continental, feições de movimentos de massa atuantes na região Centro-Sul da Bacia de Santos. Cabe ressaltar que da área do Pré-Sal, somente a porção Norte do Bloco BM-S-10 e a porção Noroeste do Bloco BM-S-8 estão localizadas neste Domínio, restando a maior parte no Domínio do Platô Marginal.

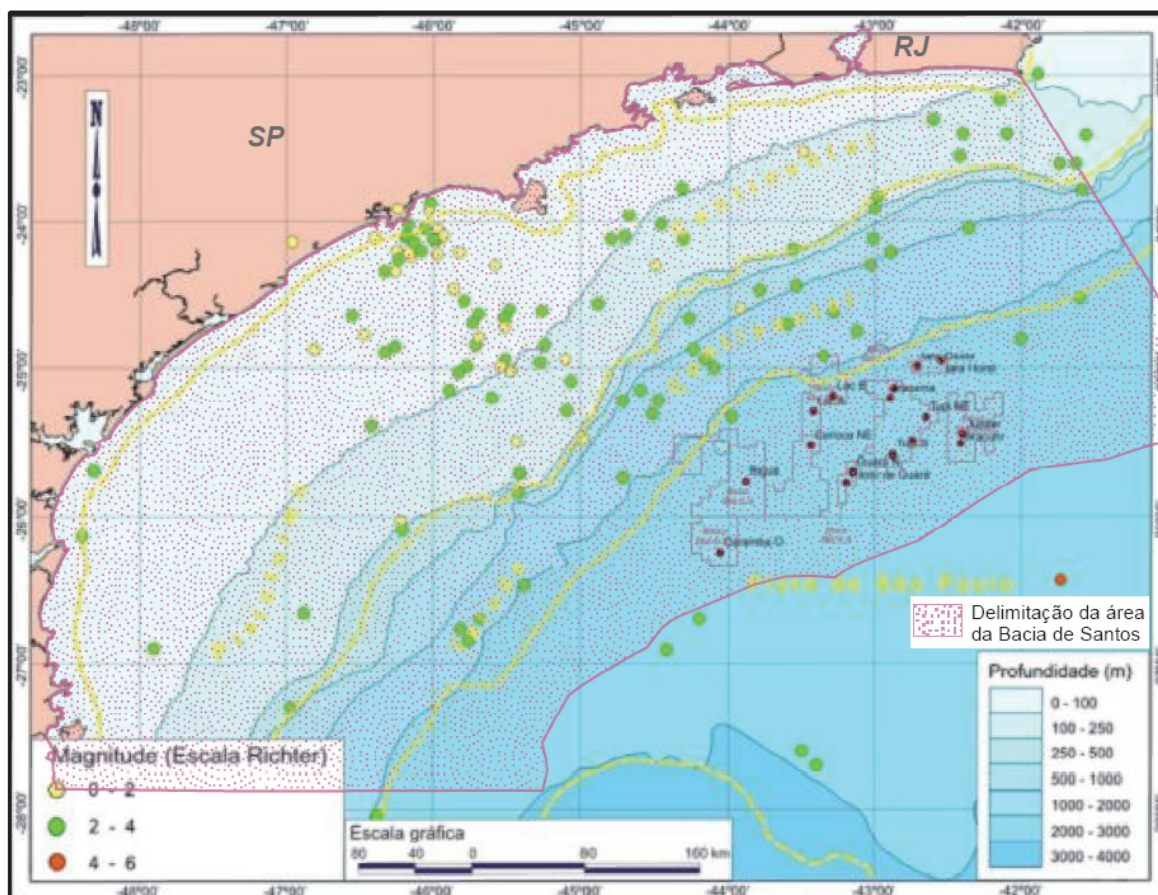
Segundo o Setor de Geodésia da PETROBRAS, não há registros de que as operações de exploração e produção tenham causado instabilidade no assoalho oceânico em toda a margem continental brasileira. Não há indícios de rastejo

(*creep*) ocasionado pelas atividades de exploração e produção nos poços da Bacia de Santos.

Sismicidade Regional

De acordo com os registros históricos, o padrão de sismicidade verificado na Bacia de Santos é característico para áreas intraplacas tectônicas, ou seja, tectonicamente pouco ativas. Trata-se de ocorrências com pequenas magnitudes (<6,0), com hipocentro geralmente ocorrendo a baixas profundidades (<30 km – são considerados rasos, terremotos com focos situados entre 0 e 70 km), os quais podem ser sentidos apenas a poucos quilômetros do epicentro (PETROBRAS/ICF, 2012).

O mapa de sismicidade (**Figura II.5.1.4-15**) apresenta a distribuição epicentral da Bacia de Santos. Nota-se na figura um conjunto de eventos sísmicos com magnitudes variando entre 2,0 e 5,2 (graus na escala Richter), com maior concentração de focos epicentrais ocorrendo nos domínios da Plataforma Continental e Talude (PETROBRAS/ICF, 2012). Vale destacar a pouca ou limitada ocorrência de eventos sísmicos com focos epicentrais no pólo Pré-sal da bacia de Santos e, os poucos que ocorreram, apresentam magnitudes inferiores a 4 graus na escala Richter.



Fonte: adaptado de IAG – USP.

Figura II.5.1.4-15 – Mapa de Sismicidade da Bacia de Santos.

Devido à imprecisão em determinar os epicentros da maioria dos sismos ocorridos, não é possível realizar correlações seguras entre a distribuição espacial da atividade sísmica e as estruturas tectônicas com potencial sísmico existentes na região. Apesar de se admitir que os sismos de origem tectônica possam estar relacionados à reativação de falhas antigas, de fato a relação de distribuição epicentral da sismicidade observada na **Figura II.5.1.4-15** pode ser considerada como uma atividade difusa, não sendo possível qualificar as falhas e outras estruturas tectônicas preexistentes como fontes tectônicas ativas (PETROBRAS/ICF, 2012).

A atividade sísmica que apresenta magnitude elevada possui um intervalo de recorrência muito grande, o qual pode ser inferido por meio da distribuição temporal frequência/magnitude $\text{Log } \Sigma N$, com os resultados apresentados 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**) (PETROBRAS/ICF, 2012).

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

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

Fonte: Petrobras/ICF, 2010.

Apesar de significativo, o nível de atividade nas Bacias Marginais do Sudeste Brasileiro – Espírito Santo, Campos e Santos – não alcançam magnitudes tão elevadas, não sendo identificado até o momento, qualquer movimento gravitacional associado à sismicidade nas bacias do Sudeste brasileiro ou qualquer acidente envolvendo instalações da PETROBRAS dispostas no solo oceânico (PETROBRAS/ICF, 2012).

Pertinente salientar que a PETROBRAS, através da Rede Temática de Estudos Geotectônicos, firmou convênio com o Observatório Nacional para implantação de uma rede sismográfica na margem Sul-Sudeste estendendo-se do Espírito Santo a Santa Catarina. Essa rede de monitoração já consta com 12 estações em operação e esta previsto sua expansão para o próximo ano colocando-se mais 4 estações no continente e outras 4 em ilhas oceânicas. Em paralelo, 6 OBS's (Ocean Bottom Seismometers) serão instalados para monitorar a atividade sísmica offshore nas Bacias de Pelotas, Santos, Campos e Espírito Santo, permitindo também uma melhor triangulação e, dessa forma, uma menor margem de erro na determinação epicentral.

Mapa Batimétrico/Faciológico

O Mapa Batimétrico/faciológico regional referente à área do Polo Pré-Sal, bem como as feições geomorfológicas, estão apresentados na **Figura II.5.1.4-16**. Vale salientar que para a confecção deste mapa foram compiladas informações do Projeto REMAC (1979) e da Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN, de modo a garantir a confiabilidade dos dados apresentados ainda foram agregados ao mapa dados de amostras geológicas representativas.



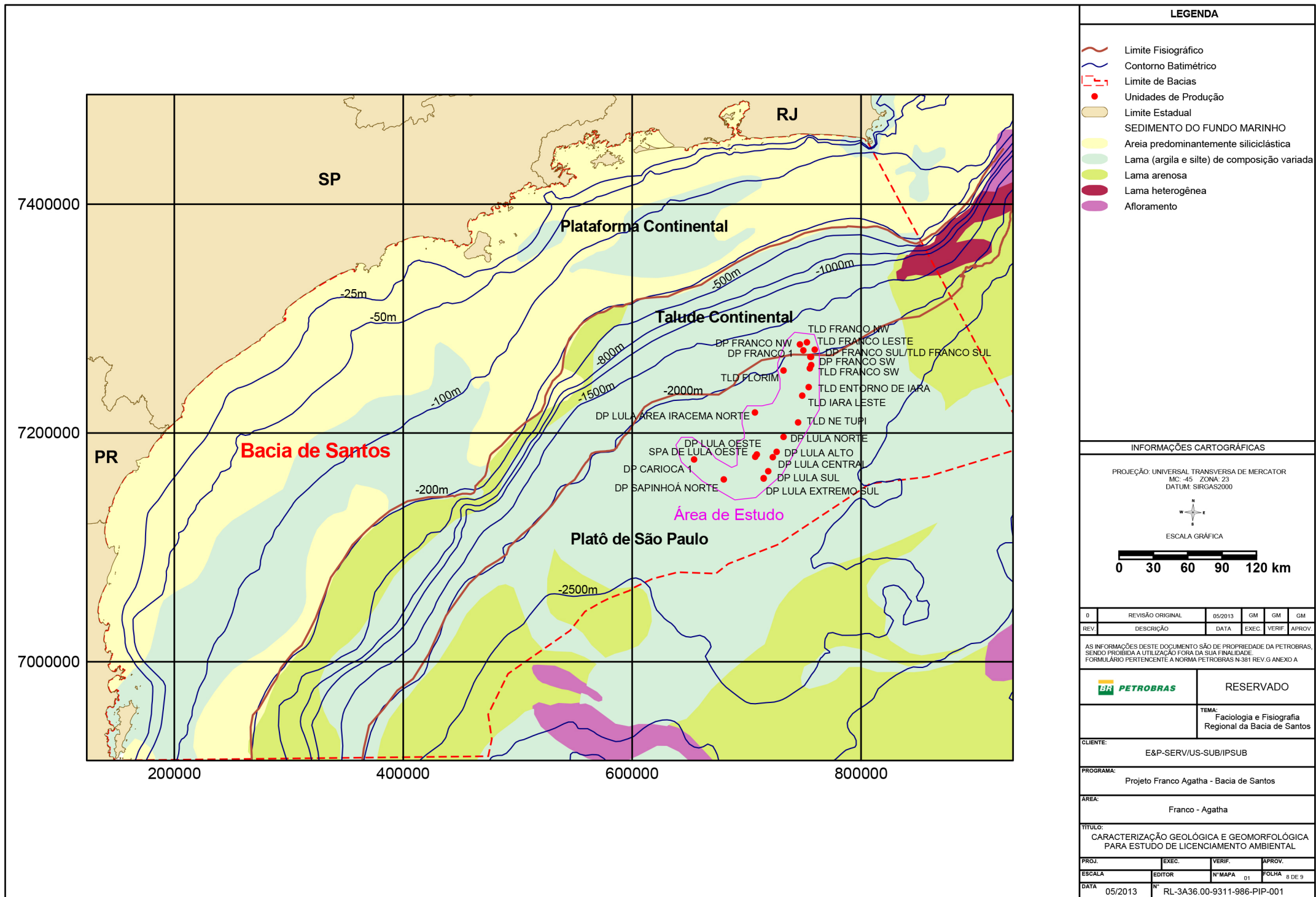


Figura II.5.1.4-16 – Caracterização geológica e geomorfológica
 Fonte: PETROBRAS, 2013c

B) Caracterização Geológica e Geomorfológica da Área do Empreendimento

A caracterização geológica e geomorfológica foi realizada com base nos dados primários coletados durante a execução dos levantamentos geológico e geofísico da Região do Pré-Sal. Estes levantamentos visaram analisar a geologia do fundo e do sub-fundo marinho, buscando investigar a existência de impedimentos naturais e antrópicos que pudessem representar riscos para as atividades de produção e escoamento de petróleo e gás natural nessa região.

As informações foram integradas e resumidas a partir dos seguintes estudos elaborados pela PETROBRAS:

- Levantamento Geológico e Geofísico no Campo de Carioca, Bacia de Santos (PETROBRAS, 2010);
- Caracterização Geológica e Geomorfológica para estudo de licenciamento ambiental - Campo de Sapinhoá (PETROBRAS, 2009);
- Estudo de Impacto Ambiental (EIA) – Projetos Integrados de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural no Polo Pré-Sal, Bacia de Santos, realizado pela consultora ICF Consultoria do Brasil Ltda. (PETROBRAS/ICF, 2012);
- Dados geotécnicos para instalação do gasoduto 24” Extensão Rota 3 – Trecho Profundo (PETROBRAS, 2013a);
- Caracterização Geológica e Geomorfológica para estudo de licenciamento ambiental- Pólo Pre-sal - Etapa 2 (PETROBRAS, 2013b);
- Modelagem determinística espacial de estabilidade de taludes usando uma abordagem em SIG para o gasoduto Rota 3 (PETROBRAS, 2013c).

Considerações Gerais

A região do Projeto Etapa 2 foi alvo de levantamento de dados geofísicos realizados através de veículo autônomo submarino AUV (*autonomous underwater vehicle*), contemplando a sísmica de alta resolução (*SBP - Sub Bottom Profile* – perfilador de subfundo), sonar de varredura lateral (*SSS – Side Scan Sonar*) e batimetria multifeixe (*Multibeam*), amostragens geológicas, conforme observado

na **Figura II.5.1.4-18**, além de ensaios geotécnicos que subsidiaram diversos estudos e ensaios geotécnicos que subsidiaram diversos estudos. Esses estudos auxiliaram na definição da rota dos dutos, para que os mesmos fossem traçados em áreas de maior favorabilidade, ou seja, distantes da presença de feições de fundos que pudessem afetar a integridade dos dutos.

De acordo com os levantamentos geofísicos de alta resolução realizados nas diretrizes dos dutos mencionados, não foram identificadas feições de fundo ativas na região. A **Tabela II.5.1.4-2**, apresenta a configuração dos equipamentos utilizados nestes levantamentos.

Tabela II.5.1.4-2 - Equipamentos utilizados nos levantamentos geofísicos de alta resolução.

	EQUIPAMENTOS		
	Multifeixe	Sonar	SBP
Frequência (kHz)	200	120	1 a 6
Range (m)	-----	225 por canal	150
Linhas de Escala (m)	-----	150 metros	20 metros
Ping Rate	10 kHz (10 vezes/s)	-----	-----
Abertura do feixe (graus)	150	-----	-----
Delay (m)	0	0	Variable in meters
Altura média de vôo: AUV = 40 metros			

Geologia Estrutural Local

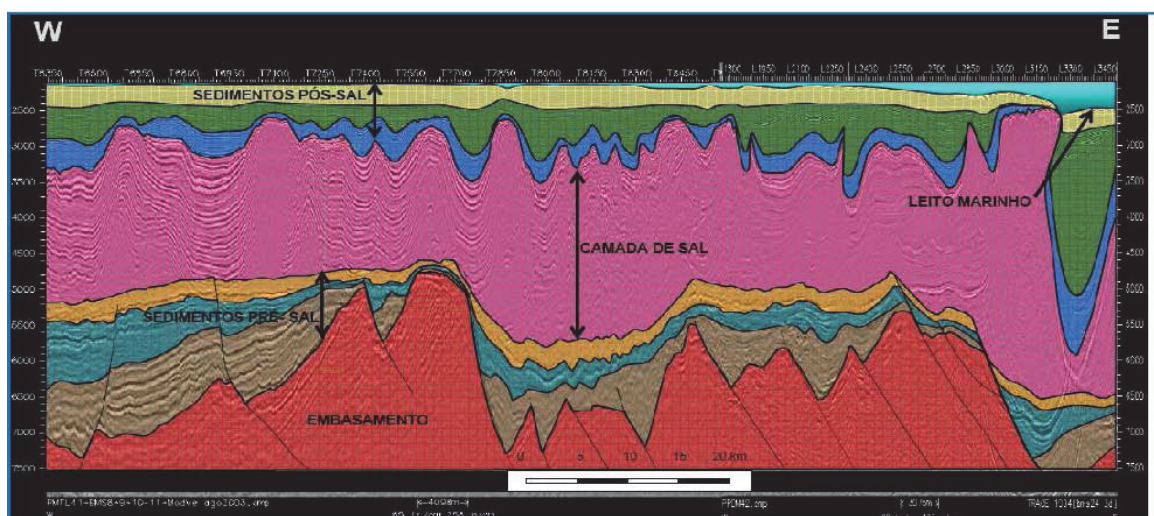
A região do empreendimento está localizada na porção Centro-Norte do Platô de São Paulo, próximo ao limite com o talude continental, no limite das sub-bacias denominadas de Embaiamento Norte e Embaiamento Sul, na Zona de Transferência de Curitiba.

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

O traçamento de petróleo é predominantemente de natureza estrutural. O selo é dado por uma espessa camada de sais evaporíticos, com cerca de 2.000 m de espessura. No alto estrutural, correspondente a acumulação de

hidrocarbonetos da área de Tupi, não são visualizadas descontinuidades da camada de sal, que poderia constituir-se em zonas de escape de hidrocarbonetos para os reservatórios superiores.

Com relação à tectônica salífera, a área está posicionada dentro do domínio compressional, com predomínio de grandes paredes de sal e mini bacias na sua porção Noroeste e diápiros e estruturas compressionais com dobras assimétricas na porção Sudeste. Os domos nesta área chegam a ser perfurantes em relação às sequências posteriores, mas não chegam a aflorar no fundo do mar (**Figura II.5.1.4-17**).



Fonte: Modificado de Mohriak *et al* (1995b).

Figura II.5.1.4-17 – Seção estratigráfica típica da área do Polo Pré-Sal, ilustrando feições halocinéticas relacionadas à progradação clástica maciça, formando diápiros de sal em águas profundas.

Estratigrafia Local

Na região do empreendimento, a estratigrafia é representada pelas seguintes fácies sedimentares:

- Sedimentos de idade Terciária (formação Marambaia), representados por uma espessa seção argilitos e folhelhos com intercalações de arenitos finos;

- Sedimentos de idade Senoniana (Fácies Itajaí predominantemente) caracterizados por espessa seção pelítica de idade Cenomaniana e Maastrichtiana;
- Sedimentos de idade Albiana/Cenomaniana representados por folhelhos, margas e calcilutitos de ambiente distal (Fácies Itanhaém e Guarujá);
- Sequência Evaporítica Aptiana (formação Ariri);
- Calcilutitos e coquinas do topo da sequência *rift* correlatas as coquinas reservatórios da formação Lagoa Feia (Bacia de Campos) sobrepostos a folhelhos e arenitos da formação Guaratiba;
- Basaltos da formação Camboriú.

Fisiografia Local

A área do empreendimento está localizada na porção sul do Platô de São Paulo (**Figura II.5.1.4-14**), nas proximidades da Dorsal de São Paulo (limite sul do platô). Conforme descrito no item de fisiografia regional, nesta área, a largura total da crosta distendida durante o rifteamento assume uma dimensão mais ampla quando comparada ao restante da margem (400 a 500 metros) e o relevo apresenta-se ondulado, intumescido e fortemente influenciado pela movimentação de diápiros de sal (ZEMBRUSCKI, *op cit.*; GORINI & CARVALHO, 1984).

Descrição dos Sedimentos de Fundo da Área do Empreendimento

O solo marinho (faciologia) na área do Polo Pré-Sal é composto predominantemente por uma sedimentação lamosa hemipelágica (lama normalmente adensada). Entende-se por lama neste estudo como uma mistura em quaisquer proporções de sedimentos de granulometria nas frações argila e silte com maior ou menor percentual de carbonato de cálcio em sua composição. De acordo com os testemunhos geológicos profundos e rasos adquiridos na área de estudo, ilustrados na **Figura II.5.1.4-18**, esta lama tem composição variando entre rica a muito rica em carbonato (marga), ou seja, teor de carbonato de cálcio variando de 18 a 60% (PETROBRAS, 2013b).

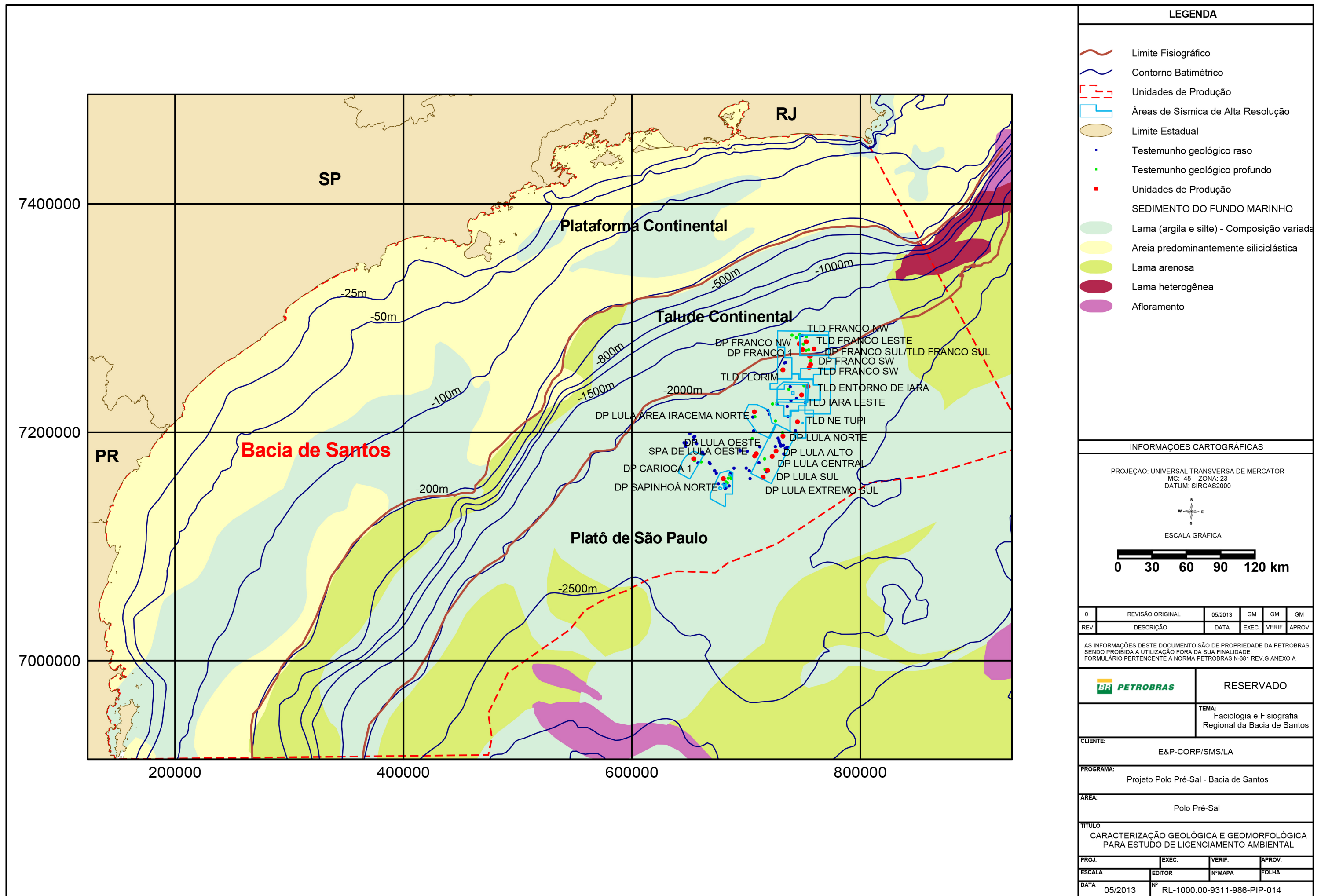


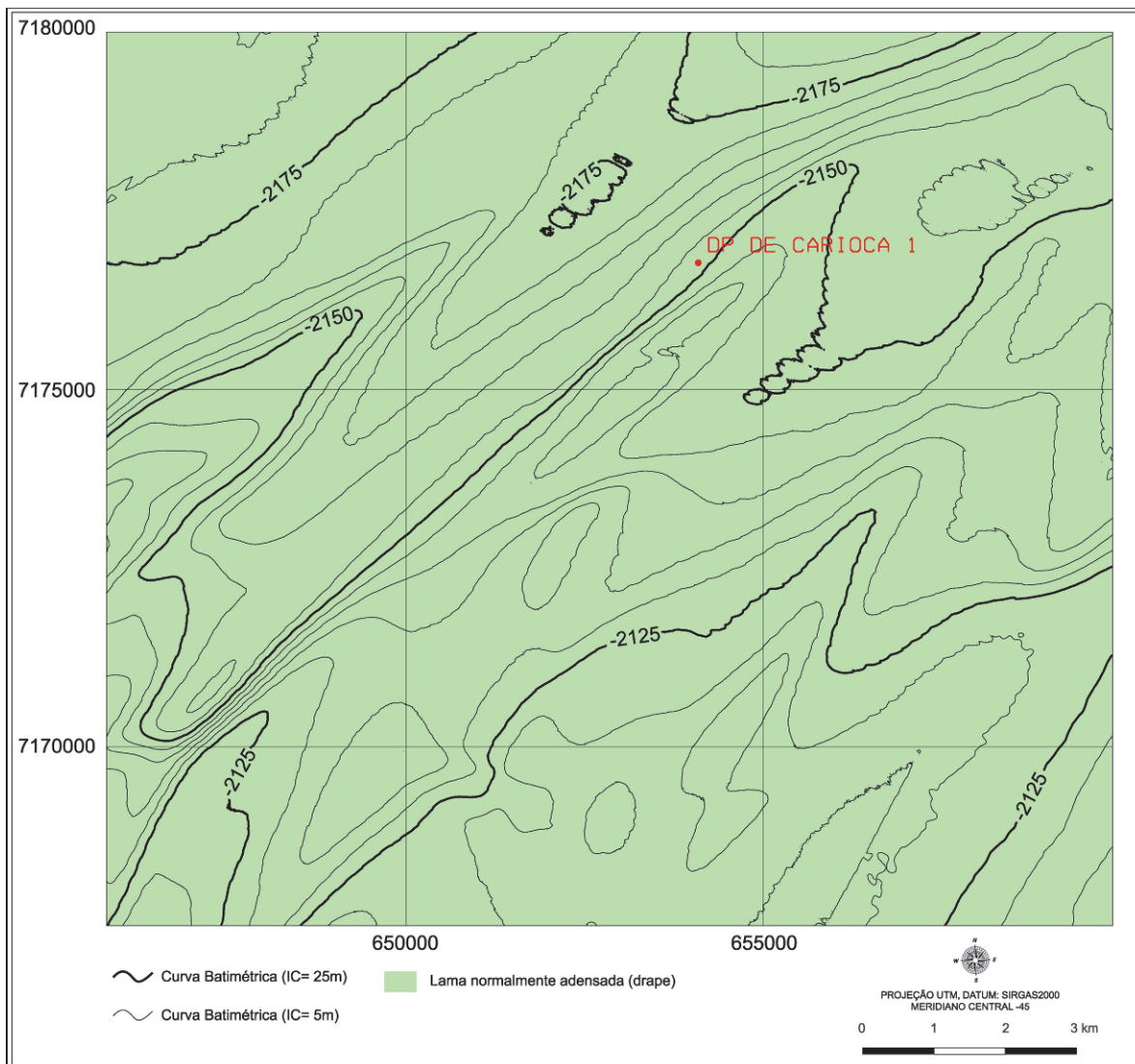
Figura II.5.1.4-18_A3 - Mapa faciológico regional com amostras e limite
 Fonte: PETROBRAS, 2013c

A lama tem Idade Plestocênica Superior a Holocênica e está depositada em forma de camada homogênea (drape) contínua, recobrando sedimentos mais antigos, como por exemplo: movimentos de massa e lama pré-adensada (PETROBRAS, 2013b).

Na área de estudo ocorrem, localmente, pequenas áreas de lama mais rija (lama pré-adensada) subaflorantes. Estes fácies apresentam pequena espessura de drape e foram soerguidas devido a movimentação dos corpos salinos (PETROBRAS, 2013b).

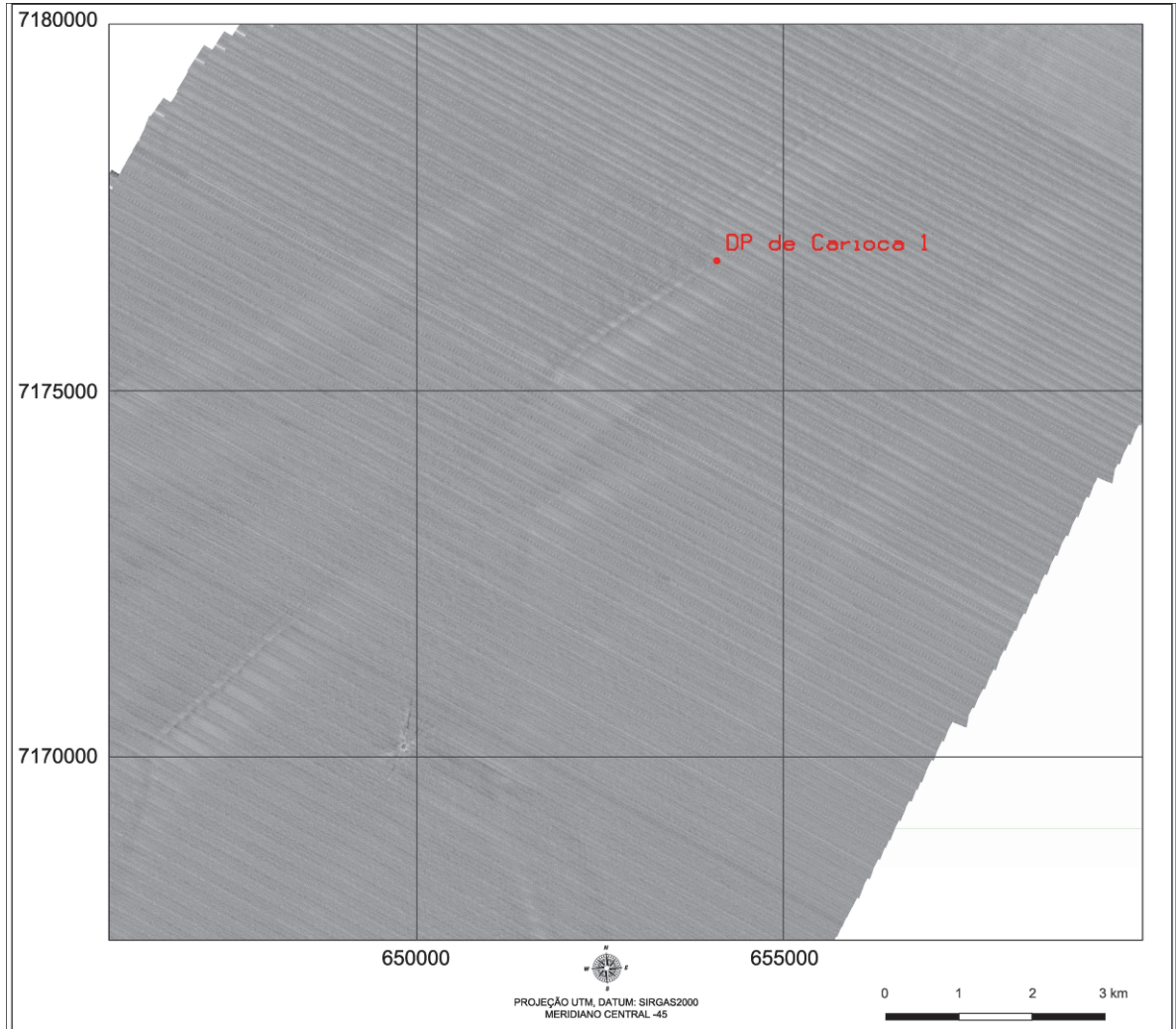
Na sequência são apresentados mapas batimétricos e faciológicos dos blocos georreferenciados, em escala compatível com as feições geomorfológicas ilustradas, e imagens de sonar de varredura lateral, para indicar a presença ou ausência, de recifes de corais (incluindo corais de águas profundas) e bancos de algas na área afetada.

A **Figura II.5.1.4-19** mostra o mapa faciológico, a **Figura II.5.1.4-20** o mosaico do sonar de varredura lateral, a **Figura II.5.1.4-21** a batimetria multifeixe e a **Figura II.5.1.4-22** o perfil de subfundo da área do DP de Carioca 1. Tais imagens indicam a ausência de feições indicativas ou sugestivas (alvos refletivos) da presença de bancos de corais na região (PETROBRAS, 2013b).



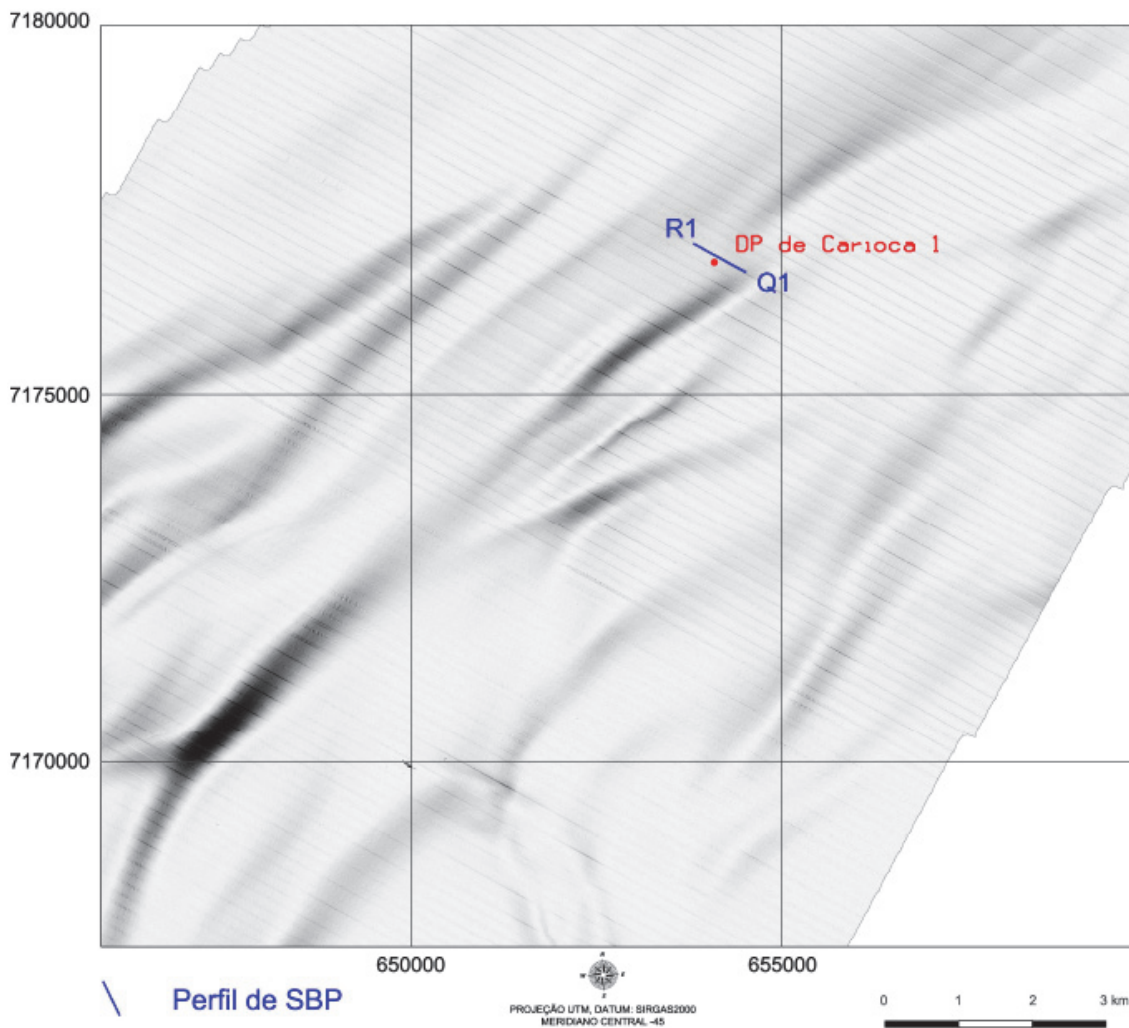
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-19 – Mapa Faciológico da Área do DP de Carioca 1 (Polo Pré-Sal).



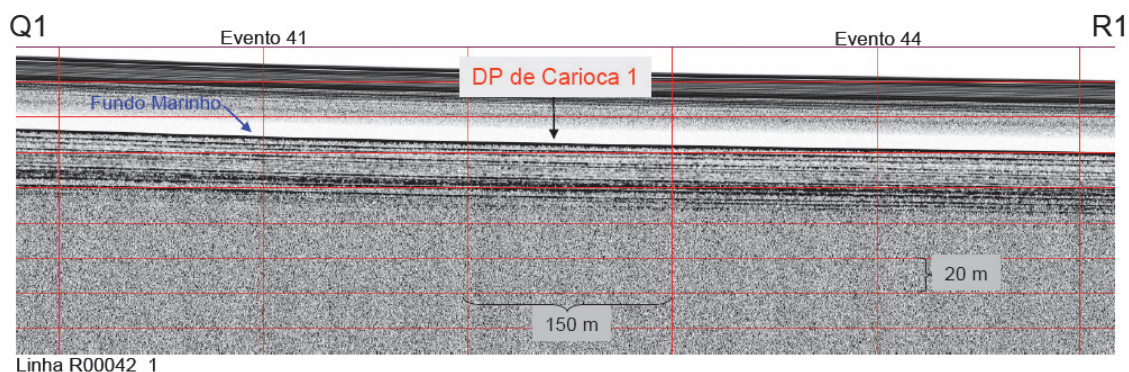
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-20 – *Imagem de mosaico de sonar de varredura lateral na Área do DP de Carioca 1 (Polo Pré-Sal).*



Fonte: PETROBRAS (2013b).

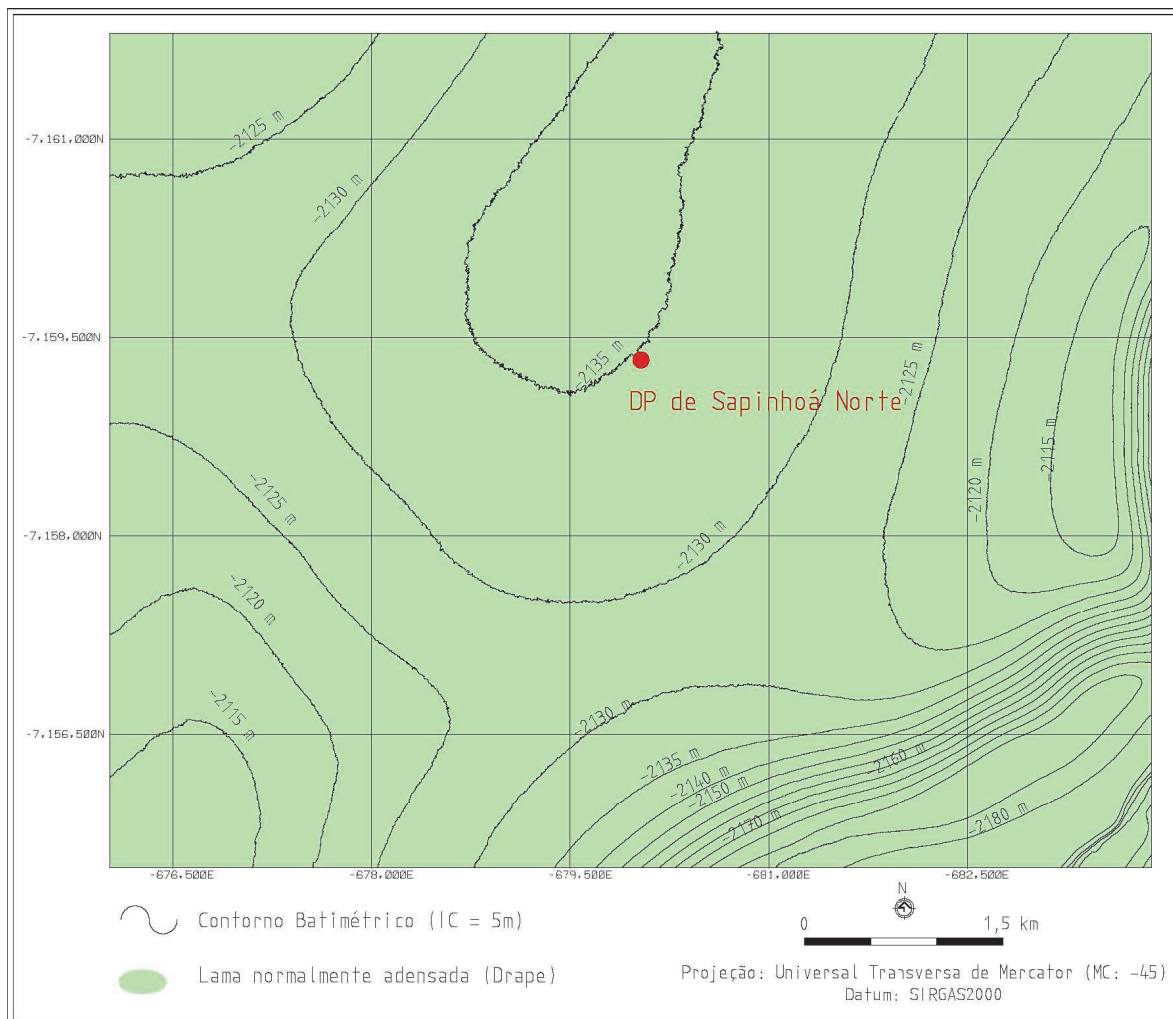
Figura II.5.1.4-21 – Imagem de edge (proveniente da batimetria de multifeixe) na Área do DP de Carioca 1 (Polo Pré-Sal).



Fonte: PETROBRAS (2013b).

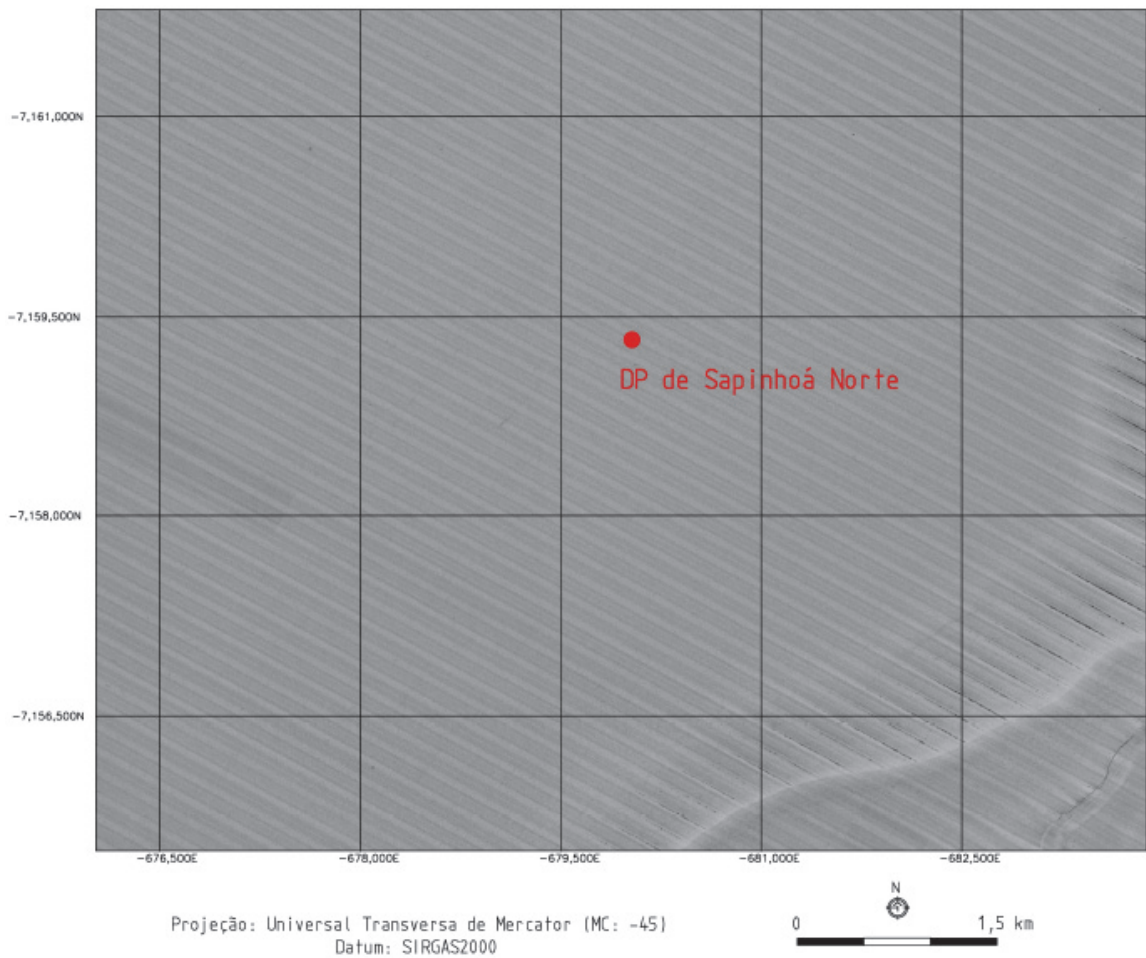
Figura II.5.1.4-22 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do DP de Carioca 1 (Polo Pré-Sal).

A **Figura II.5.1.4-23** mostra o mapa faciológico, a **Figura II.5.1.4-24** o mosaico do sonar de varredura lateral, a **Figura II.5.1.4-25** a batimetria multifeixe e a **Figura II.5.1.4-26** o perfil de subfundo da área do DP de Sapinhoá Norte. Tais imagens atestam a ausência de feições indicativas ou sugestivas (alvos refletivos) da presença de bancos de corais na região (PETROBRAS, 2013b). Esta ausência é comprovada por meio de imagens de ROV apresentadas na **Figura II.5.1.4-27**.



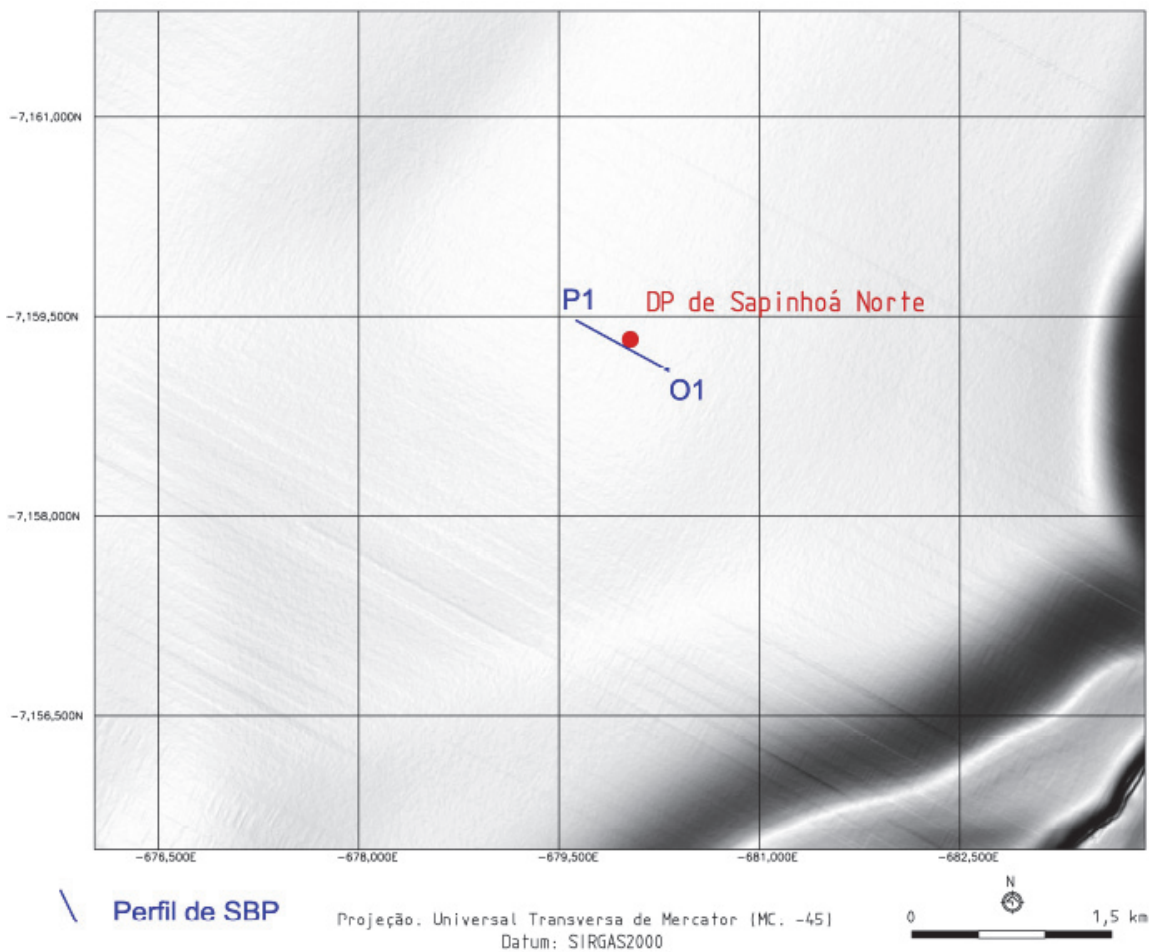
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-23 – Mapa Faciológico da Área do DP de Sapinhoá Norte (Polo Pré-Sal).



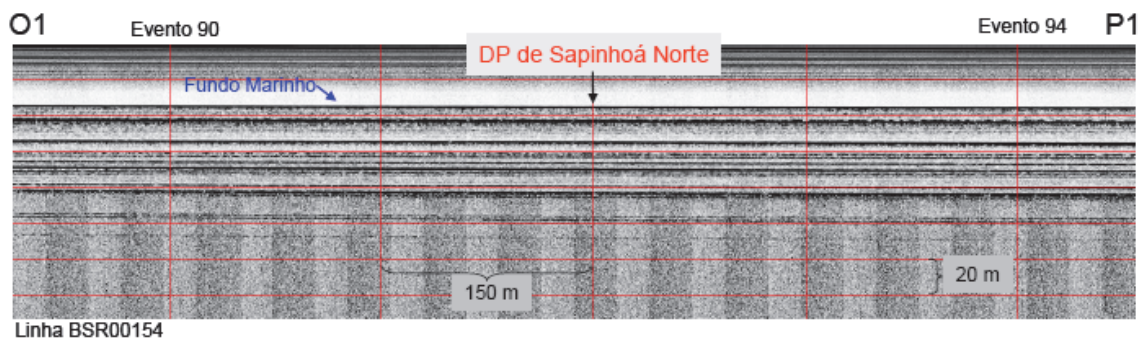
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-24 – Imagem de mosaico de sonar de varredura lateral na Área do DP de Sapinhoá Norte (Polo Pré-Sal).



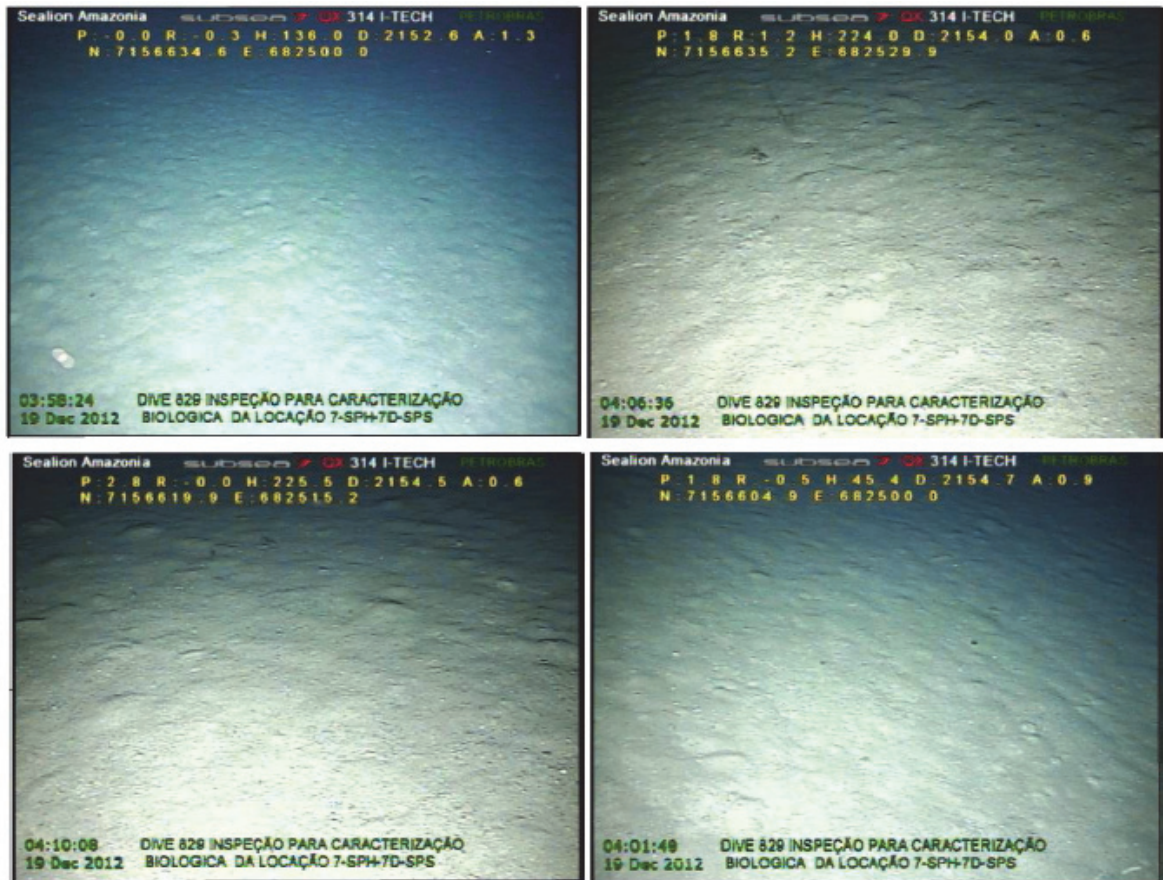
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-25 – Imagem de edge (proveniente da batimetria de multifeixe) na Área do DP de Sapinhoá Norte (Polo Pré-Sal).



Fonte: PETROBRAS (2013b).

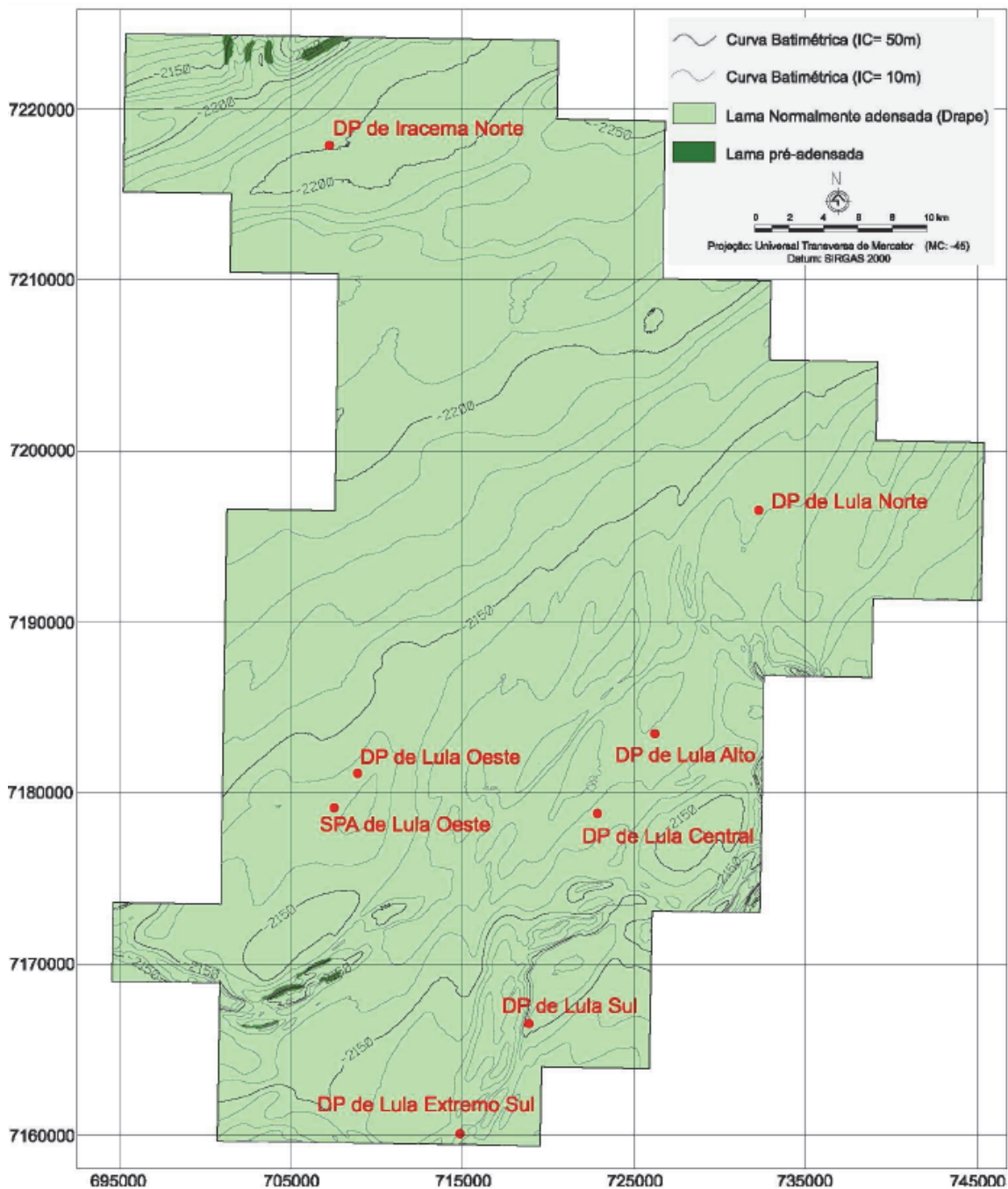
Figura II.5.1.4-26 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do DP de Sapinhoá Norte (Polo Pré-Sal).



Fonte: PETROBRAS (2013b).

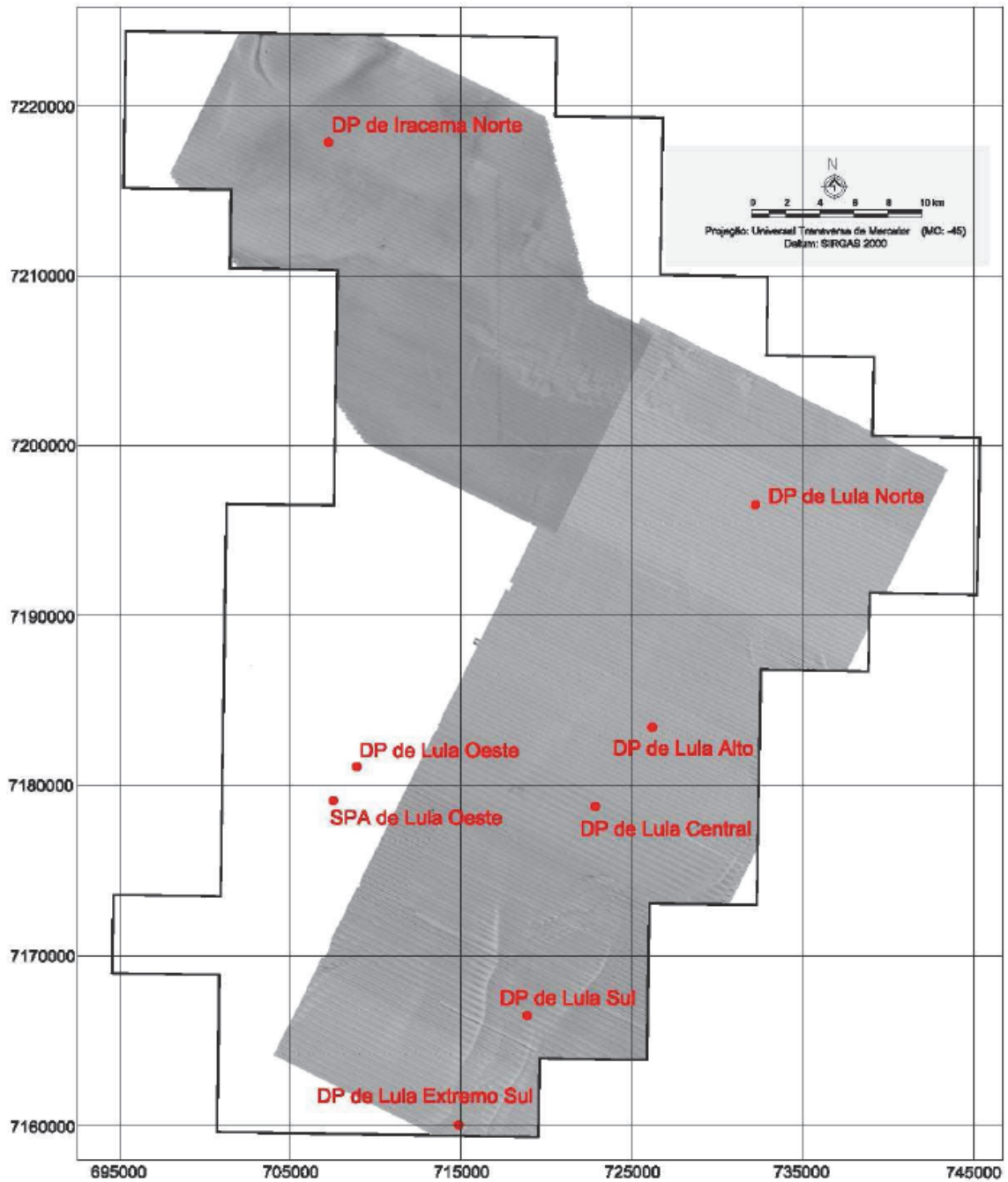
Figura II.5.1.4-27 – *Imagens de ROV indicando fundo marinho lamoso, sem a ocorrência de coral de água profunda na área próxima ao DP de Sapinhoá Norte.*

A **Figura II.5.1.4-28** mostra o mapa faciológico, a **Figura II.5.1.4-29** o mosaico do sonar de varredura lateral e a **Figura II.5.1.4-30** a batimetria multifeixe das Áreas de Lula e Iracema. Da **Figura II.5.1.4-31** até a **Figura II.5.1.4-36** mostram o perfil de subfundo da área do DP de Lula Norte, Lula Alto, Lula Central, Lula Sul, Lula Extremo Sul e Iracema Norte, respectivamente. A **Figura II.5.1.4-37** mostra o perfil sísmico 3D nas áreas do DP de Lula Oeste e do SPA de Lula Oeste. Tais imagens indicam a ausência de feições indicativas ou sugestivas (alvos refletivos) da presença de bancos de corais na região (PETROBRAS, 2013b). Esta ausência é comprovada por meio de imagens de ROV apresentadas na **Figura II.5.1.4-38** e na **Figura II.5.1.4-39** para as áreas de Lula e Iracema Norte, respectivamente.



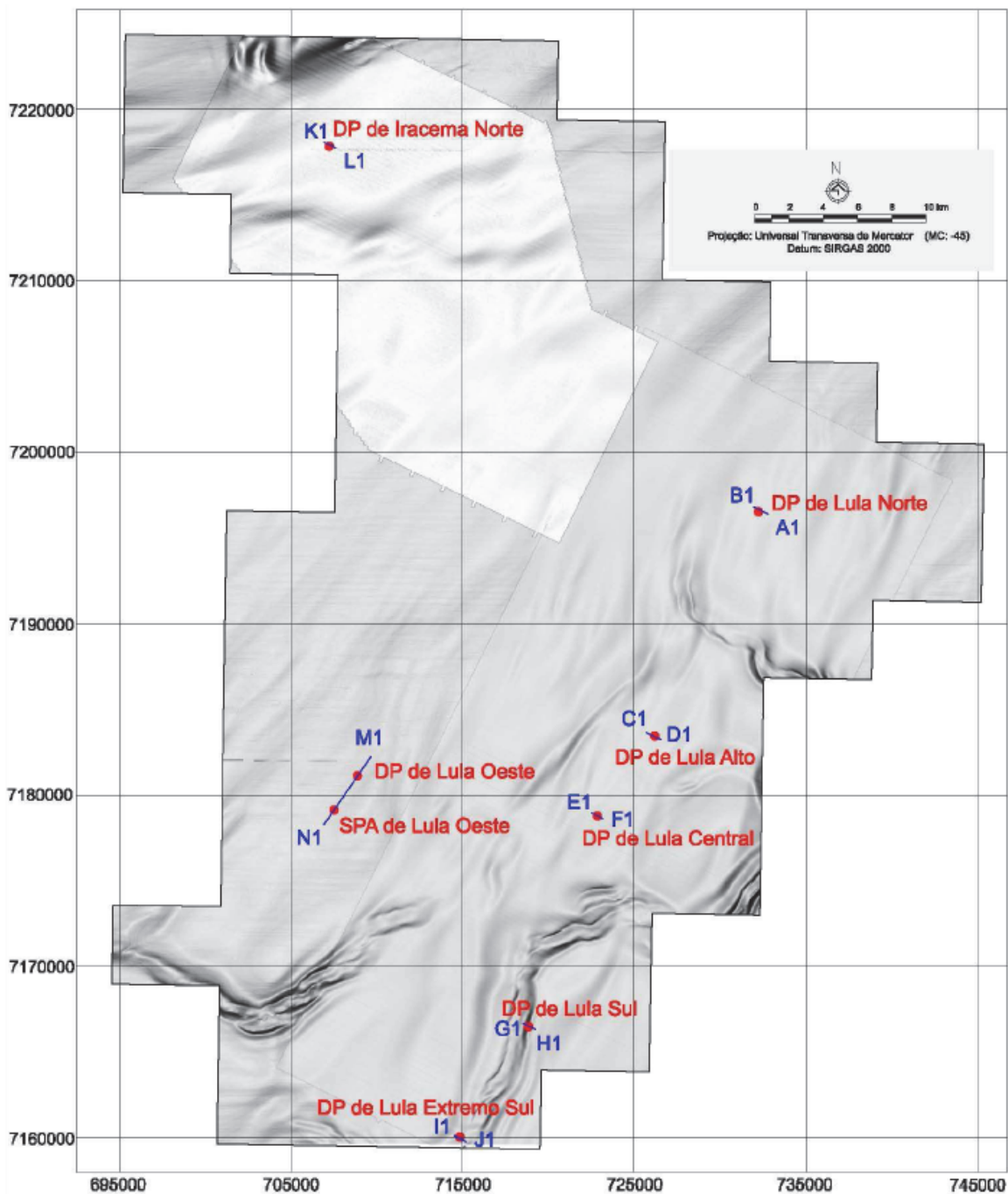
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-28 – Mapa Faciológico nas Áreas de Lula e Iracema (Polo Pré-Sal).



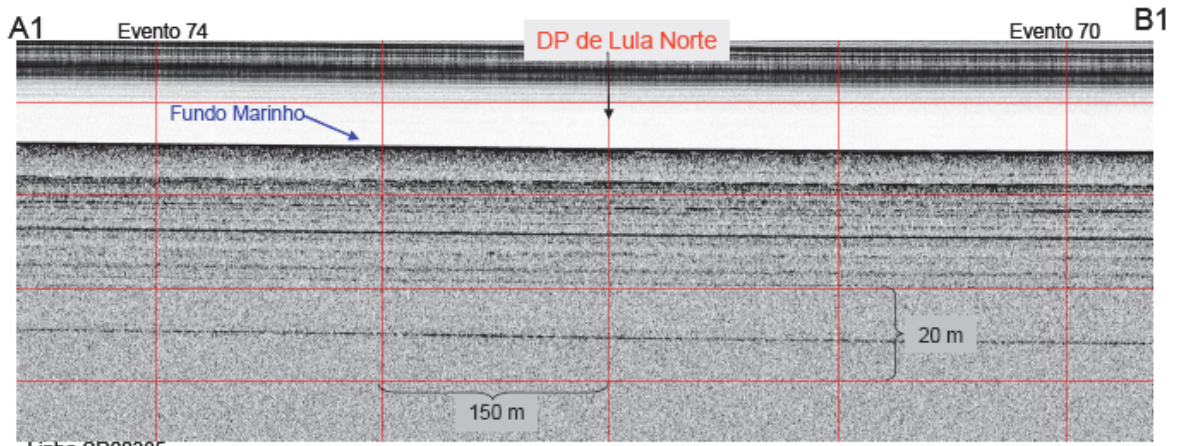
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-29 – Imagem de mosaico de sonar de varredura lateral nas Áreas de Lula e Iracema (Polo Pré-Sal).



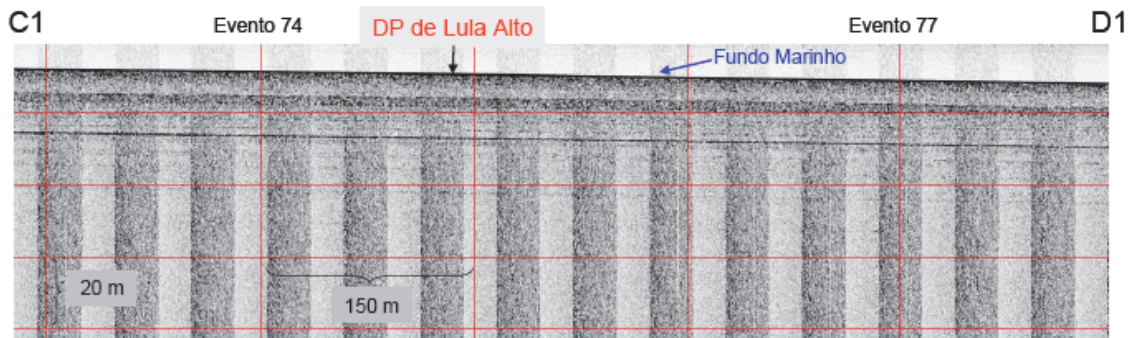
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-30 – Imagem de edge (proveniente da batimetria de multifeixe) nas Áreas de Lula e Iracema (Polo Pré-Sal).



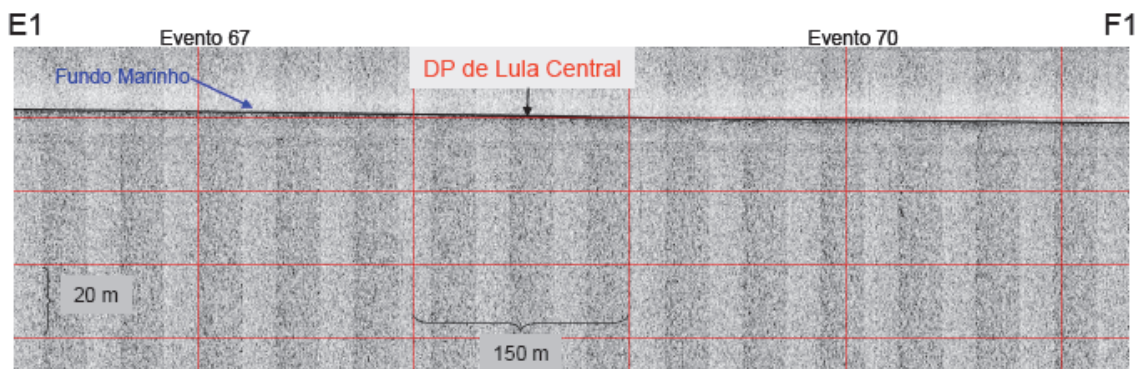
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-31 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do DP de Lula Norte (Polo Pré-Sal).



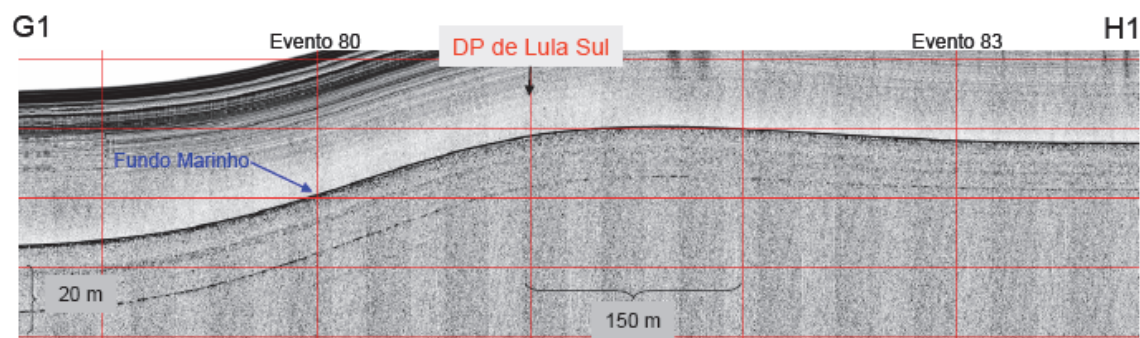
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-32 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do DP de Lula Alto (Polo Pré-Sal).



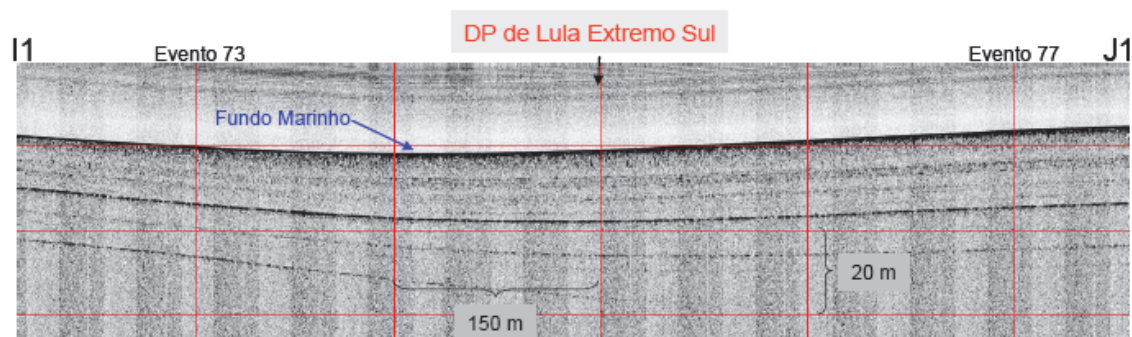
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-33 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do DP de Lula Central (Polo Pré-Sal).



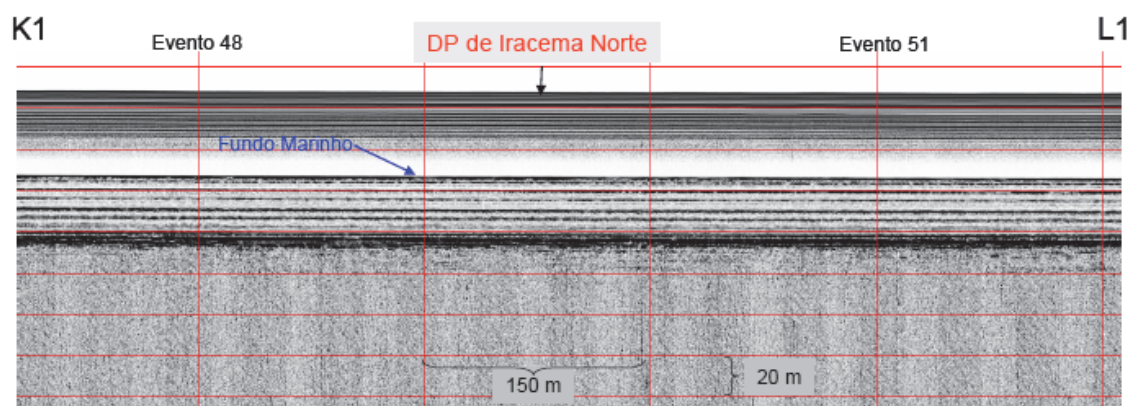
Linha SR00210A
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-34 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do DP de Lula Sul (Polo Pré-Sal).



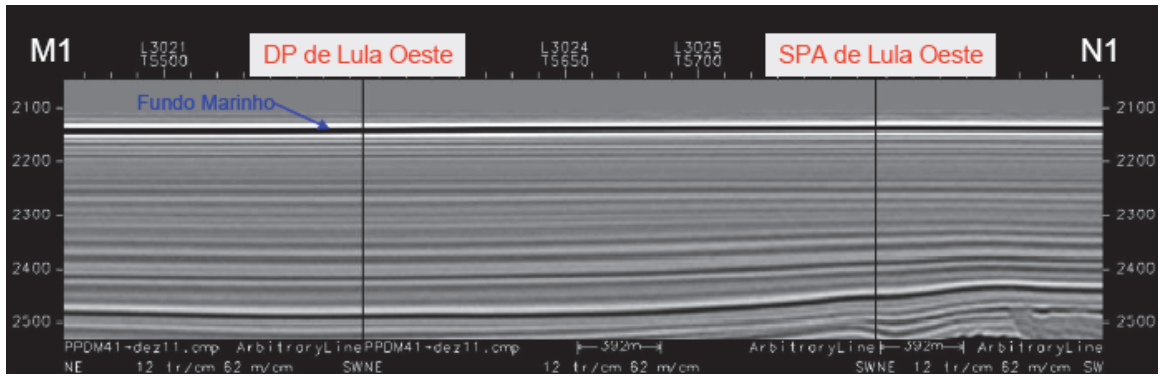
Linha SR00246A
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-35 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do DP de Lula Extremo Sul (Pólo Pré-Sal).



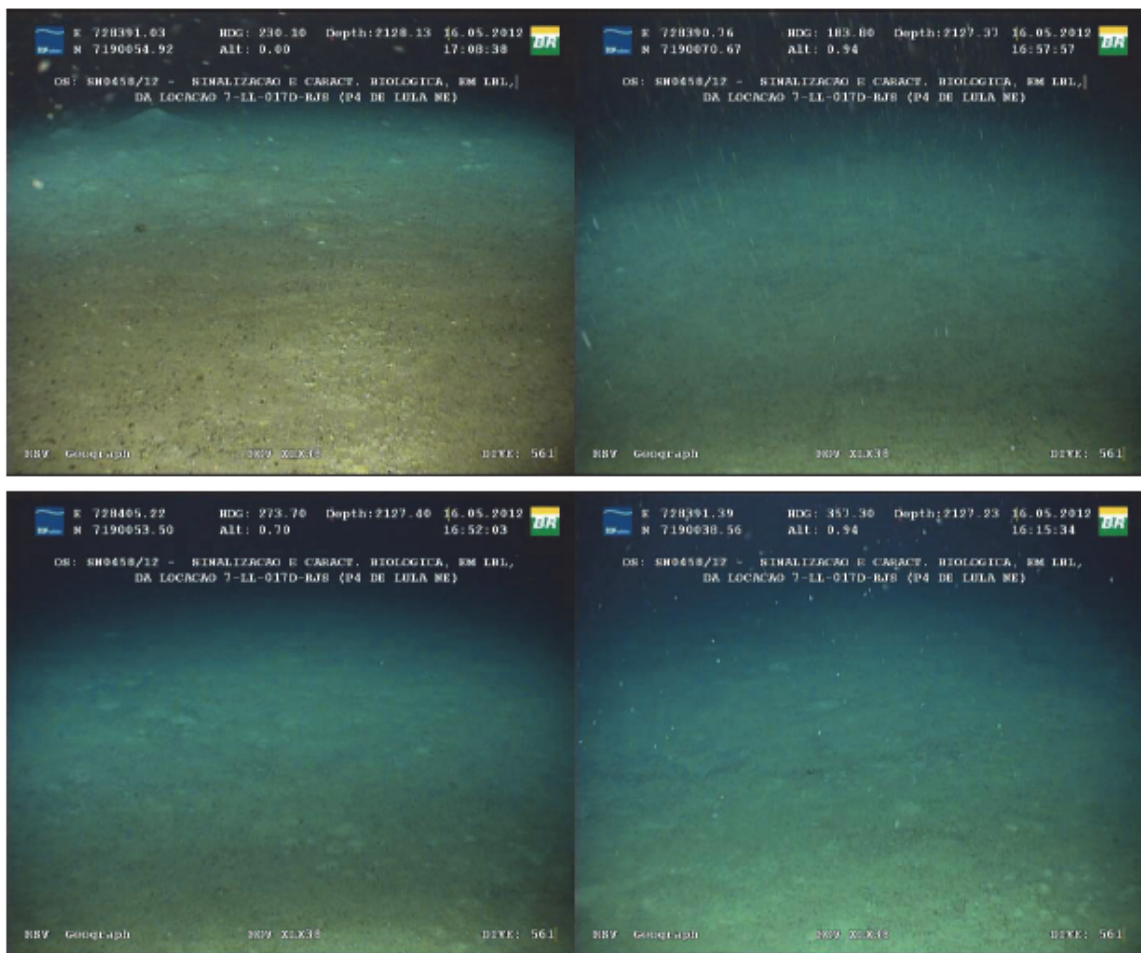
Linha 0100A
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-36 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do DP de Iracema Norte (Polo Pré-Sal).



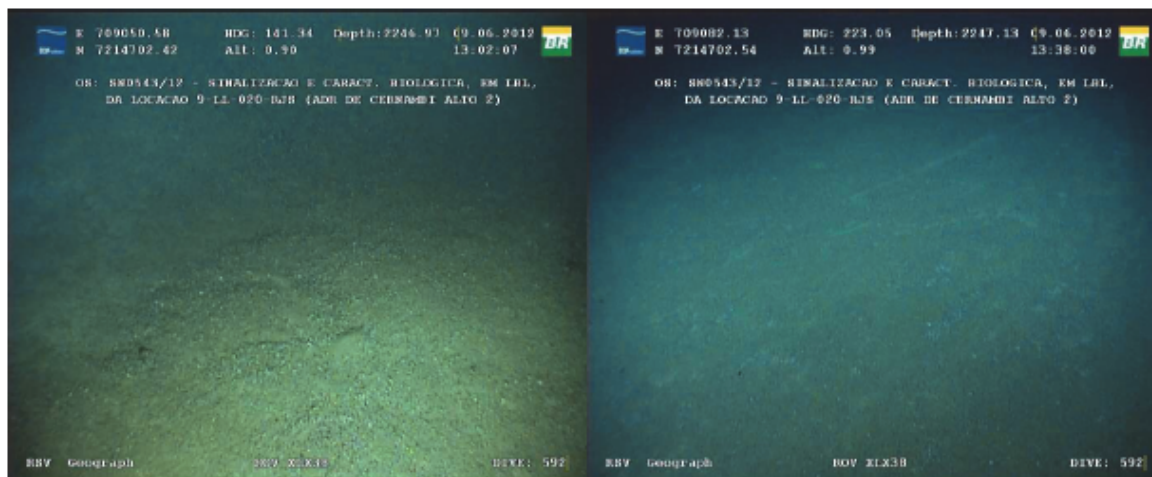
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-37 – Perfil Sísmico 3D nas Áreas do DP de Lula Oeste e do SPA de Lula Oeste.



Fonte: PETROBRAS (2013b).

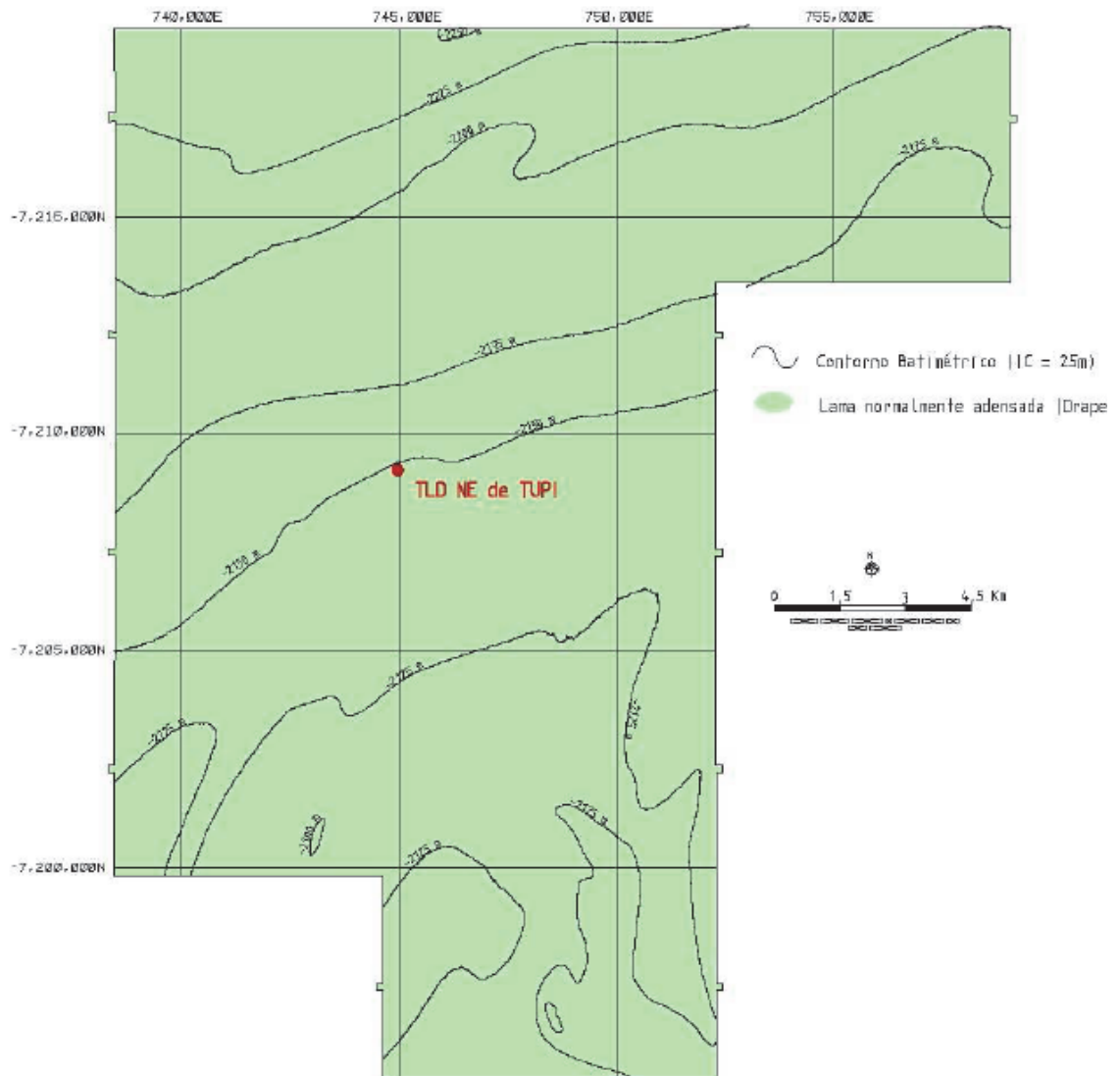
Figura II.5.1.4-38 – Imagens de ROV indicando fundo marinho tipicamente lamoso sem a ocorrência de coral de água profunda na área de Lula.



Fonte: PETROBRAS (2013b).

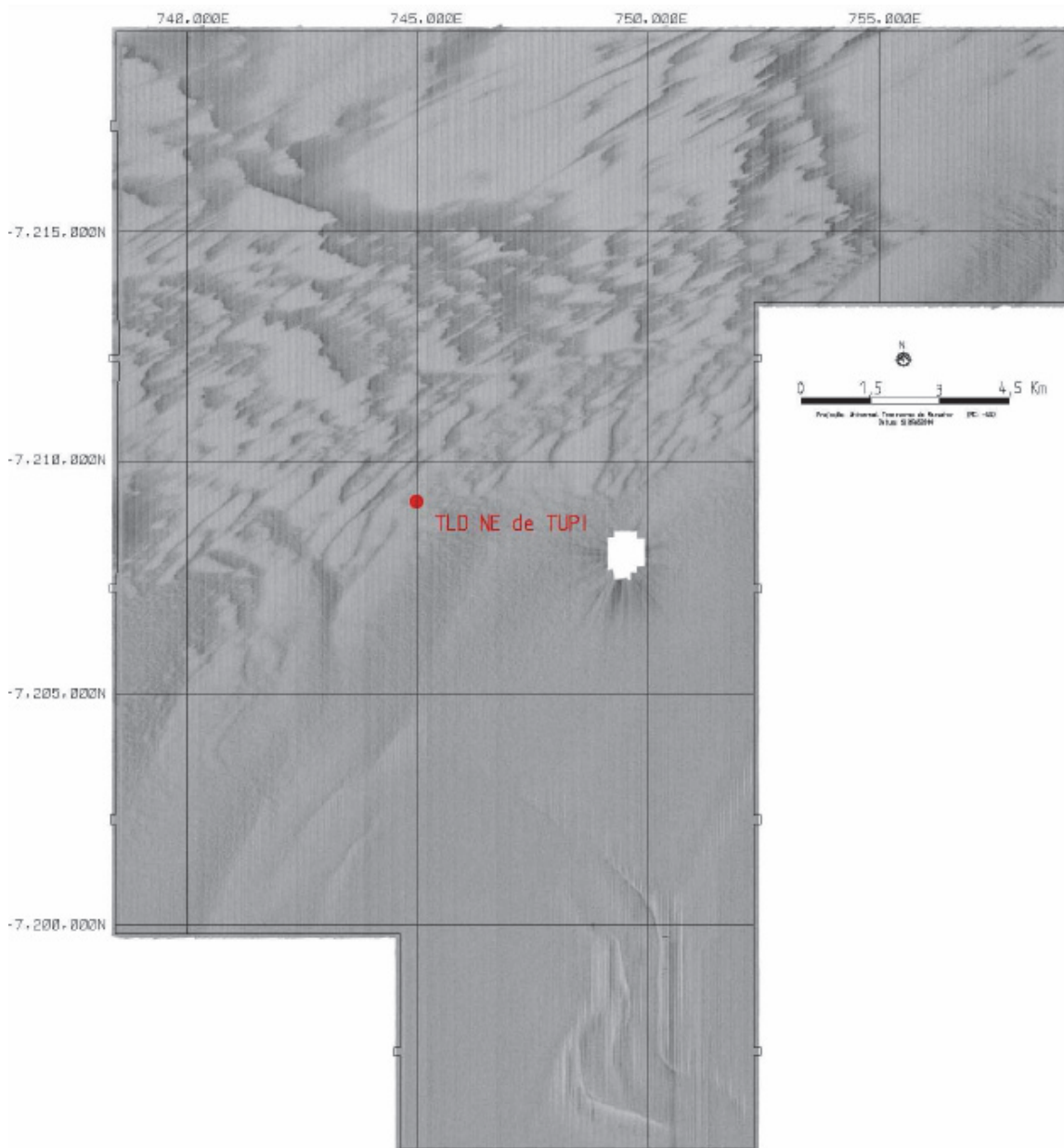
Figura II.5.1.4-39 – *Imagens de ROV indicando fundo marinho lamoso sem a ocorrência de coral de água profunda na área próxima ao DP de Iracema Norte.*

A **Figura II.5.1.4-40** mostra o mapa faciológico, a **Figura II.5.1.4-41** o mosaico do sonar de varredura lateral e a **Figura II.5.1.4-42** a batimetria multifeixe na região do TLD NE de Tupi. A **Figura II.5.1.4-43** mostra o perfil de subfundo para a mesma região. Tais imagens indicam a ausência de feições indicativas ou sugestivas (alvos refletivos) da presença de bancos de corais na região (PETROBRAS, 2013b).



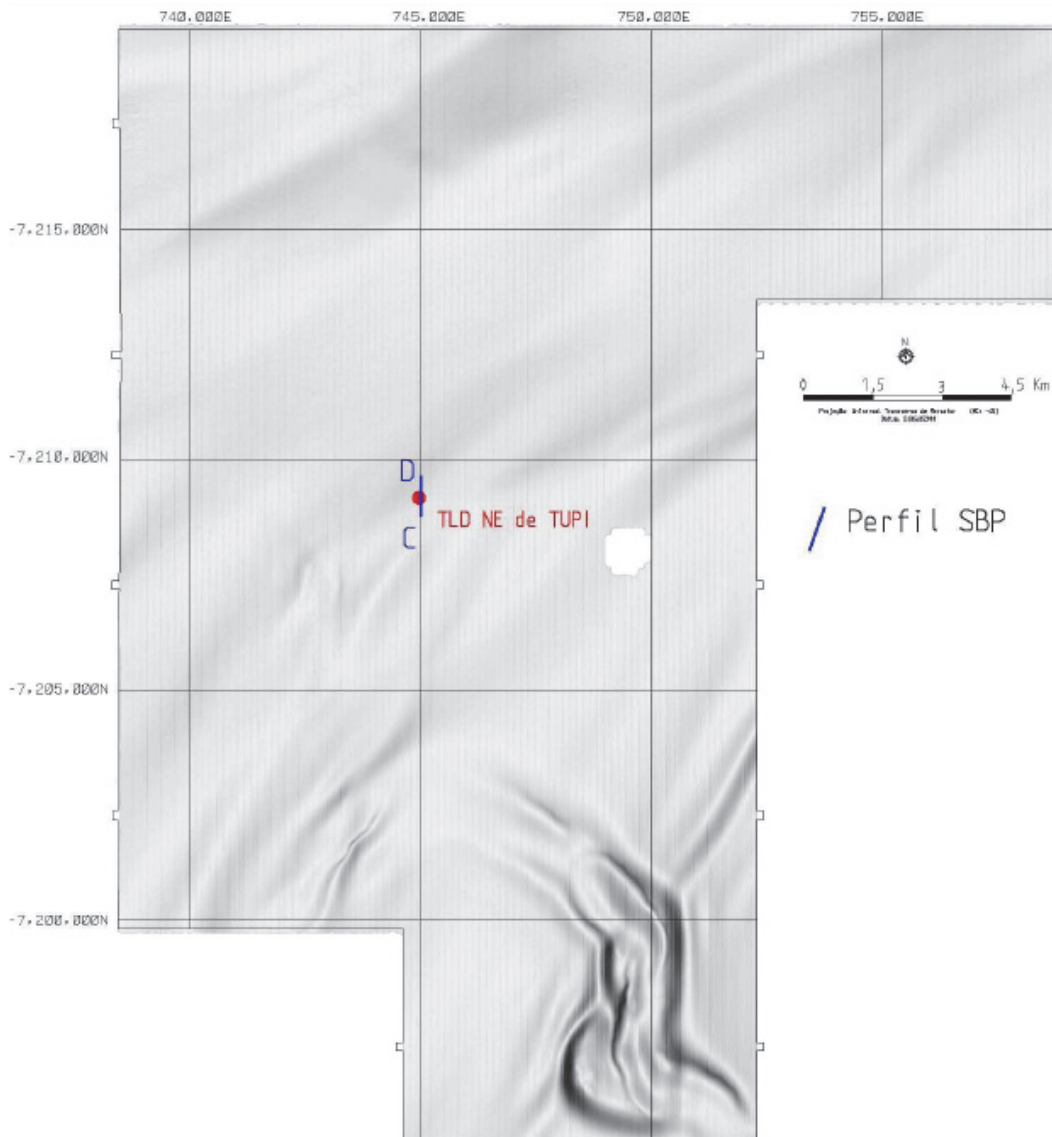
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-40 – Mapa Faciológico nas Áreas do TLD NE de Tupi (Polo Pré-Sal).



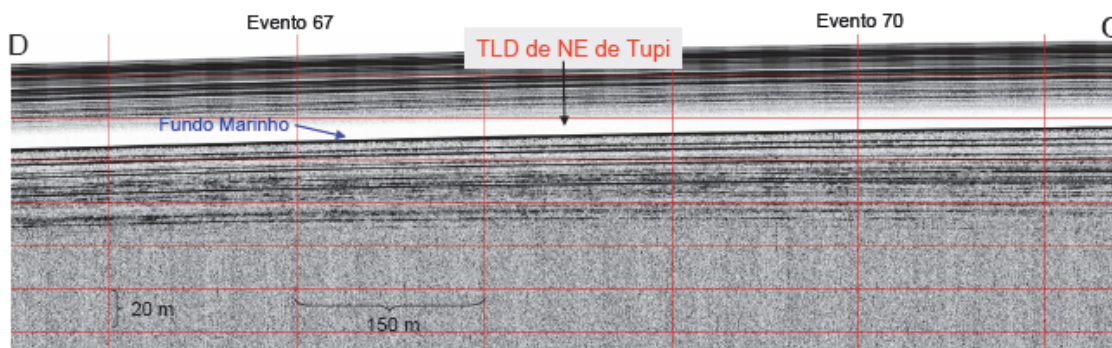
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-41 – Imagem de mosaico de sonar de varredura lateral na Área do TLD de NE de Tupi (Polo Pré-Sal).



Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-42 – Imagem de edge (proveniente da batimetria de multifeixe) na Área do TLD de NE de Tupi (Polo Pré-Sal).

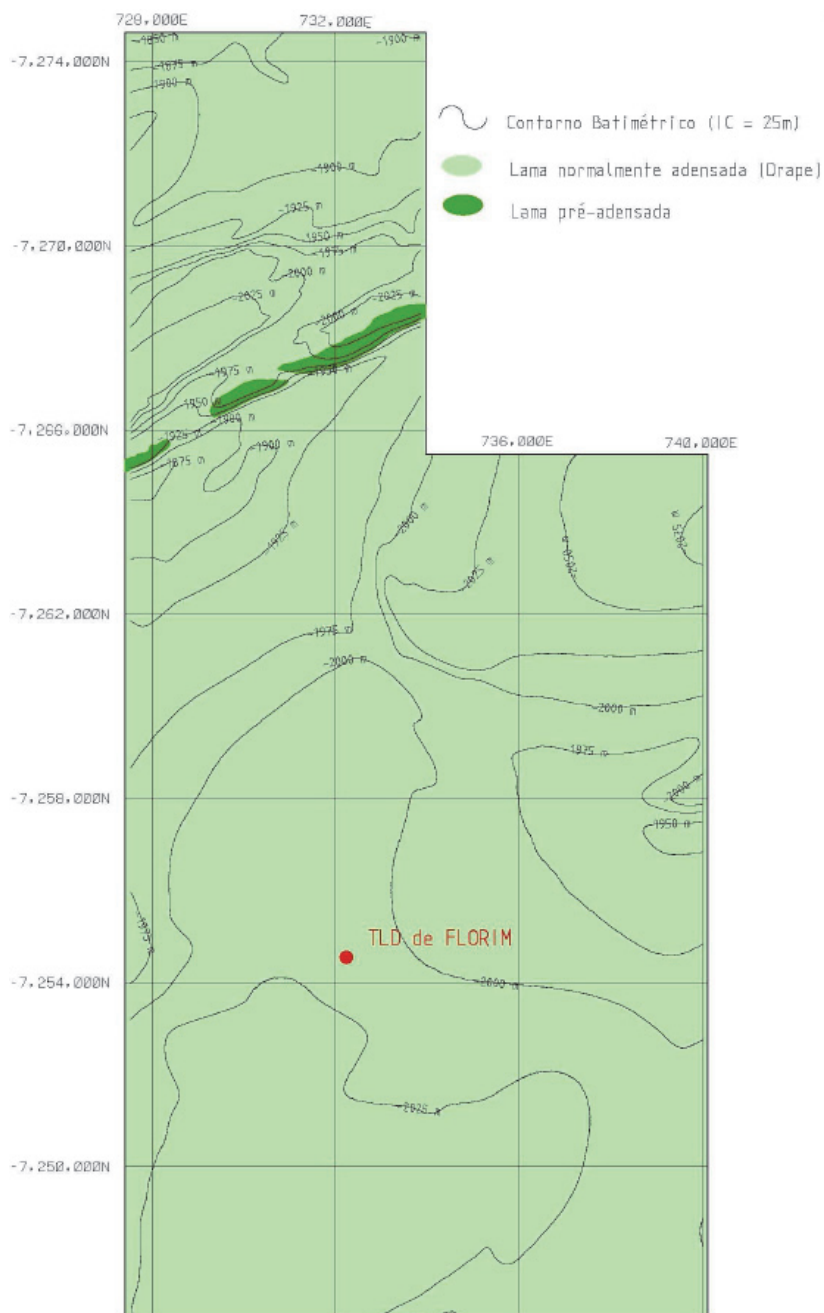


Linha 152.06@S00094C

Fonte: PETROBRAS (2013b).

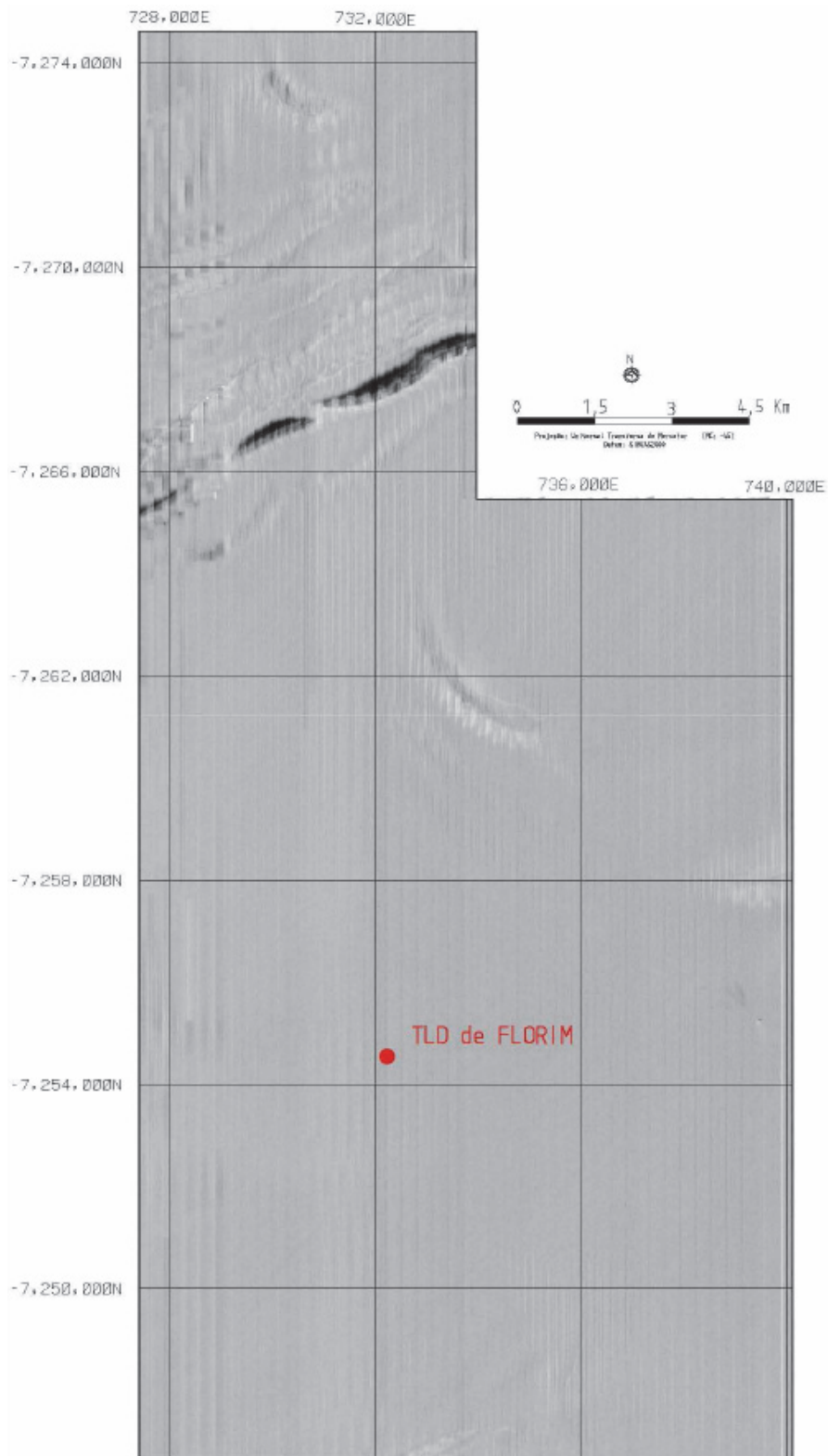
Figura II.5.1.4-43 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do TLD de NE de Tupi (Polo Pré-Sal).

A **Figura II.5.1.4-44** mostra o mapa faciológico, a **Figura II.5.1.4-45** o mosaico do sonar de varredura lateral, a **Figura II.5.1.4-46** a batimetria multifeixe e a **Figura II.5.1.4-47** o perfil de subfundo da área do TLD de Florim. Tais imagens indicam a ausência de feições indicativas ou sugestivas (alvos refletivos) da presença de bancos de corais na região (PETROBRAS, 2013b). Esta ausência é comprovada por meio de imagens de ROV apresentadas na **Figura II.5.1.4-48**.



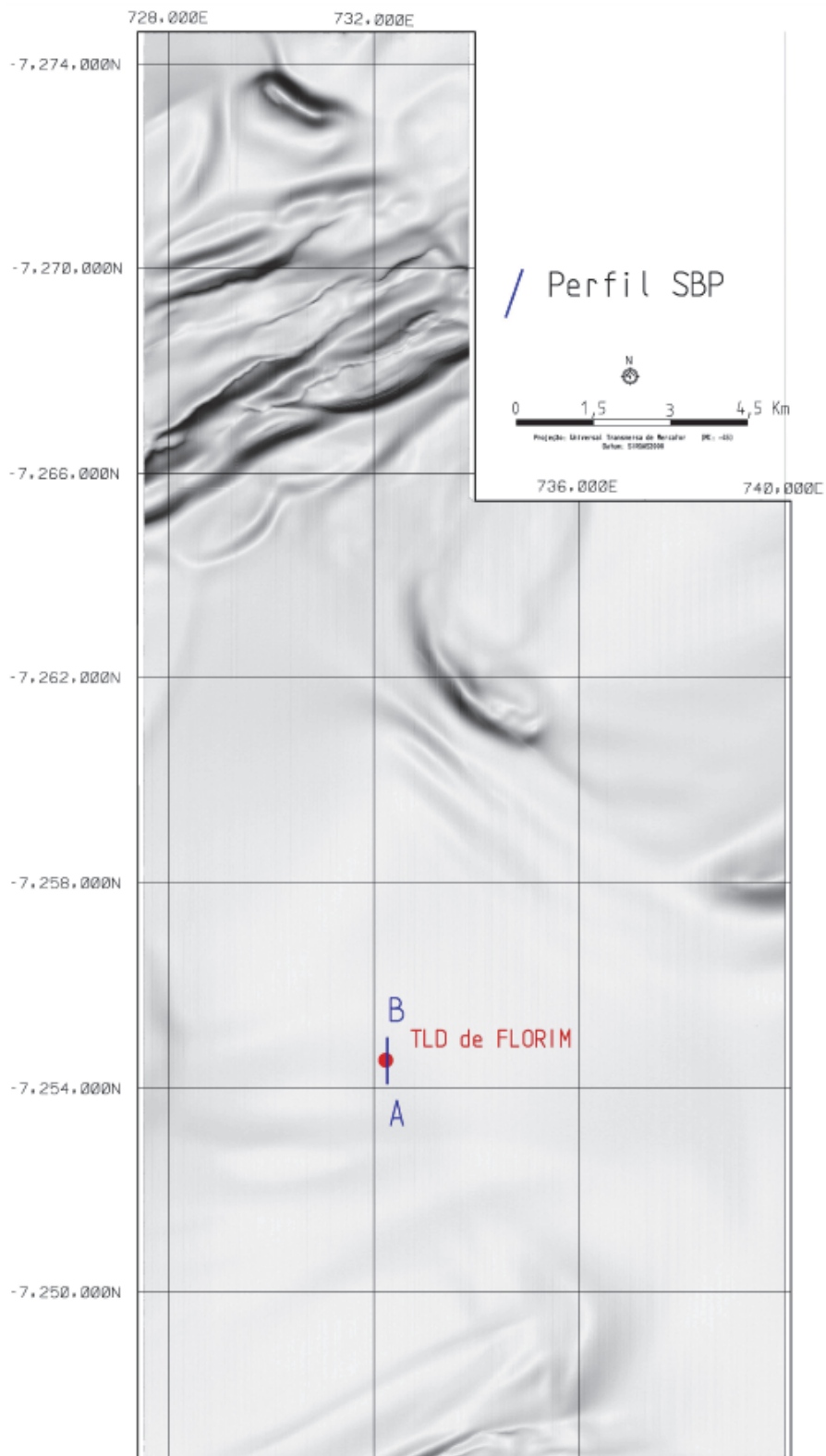
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-44 – Mapa Faciológico na Área do TLD de Florim (Polo Pré-Sal).



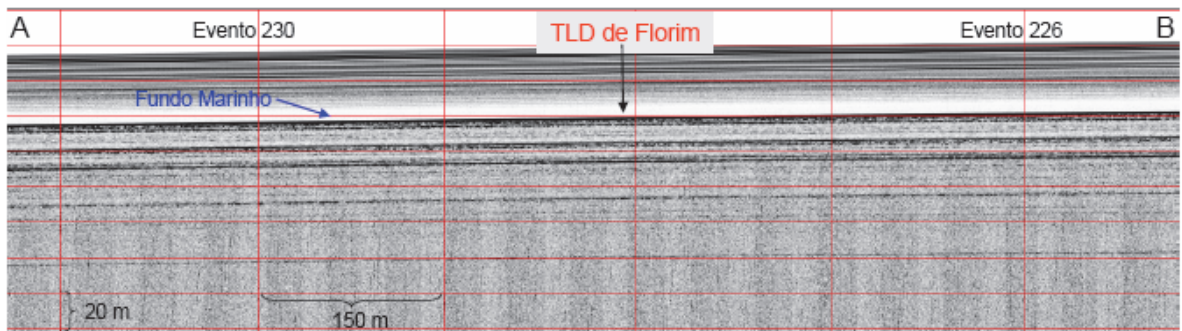
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-45 – Imagem de mosaico de sonar de varredura lateral na Área do TLD de Florim (Polo Pré-Sal).



Fonte: PETROBRAS (2013b).

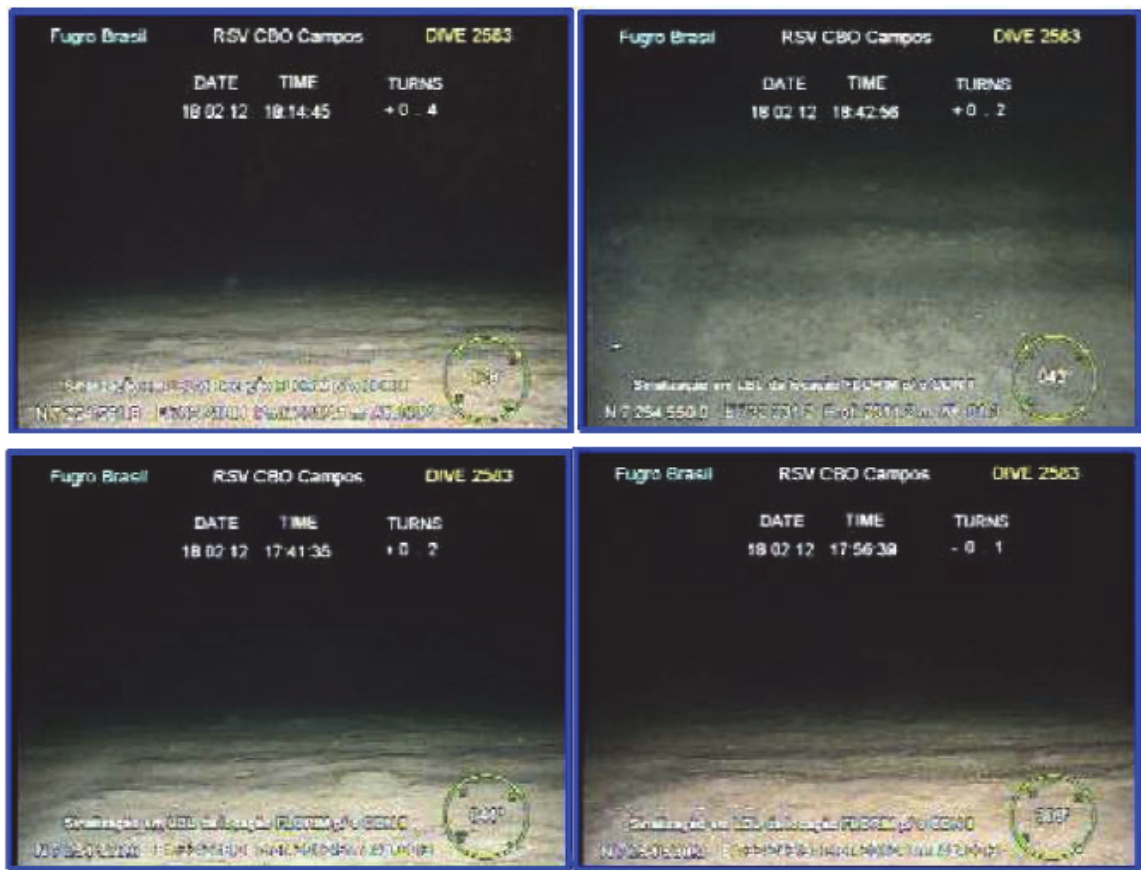
Figura II.5.1.4-46 – Imagem de edge (proveniente da batimetria de multifeixe) na Área do TLD de Florim (Polo Pré-Sal).



Linha 0152.06@ Renomeada 076

Fonte: PETROBRAS (2013b).

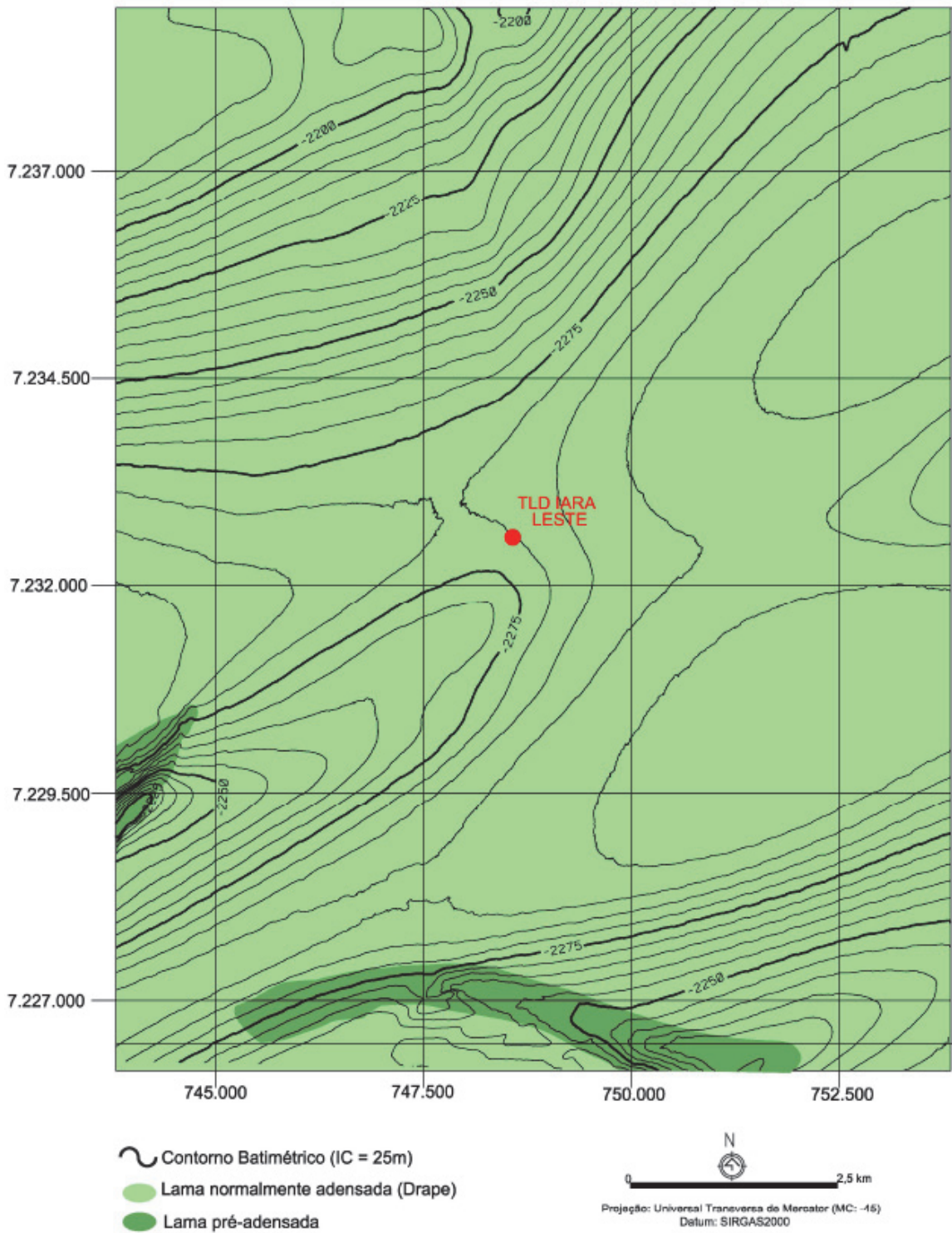
Figura II.5.1.4-47 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do TLD de Florim (Polo Pré-Sal).



Fonte: PETROBRAS (2013b).

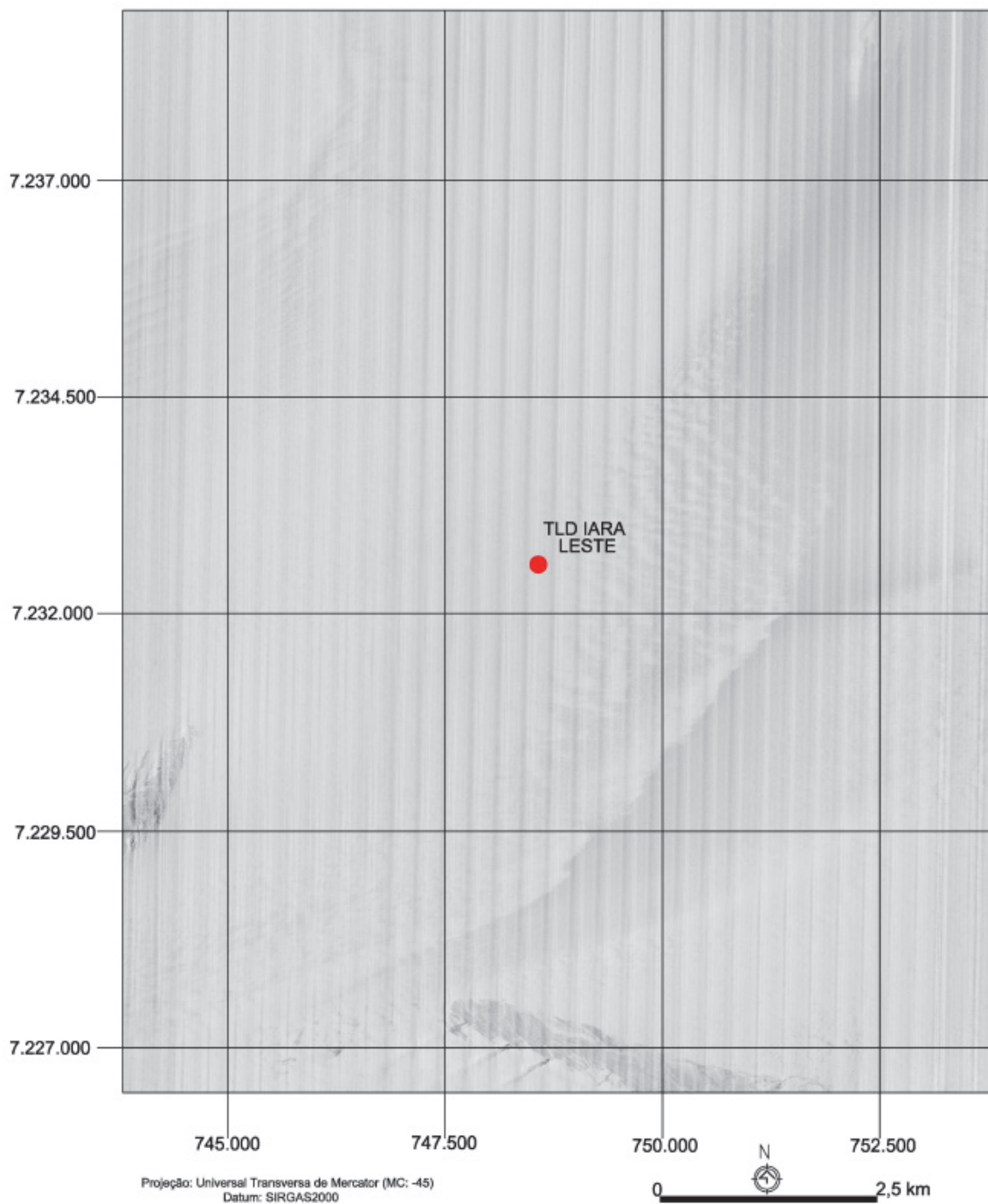
Figura II.5.1.4-48 – Imagens de ROV indicando fundo marinho lamoso sem a ocorrência de coral de água profunda na área do TLD de Florim.

A **Figura II.5.1.4-49** mostra o mapa faciológico, a **Figura II.5.1.4-50** o mosaico do sonar de varredura lateral, a **Figura II.5.1.4-51** a batimetria multifeixe e a **Figura II.5.1.4-52** o perfil de subfundo da área do TLD de Iara Leste. Tais imagens indicam a ausência de feições indicativas ou sugestivas (alvos refletivos) da presença de bancos de corais na região (PETROBRAS, 2013b). Esta ausência é comprovada por meio de imagens de ROV apresentadas na **Figura II.5.1.4-53**.



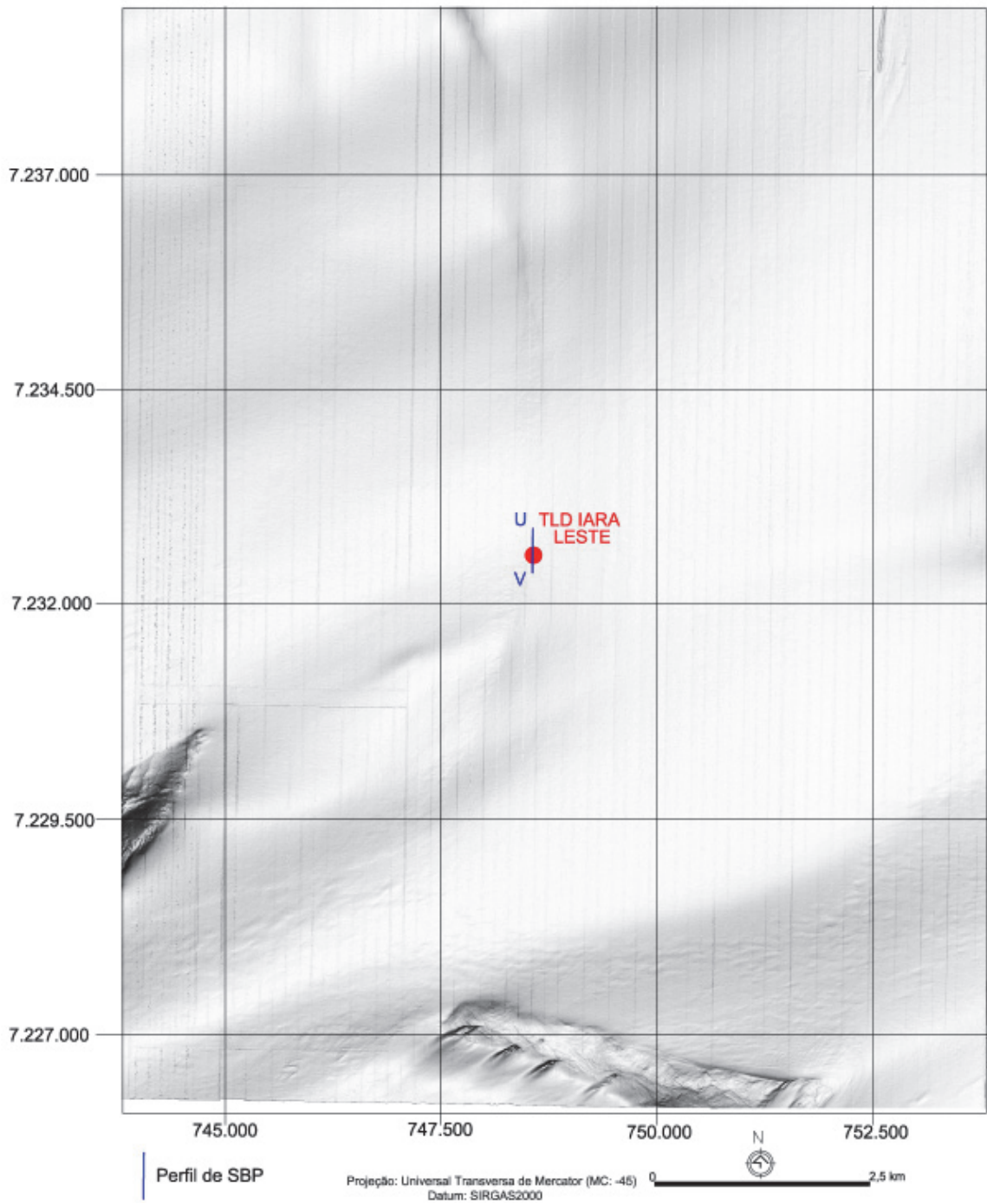
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-49 – Mapa Faciológico na Área do TLD de Iara Leste (Polo Pré-Sal).



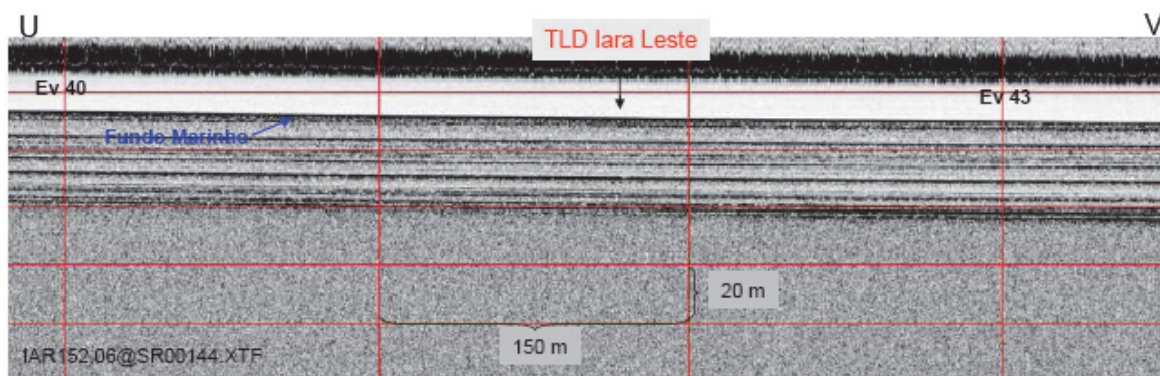
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-50 – Imagem de mosaico de sonar de varredura lateral na Área do TLD de Iara Leste (Polo Pré-Sal).



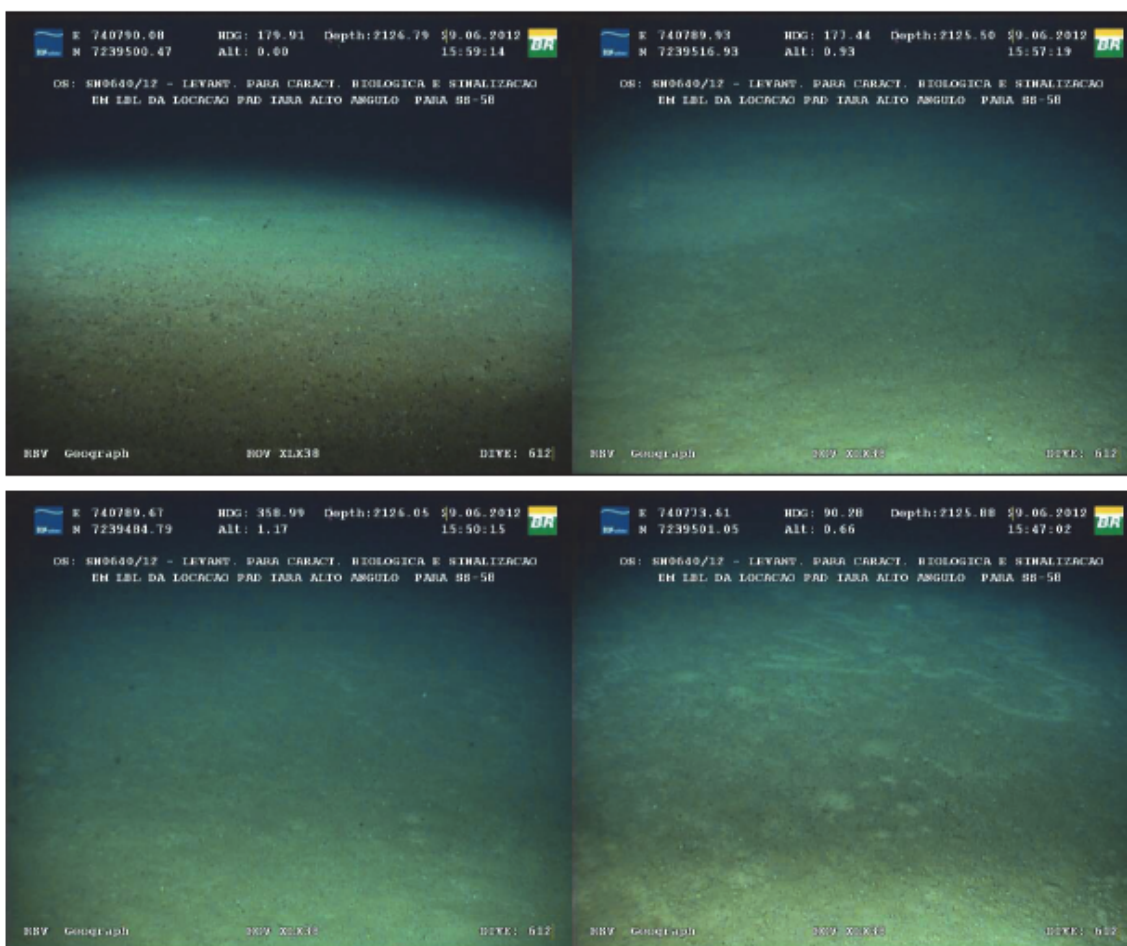
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-51 – Imagem de edge (proveniente da batimetria de multifeixe) na Área do TLD de Iara Leste (Polo Pré-Sal).



Fonte: PETROBRAS (2013b).

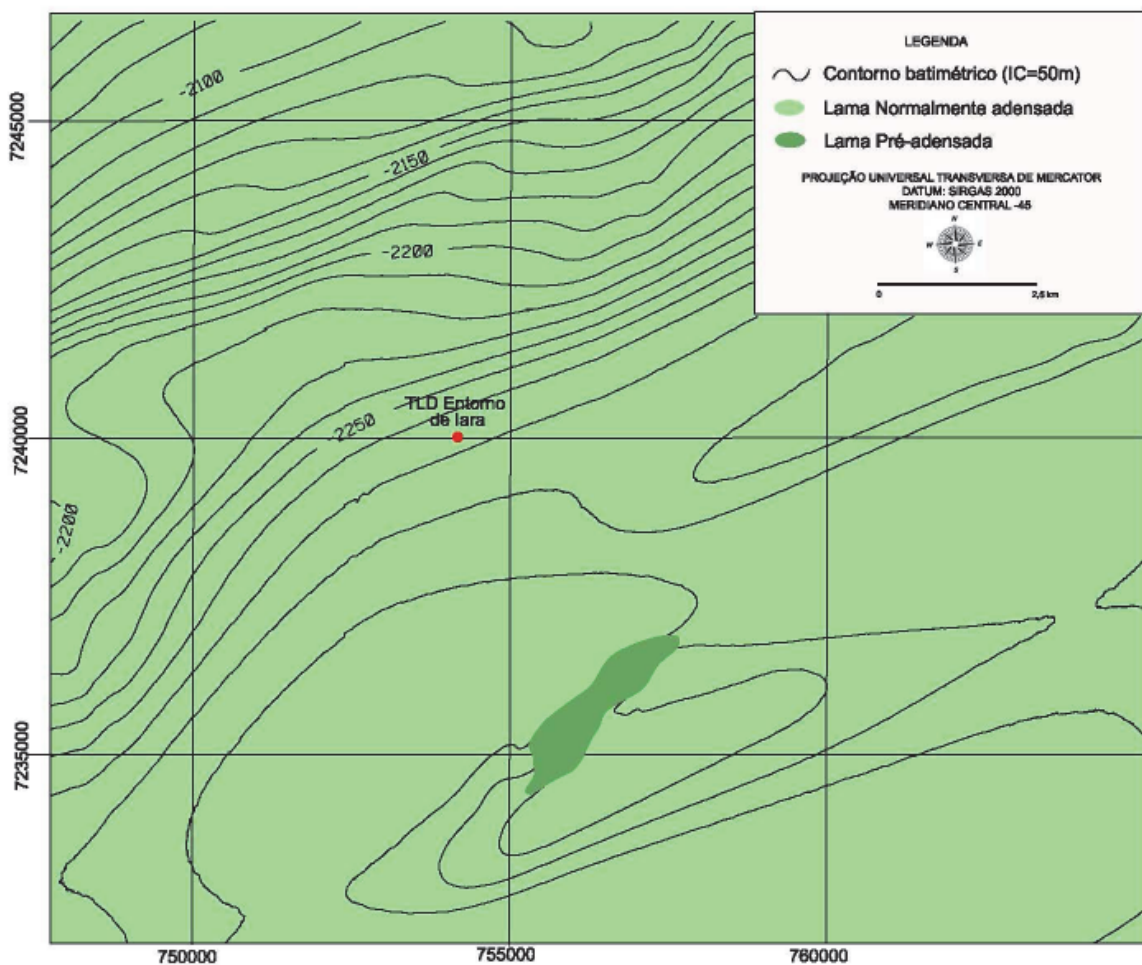
Figura II.5.1.4-52 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do TLD Iara Leste (Polo Pré-Sal).



Fonte: PETROBRAS (2013b).

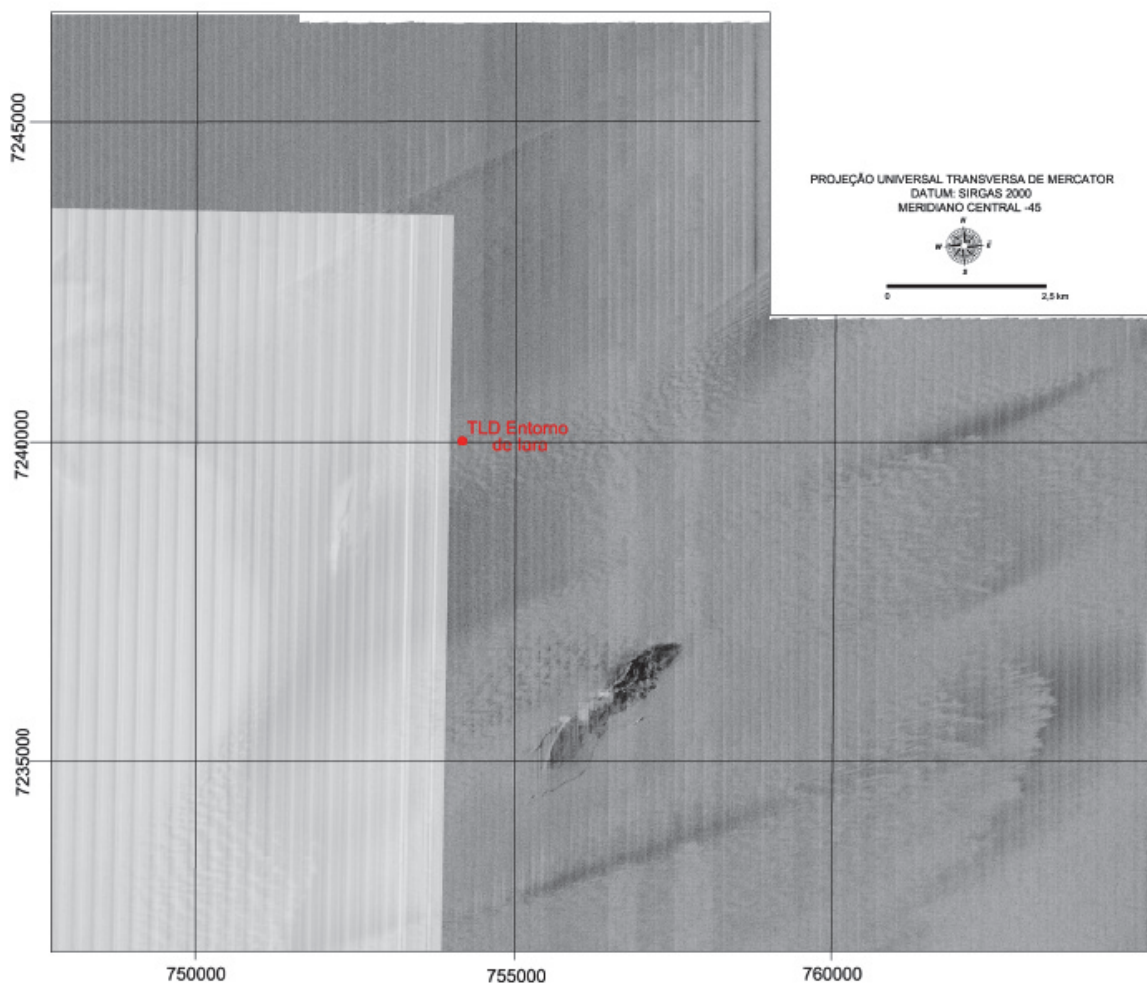
Figura II.5.1.4-53 – Imagens de ROV indicando fundo lamoso sem a ocorrência de coral de água profunda na área próxima do TLD de Iara Leste.

A **Figura II.5.1.4-54** mostra o mapa faciológico, a **Figura II.5.1.4-55** o mosaico do sonar de varredura lateral, a **Figura II.5.1.4-56** a batimetria multifeixe e a **Figura II.5.1.4-57** o perfil de subfundo da área do TLD do Entorno de Iara. Tais imagens indicam a ausência de feições indicativas ou sugestivas (alvos refletivos) da presença de bancos de corais na região (PETROBRAS, 2013b). Esta ausência é comprovada por meio de imagens de ROV apresentadas na **Figura II.5.1.4-58**.



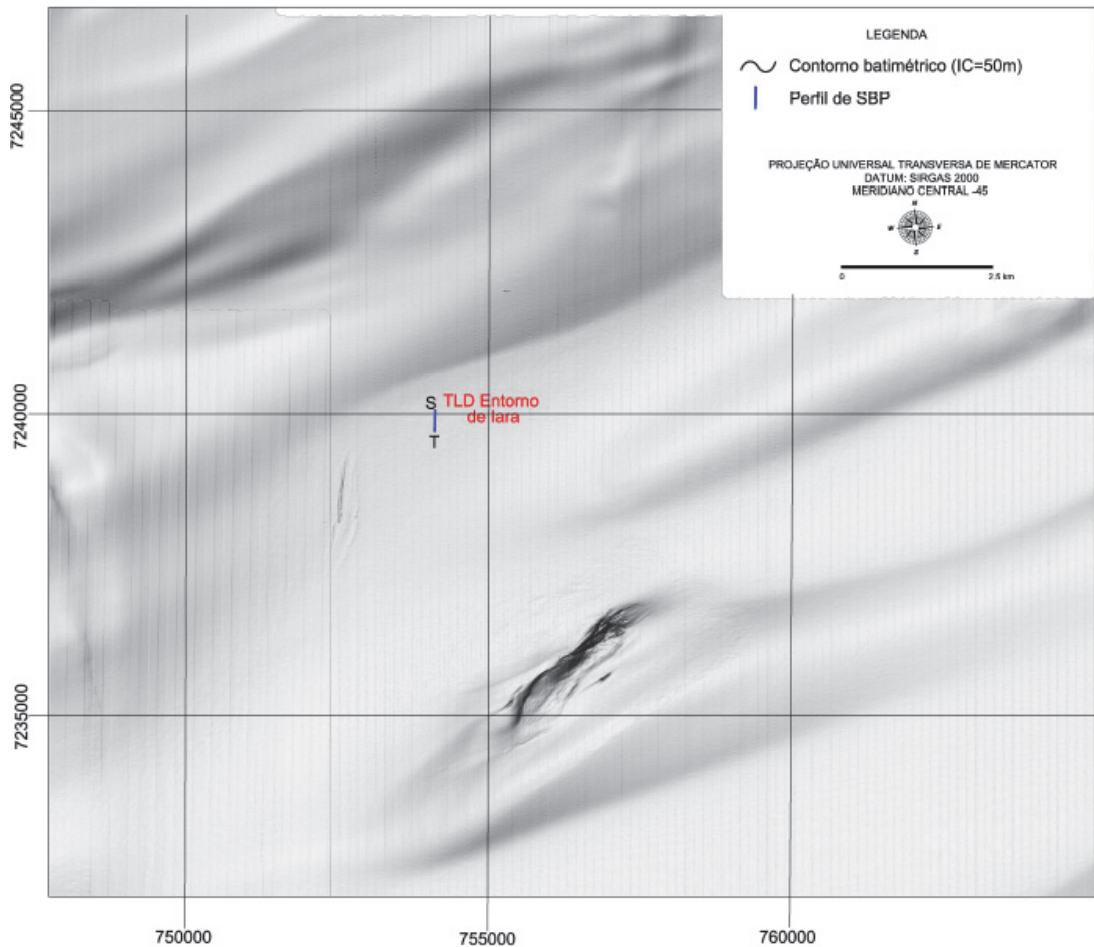
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-54 – Mapa Faciológico na Área do TLD Entorno de Iara (Polo Pré-Sal).



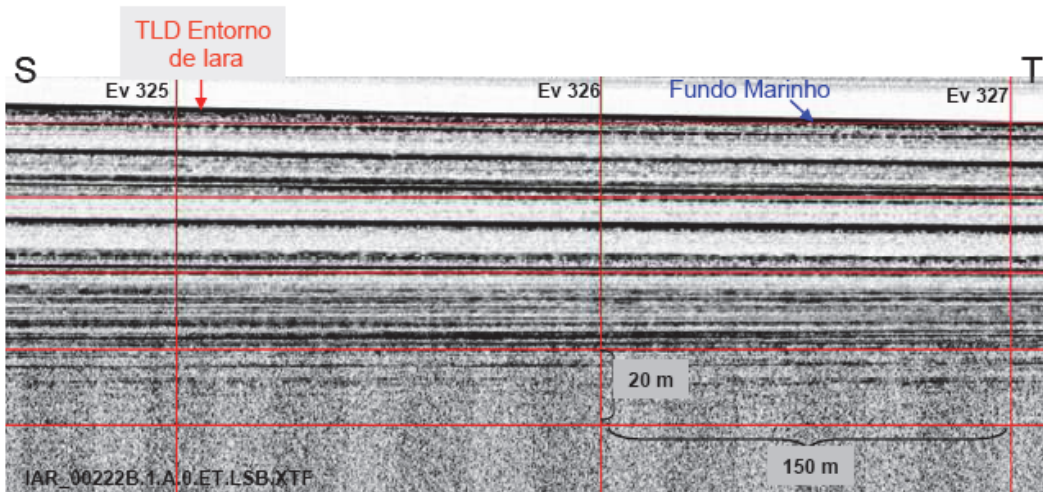
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-55 – Imagem de mosaico de sonar de varredura lateral na Área do TLD Entorno de Iara (Polo Pré-Sal).



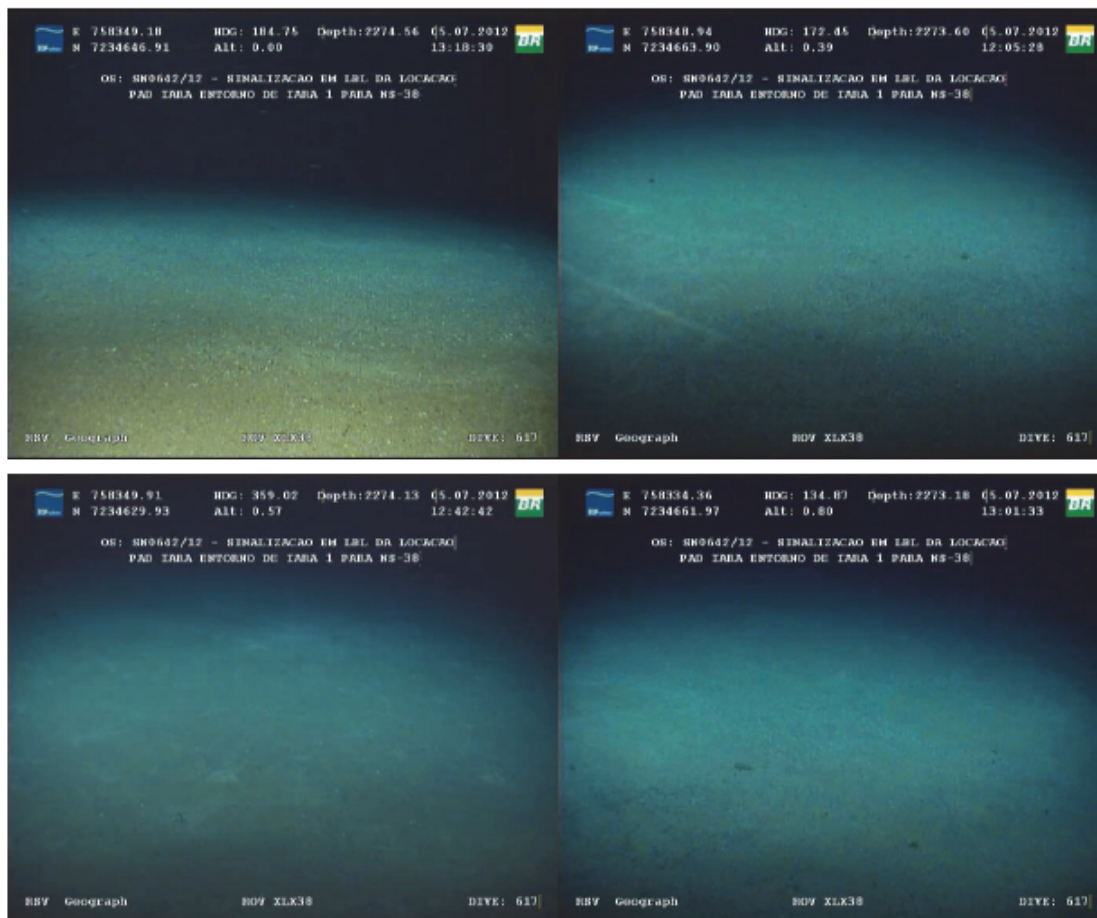
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-56 – Imagem de edge (proveniente da batimetria de multifeixe) na Área do TLD de Entorno de lara (Polo Pré-Sal).



Fonte: PETROBRAS (2013b).

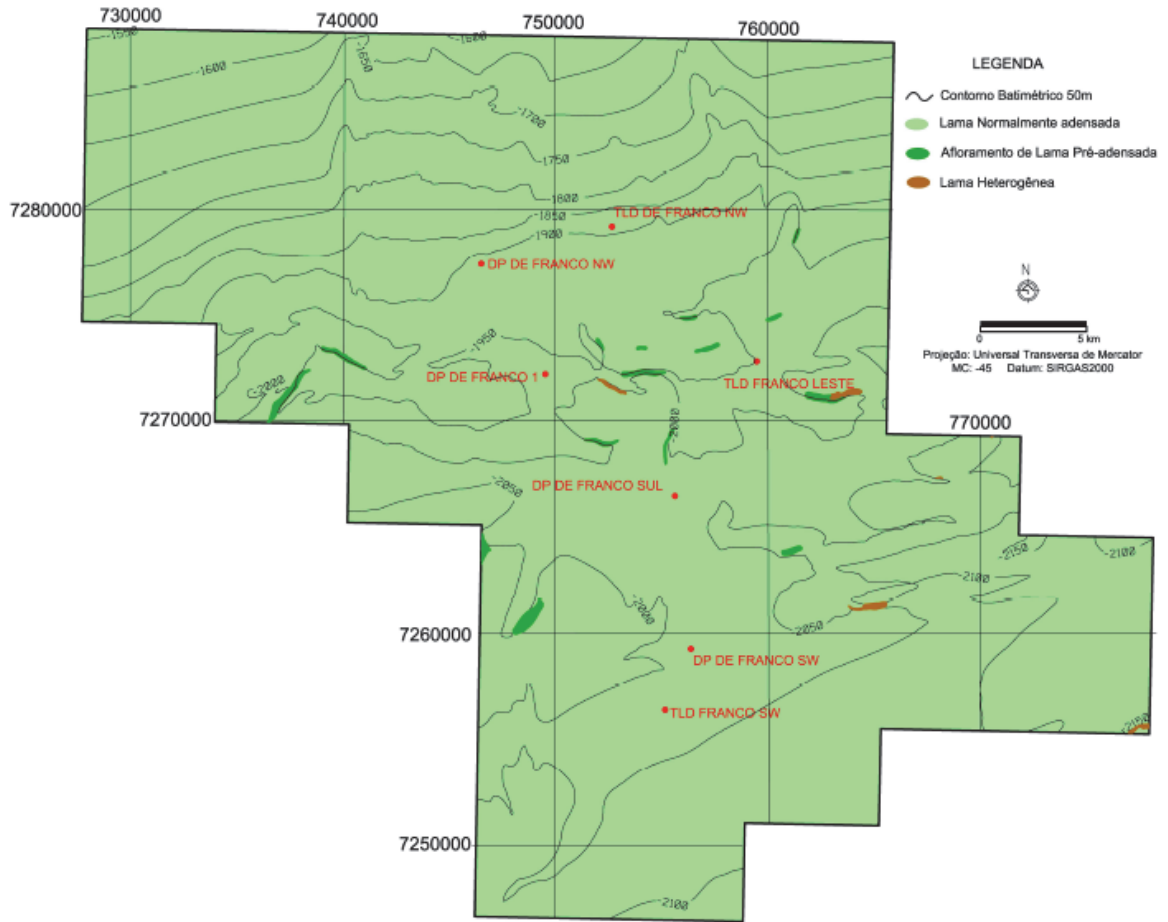
Figura II.5.1.4-57 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do TLD do Entorno de lara (Polo Pré-Sal).



Fonte: PETROBRAS (2013b).

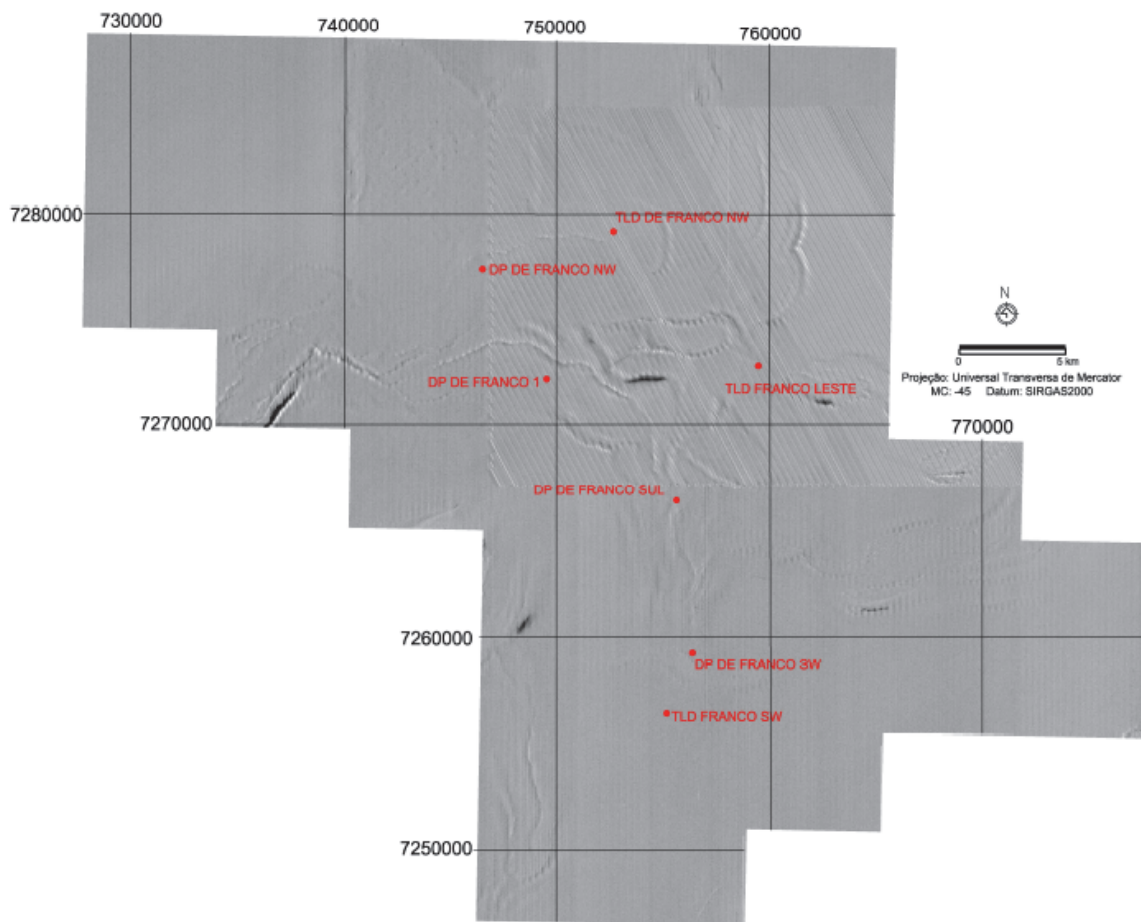
Figura II.5.1.4-58 – Imagens de ROV indicando fundo lamoso sem a ocorrência de coral de água profunda na área próxima do TLD do Entorno de Iara.

A **Figura II.5.1.4-59** mostra o mapa faciológico, a **Figura II.5.1.4-60** o mosaico do sonar de varredura lateral e a **Figura II.5.1.4-61** a batimetria multifeixe da Área de Franco. Da **Figura II.5.1.4-62** até a **Figura II.5.1.4-68** mostram o perfil de subfundo da área do TLD de Franco NW, do DP de Franco NW, do DP de Franco 1, do TLD de Franco Leste, do DP de Franco Sul, do DP de Franco SW e do TLD de Franco SW. Tais imagens indicam a ausência de feições indicativas ou sugestivas (alvos refletivos) da presença de bancos de corais na região (PETROBRAS, 2013b). Esta ausência é comprovada por meio de imagens de ROV apresentada na **Figura II.5.1.4-69**.



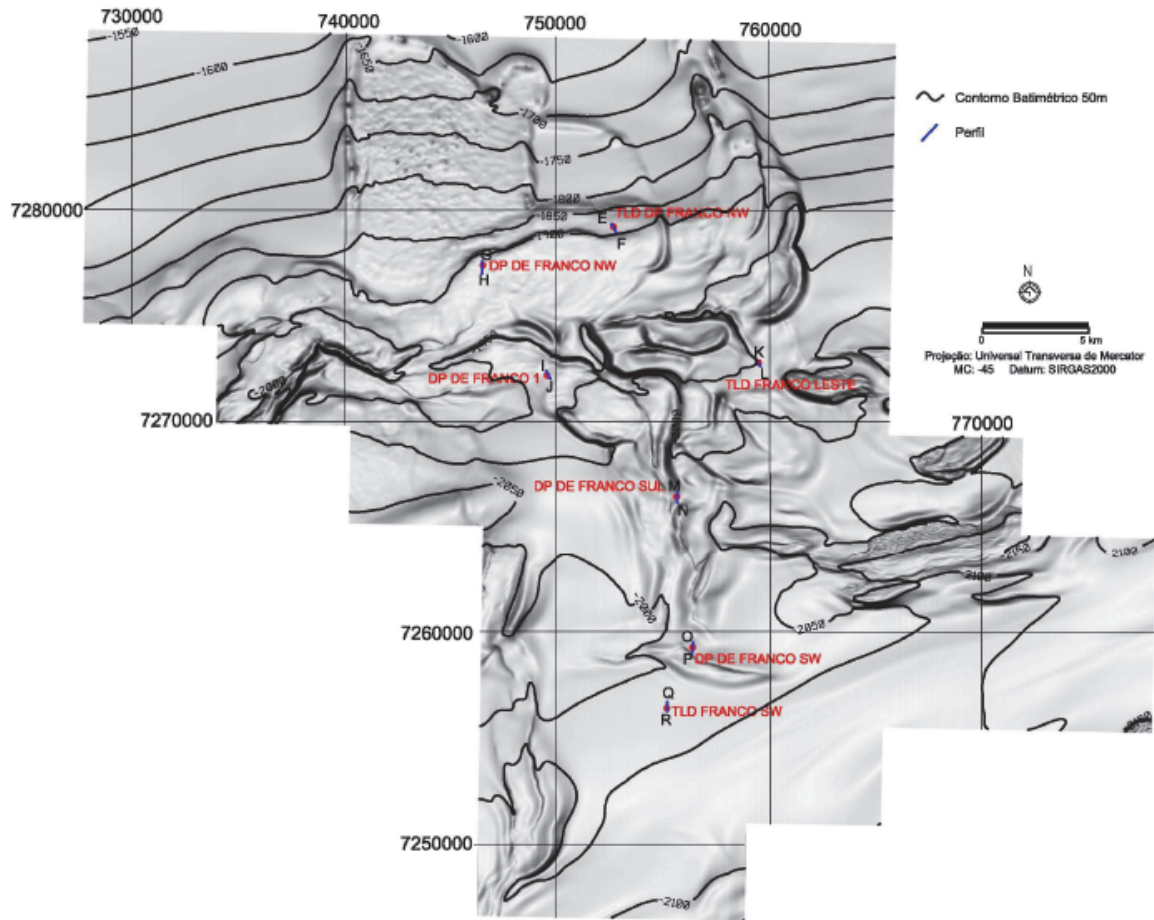
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-59 – Mapa Faciológico na área de Franco (Polo Pré-Sal).



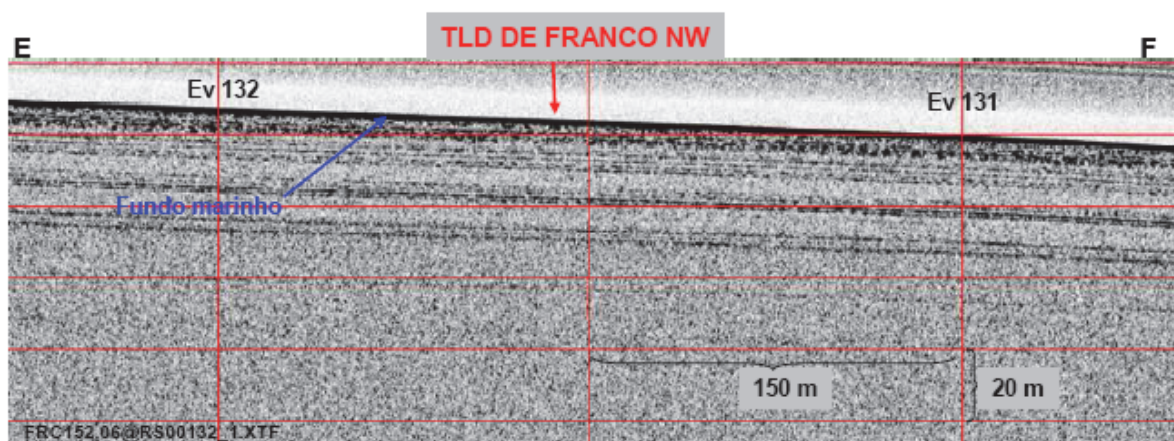
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-60 – Imagem de mosaico de sonar de varredura lateral na área de Franco (projetos DPs e TLDs-Polo Pré-Sal).



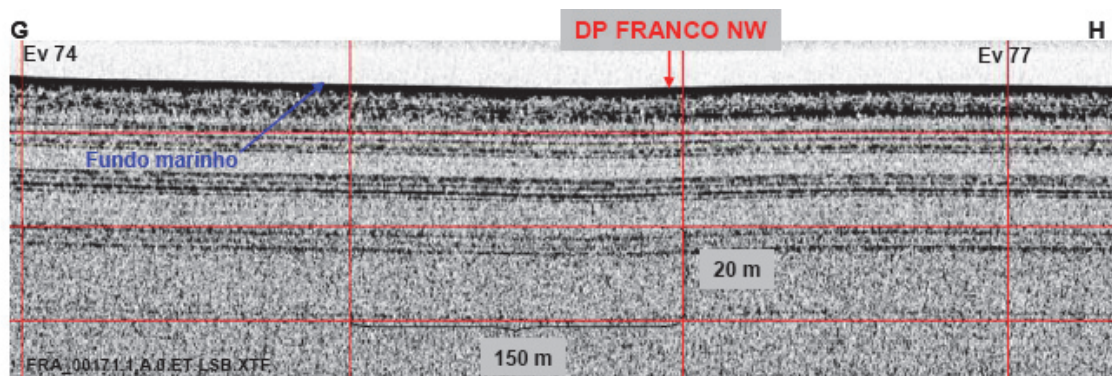
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-61 – Imagem de edge (proveniente da batimetria de multifeixe) na Área do TLD de Iara Leste (Polo Pré-Sal).



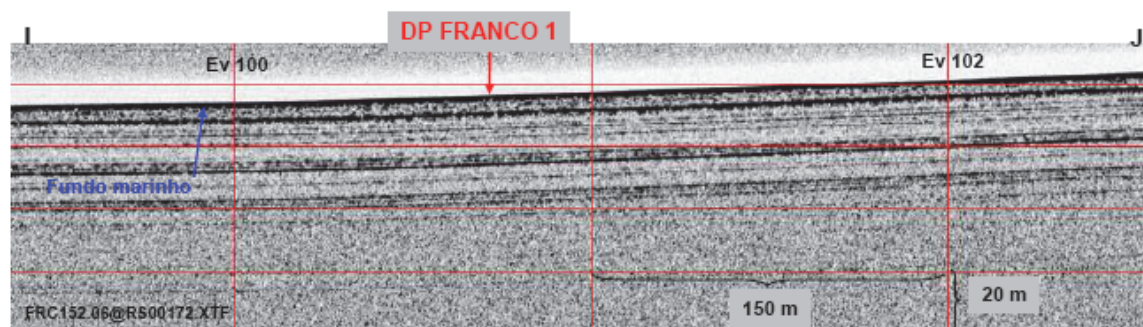
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-62 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do TLD de Franco NW (Polo Pré-Sal).



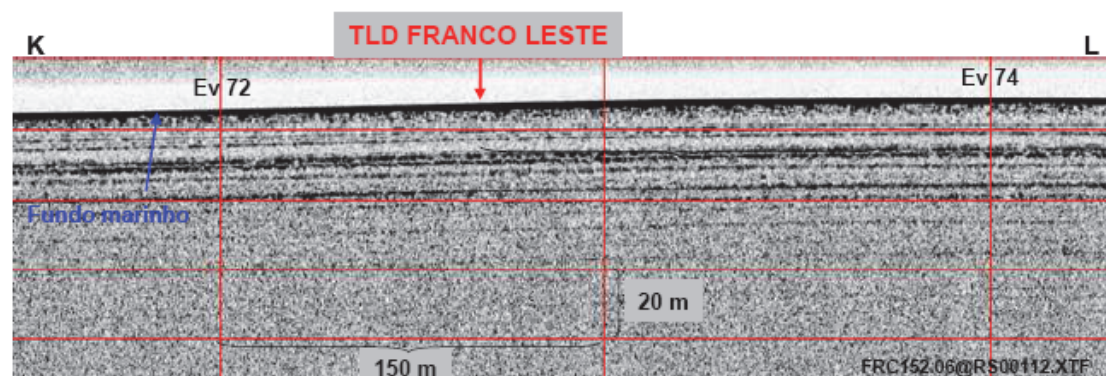
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-63 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do DP Franco NW (Polo Pré-Sal).



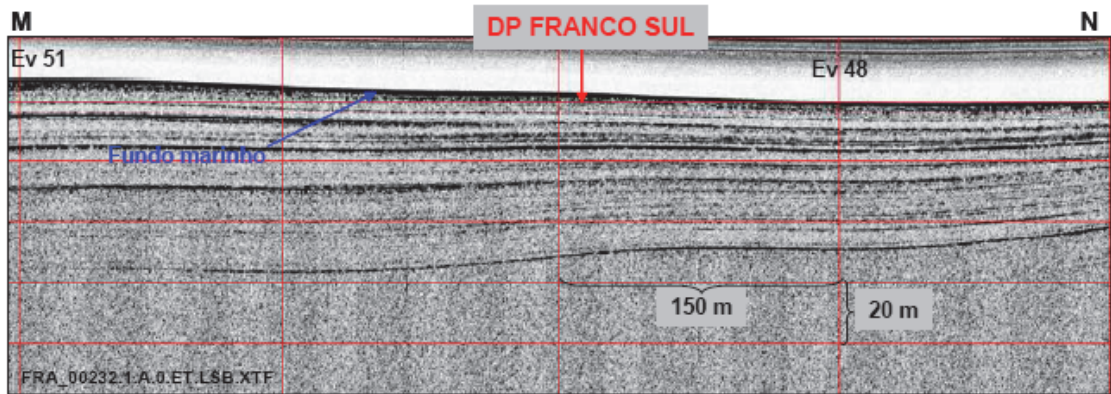
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-64 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do DP Franco 1 (Polo Pré-Sal).



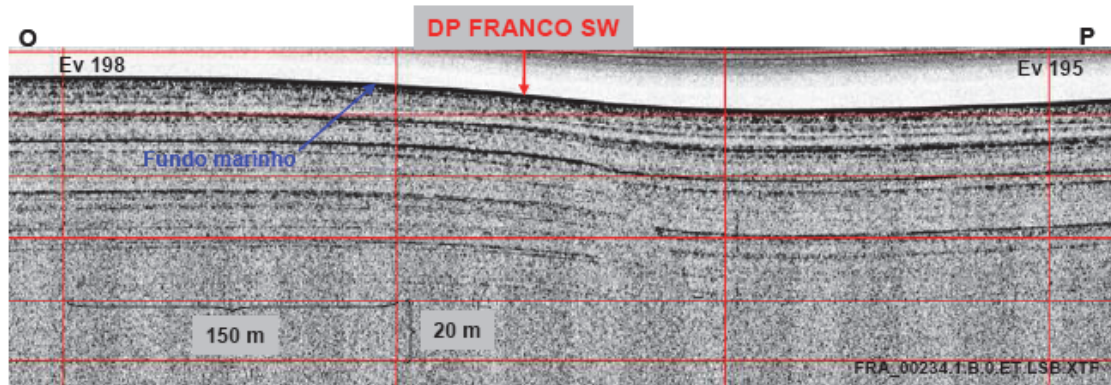
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-65 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do TLD Franco Lestes (Polo Pré-Sal).



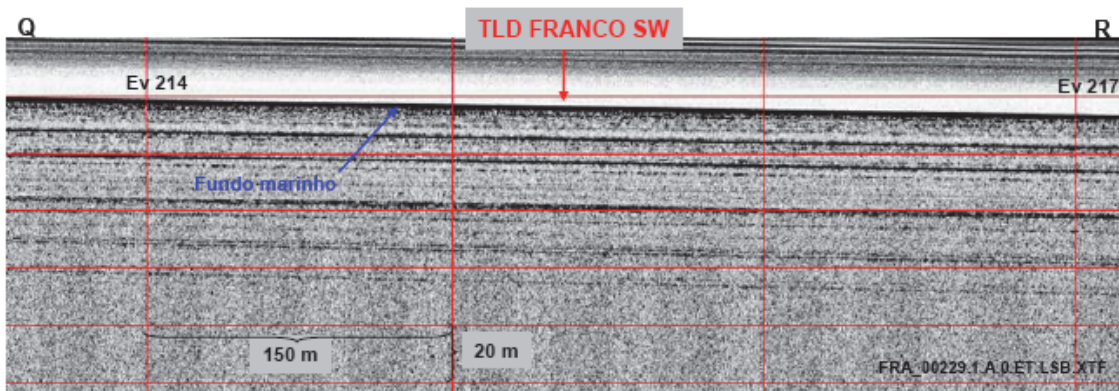
Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-66 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do DP Franco Sul (Polo Pré-Sal).



Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-67 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do DP Franco SW (Polo Pré-Sal).



Fonte: PETROBRAS (2013b).

Figura II.5.1.4-68 – Perfil SBP (Subbottom profile) na Área do TLD Franco SW (Polo Pré-Sal).

Fotos da Área Inspecionada



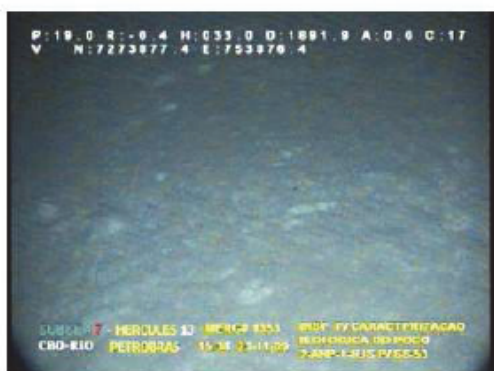
"NE" da locação



"NW" da locação



Centro da locação



"SW" da locação



"SE" da locação

Fonte: PETROBRAS (2013b).

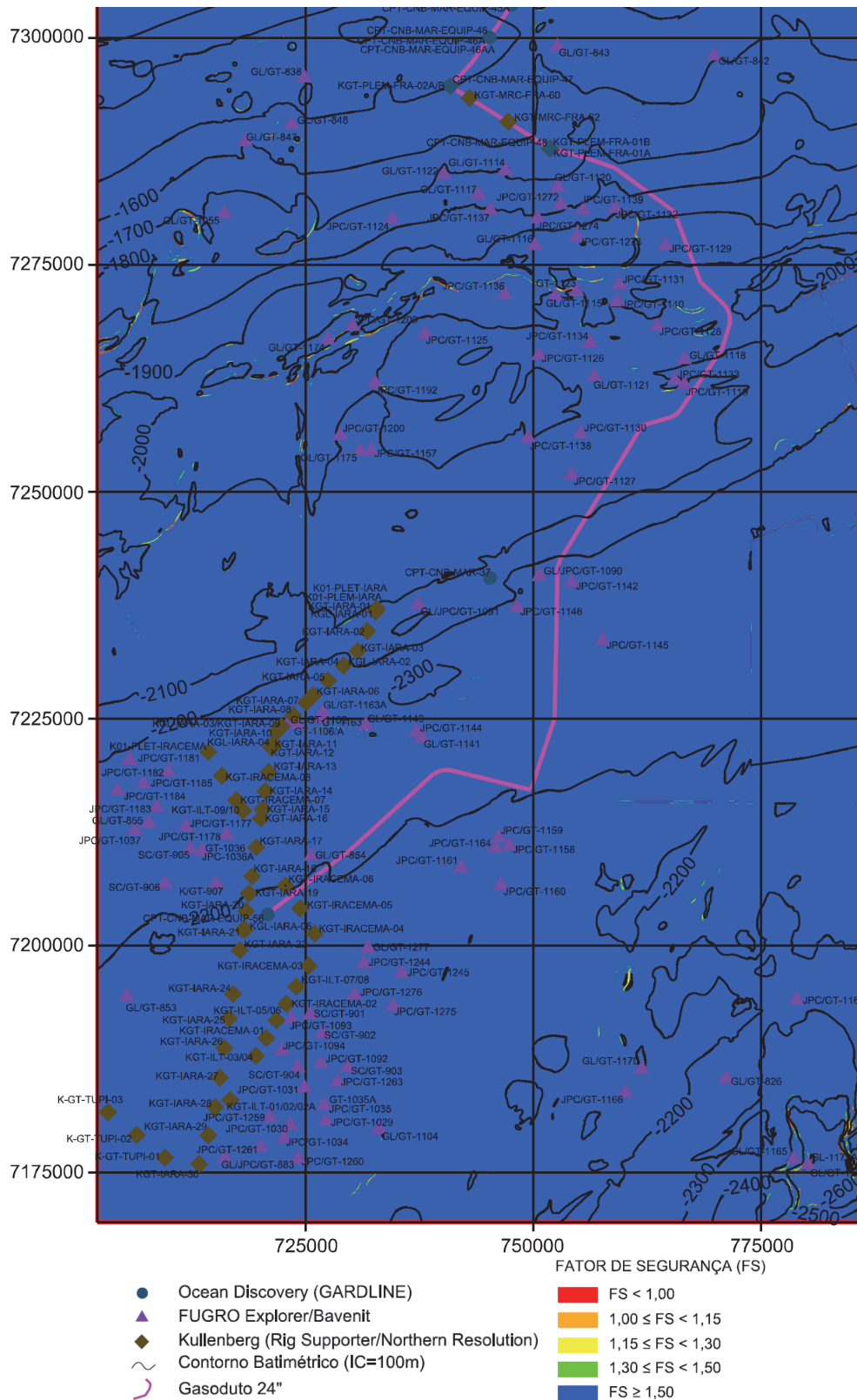
Figura II.5.1.4-69 – *Imagens de ROV indicando fundo tipicamente lamoso sem a ocorrência de coral de água profunda na área do DP Franco 1.*

Caracterização Geotécnica da Área do Empreendimento

Os ensaios realizados nas amostras coletadas, sobretudo na rota do gasoduto Lula N-Franco NW, classificam os sedimentos de fundo, do ponto de vista geotécnico, como lama arenosa, composta predominantemente de silte argiloso. Os índices de Consistência (Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade) analisados, apresentam predominantemente um comportamento de argila de alta compressibilidade (CH) (PETROBRAS, 2013c).

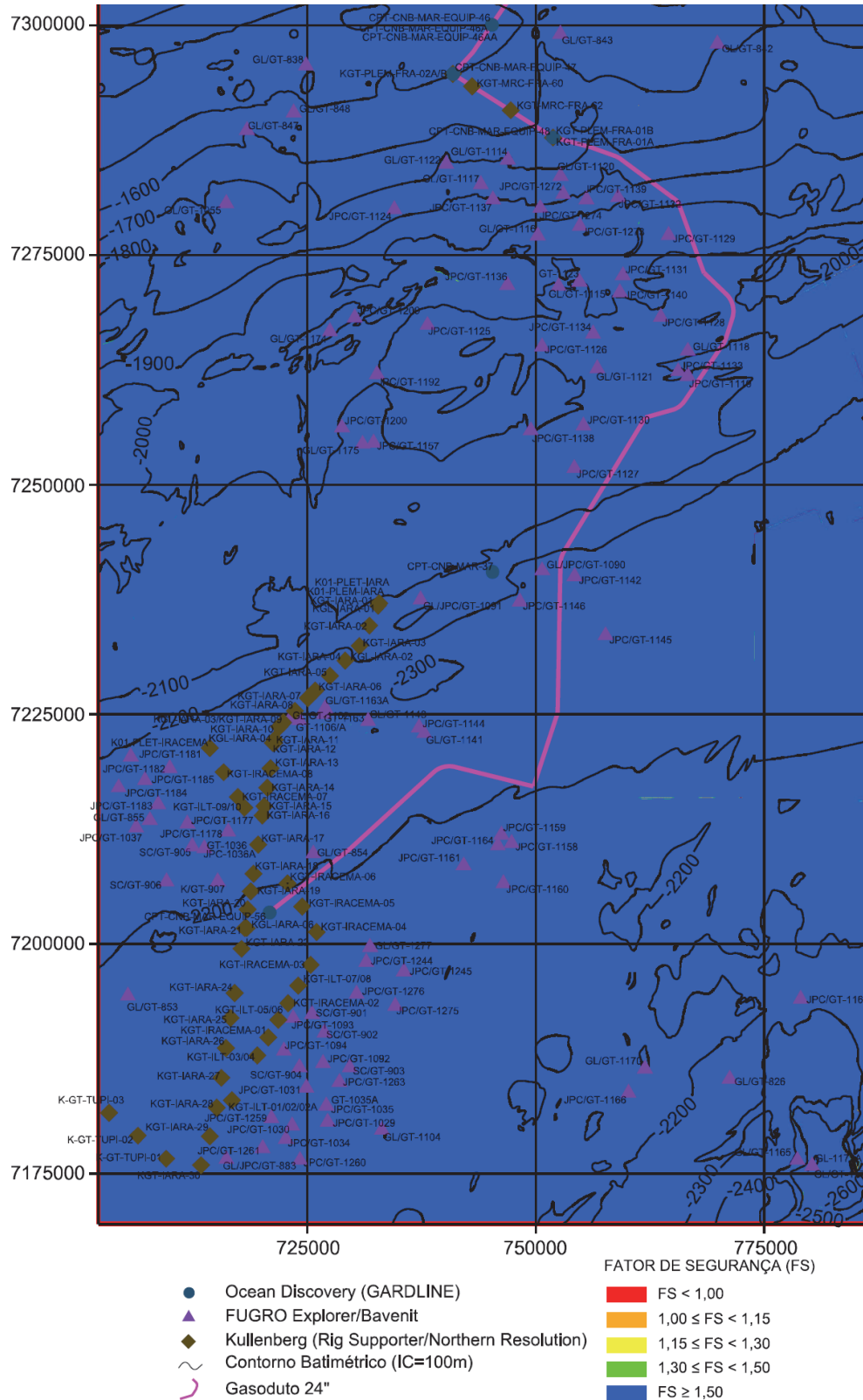
A análise de Estabilidade de Taludes avaliou os fatores de segurança estáticos e pseudo-estáticos, este último, considerando a ação de sismos. No caso estático foram avaliadas as condições de solitação drenada e não drenada para o comportamento do solo sob a ação de cargas gravitacionais.

Conforme pode ser observado na **Figura II.5.1.4-70** e na **Figura II.5.1.4-71** a análise dos fatores de segurança estáticos contra movimentos de massa submarinos translacionais rasos sob condições drenadas e não drenadas do solo em toda a área considerada estão acima de 1,5. Isso indica que, mediante a aplicação exclusiva de carregamento gravitacional, a região pode ser vista como não propensa à ocorrência de escorregamentos translacionais rasos.



Fonte: adaptado de PETROBRAS, 2013c.

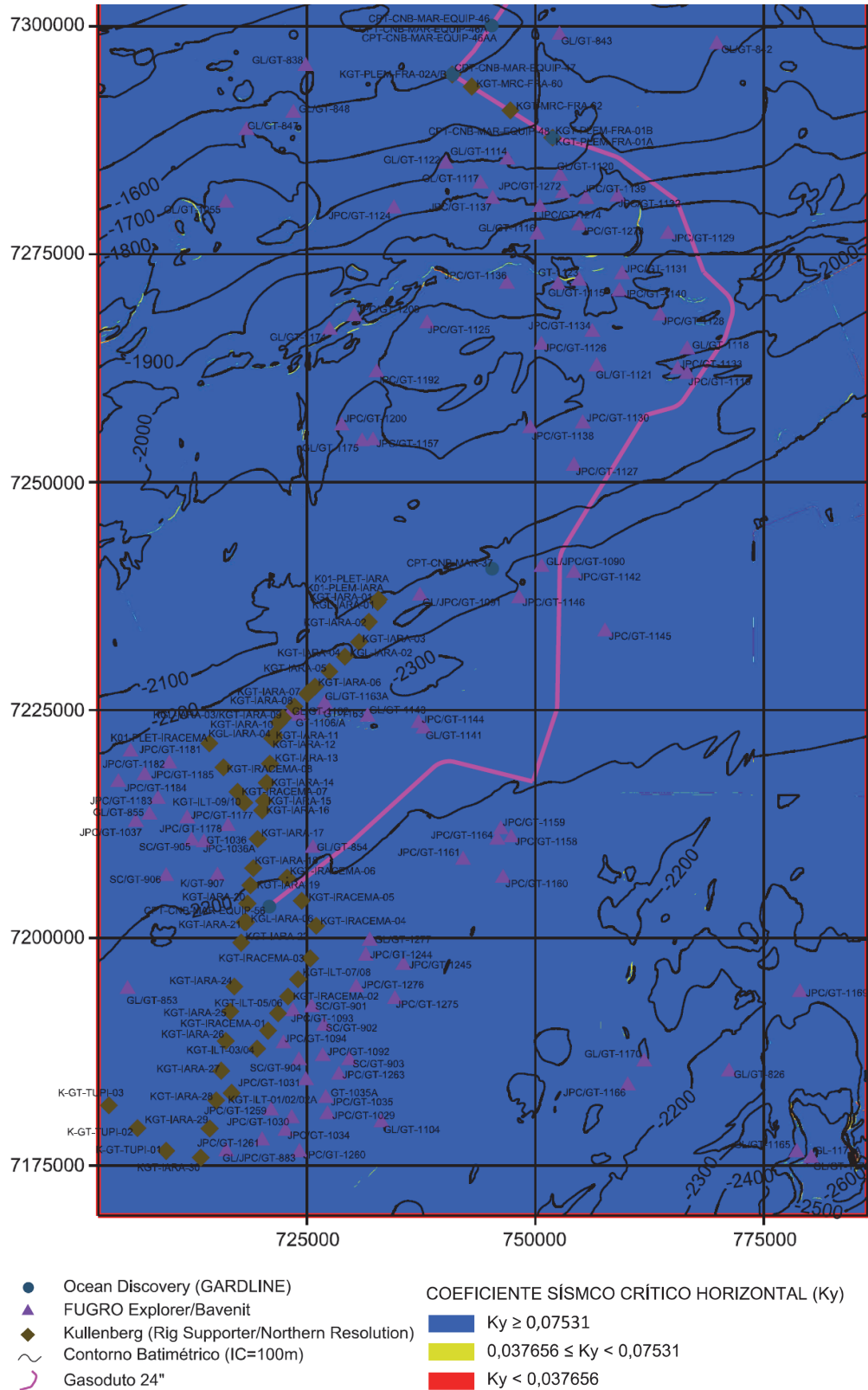
Figura II.5.1.4-70 – Fator de segurança para condições estáticas (Condições não-drenadas).



Fonte: adaptado de PETROBRAS, 2013c.

Figura II.5.1.4-71 – Fator de segurança para condições estáticas (Condições completamente drenadas).

A **Figura II.5.1.4-72** apresenta a distribuição espacial do coeficiente sísmico crítico k_y , cujos resultados foram agrupados em função de PGA/g em três classes diferentes obtidas conforme Abramson *et al* (2002; *apud* PETROBRAS, 2003c), observa-se que os valores do fator de segurança pseudo-estáticos superam a unidade ($FS > 1,0$) em basicamente toda a área, indicando a sua estabilidade.



Fonte: adaptado de PETROBRAS, 2013c.

Figura II.5.1.4-72 – Coeficientes sísmicos críticos (Condições pseudo-estáticas).

C) Estudo de dinâmica sedimentar local

O Termo de Referência CGPEG/DILIC/IBAMA 002/13 solicita que de acordo com a possibilidade da presença de feições de fundo ativas na região deve-se elaborar estudo de dinâmica sedimentar nas regiões nas quais há pretensão de instalação de estruturas de fundo.

De acordo com o apresentado anteriormente neste subitem, os mapas faciológicos, as imagens provenientes de sonares de varredura lateral, batimetrias multifeixe, perfis sísmicos e imageamento por meio de veículos autônomo submarino (AUV) mostraram que em todos os blocos onde serão desenvolvidas atividades não existe a presença de feições de fundo ativas na região.