

ÍNDICE

V.1.2 -	Oceanografia	1/26
V.1.2.1 -	Introdução	1/26
V.1.2.2 -	Bacia do Ceará	4/26
V.1.2.3 -	Bacia de Santos	15/26

Legendas

Figura V.1.2-1 - Representação esquemática do Giro Subtropical do Atlântico Sul.	2/26
Figura V.1.2-2 - Circulação superficial no Oceano Atlântico Equatorial destacando a Corrente Norte do Brasil (CNB) e a região de interesse localizada nos retângulos vermelhos.	3/26
Figura V.1.2-3 - Representação esquemática das principais correntes superficiais que banham as costas brasileiras.	4/26
Figura V.1.2-4 - Localização dos perfis com as respectivas estações oceanográficas.	6/26
Figura V.1.2-5 - Distribuição das temperaturas da água superficial da costa nordeste do Brasil.	7/26
Figura V.1.2-6 - Diagramas T-S esquemático, mostrando a presença da Água Tropical (AT), da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), da Água de Máxima Salinidade (AMS) e da Água Intermediária Antártica (AIA), na Bacia do Ceará.	10/26
Quadro V.1.2-1 - Detalhes dos fundeios dos perfiladores de corrente.	12/26
Figura V.1.2-7 - Histogramas direcionais das séries de corrente superficial registradas pelos perfiladores nos Fundeios 1, 2 e 3. As escalas de cores indicam faixas de frequência em relação ao número total de observações de cada série, em ‰ (por mil).	13/26
Quadro V.1.2-2 - Condições médias e extremas das componentes de corrente para as distintas seções da Plataforma Continental da Bacia Ceará (valores em cm/s).	14/26
Figura V.1.2-8 - Mapa de Temperatura da Superficial do Mar (TSM) com contornos de salinidade no período de verão.	16/26
Figura V.1.2-9 - Mapa de Temperatura da água (TSM) com contornos de salinidade no período de inverno. .	17/26
Figura V.1.2-10 - Perfis verticais de temperatura, salinidade e σ_T para os dados obtidos no Cruzeiro WOCE A17.	18/26
Figura V.1.2-11 - Diagrama T-S espalhado, mostrando os pares de T-S característicos das massas d'água da costa leste/sudeste do Brasil.	19/26
Figura V.1.2-12 - Caracterização das correntes na Bacia de Santos em uma situação de verão.	22/26
Figura V.1.2-13 - Caracterização das correntes na Bacia de Santos em uma situação de inverno.	23/26
Figura V.1.2-14 - Ilustração do campo de ondas de meso escala em condições de "bom tempo", obtida dos resultados do modelo WAVEWATCH III.	24/26
Figura V.1.2-15 - Maregrama previsto para região de Santos (período de 03/04 até 27/05/2016).	25/26

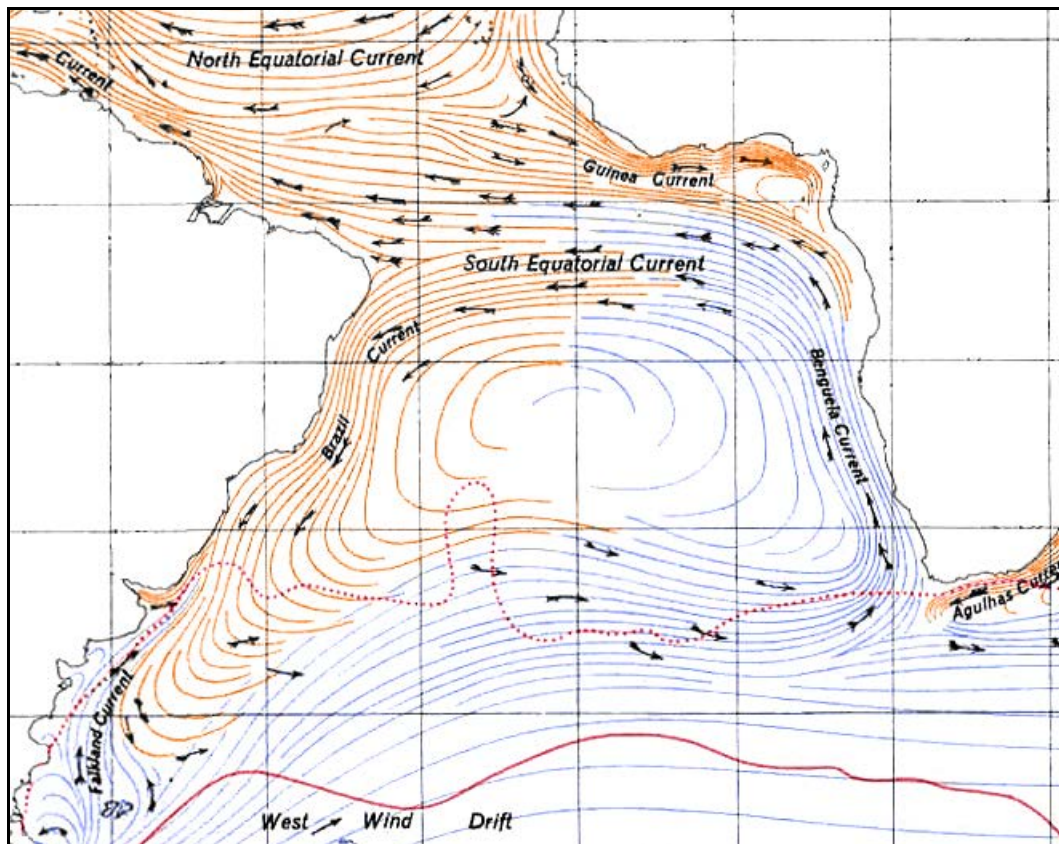
V.1.2 - Oceanografia

É objetivo deste item, apresentar uma análise detalhada dos aspectos oceanográficos mais relevantes da Área de Influência do projeto de Implantação do Sistema de Cabo Submarino de Fibras Ópticas - BRUSA. Conforme descrito no Termo de Referência do referido empreendimento, a parte marinha do estudo caracteriza as bacias sedimentares brasileiras em cujo cabo submarino será instalado. Sendo assim, em função das particularidades de cada região, a caracterização deste item é realizada considerando-se a seguinte subdivisão de bacias: (1) Bacia do Ceará, na costa norte-nordeste, com a instalação do sistema na Praia do Futuro, no município de Fortaleza (CE); e (2) Bacia de Santos, na costa sudeste brasileira, com a instalação do sistema na Praia da Macumba, no município do Rio de Janeiro (RJ). É considerado que o cabo seja instalado em águas muito profundas. Os estudos disponíveis descrevem áreas próximas à costa e, por isso, não será caracterizada toda a região de instalação do cabo neste momento.

É importante ressaltar que as informações aqui apresentadas foram obtidas a partir de levantamentos secundários e informações pretéritas e de análise de dados disponíveis nas imediações das regiões em estudo.

V.1.2.1 - Introdução

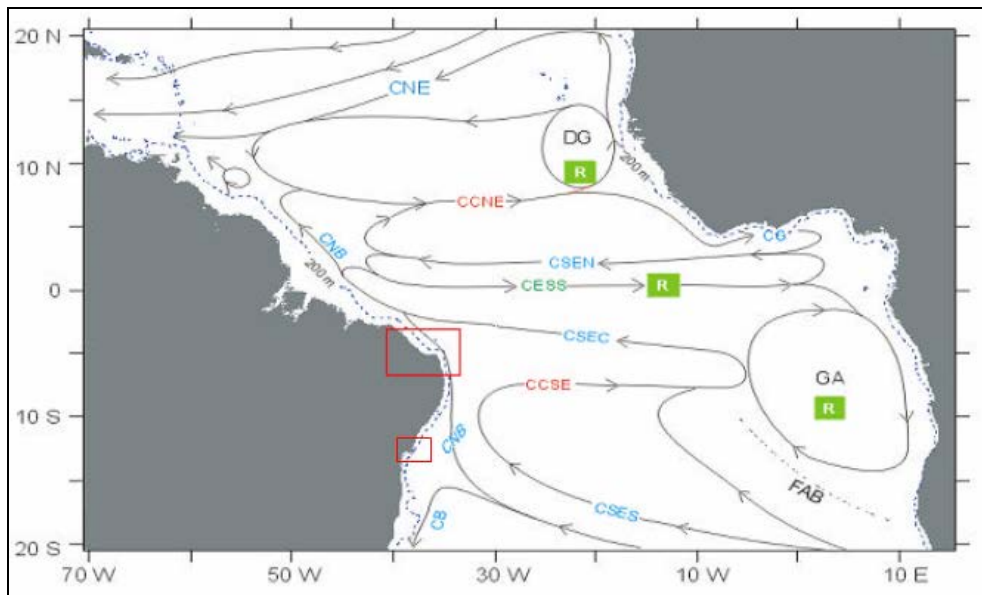
No que diz respeito ao regime hidrodinâmico de larga escala, a circulação superficial no Oceano Atlântico é forçada em grande parte pelos ventos alísios, que determinam o giro subtropical no sentido anticiclônico (anti-horário no hemisfério sul) (Figura V.1.2-1).



Fonte: adaptado de Ocean currents (1943).

Figura V.1.2-1 - Representação esquemática do Giro Subtropical do Atlântico Sul.

Este giro possui uma corrente de contorno oeste para sul, a Corrente do Brasil (CB), a qual se separa da costa na região da confluência com a Corrente das Malvinas (CM). A partir deste ponto, a Corrente do Brasil composta com a Corrente das Malvinas se afasta da costa e flui para leste como Corrente do Atlântico Sul (CAS). O giro no Atlântico é complementado pela Corrente de Benguela (BE) e pela Corrente Sul Equatorial (CSE). A Corrente Sul Equatorial, integrante deste giro, atravessa zonalmente a Bacia Atlântica e, ao se aproximar da costa brasileira, em torno da latitude de 12 °S, é bifurcada em dois ramos (STRAMMA & SCHOTT, 1999), como ilustrado pela **Figura V.1.2-2**. Enquanto o ramo que migra para sul origina a Corrente do Brasil (CB), o ramo noroeste, denominado de Corrente Norte do Brasil (CNB), fecha o giro equatorial e flui sobre toda a região oceânica da costa norte brasileira.



Fonte: adaptado de Stramma & Schott (1999).

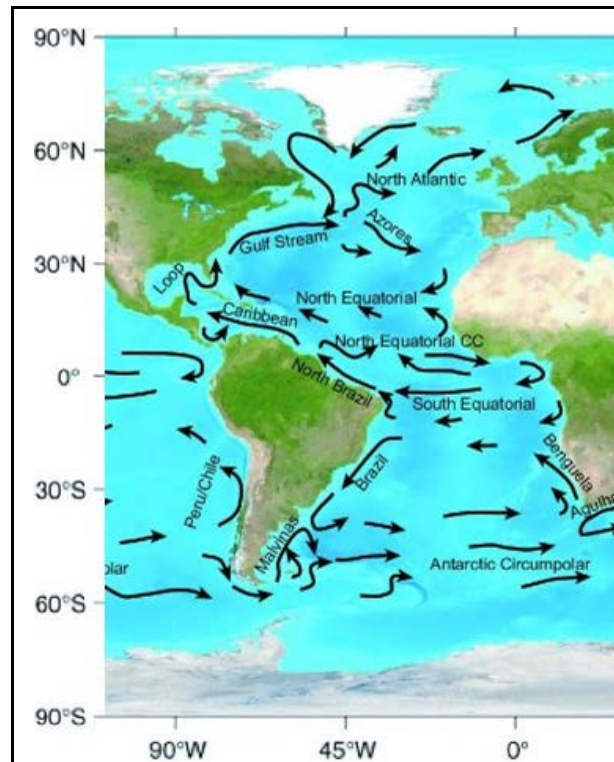
Figura V.1.2-2 - Circulação superficial no Oceano Atlântico Equatorial destacando a Corrente Norte do Brasil (CNB) e a região de interesse localizada nos retângulos vermelhos.

A corrente Sul-Equatorial (South Equatorial) do oceano Atlântico, que se movimenta no sentido leste-oeste na altura do equador, bifurca-se ao alcançar a costa nordestina brasileira. A corrente que se desvia para o norte é denominada corrente Norte do Brasil (North Brazil) ou corrente das Guianas, e a que se volta para o sul é denominada Corrente do Brasil (Brazil) (Figura V.1.2-3).

Quanto às ondas, Candella *et al.*, (1993) cita que as principais ondas presentes no Atlântico Sul são geradas nas médias e altas latitudes, por tempestades originadas nos centros de baixa pressão que vêm da Antártica, associados às frentes frias. As condições atmosféricas no Atlântico Sul, especialmente nas latitudes menores que 40° S, não são tão severas quanto às do mar do Norte ou mesmo do Pacífico, onde ocorrem grandes tempestades e furacões.

De acordo com Pond & Pickard (1978), a maré pode ser diferenciada devido às variações em seu período, gerando, dessa forma, quatro classificações distintas em função da localidade, a saber: diurna, semidiurna, mista principalmente diurna ou mista principalmente semidiurna. De um modo geral, a maior parte do litoral brasileiro (do estado de Alagoas ao Rio Grande do Sul) apresenta-se com regime de maré semidiurna, com amplitudes inferiores a 2 m (micromarés). Estas têm importância pontual, apenas onde a geomorfologia propicia um aumento da velocidade da corrente de maré. A maré semidiurna apresenta um período de aproximadamente 12h, promovendo duas marés altas e duas marés baixas em 24 h. Ainda sobre esse tipo de maré, Pond

& Pickard (1978) descrevem que a altura de uma preamar é praticamente igual à outra, fato que ocorre de maneira análoga durante a baixamar.



Fonte: <https://www.boem.gov/Ocean-Current-Energy>

Figura V.1.2-3 - Representação esquemática das principais correntes superficiais que banham as costas brasileiras.

Amplitudes de maré superiores a 4 metros (macromarés) são observadas apenas no estado do Maranhão, em parte do Pará (Salinópolis) e no litoral sul do Cabo Norte (Amapá). Nestes locais as correntes de marés possuem capacidade para modificar a morfologia da linha de costa e da plataforma continental interna. O restante do litoral e alguns trechos do litoral do Ceará, da Bahia e Sergipe apresentam mesomarés com amplitudes entre 2 e 4 m.

V.1.2.2 - Baía do Ceará

O litoral do estado do Ceará está inserido na Baía do Ceará. A costa norte da região nordeste brasileira tem seus parâmetros oceanográficos controlados pelos modos de variabilidade típicos da Zona Equatorial. Enquanto que as propriedades físico-químicas da água estão associadas ao padrão termodinâmico do Oceano Atlântico Tropical e suas interações com atmosfera, sob o ponto de vista dinâmico a região oceânica é regida por três agentes principais: a circulação de larga escala do Oceano Atlântico Sul, por meio do fluxo unidirecional da Corrente Norte do Brasil neste local; o ciclo de marés e o regime de ventos locais.

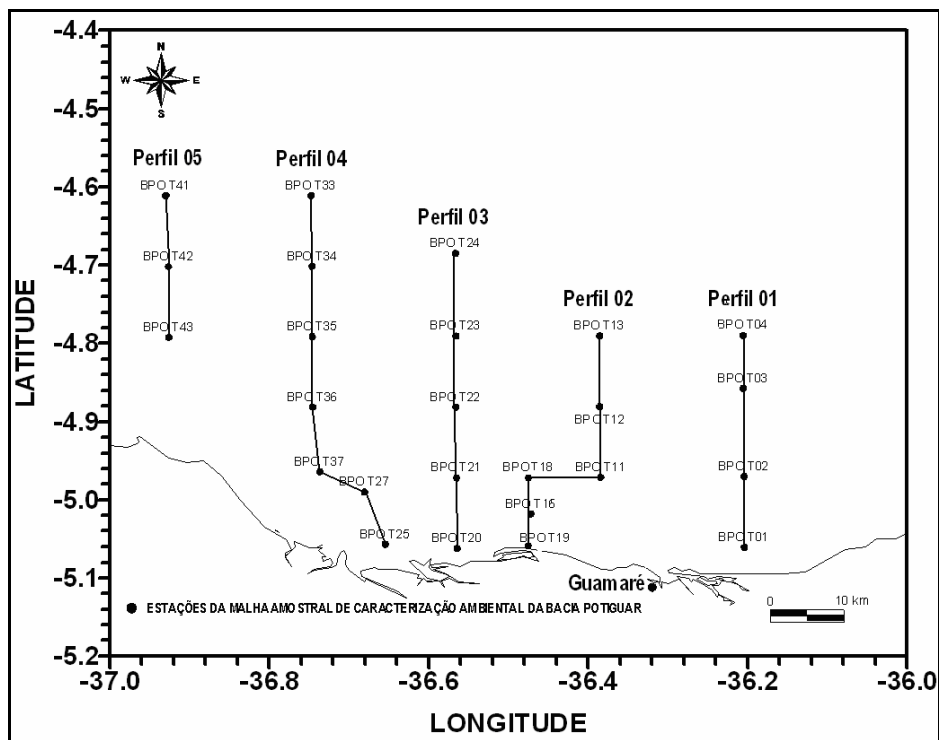
A caracterização dos parâmetros oceanográficos na área do empreendimento é feita com base na análise de dados oriundos da implementação de programas de monitoramento ambiental na região e de bases de dados públicas, de climatologias derivadas de dados de sensores remotos e de informações secundárias disponíveis em literatura científica. Outras fontes de informações utilizadas nesta descrição consistiram em bases de dados secundários públicas e/ou científicas, tais como: o Banco de Dados Oceanográficos da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (BNDO/DHN), dados de observação visual de ondas e estudos ambientais já publicados para a região.

Os itens caracterizados no presente subitem são: temperatura, salinidade e densidade da água do mar, agrupados em propriedades físico-químicas; massas d'água; regime de correntes; regime de ondas; e regime de marés.

V.1.2.2.1 - Temperatura e Salinidade

O chamado Padrão Dipolo do Atlântico é resultante do aquecimento diferencial do Oceano Atlântico Tropical ao longo do ano, segundo HASTENRATH & HELLER (1977) e UVO *et al.* (1994), o modo de variabilidade oceano-atmosfera dominante sobre esta bacia oceânica. Tal padrão é caracterizado pela manifestação simultânea de anomalias de temperatura da superfície do mar entre as bacias norte e sul, gerando gradientes de pressão atmosférica em escala inter-hemisférica que, por sua vez, agem no deslocamento meridional da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Por constituir-se no principal sistema meteorológico controlador de precipitação na região nordeste, a ZCIT tem efeitos significativos sobre as propriedades físico-químicas na região oceânica.

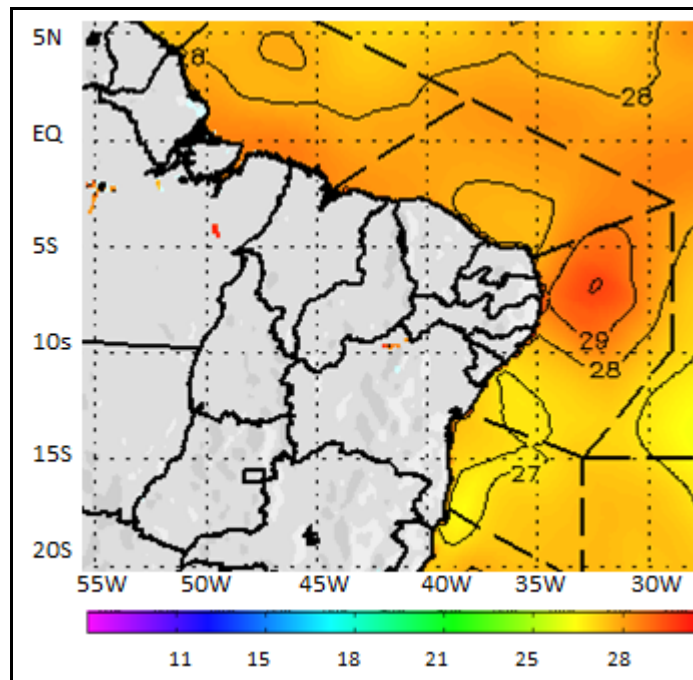
No tocante à distribuição vertical das propriedades físico-químicas, segundo o levantamento feito para o Campo de Siri pela Petrobras (Figura V.1.2-4), constatou-se a existência de uma coluna d'água praticamente homogênea na grande maioria dos perfis amostrados, em ambas as campanhas de monitoramento (PETROBRAS, 2005). As variações, quando existentes, estiveram limitadas aos primeiros metros da coluna d'água, evidenciando a resposta típica do oceano à ação de forçantes meteorológicas na interface oceano-atmosfera, tais como: precipitação, radiação solar e cisalhamento eólico. Nas estações mais profundas, verificou-se uma diferença significativa entre os valores de temperatura na superfície e no fundo, caracterizando diferentes ambientes termohalinos.



Fonte: adaptado de PETROBRAS, 2004 e 2005b.

Figura V.1.2-4 - Localização dos perfis com as respectivas estações oceanográficas.

A Figura V.1.2-5 apresenta as temperaturas da água superficial na costa nordeste brasileira, de acordo com os dados de Temperatura e Salinidade disponibilizados pela Marinha do Brasil. A temperatura da água superficial próxima ao Litoral do Ceará é de aproximadamente 28°C.



Fonte: <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/tsm/12hmg/tsm12.htm>

Figura V.1.2-5 - Distribuição das temperaturas da água superficial da costa nordeste do Brasil.

Reforçando a análise espacial, a construção de seções verticais das propriedades para cada perfil descrito desta seção, para os dados obtidos na campanha de novembro de 2003 revelou que a homogeneidade ao longo da coluna d'água ocorre primordialmente sobre a região da Plataforma Continental, indicando intenso processo de mistura induzido pela dinâmica local. Apenas nas seções que cobrem áreas de Plataforma Externa e Talude Continental (Perfis 1 e 4) é verificada a estratificação das propriedades nos níveis mais profundos, a partir da borda da plataforma, como reflexo da estrutura termohalina local.

As seções verticais revelaram, no entanto, existência de significativos gradientes horizontais, com maiores valores de temperatura e salinidade nas regiões mais próximas à costa. Conforme mencionado anteriormente, tal fato decorre da influência dos agentes meteorológicos locais, onde regiões mais rasas tendem a ser mais evidentes.

Os valores de temperatura superficial na área de estudo apresentaram-se com uma amplitude térmica de 1,8 °C em maio (mínima de 27,2 °C, e máxima de 29,0 °C) com uma média de cerca de 28,1 °C. Em novembro, a amplitude situou-se em 0,8 °C (mínima de 27,2 °C, e máxima de 28,0 °C), com média de 27,6 °C (Petrobras, 2005).

Quanto à distribuição superficial da salinidade, esta apresentou valor médio de 36,2 em maio (mínimo de 35,7 e máximo de 36,9), e de 37,1 em novembro (mínimo de 36,2 e máximo de 37,8). Em todos os perfis a máxima salinidade foi registrada a partir da profundidade de 2 metros, sobretudo nas regiões mais próximas da costa (PETROBRAS, 2005).

Em respeito à densidade da água, propriedade dependente das demais, a distribuição vertical e horizontal acompanha o comportamento da salinidade. Valores superficiais do parâmetro sigma-t3 apresentaram uma média de 23,32 kg/m³, (máximo de 24,08 kg/m³ e mínimo 22,71 kg/m³) em maio e 24,06 kg/m³ em novembro (máximo de 24,66 kg/m³ e mínimo 23,59 kg/m³).

Enquanto que as propriedades físico-químicas são distribuídas ao longo da coluna d'água por ação de forçantes hidrodinâmicas e meteorológicas locais, com flutuações associadas a pequenas escalas de tempo e espaço, o modo de variabilidade sazonal dominante na costa norte brasileira ocorre em função de fenômenos de larga escala na bacia do Oceano Atlântico Tropical.

Em concordância com este comportamento, a evolução do campo de TSM ao longo do ano sobre a área de influência revelou temperaturas máximas nos meses de março a maio, e mínimas entre agosto e outubro. Considerando ainda que as máximas de TSM estejam bem relacionadas com máximos de precipitação devido ao posicionamento da ZCIT na costa norte da Região Nordeste Brasileira, pode-se inferir em uma variabilidade inversa para distribuição da salinidade superficial do mar e, conseqüentemente, do campo de densidade. Em outras palavras, menores valores de salinidade e densidade ocorreriam durante o período chuvoso, de TSM máximas, e os maiores valores durante a estação seca, de mínima TSM.

Massas d'Água

As massas d'água são corpos de água com história comum de formação e definidos com base nas características de temperatura e salinidade da água do mar de determinada região, que, por sua vez, definem a sua densidade. Por esta densidade é que é determinada a posição que estas massas irão ocupar na coluna d'água (MIRANDA, 1991).

Segundo STRAMMA & SCHOTT (1999), as massas d'água possivelmente presentes no Atlântico Tropical são: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA), Água Circumpolar Superior (ACS). Essas massas ocorrem em profundidades de até 1.200 m e se deslocam preferencialmente para norte. Entre 1.200 e 4.000 m tem-se a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) seguindo para sul, seguida mais ao fundo pela Água Profunda da Antártica (APA), fluindo para norte.

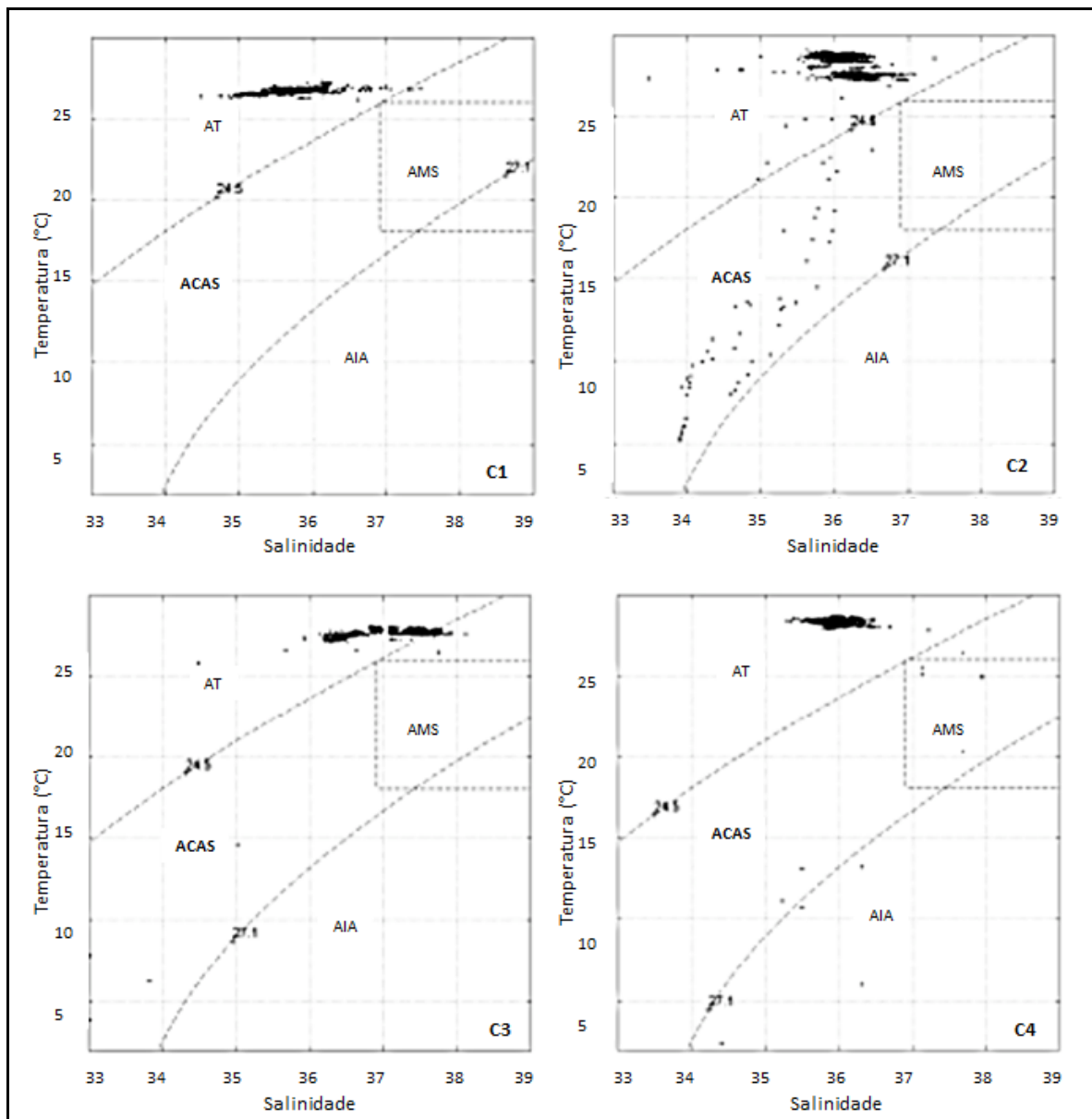
Em relação às massas d'água diretamente associadas à estrutura vertical da Corrente Norte do Brasil (CNB) na região, SILVEIRA *et al.* (1994) encontraram águas com salinidade acima de 37 representando Água Tropical (AT) entre a superfície e 70-100 m. Em profundidades compreendidas entre 70 e 150 m nesta área encontra-se a Água de Máxima Salinidade (AMS), enquanto que em maiores profundidades é observada a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), limitada ao fundo pela Água Intermediária Antártica (AIA), representando a menor salinidade (cerca de 34,5) e centrada em cerca de 700 m. Além dessas massas d' água é possível ainda encontrar mais ao fundo em alguns locais, onde a salinidade volta a aumentar, a Água Circumpolar Superior (ACS).

As massas d'água presentes na região da Bacia CEará foram identificadas com base nos dados primários de temperatura e salinidade coletados pela PETROBRAS ao longo de 4 campanhas (C1, C2, C3 e C4) oceanográficas de caracterização e monitoramento realizadas na região da Bacia Ceará (PETROBRAS, 2006). Esta identificação foi realizada pela elaboração dos diagramas de Temperatura e Salinidade (T-S) (Figura V.1.2-6) que permitiram a caracterização de 4 massas d' água na região em estudo, a saber:

- **Água Tropical (AT):** massa d' água superficial caracterizada por valores de sigma-t inferiores a 24,50, temperaturas superiores a 26,0° C e salinidade entre 35,0 e 37,5, aproximadamente. Segundo STRAMMA *et al.* (2005), ela forma a camada de mistura do Atlântico Tropical;
- **Água Central do Atlântico Sul (ACAS):** massa d'água situada entre a Água Tropical Superficial e a Água Intermediária Antártica, é transportada, segundo STRAMMA & SCHOTT (1999), para a região em estudo pela Corrente Norte do Brasil (CNB) e Sub-Corrente Norte do Brasil (SCNB). Essa massa d' água apresenta baixo valor de salinidade e alto valor de oxigênio dissolvido, sendo caracterizada por valores de densidade entre 24,500 e 27,125, temperaturas entre 5° C e 23° C e salinidade entre 34,0 e 36,5, aproximadamente;
- **Água Intermediária Antártica (AIA):** massa d' água proveniente da Convergência Antártica e que se propaga em direção norte através do Equador. Apresenta um mínimo de salinidade entre 700 e 1100 m de profundidade e um máximo de oxigênio. É limitada pelo intervalo de densidade entre 27,125 e 27,450, temperaturas inferiores a 14 °C e salinidade entre 34,4 e 36,3, aproximadamente; e
- **Água de Máxima Salinidade (AMS):** massa d'água que encontra-se normalmente inserida na ACAS. Apresenta temperaturas variando de 18,0° a 26,0 °C e salinidade próxima ou superior a 37,0. É formada na região de transição dos trópicos para os subtropicais, onde a evaporação é

maior que a precipitação e transportada do oceano Atlântico Sul para a região de fronteira oeste pelo sistema Corrente Sul Equatorial (CSE)/ Corrente Norte do Brasil (CNB)/ Subcorrente Norte do Brasil (SCNB) (SCHOTT *et al.*, 1995,1998; FERREIRA, 2001; FREITAS, 2003; SILVA, 2006).

Segundo SILVA *et al.* (2005), as massas d' água nesta região são bem misturadas sem a presença de qualquer estratificação devido à presença constante e intensa dos ventos alísios.



Fonte: PETROBRAS (2006).

Figura V.1.2-6 - Diagramas T-S esquemático, mostrando a presença da Água Tropical (AT), da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), da Água de Máxima Salinidade (AMS) e da Água Intermediária Antártica (AIA), na Bacia do Ceará.

A análise desta figura mostra a presença predominante de Água Tropical (AT) e Água Central do Atlântico Sul (ACAS). Nas estações de amostragem mais profundas foi verificada a presença da Água Intermediária Antártica (AIA) e nas estações de coleta mais profundas, localizadas no Talude da Plataforma Continental Ceará foi possível identificar também a Água de Máxima Salinidade (AMS).

A Água Tropical (AT) superficial esteve presente em todas as colunas d' água das estações de coleta, compreendida entre a superfície e a profundidade de 70 metros. Abaixo desta foi observada a ACAS (Água Central do Atlântico Sul), estendendo-se até cerca de 450 m e abaixo desta profundidade, nas estações de coleta mais profundas, verificou-se a presença da AIA (Água Intermediária Antártica) (PETROBRAS, 2006).

V.1.2.2.1.1 - Regime de Correntes

Controlando o regime de correntes na parte externa da plataforma continental e no talude nestas Bacias, a Corrente Norte do Brasil (CNB) apresenta-se como um fluxo constante para noroeste com velocidade que pode alcançar 120 cm/s (Richardson, 1994). Ainda segundo este relatório, a velocidade da CNB varia entre 25 e 200 cm/s, dependendo de eventuais interações com ventos alísios e da posição relativa dentro dos limites da corrente. De acordo com JOHNS *et al.* (1998), a CNB apresenta um forte ciclo anual, com um máximo de transporte ocorrendo em Julho-Agosto (36 Sv) e mínimo em Abril-Maio (13 Sv).

Nos domínios internos da plataforma, a circulação é resultante da composição das correntes de maré e de deriva costeira, esta última decorrente da ação dos ventos locais. Como efeito da predominância de ventos do quadrante Leste (entre SE e NE) e da orientação E-O da linha de costa adjacente, a corrente resultante tem direção paralela à costa, com fluxo preferencialmente para oeste. Segundo SIGNORINI & MIRANDA (1983), em função da influência dos ventos alísios durante todo o ano, as correntes costeiras na Bacia do Ceará apresentam forte componente para Oeste.

Para a caracterização do comportamento dinâmico na área de influência, foram analisadas séries de dados horários de intensidade e direção de corrente oriundos de fundeios de perfiladores de corrente; Fundeio 1 (PETROBRAS & Oceansat, 2003), Fundeio 2 (Devon & Oceansat, 2001) e Fundeio 3 (PETROBRAS, 2005), detalhados na Quadro V.1.2-1.

Quadro V.1.2-1 - Detalhes dos fundeios dos perfiladores de corrente.

	Fundeio 1	Fundeio 2	Fundeio 3
Posição Geográfica	04°52'00''S 37°09'01''W	04°26'29''S 37°19'03''W	04°19'34''S 37°15'36''W
Profundidade Local	6 metros	17 metros	29 metros
Níveis de Medição	11 camadas de 0,5 metros	32 camadas de 0,5 metros	58 camadas de 0,5 metros
Período de Aquisição	21 a 27/04/2001	22/09 a 02/12/2000	24/09/200 a 24/09/2001

Fonte: PETROBRAS & Oceansat (2003); Devon & Oceansat (2001) e PETROBRAS (2005).

A análise das séries de dados registrados pelos perfiladores indicou que os maiores percentuais de variância recaem no período semidiurno (~12 horas), indicando a predominância das correntes de maré nos registros. Enquanto que no Fundeio 2 esta variância está acima de 90%, no Fundeio 3, em região de plataforma externa, este valor está em torno de 75%. Nestas três localidades os altos valores de variância descritos pela componente semidiurna, em todos os níveis de profundidade amostrados, revelam pouca variabilidade das correntes de maré entre a superfície e o fundo da coluna d'água (VIANNA & MENEZES, 2003).

Construídas para os dados obtidos no Fundeio 3, de maior período de amostragem, para os níveis de 2, 5, 10, 15, 20 e 25 metros de profundidade, estas tabelas revelam uma ocorrência superior a 50% de correntes entre 5 e 15 cm/s, e acima de 30% para a faixa de direção de 270-310°, em todas os níveis. A classe individual com maior frequência relativa em todas as distribuições foi a de 10-15 cm/s entre 270-280° (~2,5%). Tal distribuição é ilustrada pelos histogramas direcionais apresentados pela **Figura V.1.2-7**, construídos com base nas referidas tabelas.

A análise também revela valores de intensidade ligeiramente maiores nos níveis intermediários da coluna d'água, corroborando a dominância de forçantes de mais larga escala (como a maré e a CNB), na dinâmica local. Variabilidades sazonais significativas não foram observadas nas séries anuais do Fundeio 3, embora tenha sido verificada a presença de sinais com variabilidades nas faixas de períodos de 8-12 dias, 18 dias e 170 dias (VIANNA & MENEZES, 2003).

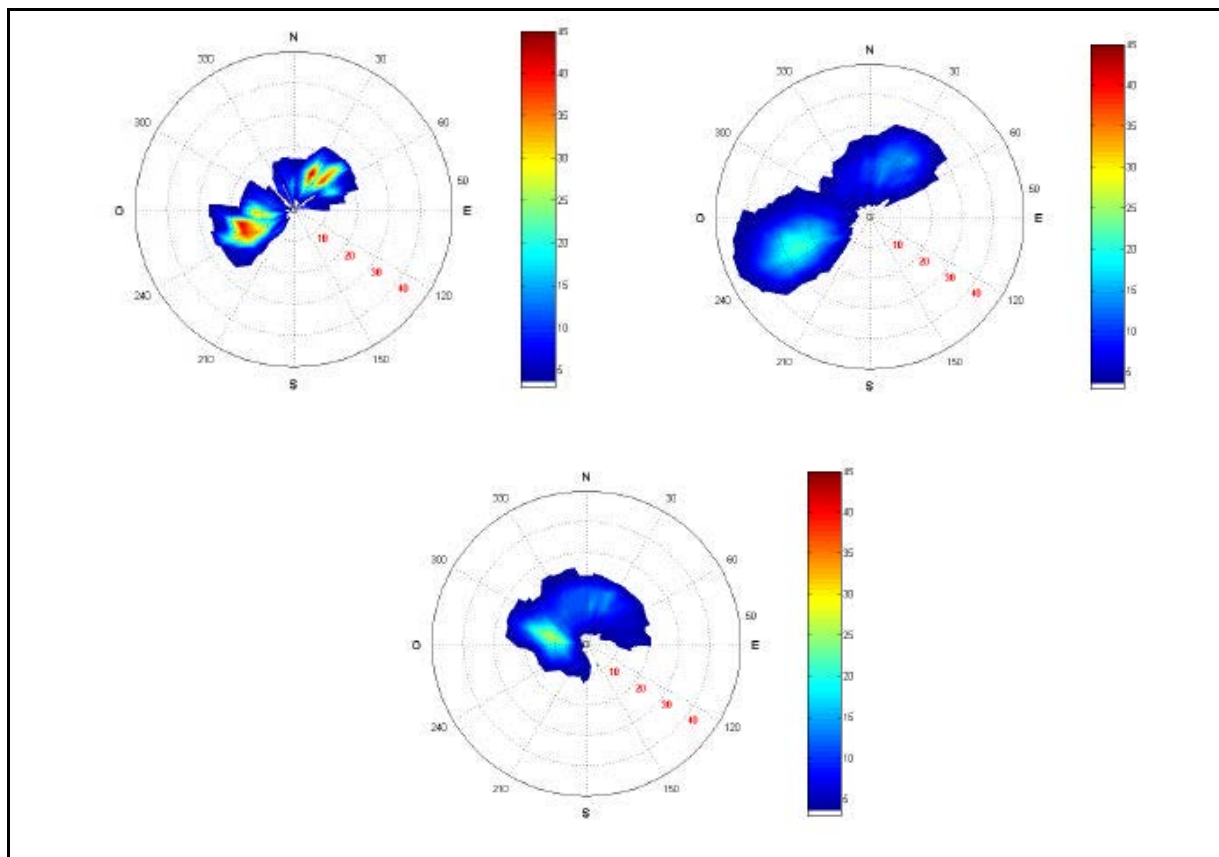


Figura V.1.2-7 - Histogramas direcionais das séries de corrente superficial registradas pelos perfiladores nos Fundeios 1, 2 e 3. As escalas de cores indicam faixas de frequência em relação ao número total de observações de cada série, em % (por mil).

A série registrada pelo Fundeio 1 evidencia um claro domínio do sinal bipolar de maré, semidiurno, com predominância de correntes com intensidade média entre 15 e 20 cm/s durante o período de enchente e entre 10 e 15 cm/s na vazante. O mesmo padrão é observado no Fundeio 2, onde a assimetria das correntes de maré é melhor discriminada, com máximo em torno de 40 cm/s na enchente e de 30 cm/s na vazante. Percebe-se ainda um desvio para oeste do eixo de oscilação da maré decorrente da influência de componente zonal constante, representando as correntes geradas pelos ventos locais. A análise dos registros identificou a predominância de um fluxo médio de 8 cm/s na direção NW e máximo em torno de 15 cm/s.

No Fundeio 3, o padrão bipolar associado a regiões de plataforma interna e média é parcialmente desfeito pela influência de uma componente zonal mais significativa, de magnitude equivalente às correntes de maré. Com 29% das observações entre 10 e 15 cm/s, tal componente está associada a maior influência da CNB sobre a quebra da plataforma. Os valores de intensidade das correntes de enchente e vazante têm máximos em 23 cm/s e 26 cm/s, respectivamente, e a

deriva máxima em 30 cm/s. De acordo com os dados, esta deriva desenvolveu fluxo constante médio de 10 cm/s para 280°, com máximo em 20 cm/s nesta direção.

Com base nas análises apresentadas, distinguem-se três regimes de correntes distintos sobre área, os quais podem ser associados a padrões dentro dos limites da Plataforma Continental na região, a saber: Plataforma Média, Interna e Externa. O Quadro V.1.2-2 sintetiza o comportamento hidrodinâmico em cada seção segundo valores médios e extremos das componentes de corrente de maré e de deriva.

Quadro V.1.2-2 - Condições médias e extremas das componentes de corrente para as distintas seções da Plataforma Continental da Bacia Ceará (valores em cm/s).

Componente	Plataforma Interna		Plataforma Média		Plataforma Externa	
	Média	Extrema	Média	Extrema	Média	Extrema
Maré	5-10	15-20	15-20	35-40	10-15	25-30
Deriva	10	20	10	20	15	30

V.1.2.2.1.2 - Regime de Ondas

O regime de ondas no litoral norte/nordeste do Brasil é controlado pelos ventos alísios, apresentando alturas em torno de 1 a 1,5 metro em mar aberto e direção predominantemente de leste, oscilando entre NE e SE (INNOCENTINI *et al.*, 2000).

Além da agitação gerada localmente (vagas), deve-se considerar ainda a incidência de marulhos na faixa de períodos acima de 10 segundos, com duração de alguns dias, causados por furacões extratropicais no Atlântico Norte. A frequência de ocorrência destes furacões é bastante variável de ano para ano, mas a maioria ocorre entre agosto e outubro, com pico em setembro (INNOCENTINI *et al.*, 2000).

Em regiões relativamente profundas, o campo de ondas pode se comportar de forma aproximadamente homogênea ao longo de distâncias da ordem de quilômetros. Já em áreas rasas e próximas da costa (normalmente inferiores a 40 m), onde as ondas são significativamente influenciadas pelas variações de batimetria, os parâmetros interfaciais podem variar numa escala espacial da ordem de apenas alguns metros (PETROBRAS, 2006).

FISCH (2008) analisou e classificou o clima de ondas na costa do Ceará com base na análise de cinco anos (1997 a 2001) de dados de onda obtidos com um ondógrafo direcional do tipo Waverider (de propriedade do INPH - Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias) e dados de vento medidos na região costeira adjacente ao Porto do Pecém. O ondógrafo utilizado para as

medições de onda ficou fundeado a aproximadamente 3 km da costa, em uma profundidade média de 17 m, nas proximidades do Terminal Portuário do Pecém, CE nas coordenadas geográficas de 33°30'11" S e 38°47'20" W.

Os dados analisados compreendem um total de 52 meses, sendo 12 correspondentes ao período de verão, 14 ao outono, 13 ao inverno e 13 à primavera. Os registros de onda correspondem a coletas realizadas a intervalos de 3 horas, com duração de 20 min cada, totalizando, portanto, 8 aquisições por dia.

Ressalta-se que a descrição do regime de ondas em Pecém é válida para os objetivos deste estudo, visto a proximidade com a região do empreendimento e a similaridade do campo de forçantes meteorológicas no litoral norte do nordeste brasileiro.

Os resultados obtidos com este estudo demonstram que o clima de ondas na região da costa do Ceará é dominado por ondas de curto período geradas localmente (*wind sea*) e ondas associadas a ambos os regimes de ventos alísios de NE e SE, que alternam sua dominâncias ao longo do ano.

Com base no conjunto de dados de ondas e ventos analisados, foram classificados 3 tipos principais de estados de mar, a saber: Estados de Mar associados aos Ventos Locais, Estados de Mar associados aos Regimes de Ventos Alísios e Estados de Mar associados a Tempestades Distantes (Chegadas Dispersivas de Ondas).

Os resultados apresentados neste estudo estão de acordo com outros trabalhos na região (MELO & ALVES, 1993; MELO *et al.*, 1995; BESERRA, 2007; BESERRA *et al.*, 2007), indicando que, além da dominância das ondas geradas localmente e associadas aos alísios, esta região recebe constantemente ondulações de grandes períodos (*swells*) geradas por tempestades que ocorrem no Atlântico norte e que viajam por longas distâncias até atingirem estas costas, ocasionando a elevação das alturas de ondas e, por vezes, destruição de parte da região litorânea.

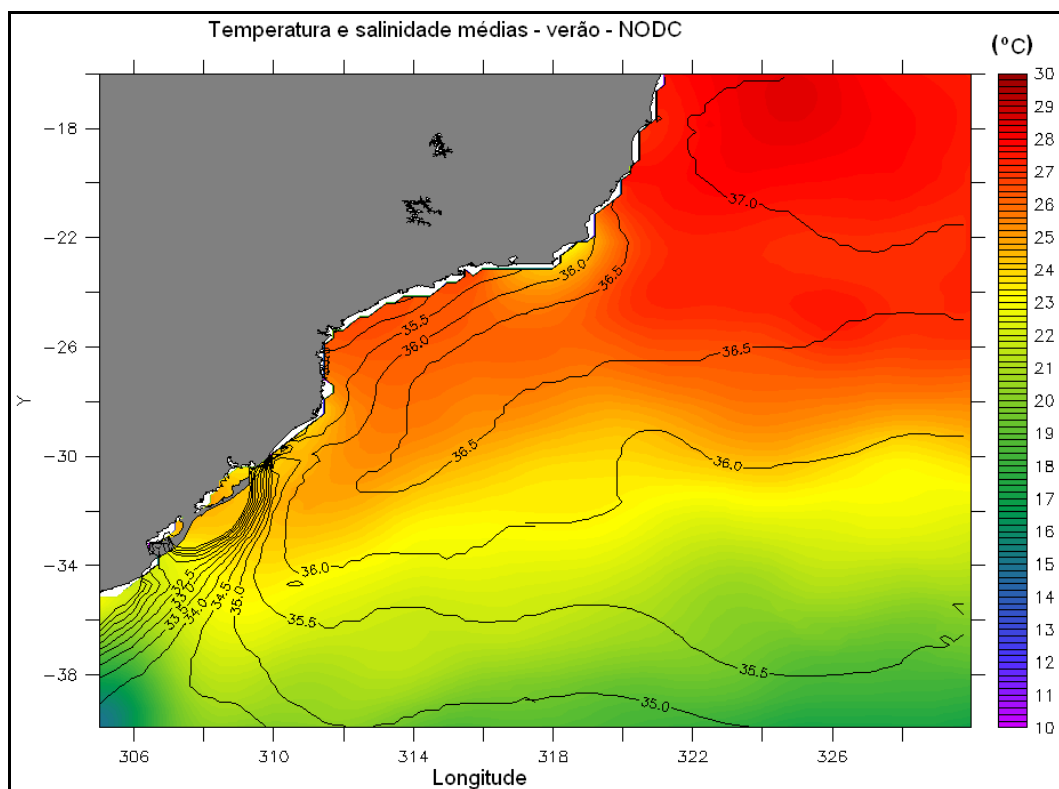
V.1.2.3 - Baía de Santos

O litoral do estado do Rio de Janeiro que abrange a área da Praia da Macumba está inserido na Baía de Santos. Para a caracterização oceanográfica da área de instalação do Sistema de Cabo Óptico BRUSA, tanto *offshore*, como na região da Praia da Macumba, Rio de Janeiro (RJ), foram consultados dados de fontes diversas, sobre a Baía de Santos, tais como NOAA, NODC, WOCE, Projeto MONDO, FEMAR e Modelo WAVEWATCH III (WW3). Os resultados obtidos a partir da consulta dos dados estão apresentados nos itens a seguir.

Temperatura e Salinidade

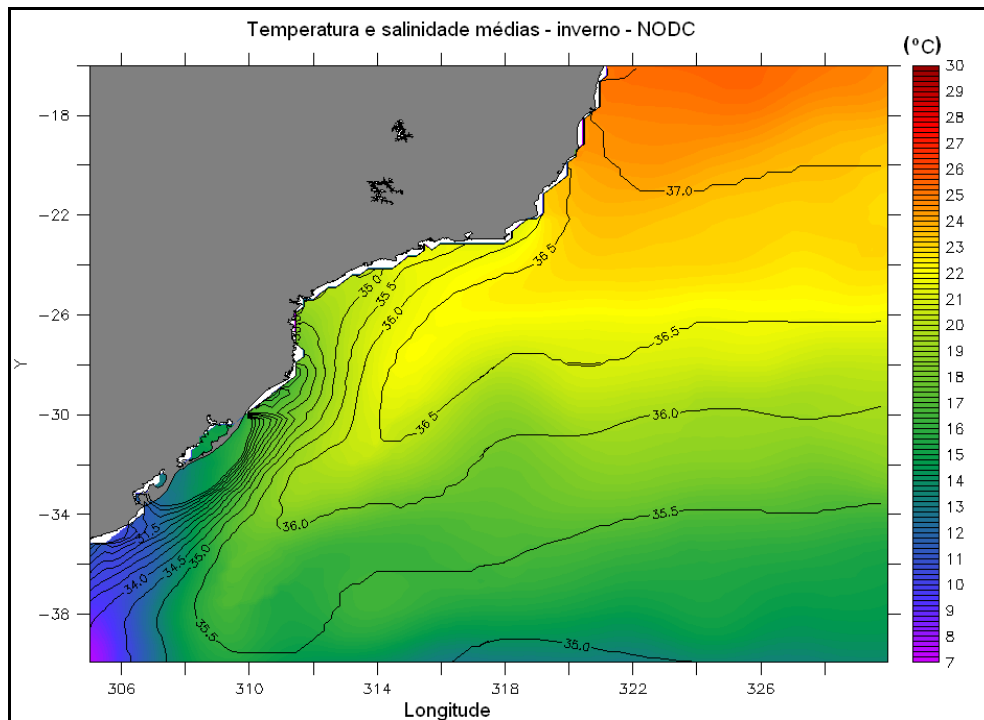
Na Bacia de Santos, ocorrem variações da temperatura superficial do mar entre 23°C e 27°C no verão e de 17°C a 22°C no inverno. A região sul apresenta as temperaturas de água mais baixas, seguidas das áreas de São Paulo e Rio de Janeiro, devido ao processo de ressurgência costeira. A salinidade varia de 35,0 a 36,5, ao longo do ano (período de verão/inverno). Ao longo da região sul e sudeste do Brasil é possível observar-se a influência da Corrente do Brasil, a qual possui água quente e salina.

A Figura V.1.2-8 apresenta as temperaturas da água superficial no período de verão e a Figura V.1.2-9 apresenta as temperaturas da água no período de inverno na costa leste brasileira, de acordo com os dados do satélite NOAA (Reynolds et al., 2007). Em cada figura, os dados de salinidade foram compilados pelo NODC e são apresentados em linhas sobrepostas.



Fonte: adaptado de ASA

Figura V.1.2-8 - Mapa de Temperatura da Superficial do Mar (TSM) com contornos de salinidade no período de verão.



Fonte: adaptado de ASA

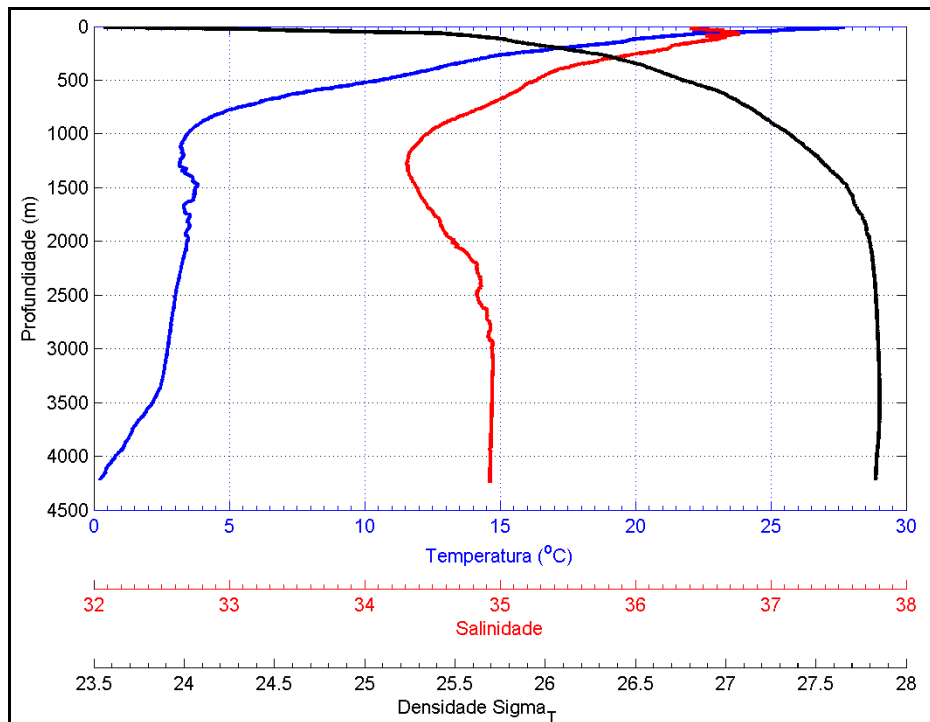
Figura V.1.2-9 - Mapa de Temperatura da água (TSM) com contornos de salinidade no período de inverno.

Durante o período do inverno, ocorre a penetração das águas subantárticas transportadas para o norte por uma ramificação costeira da Corrente da Malvinas (Silva Jr. & Kampel., 1996). São águas frias e de baixa salinidade, que se misturam com águas quentes e salinas de origem tropical, transportadas pela Corrente do Brasil.

As variações sazonais de temperatura potencial são mais significativas até aproximadamente 200 m de profundidade. A salinidade apresenta alterações mais significativas em regiões próximas à costa, com altos valores no verão e valores mais baixos no inverno.

O Projeto WOCE utilizou equipamento CTD para coletas de água na região oceânica e foi possível realizar análise dos perfis de temperatura, salinidade e densidade na região por onde será instalado o sistema de cabo óptico.

A Figura V.1.2-10 apresenta os perfis verticais de temperatura, salinidade e densidade obtidos a partir dos dados do Cruzeiro WOCE A17, nas coordenadas 25,7962° S e 35,2337° W. A densidade está expressa em sigmaT (σ_T) e foi calculada a partir do polinômio apresentado em Fofonoff & Millard (UNESCO, 1983). As profundidades da termoclina, haloclina e pycnoclina são aproximadamente 1.000, 1.300 e 1.800 m, respectivamente.



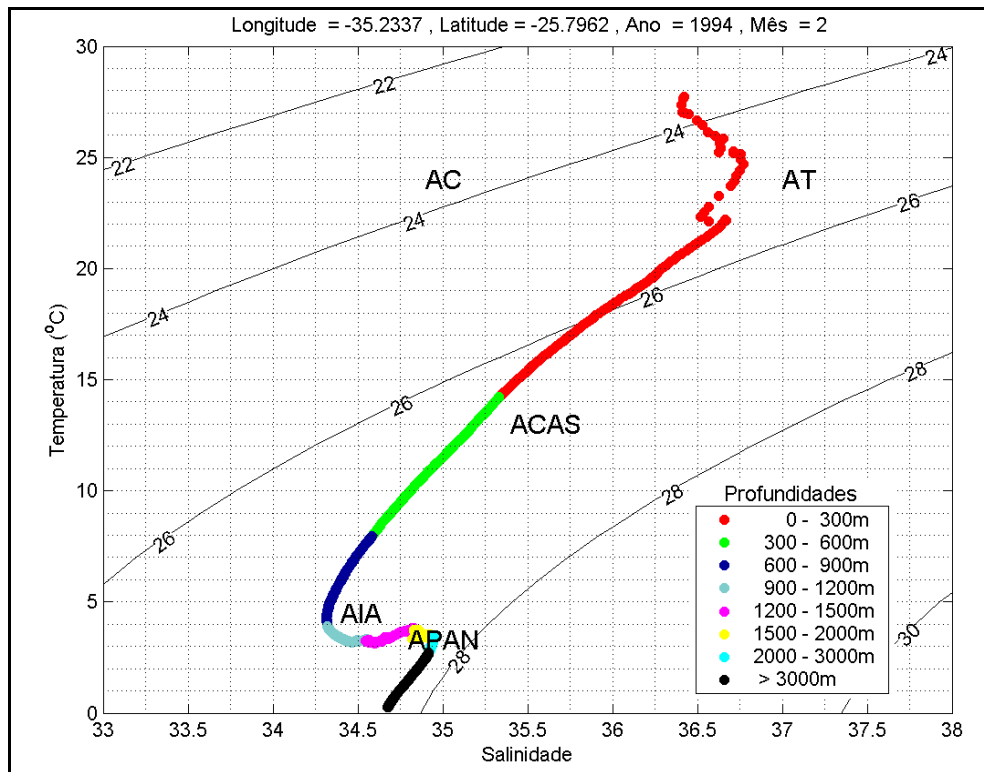
Fonte: ASA

Figura V.1.2-10 - Perfis verticais de temperatura, salinidade e σ_T para os dados obtidos no Cruzeiro WOCE A17.

Massas d'Água

A circulação oceânica da região da Bacia de Santos é formada pelo seguinte conjunto de massas d'água: Água Costeira (AC), Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água de Plataforma (AP), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). Cada massa d'água apresenta características termohalinas específicas. Essas características são o resultado das condições ambientais do local de formação e dos processos de mistura.

A Figura V.1.2-11 mostra o diagrama T-S espalhado, construído a partir dos dados do Cruzeiro WOCE A17, que obtiveram leituras até 4.218 m de profundidade. As profundidades foram obtidas originalmente em dbares (pressão) e posteriormente foram convertidas em metros (indicadas na legenda do gráfico). Nesta figura são identificadas as principais massas de água presentes na região.



Fonte: ASA

Figura V.1.2-11 - Diagrama T-S espalhado, mostrando os pares de T-S característicos das massas d'água da costa leste/sudeste do Brasil.

A dinâmica da circulação nas proximidades da costa SE brasileira é determinada pelo fluxo das massas d'água encontradas na região (AT, ACAS, AIA e APAN) e pelas feições batimétricas locais. A Corrente do Brasil (CB) é a principal corrente que caracteriza a circulação superficial da costa sudeste brasileira e seu comportamento tem grande influência na hidrodinâmica da região.

Correntes

A circulação na Baía de Santos é fortemente influenciada por condições meteorológicas, principalmente ventos da região Antártida. Nas regiões próximas à Praia da Macumba (RJ), a Corrente do Brasil é a principal forçante da circulação. Os ventos de quadrante sul forçam as correntes para direção nordeste e os ventos do quadrante norte forçam as correntes para sudoeste, sendo estes dois os predominantes na região (FUNDESPA, 1994).

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

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

O Projeto Diagnóstico Ambiental das Áreas de Exploração e Produção nas Bacias de Santos, Campos e Espírito Santo, realizado pela PEG & AS em 2002 (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002), produziu dados utilizados para caracterização da região em macro-escala. Essa vasta região abrange, basicamente, a plataforma continental e o talude. Foram realizadas perfilagens com CTD e correntometria.

Os dados de correntes em superfície mostraram que a direção na Bacia de Santos é preferencialmente SW, no sentido do fluxo da Corrente do Brasil para a costa. Devido à presença dos vórtices e meandros da Corrente do Brasil e de correntes de refluxo, esse padrão de circulação não é homogêneo em toda a bacia.

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

O rumo da corrente associada ao fluxo da ACAS é SW, variando de 11 a 115 cm/s. É o mesmo rumo da água tropical, transportada pela Corrente do Brasil. Sverdrup *et al.* (1942) sugerem que a direção de transporte da ACAS é para Norte, em nível picnoclínico na bacia do Atlântico Sul. Tsuchya (1986), Reid (1989) e Stramma & England (1999) constataram que o movimento da ACAS se dá para o sul em latitudes abaixo de 20° S, ao longo da costa sudeste brasileira.

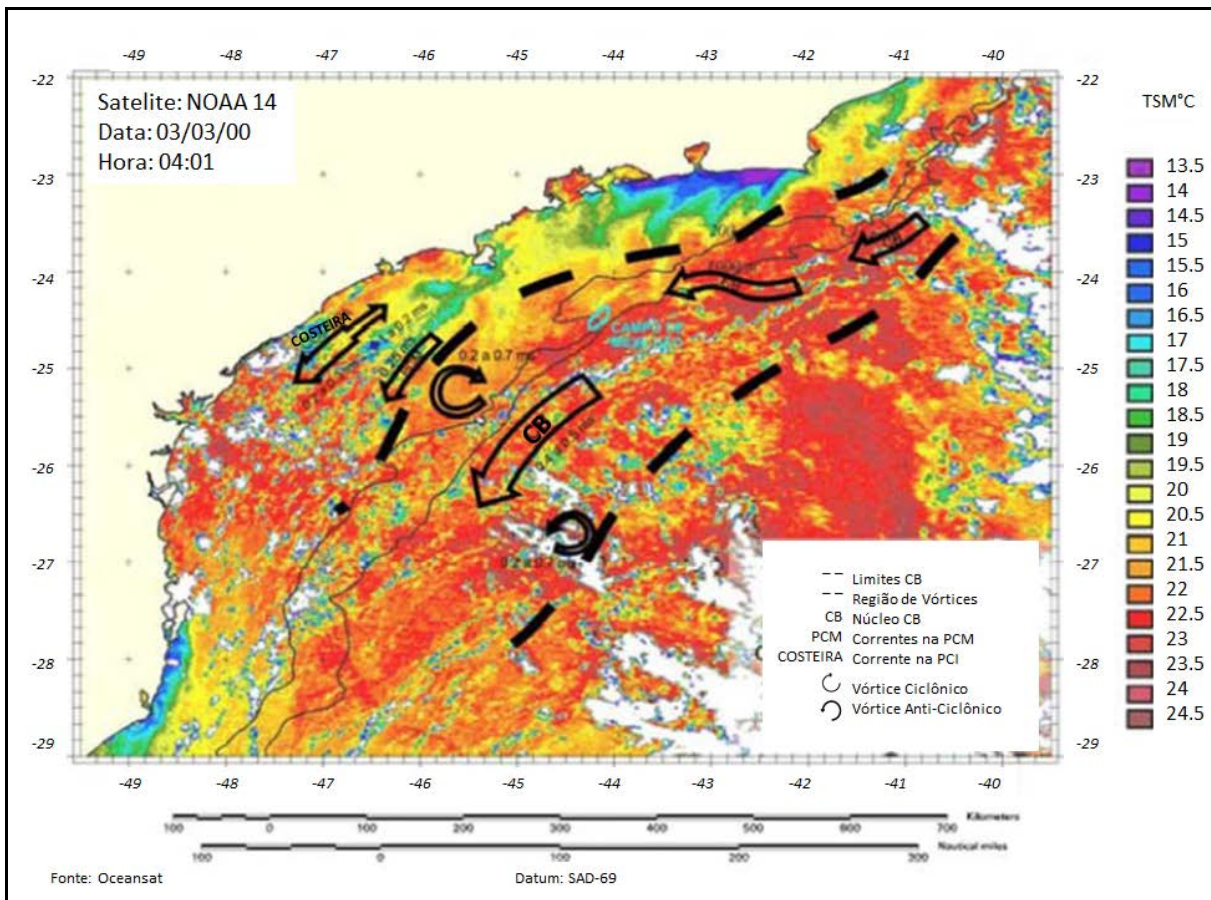
Os dados do projeto PEG & AS (2002) indicam que a ACAS, na região da Bacia de Santos, está orientado para SW, seguindo aproximadamente a orientação do talude, o que vai de encontro aos dados observados pelos autores mais recentes. Alguns dados de estações próximas à costa sugerem uma penetração da ACAS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

Segundo Reid *et al.* (1977) e Gordon & Greengrove (1986), a AIA é formada na Convergência Subantártica, fluindo para o norte. Na região da confluência entre a Corrente do Brasil e a Corrente das Malvinas ($\pm 38^\circ$ S), a maior parte da AIA flui para leste como parte da recirculação

profunda do Giro Subtropical. Suga & Talley (1995) e Boebel *et al.* (1999) mostraram que, no limite sul da Bacia de Santos (30° S), a AIA flui para o sul ao largo da costa brasileira. Castro Filho & Miranda (1998) indicaram que o fluxo na profundidade de 700 metros (zona de ocorrência da AIA), a 23° S, se dá para o norte. Muller *et al.* (1998), através das linhas de fundeio do projeto WOCE, concluiu que a AIA move-se para o norte (mais precisamente nordeste, devido à orientação da linha de costa) ao norte de 25° S. Segundo o mesmo autor, em 28° S a AIA flui para o sul. Desta forma ocorre uma zona de bifurcação da AIA entre os paralelos de 25° e 28° S.

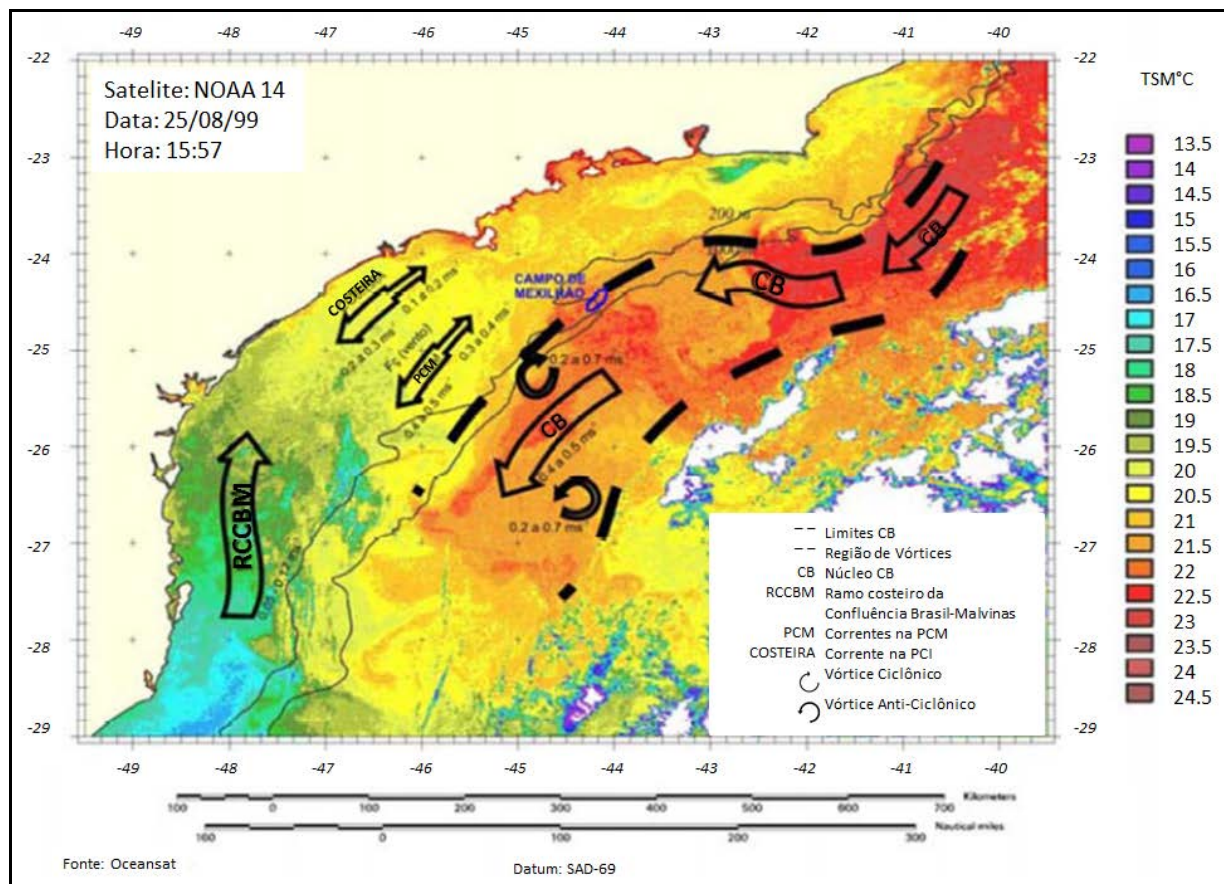
De uma forma geral, a caracterização apresentada está de acordo com os dados publicados pelos autores citados, apresentando as correntes superficiais orientadas preferencialmente para sudoeste e sudeste, com intensidades variando de 110 a 35 cm/s. Até a profundidade de ocorrência da ACAS a intensidade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

Na Figura V.1.2-12 e Figura V.1.2-13 são apresentados os padrões de circulação na Bacia de Santos, no verão e no inverno, respectivamente; e os comportamentos tanto das correntes costeiras quanto oceânicas.



Fonte: HABTEC (2000)

Figura V.1.2-12 - Caracterização das correntes na Baía de Santos em uma situação de verão.



Fonte: HABTEC (2000)

Figura V.1.2-13 - Caracterização das correntes na Baía de Santos em uma situação de inverno.

Regime de Ondas

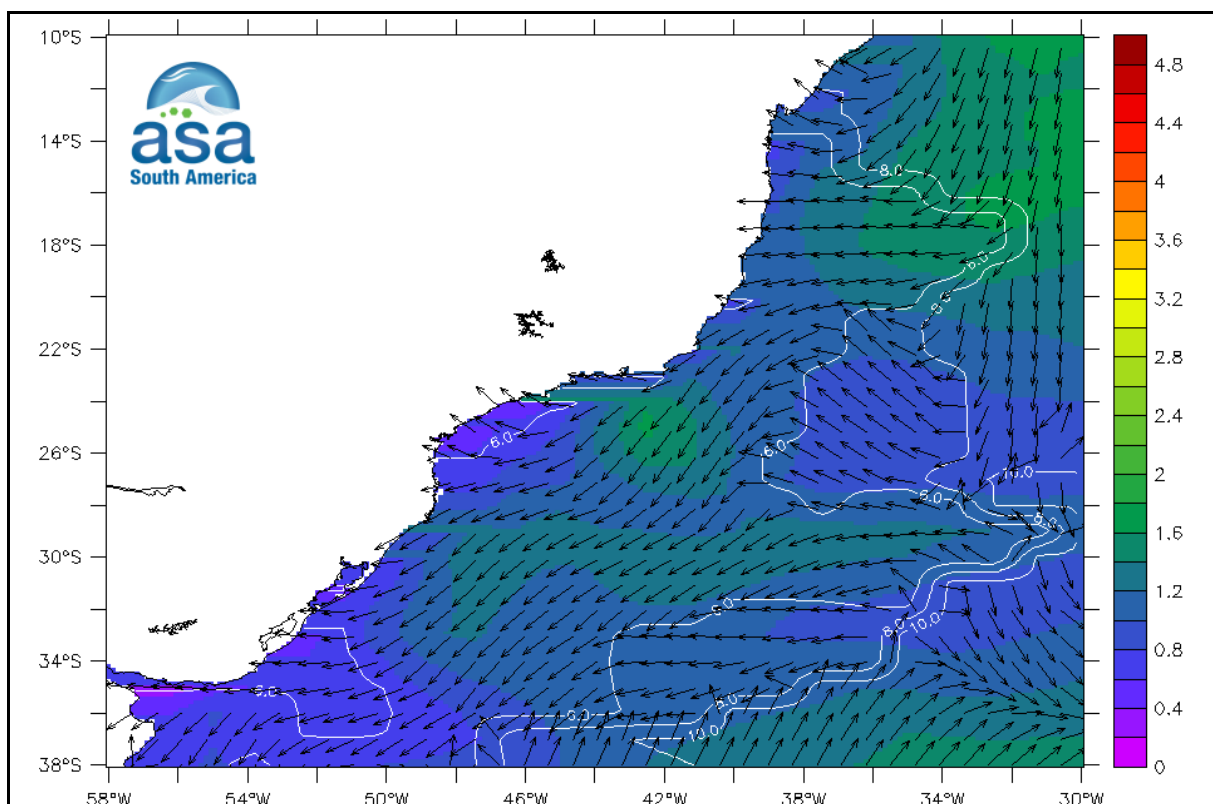
A costa Sul-Sudeste do Brasil é atingida por ondas do tipo marulho. Em geral, essas ondas são geradas abaixo do paralelo 40° S, região onde são comuns tempestades com ventos de 60 nós e ondas de até 9 m, com períodos de 20 s (Freire, 1960).

No Atlântico Sul, as maiores ondas são causadas por tempestades entre os paralelos 35° e 55° S, tendo o litoral Sul-Sudeste do Brasil atingido por ondas de direção SW, S e SE (Seixas, 1997). As ondas de NE, em geral, estão associadas à circulação induzida pelo centro de alta pressão semipermanente do Atlântico e são predominantes em termos de persistência no litoral ao norte de Arraial do Cabo, RJ. O vento na região é quase constante, chegando a atingir 10 m/s à superfície durante vários dias consecutivos, nas estações de inverno e primavera. O desenvolvimento das ondas, neste caso, é limitado pela pista.

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

Durante o inverno predominam ondas de S e SW, associadas a uma situação de mau tempo, geradas por passagens de frentes frias, com períodos entre 5 e 15 s e alturas significativas que podem ser superiores a 4 m. Além disso, ondas provenientes de SE e E apresentam ocorrência significativa nesta estação do ano, com alturas em torno de 2 m e períodos de até 10 s.

Resultados obtidos com o modelo numérico WaveWatch III são apresentados na **Figura V.1.2-14** e mostram que, na situação de bom tempo (ventos de NE) observa-se próximo à costa ondas provenientes de NE e E, com período de 6 s e alturas inferiores a 1 m. Na situação de mau tempo (ventos de S/SE) as ondas provenientes de SW possuem períodos da ordem de 12 s e alturas em torno de 3 m.



Fonte: ASA

Figura V.1.2-14 - Ilustração do campo de ondas de meso escala em condições de "bom tempo", obtida dos resultados do modelo WAVEWATCH III.

Regime de Marés

O regime de marés na região sudeste do Brasil é semidiurno (ondas de maré com periodicidade predominante de 12 horas e 54 minutos).

As características do regime de maré na região da Bacia de Santos são apresentadas na **Figura V.1.2-15**, como predominantemente semidiurna, com pequena contribuição diurna. A partir da figura, nota-se também, o nítido comportamento das marés de quadratura (menores amplitudes) e sizígia (maiores amplitudes).

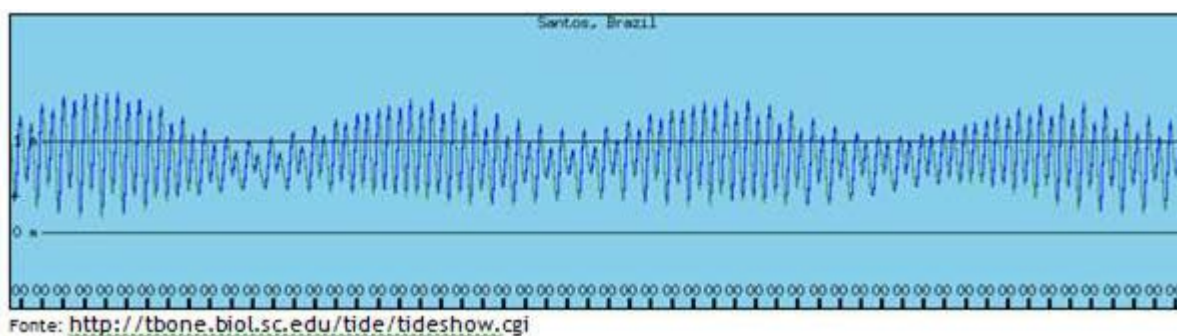


Figura V.1.2-15 - Maregrama previsto para região de Santos (período de 03/04 até 27/05/2016).

Moreira (1997) em estudos sobre correntes de maré com utilização de correntógrafos, analisou dados de temperatura, salinidade, correntes e ventos em 3 posições da plataforma continental sudeste (Cabo Frio, Angra dos Reis e Santos), sobre a isóbata de 100 m. Ao largo de Santos, foram observadas correntes rotatórias em todos os níveis amostrados (5, 15, 30, 50 e 90 m) e a predominância de constituintes diurnas e semidiurnas.

No extremo norte da plataforma continental, na região do talude, as amplitudes são da ordem de 0,3 m, continuando a decrescer até a área ao largo do Cabo de Santa Marta, onde atingem apenas 0,1 m. Existe ainda uma convergência da fase em direção às áreas centrais da região.

Assim, aparentemente, a onda da constituinte m^2 penetra na plataforma continental a partir de suas extremidades norte e sul. Esta constatação é verificada a partir de resultados de modelos tanto numéricos (Harari & Camargo, 1994 *apud* Castro, 1996), quanto baseados em dados altimétricos e maregráficos, como o trabalho de Mesquita & Harari (1987).

Para referenciar a análise de marés em um local oceânico na Bacia de Santos foram avaliados dados de maré coletados em um fundeio oceanográfico obtido por Salles *et al.* (2000) e presente no Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. Os resultados da estação Santos (Porto de Santos) - SP, medida em 23° 57,3' S e 46° 18,6' W. Observando estes resultados, verifica-se que as componentes mais significativas são as semidiurnas, com amplitude de 36,4 cm para m² e 22,5 cm para S2, confirmando as avaliações anteriores.