

## 2.3 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS

### 2.3.1 Introdução

Na natureza os processos dinâmicos e a costa, formam um sistema integrado, e como tal, devem ser estudados e compreendidos.

Os processos dominantes de um sistema costeiro particular podem aparentar considerável variação em diferentes ambientes. Por exemplo: os sistemas deltáicos são caracterizados por um conjunto de processos dominantes e formas diferentes daqueles de praia, de sistemas de barreiras ou de costas rochosas. Dessa maneira, ao se caracterizar um sistema qualquer, deve-se procurar identificar os fatores dominantes neste sistema, lembrando que geralmente os sistemas costeiros envolvem mútua integração entre o ar, a água e a terra (BANDEIRA JR; CUNHA, 1978).

Como ambientes resultantes da interação Terra/Mar, as áreas litorâneas terão os seus usos altamente dependentes das águas costeiras (UERJ, 1985).

O conhecimento dos aspectos físicos da circulação, mistura e renovação das águas costeiras, em especial estuarinas, é de grande importância, pois constitui fator condicionante dos mecanismos que controlam a distribuição de vários parâmetros como salinidade, nutrientes, sedimentos ou mesmo diluição de poluentes (MIYAO, 1977).

Em especial no que se refere à dispersão de poluentes é de suma importância que se conheça o padrão de circulação em estuários, o que permite a implantação de projetos de controle da poluição.

Associados à circulação e influenciando nela, as ondas, correntes e marés, agem como principais modeladores das costas. A interação destes agentes na constante busca de um equilíbrio dinâmico, gera processos de movimentação e transferência de material que resultam em modificações na morfologia da costa (BANDEIRA JR., CUNHA, 1978).

Atuando como grande receptor de energia solar, o mar tende a um equilíbrio térmico, absorvendo-a e distribuindo-a pela Terra através das correntes marinhas. As correntes oceânicas quentes e frias influem diretamente nas regiões onde atuam. A fauna e flora marinha vivem condicionadas a fatores ambientais específicos, logo, a dinâmica das massas d'água influencia na distribuição destes organismos. Os cardumes de peixes nectônicos são relacionados a determinadas massas d'água das espécies. O plâncton, por não possuir movimentação própria suficiente para a livre locomoção, se distribui de acordo com as massas d'água.

O nível do mar é um dado importante para os processos costeiros, uma vez que é determinante da posição, na linha de praia, dos processos da zona de arrebentação e do gradiente final dos rios e estuários, e porque mudanças no nível do mar são correlacionados com sistemas de correntes que afetam toda a plataforma continental.

Nos estuários e lagoas, estas mudanças podem resultar numa completa mistura e mudança nas propriedades da massa d'água (BANDEIRA JR.: CUNHA, 1978).

O nível do mar é controlado por diversos processos, desde o binômio maré/vento, até os campos de pressão atmosférica e oceanográfico, sendo que dentre estes processo as marés constituem, em geral, no fator mais significativo, sempre lembrando que os ventos podem influenciar sobremaneira na flutuação do nível do mar.

A identificação do regime de ondas é indispensável nos estudos de hidráulica marinha, especialmente quando os problemas são relacionados ao dimensionamento de obras de abrigo.

O conhecimento das ondas tem grande importância para calcular a profundidade e a orientação a atribuir a canais de acesso, para definir alinhamento de berços de acostagem expostos e para planejar o arranjo de obras de defesa de complexos portuários e da sua entrada, objetivando a criação de um plano de água com a necessária tranquilidade (CAMPOS, 1978).

Além disso, o estudo das ondas, em alturas e direções, é ainda importante para a determinação do transporte litorâneo do material sólido.

Assim, Parâmetros Oceanográficos se apresentam como instrumentos indispensáveis na elaboração de estudos e projetos que visem o uso e ocupação e o entendimento do espaço territorial costeiro e marinho, especialmente para atividades que envolvam a utilização de recursos naturais, tais como pesca, aquicultura, minerais, etc., ou mesmo para podermos entender e quantificar a capacidade dos ambientes de sofrerem alterações e se recuperarem, não esquecendo, evidentemente, de tentar estimar os eventuais impactos que estas atividades, como o lançamento de rejeitos de dragagem, venham a causar.

É importante ressaltar a carência de estudos dessa natureza na região da APA de Conceição da Barra, indicando a necessidade de implementação de programas dessa natureza na região.

### **2.3.2 Temperatura, Salinidade e Densidade**

De acordo com o descrito em CEPEMAR (2010), na costa do Espírito Santo, as temperaturas variam de 25 a 28°C no verão, e de 22,5 a 24,5°C no inverno. As temperaturas mais baixas encontradas na costa do Rio de Janeiro, associadas ao processo de ressurgência costeira, influenciam a porção sul do litoral do Espírito Santo.

Segundo esse estudo (CEPEMAR, 2010) levantamentos realizados pelo *National Oceanographic Data Center* - NODC no qual as temperaturas variam de 26 a 28°C no verão (janeiro a março), e de 23 a 24,5°C no inverno (julho a setembro), apresentam boa concordância com os valores obtidos por satélite. A salinidade varia de 36 a 37 ppm em ambos os períodos. Nos dois conjuntos de dados analisados fica clara a influência da Corrente do Brasil, quente e salina, ao longo da costa do Sudeste do Brasil, principalmente no verão.

Estudos de temperatura e salinidade realizados em uma seção vertical ao longo de 20,3°S, de acordo com dados compilados pelo NODC, para os períodos de janeiro a março (verão) e de julho a setembro (inverno), indicaram que próximo à superfície verifica-se uma resposta direta ao ciclo sazonal de radiação solar incidente na superfície, com temperaturas mais elevadas no verão (em torno de 28°C) e temperaturas menores no inverno (em torno de 24°C). As variações sazonais de temperatura são mais significativas até aproximadamente 200 m. A salinidade apresenta maior variação sazonal em regiões próximas à costa, com valores máximos verificados no verão e mínimos no inverno. (CEPEMAR, 2010).

Essas informações são semelhantes aquelas apresentadas em EcologyBrasil (2009), no qual as maiores temperaturas superficiais observadas nos perfis do BNDO e do NODC foram obtidas no período de verão e outono (~29 °C). Em profundidade, não são verificadas variações sazonais expressivas, ficando a temperatura próxima a 4°C ao longo de todo o ano. Ainda sobre a TSM, sensores orbitais (ODYSSEA) indicaram temperaturas máximas de até 30,5°C no outono de 2008. A salinidade superficial apresentou média próxima a 37° ao longo de todo o ano, com a maior variação (~36,5 a 37,5) observada no período de outono. Em profundidade, assim como na temperatura, não são observadas variações sazonais expressivas.

Já as variações sazonais de  $\sigma_T$  acompanham principalmente as variações da temperatura, apresentando valores mínimos e máximos próximo à superfície no verão e no inverno, respectivamente. (CEPEMAR, 2010)

### 2.3.3 Marés

Ao longo da costa sudeste brasileira, o sinal de maré é semidiurno, ou seja, existem duas preamares e duas baixa-mares por dia, com ligeiras desigualdades diurnas entre duas preamares e duas baixa-mares sucessivas. As amplitudes máximas das marés ocorrem durante as luas cheia e nova, sendo conhecidas como marés de sizígia. Em contrapartida, as menores amplitudes de marés ocorrem nas luas crescente e minguante, chamadas de marés de quadratura. Há preponderância dos harmônicos M2 e S2, e influenciado pelas componentes diurnas O1 e K1 (Salles *et al.*, 2000).

As alturas médias e variações das marés previstas para a costa sudeste do Brasil encontram-se dispostas na **Tabela 2.3.3-1** abaixo.

**Tabela 2.3.3-1 - Alturas médias e variações de marés previstas – Costa Sudeste (\*)**

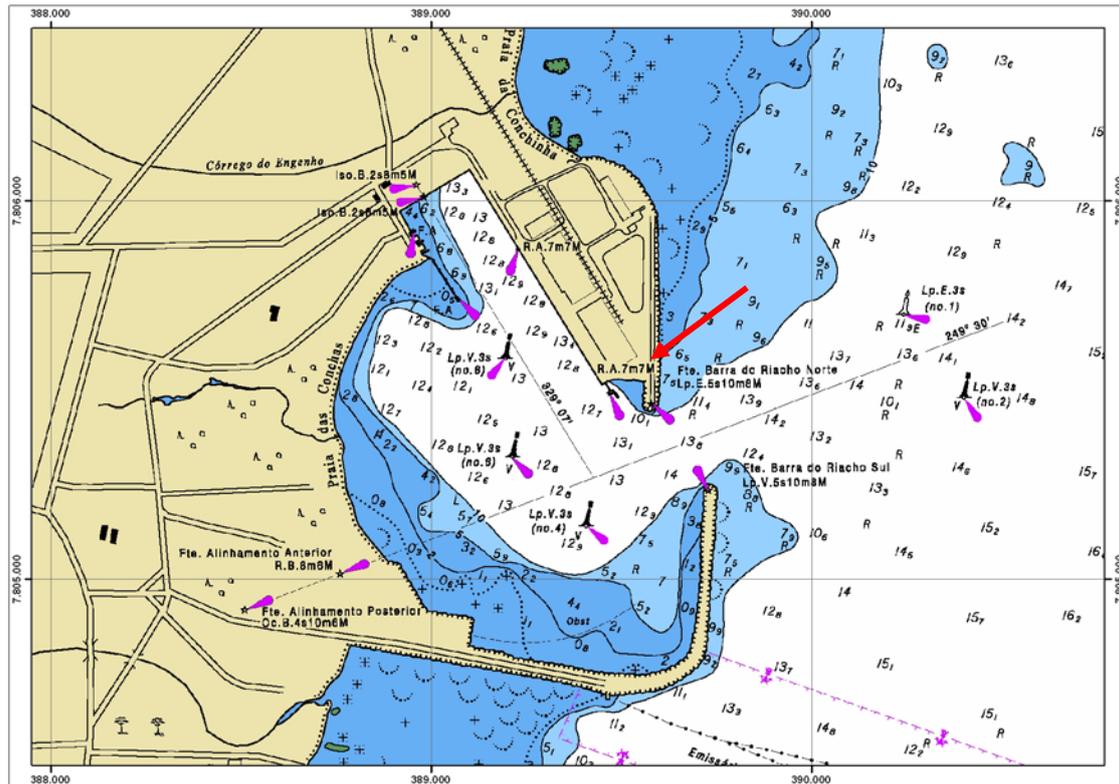
Descrição	Nível (metros)
Nível médio da maré	1.5
Maré astronômica máxima	1.3
Nível médio do mar	0.5
Maré alta média	0.9
Maré baixa média	0.2
Nível mínimo de maré	-0.4
Maré astronômica mínima	-0.2
Extensão de variação máxima	1.9
Extensão de variação média	0.7

(\*) Fonte: D.H.N.

Não se tem comprovação recente da interferência de fatores meteorológicos - como o vento - na variação astronômica do nível d'água ("maré meteorológica") (CST, 2003).

Com relação à maré, o litoral do estado está submetido a um regime de micromarés semidiurnas, ou seja, com amplitudes inferiores a 2 m e duas oscilações diárias, estando a média do estado em torno de 1,4 m (DAVIES *apud* ALBINO, 1999). Segundo Mesquita (1997), na plataforma da região sudeste a maré se propaga em sentido anticiclônico (anti-horário) seguindo, aproximadamente, a propagação da componente semidiurna lunar (M2).

Na região de estudo e ao longo da costa do Espírito Santo a Marinha do Brasil já efetuou medições de maré em vários períodos (Salles *et al.*, 2000). Das estações maregráficas instaladas na costa do Espírito Santo, a Estação Maregráfica de Barra do Riacho é mais próxima à região de estudo, estando situada dentro do Porto de Barra do Riacho (**Figura 2.3.3-1**). Neste local atualmente está instalada uma estação maregráfica operada pelo Portocel.

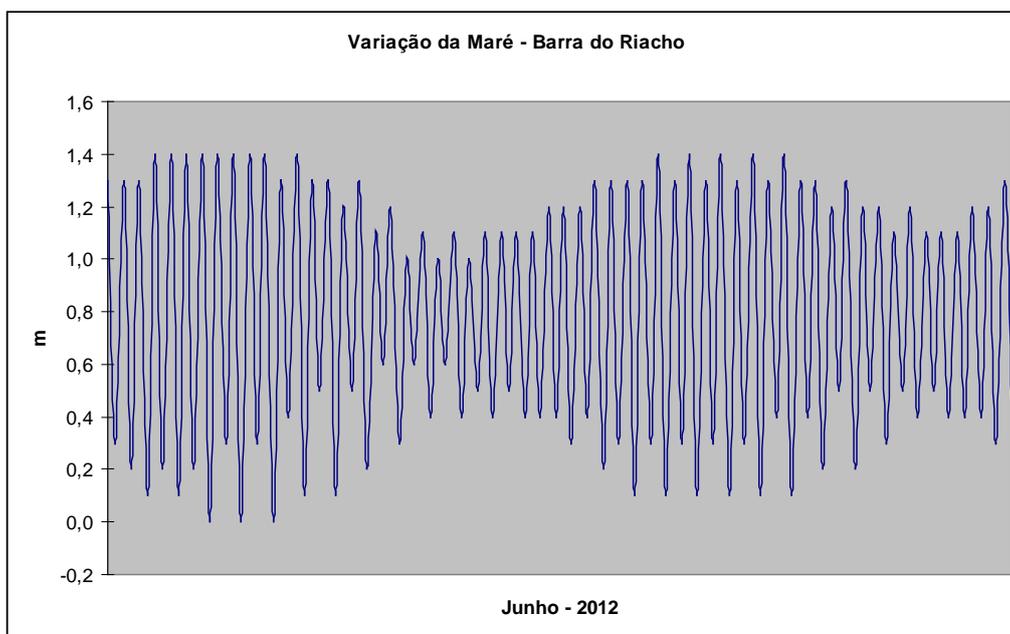
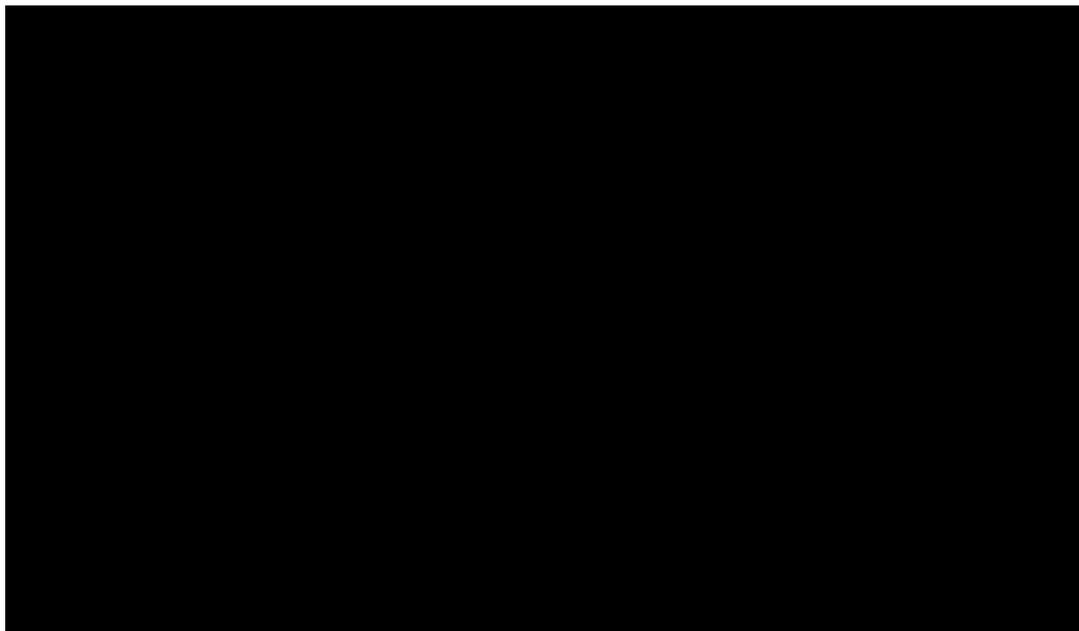


**Figura 2.3.3-1 - Localização da estação maregráfica de Barra do Riacho**

O nível médio do mar na Estação de Barra do Riacho é de 80 cm. As médias das alturas de maré durante o período de sizígia variam entre 147 e 13 cm, e no período de quadratura entre 103 e 57 cm (<http://www.femar.com.br>). Assim, em função de apresentarem alturas menores que 2 m, as marés da região são classificadas como micro marés (Davies, 1973 apud Dyer, 1997).

Do ponto de vista da periodicidade, observa-se a predominância das componentes semidiurnas M2 e S2 sobre as diurnas O1 e K1 em toda a costa do Espírito Santo (CTA, 2009).

A **Figura 2.3.3-2** abaixo representa as curvas de maré previstas para os meses de janeiro e junho de 2012, representando as condições de verão e inverno.



**Figura 2.3.3-2** - Marés previstas para os meses de Janeiro e Junho de 2012, representativas de condições de verão e inverno respectivamente.

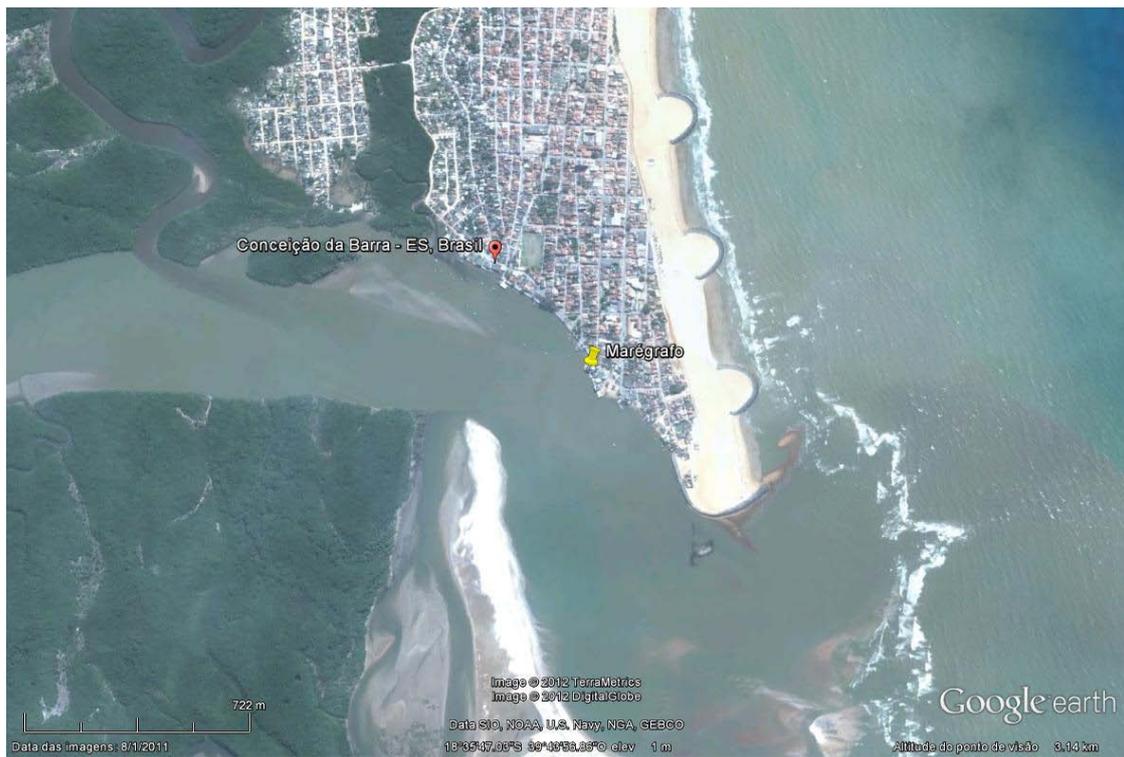
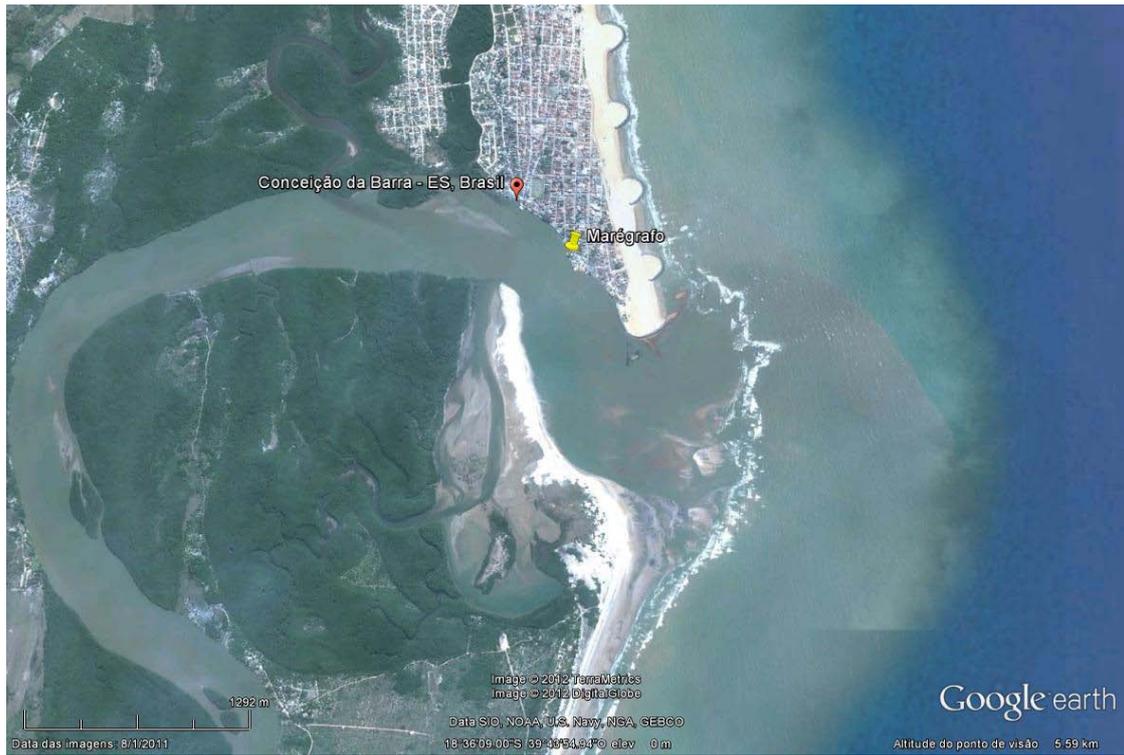
**Fonte:** (DHN, 2012).

Com a finalidade de calibrar e explorar os modelos numéricos que estavam sendo montados, com vistas a diagnosticar e avaliar as causas da erosão que estava ocorrendo na área costeira de Conceição da Barra e desenvolver projetos de engenharia para proteger e fixar a barra do Rio São Mateus, visando o livre transito de embarcações pesqueira em qualquer condição de maré, INPH (2006a) realizou estudos de maré na foz do Rio São Mateus.

O marégrafo estava localizado nas Coordenadas Geográficas: Lat. 18° 35' 45" S Long. 39° 43' 51" W (WGS-84) (**Figuras 2.3.3-3 e 2.3.3-4**)

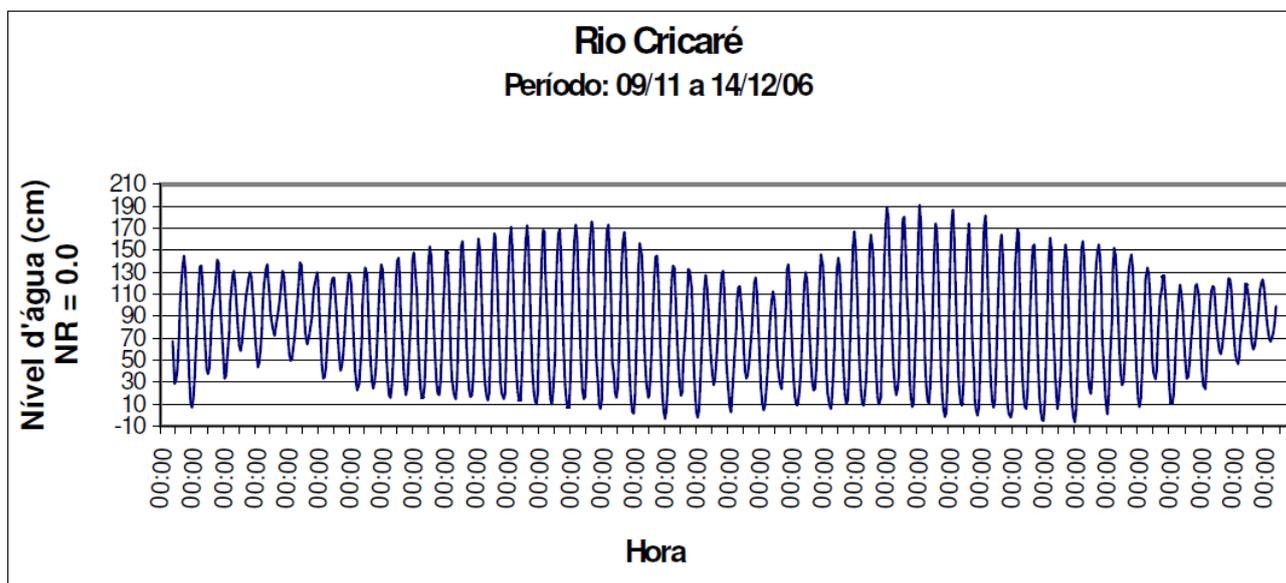


**Figura 2.3.3-3 - Localização do marégrafo na foz do Rio São Mateus**



**Figura 2.3.3-4 - Detalhe da localização do marégrafo na foz do Rio São Mateus**

A série analógica dos níveis d'água obtida no período de 09/11/06 a 14/12/06 na Estação Maregráfica do Rio São Mateus (INPH, 2006a), teve seus valores horários interpretados e são apresentados na **Figura 2.3.3-5** a seguir.



**Figura 2.3.3-5** - Variação da maré no Rio São Mateus durante o período estudado  
(Reproduzido de INPH, 2006a)

Os resultados obtidos confirmam a característica de maré semi-diurna para a foz do Rio São Mateus.

### 2.3.4 Correntes

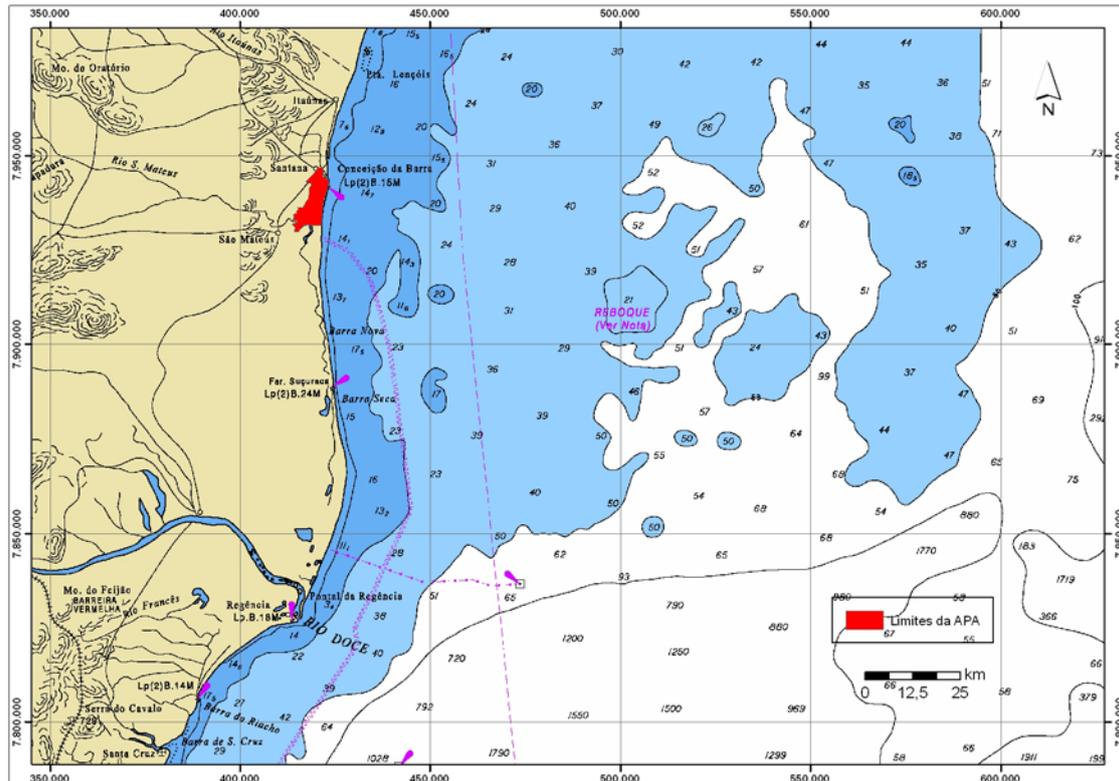
O Estado do Espírito Santo está inserido na Costa Central do Brasil que se estende desde o norte do Estado do Rio de Janeiro até o Sul da Bahia. A Costa Central do Brasil possui características tropicais e situa-se numa região onde a corrente do Brasil é bem definida.

Em relação ao regime hidrodinâmico, a região da Bacia do Espírito Santo é marcada por uma topografia oceânica complexa, que influencia decisivamente sua circulação. Meandramentos e vórtices estão associados à presença da cordilheira submarina, aos bancos e aos alargamentos e estreitamentos da plataforma continental na região (Fragoso, 2004). Destaca-se a presença de um vórtice de longa duração, o Vórtice de Vitória, que é uma estrutura ciclônica localizada na região oceânica ao largo da cidade de Vitória, centralizado em 20,5° S e 39° W. Seu diâmetro médio é de cerca de 100 km. Fragoso (2004) observou que esse vórtice apresenta atividade mais intensa no verão, tornando-se menos intenso no período de inverno, chegando a desaparecer. Ainda segundo o autor, na primavera, sua presença volta a ser detectada.

As direções predominantes das correntes superficiais são de sul a sudoeste para toda a área e em todas as estações do ano (CRUZ, 1999). Isto registra claramente a presença da corrente do Brasil.

Ao longo do estado existe o predomínio da Corrente do Brasil, uma corrente geral de convecção, de sentido norte-sul, com valores médios de velocidade de 0,25 e 0,35 m/s, respectivamente no inverno e verão (FERMISA, 1999), podendo ser ampliadas em águas rasas em função dos ventos NE-ENE (TEUBNER JR., 1990).

A plataforma continental na altura do município de Conceição da Barra estende-se por cerca de 200 km (**Figura 2.3.4-1**), e a profundidade da quebra da plataforma varia entre 60 e 80 m., sendo que as águas da plataforma continental da região sudeste brasileira retratam misturas de volumes variáveis das seguintes massas de água:



**Figura 2.3.4-1 - Aspectos da plataforma continental no litoral norte do ES.**

- Água Costeira (AC).
- Água Tropical (AT) ou Corrente do Brasil. Principal corrente superficial do litoral brasileiro, que flui para sul caminhando sobre ou próximo da borda da Plataforma Continental.
- Água Central do Atlântico Sul (ACAS). Corrente que flui em sentido norte. No inverno, flui sob a Corrente do Brasil mais distante da linha de costa. No verão, sob a Corrente do Brasil e também, sob faixas mais profundas das águas costeiras.

A predominância de uma ou outra massa de água nessa mistura depende da distância do ponto à costa ou à quebra da plataforma continental, do nível ou profundidade, e dos processos físicos que podem causar intrusões tanto da ACAS quanto da AT em direção à costa (CASTRO et al., 2003).

Uma vez que a APA encontra-se na zona costeira, dessa forma a AT e a ACAS não influenciam diretamente as águas próximas à região de estudo. A circulação nas zonas costeiras é função principalmente dos ventos (camada de Ekman) e das marés, com estes dois forçantes se alternando em importância de acordo com fatores locais, tais como fisiografia e condições climáticas (Tomczak, 1998).

Essa característica é reforçada em CONCREMAT (2007) ao afirmar que na região costeira, a circulação forçada por vento em escala local exerce uma influência maior do que aquela ligada ao escoamento termohalino (regido pela diferença de densidade

entre as diversas massas de água dos oceanos), que governa o fluxo médio da CB. A circulação costeira mais comum é originada pelo efeito dos ventos de nordeste que predominam na costa do estado. Esta circulação obedece ao seguinte padrão: na camada superior, há uma corrente de deriva para sul e um deslocamento de água na direção oceânica, em virtude do transporte de Ekman que, no hemisfério sul, ocorre sempre a 90° para a esquerda do movimento da corrente; na camada oceânica, por causa do fluxo médio da CB, o deslocamento da água é para sul/sudoeste e paralelo à linha de costa, mas, por continuidade, as águas próximas ao fundo tendem a se deslocar no sentido da costa, criando uma ressurgência. As águas de ressurgência substituem as águas superficiais deslocadas pelo vento por causa do efeito do transporte de Ekman. Essas águas de fundo afloram nas proximidades de Vitória, principalmente na primavera e no verão, quando diminui a frequência de passagem de frentes frias.

Com relação aos ventos do quadrante sul, característicos de situações de frentes frias, os mesmos geram um empilhamento das águas superficiais na costa. Como consequência, tem-se um fluxo para norte/nordeste nas profundidades intermediárias. No fundo, o fluxo sofre uma deflexão para a direita e a água se movimenta então na direção oceânica, compensando o empilhamento de água na superfície. Na superfície, há uma corrente de deriva para norte, acompanhando a direção do vento. As correntes de maré têm pouca influência na circulação costeira do estado, sendo essa influência considerada desprezível na região oceânica (CONCREMAT, 2007).

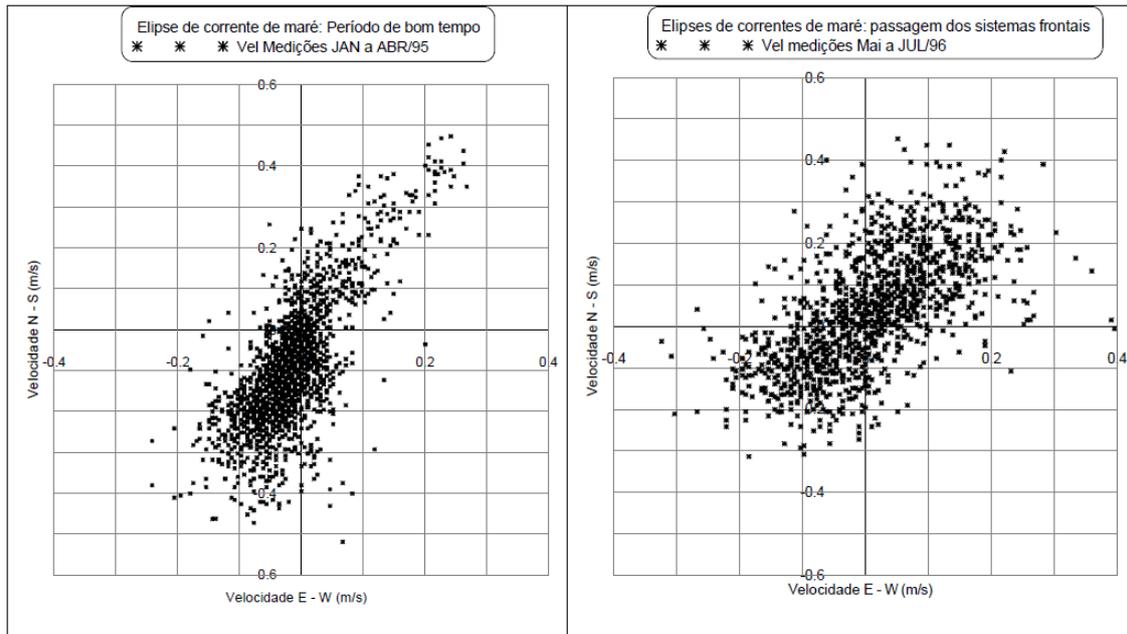
Quanto mais próximo da costa, de modo geral tende-se a verificar correntes de menores intensidades, devido à maior perda de energia do escoamento por atrito com o fundo e de sua interação com os obstáculos junto à linha da costa.

Estudos realizados na região da grande Vitória, (INPH, 1980) concluíram pela estreita associação entre direção e intensidade das correntes e a direção e a intensidade dos ventos, não havendo influência das correntes de maré. Outra constatação foi que mesmo em situações em que ao longo da coluna de água havia uma variação da intensidade da corrente, a direção permanecia constante.

Estudos realizados na região de Barra do Riacho (COPPETEC, 2011), ao sul da área da APA, indicaram que na região mais afastada para o mar, as correntes têm direções mais associadas a eventos meteorológicos do que a marés, isto é, as marés interferem na magnitude, mas o sentido das correntes é condicionado por circulação gerada por ventos em meso-escala.

Este mesmo estudo (COPPETEC, 2011) constata oscilações de magnitude nas correntes de acordo com os ciclos de maré, mas, no verão, quando predomina o tempo bom, as correntes praticamente correm apenas para SW. Entretanto, no inverno, as frentes frias que passam com maior intensidade e frequência fazem as correntes mudarem para NE durante vários dias. É notável a maior intensidade das correntes no inverno, quando chegam a alcançar valores maiores que 0,2 m/s para NE e maiores que 0,2 m/s para SW. No verão, as correntes não passam de 0,1 m/s para NE e 0,2 m/s para SW.

Este padrão é evidenciado com os dados horários de correntes medidos utilizando-se um correntógrafo, que foi fundeado na região do emissário de efluentes industriais da Aracruz Celulose, apresentados na **Figura 2.3.4-2**.

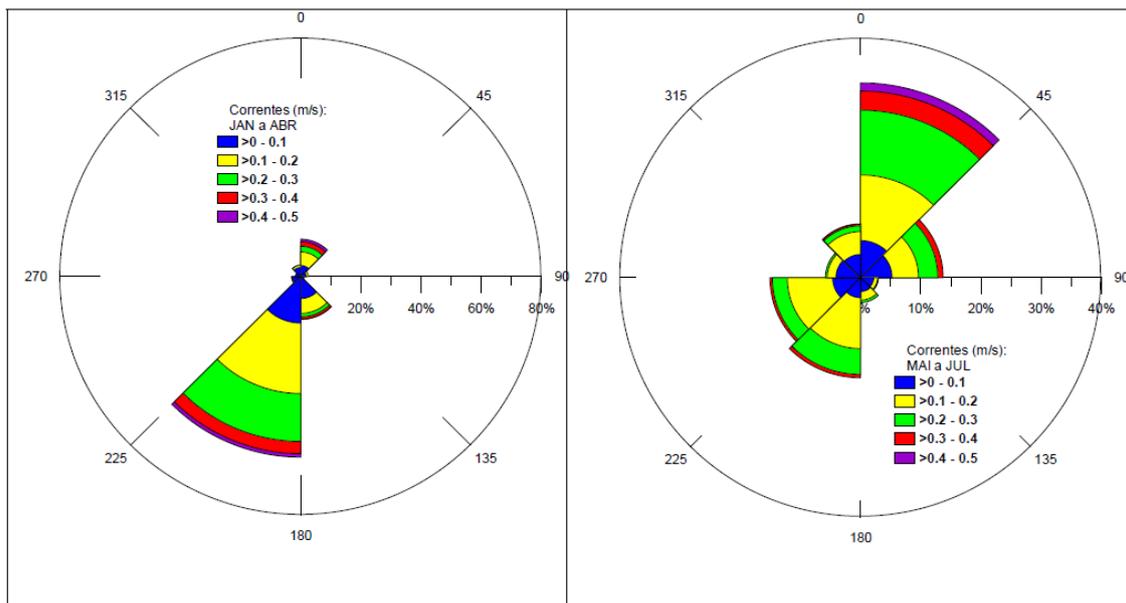


**Figura 2.3.4-2** - Dados horários de corrente medidos nos períodos de JAN a ABR/1995 (condições de bom tempo) e de MAI a JUL/1996 (passagem de sistemas frontais), na região do Emissário da Aracruz Celulose. (Reproduzido de Cepemar (2006).

Os resultados desse estudo (Cepemar, 2006) mostram que durante o período de Janeiro a Abril/1995, o sentido mais freqüente de corrente foi SW, refletindo os ventos dominantes vindos de NE, característicos desta época. No período de Maio a Julho/1996, a freqüência de correntes com sentido NE aumenta, retratando a passagem de sistemas associados a frentes frias.

A distribuição de freqüências, direções e intensidades de corrente observadas nos períodos Janeiro a Abril/1995 e Maio a Julho/1996 podem ser visualizadas na **Figura 2.3.4-3**.

De Janeiro a Abril, na direção SW, houve uma maior freqüência de intensidades de correntes entre 0,1 e 0,2m/s. Os valores extremos situaram-se na faixa 0,4 a 0,5m/s, e foram observados nos sentidos SW e NE, com baixa freqüência. De Maio a Julho, as faixas de maior freqüência foram de 0,1 a 0,2 m/s e 0,2 a 0,3 m/s. Os valores extremos de 0,4 a 0,5 m/s foram observados no sentido NE, em maior freqüência que no período de Janeiro a Abril. No verão e no inverno, os valores máximos de corrente não diferiram muito, sendo observados 0,53m/s no verão e 0,48m/s no inverno (CTA, 2009).

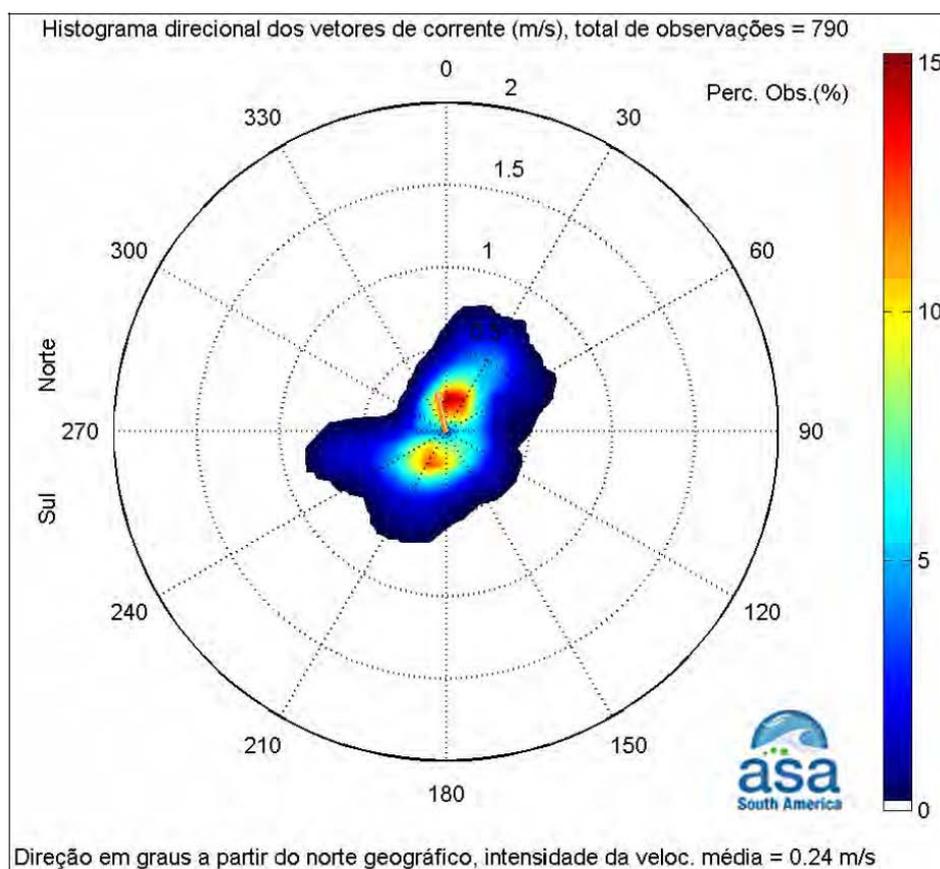


**Figura 2.3.4-3-** Distribuição de freqüências, direções e intensidades de corrente observadas nos períodos Janeiro a Abril/1995 e Maio a Julho/1996. (reproduzido de CTA, 2009)

Analisando esses resultados, é possível constatar que as correntes de intensidades altas são mais recorrentes nos períodos de passagem de frentes frias, devido à maior intensidade do vento nestas condições.

Estudos realizados em 2002 na região, junto à bóia de sinalização do quadro de bóias do Terminal Petrolífero de Regência, localizado no município de Linhares, ES, próximo à foz do rio Doce, indicaram que as correntes variam entre NE e SW. (CEPEMAR, 2010).

A **Figura 2.3.4-4** apresenta esses dados de corrente de Regência para o período de 12 de outubro a 14 de novembro de 2002. A intensidade é apresentada em (m/s) e a escala de cores representa a porcentagem de observações. A velocidade média foi igual a 0,24 m/s para NNW, com valores máximos para W e direção mais frequente para NNE.

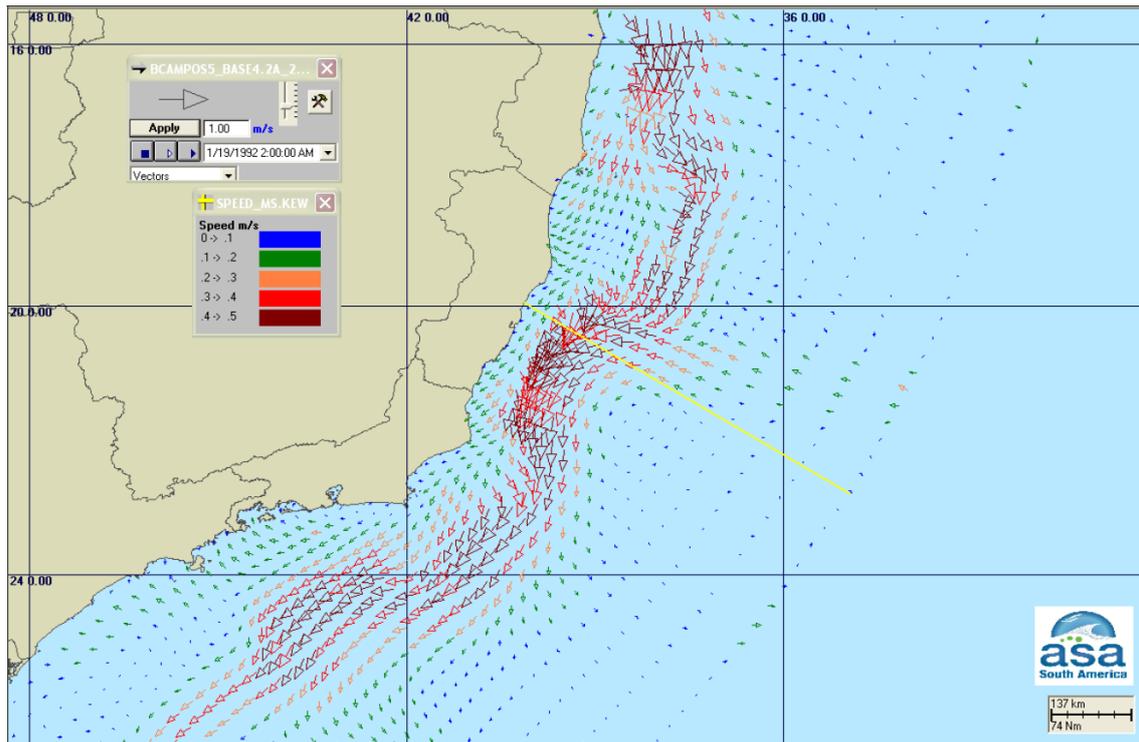


**Figura 2.3.4-4-** Histograma direcional dos vetores de corrente medidos pela ASA em Regência, a 2 m de profundidade em out-nov/ 2002. Intervalo de amostragem  $dt=1h$ . (Reproduzido de CEPEMAR, 2010).

Os resultados encontrados mostraram que as correntes mais frequentes são nas direções NNE (15,5%) e SSW (11,3%). As correntes com velocidades médias máximas fluíram para NNE, NE, WSW e W (0,3 m/s); e as correntes mais intensas registradas foram em direção a N, WSW e W (0,7 m/s). Do total de registros das correntes, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 0,6 m/s, (CEPEMAR, 2010).

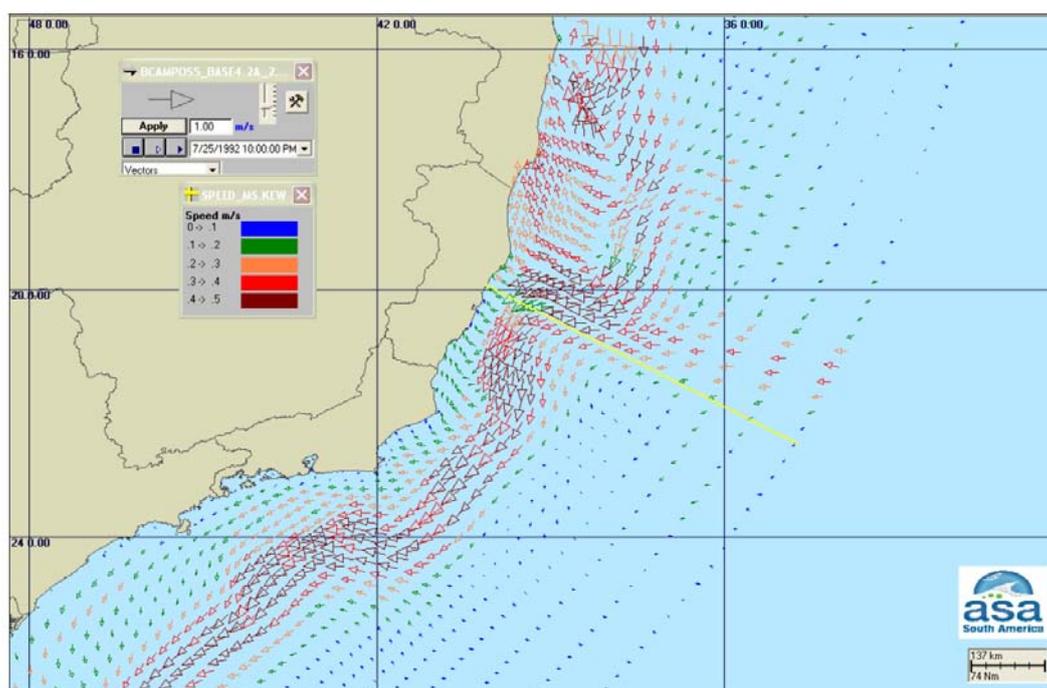
Ainda nesse estudo (CEPEMAR, 2010) são citados dados medidos próximo ao fundo para um ponto próximo a Regência, onde a profundidade local é de 20 m. As correntes mais frequentes foram para SW (21,02%), e a velocidade média nessa direção foi de 0,18 m/s. As correntes em direção ao quadrante norte também tiveram frequências significativas.

Simulações de correntes para o litoral do estado (**Figura 2.3.4-5**) apresentam um instantâneo do campo de superfície no verão, em situação de bom tempo (sob influência da ASAS), mais comum no verão: um fluxo bem definido para sul-sudoeste sobre a plataforma e talude continental. (CEPEMAR, 2010)



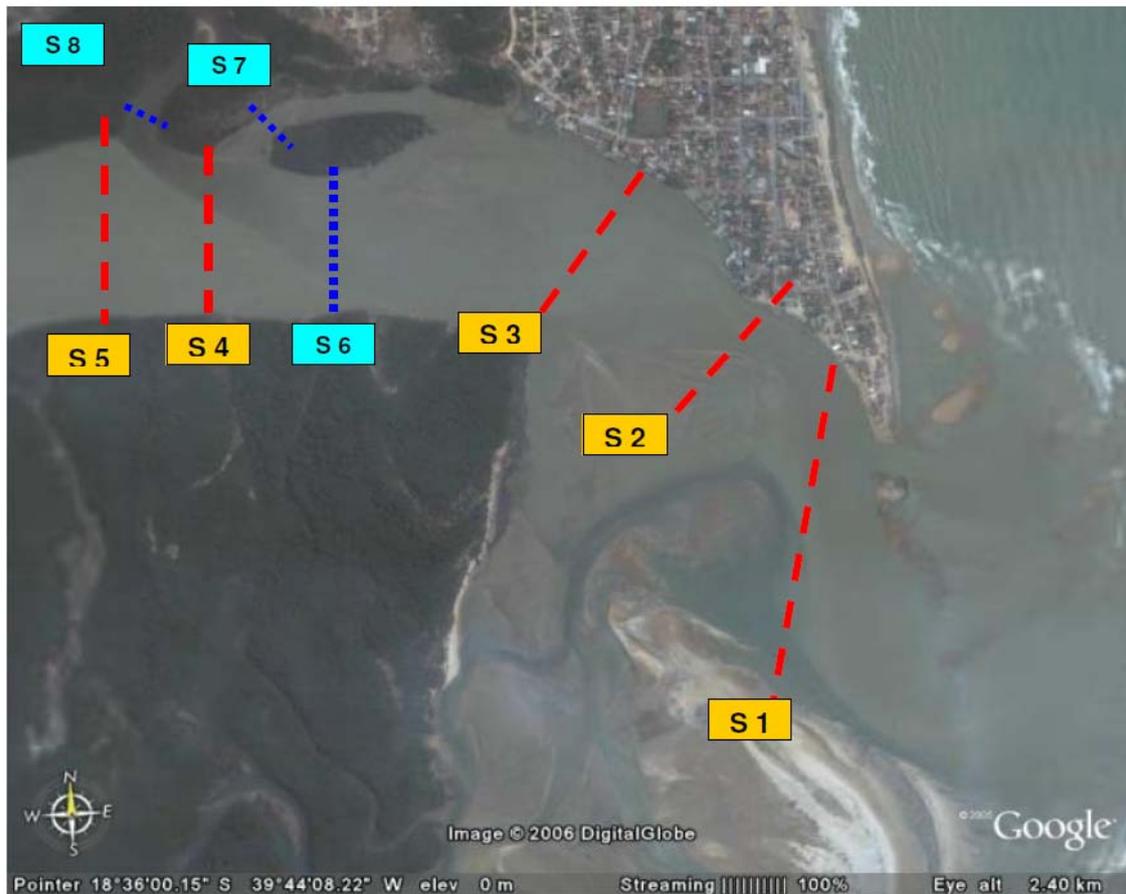
**Figura 2.3.4-5-** Instantâneo do campo de correntes de superfície no verão, obtido a partir de resultados de simulação (Reproduzido de CEPEMAR, 2010)

Já a **Figura 2.3.4-6** apresenta um instantâneo do campo de superfície no inverno, ilustrando o padrão de correntes perturbado pelo deslocamento de um sistema frontal, mais frequente nessa época do ano. Nestas ocasiões, é comum o campo de correntes inverter-se sobre a plataforma, apresentando direção norte-noroeste. (CEPEMAR, 2010).



**Figura 2.3.4-6-** Instantâneo do campo de correntes de superfície para condições de inverno. (Reproduzido de CEPEMAR, 2010)

As correntes na foz do Rio São Mateus foram levantadas por INPH (2006a). No período de 14 a 18/11/06, contemplando maré de quadratura e de sizígia, foram realizadas medições de correntes, com ADCP, durante os vários períodos de marés de vazante e de enchente. As medições foram realizadas basicamente em seções (**Figura 2.3.4-7**), com mais frequência na S1 e S5 e em longitudinais pelo talvegue do rio, sendo sempre posicionadas com GPS.



**Figura 2.3.4-7-** Posição das seções de medições com ADCP (Reproduzido de INPH, 2006a)

Os resultados obtidos mostraram que em quase todos os períodos das medições de correntes em todas as seções, a resultante da vazão era de descarga, ou seja, as correntes eram de vazante. Esta condição somente invertia-se nos períodos finais da enchente. Entretanto, considerando que o índice pluviométrico no período estava bastante alto na região, provavelmente o mesmo acarretou descargas bastante elevadas para o período de medições (INPH, 2006a). Esses resultados são apresentados nos **Anexos IV e V**

### 2.3.5 Ondas

Na região do litoral do Espírito Santo, o regime de ondas oceânicas sofre influência dos sistemas atmosféricos da costa leste brasileira, dos quais a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e os ciclones extratropicais são os mais importantes. Muehe e Valentini (1998) destacam que as ondas que atingem o litoral oriental são condicionadas pelas mudanças de vento dos sistemas atmosféricos atuantes e, por isto, alternam entre condições de ondas de tempo bom de nordeste e ondas de tempestades do quadrante sul.

Pinho (2003) propôs a seguinte classificação das condições do mar para a região sudeste, associadas à circulação atmosférica, a partir de dados direcionais de ondas e ventos obtidos entre março de 1991 e 1995 da Baía de Campos:

- Situação de Tempo Bom com ondas dos setores N, NE e E, que ocorrem sob o domínio da ASAS.
- Situação de Tempo Bom com swell (marulho) de sul.
- Situação de Tempo Ruim de SW, caracterizado por ondas de SW geradas pela passagem de uma frente fria seguida de um ciclone extratropical.
- Situação de Tempo Ruim de SE, que ocorre por efeito da presença de um anticiclone polar após a passagem de uma frente fria.

Os ventos de NE, embora se tornem intensos antes da passagem de uma frente fria, não geram, necessariamente, ondas altas, correspondendo a eventos típicos de Tempo Bom e registros de ondas significativas de 1 a 2 m. A presença de ventos de SW na região sul da América do Sul, incluindo o sul do Brasil, geram ondas de SW que surgem na costa sudeste brasileira na forma de *swell*. Essas ondulações possuem maiores alturas significativas, que ficam em torno de 2.5 m (Pinho, 2003).

Uma peculiaridade da Baía do Espírito Santo em relação à Baía de Campos é que, em virtude da ação da ASAS, as condições de mar de leste predominam durante a maior parte do ano.

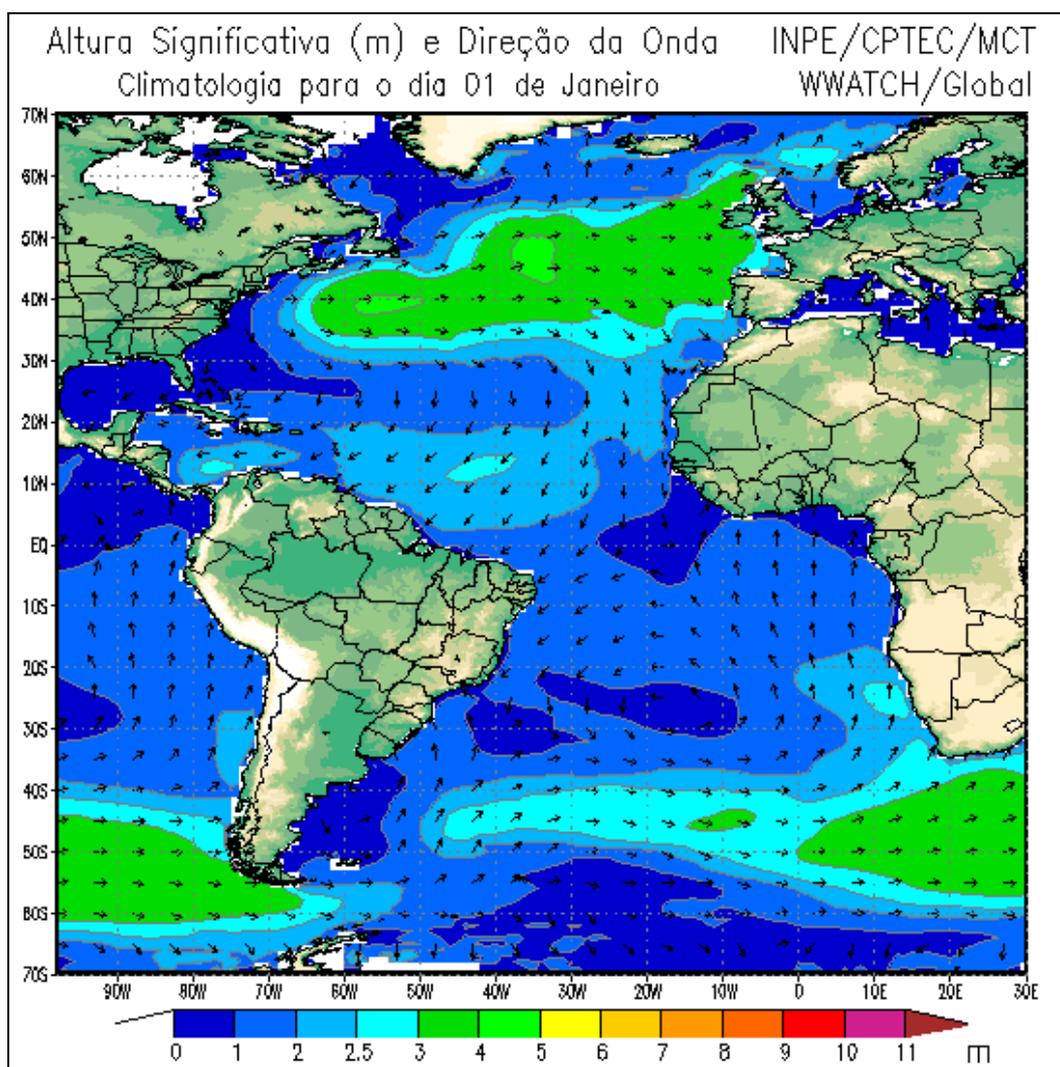
O que se observa é que as ondas procedem de dois setores principais NE – E e SE – E, com predominância do primeiro, sendo que as ondas são geradas pelos dois sistemas de ventos existentes na região: Os ventos provenientes dos quadrantes NE-ENE, associados aos ventos alísios, que sopram durante a maior parte do ano, e os de SE, que estão relacionados às frentes frias que chegam periodicamente à costa capixaba, gerando as ondas do setor sul, que embora sejam menos freqüentes, são mais energéticas do que as do quadrante NE (Gomes, 2008).

As ressacas (estado de mar com ondas intensas) que chegam à costa do Espírito Santo estão associadas à ação dos sistemas frontais, podendo gerar ondas que ao atingirem a costa apresentam características de marulhos (*swell*). O estado do mar pode ficar ainda mais agitado, se a passagem dos sistemas correrem em conjunto com a chegada destes marulhos.

Uma análise dos dados de ondas para o litoral do estado é apresentada em FERMISA (1999). Esta análise, baseada em dados existentes no BNDO (Banco Nacional de Dados Oceanográficos) da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) mostra que a direção predominante das ondulações ao largo do litoral do estado, no período de 1956 a 1995, foi predominantemente de E-NE (50 a 60%) nas quatro estações do ano, sendo esta tendência mais claramente observada nos meses de verão, decrescendo nos meses de outono e inverno, e novamente aumentando na primavera. As ondulações vindas do quadrante sul (S e SW) tiveram frequência máxima nos meses de outono e, principalmente, inverno (30 a 40%). A tendência da distribuição das direções predominantes das ondas por estação do ano segue aproximadamente a mesma das direções dos ventos. A altura significativa mais freqüente das ondas, tanto do quadrante E-NE e S-SE, situa-se na faixa de 0,5 a 1,0 m e, secundariamente, de 1,0 a 1,5m.

Dados obtidos pela CTH/USP em 1972-1973, na planície deltaica do rio Doce, indicaram que as ondas procedem de dois setores principais NE-E e SE-E, com predominância do primeiro (Bandeira *et al.* 1975). Estas ondas são geradas pelos dois sistemas de ventos existentes na região. As ondas do setor sul, associadas às frentes frias, embora sejam menos freqüentes, são mais energéticas do que as do quadrante NE. Martin *et al.* (1993) destacam que este modelo pode ser perturbado pelo Fenômeno El Niño. Em período de ação deste fenômeno, a passagem das ondas meridianas de média e alta troposfera é bloqueada pela presença de forte e permanente corrente de jato subtropical. Este bloqueio faz com que as zonas frontais permaneçam no S e SE do Brasil, originando alta pluviosidade, enquanto que ao norte, ocorre seca. Em janeiro e fevereiro de 1995, sob o efeito do Fenômeno El Niño, o Estado de São Paulo registrou altos índices pluviométricos, enquanto no Espírito Santo foram extremamente baixos. Conseqüentemente, nos períodos de atuação do Fenômeno El Niño, as ondas do setor sul, geradas pelas advecções polares, não atingem o litoral capixaba, o que faz com que as frentes de ondas sejam originadas somente pelos ventos do NE-E. (Albino *et al.*, 2006).

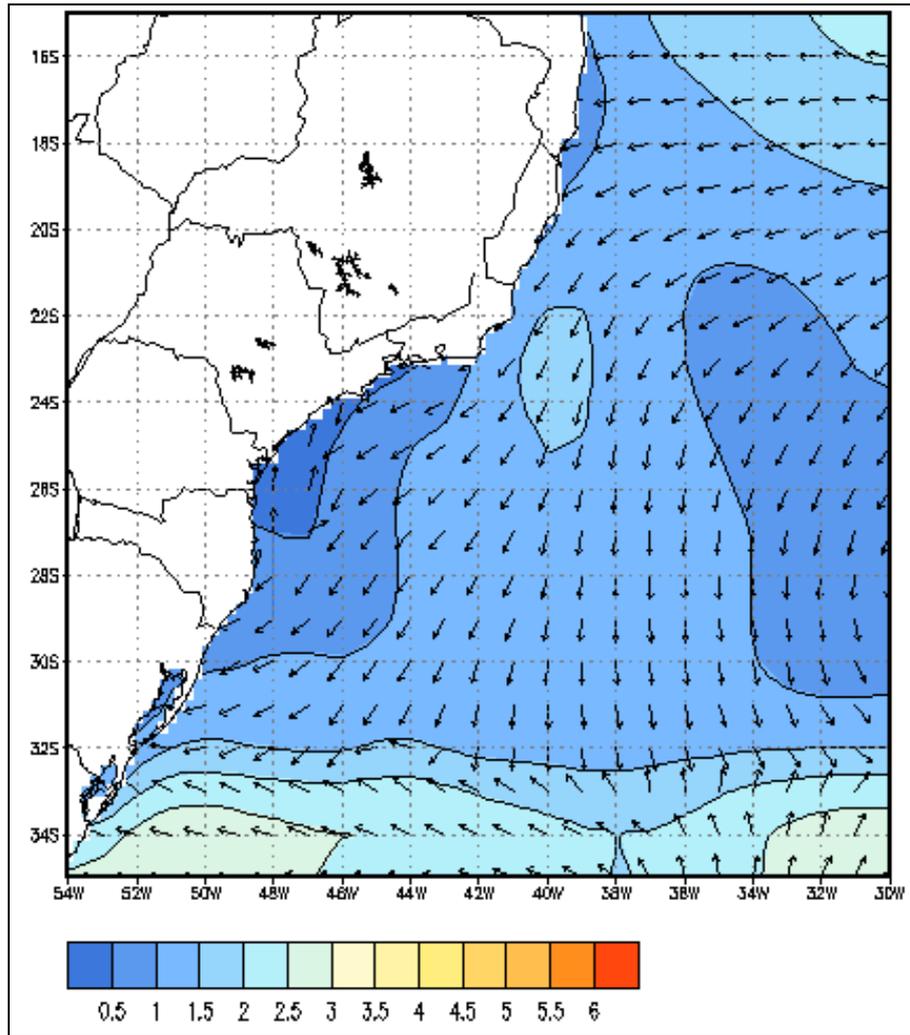
Na **Figura 2.3.5-1** abaixo temos uma previsão da altura e direção de ondas com base em modelos globais para uma condição típica de verão, janeiro de 2012.



**Figura 2.3.5-1** - Previsão da altura e direção de ondas com base em modelos globais para uma condição típica de verão, janeiro de 2012. (fonte INPE/CPTEC/MCT)

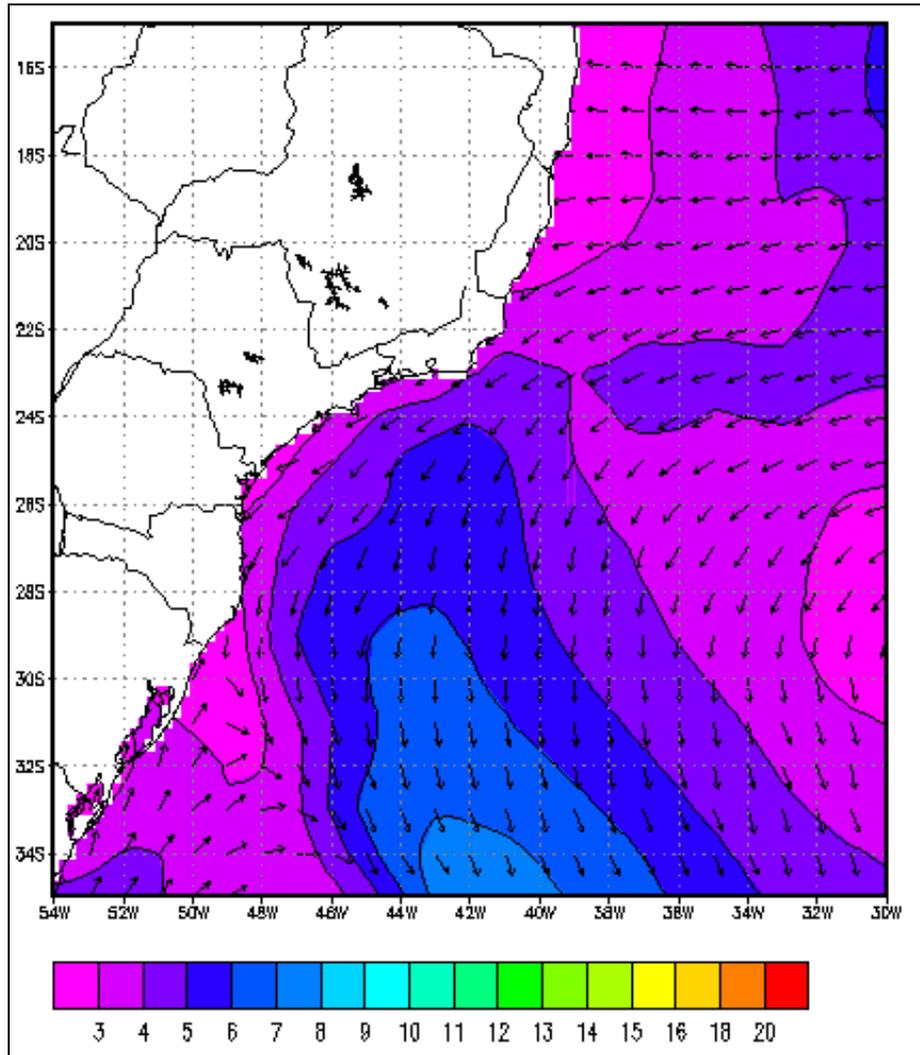
EcologyBrasil (2009) apresenta esquemas representativos das principais condições vigentes do regime de ondas no sudeste brasileiro. Estas figuras foram obtidas de instantâneos da previsão de ondas que melhor exemplificaram as condições vigentes ao longo de todo o ano (domínio do ASAS), bem como das situações características de inverno e da passagem de sistemas frontais. Esses resultados são reproduzidos a seguir.

Na **Figura 2.3.5-2** pode ser visto o campo de ondas na região sul/sudeste do Brasil, onde se constata a incidência de ondas com altura significativa entorno de 1,0 m e direção principal de NE na costa do Espírito Santo, exemplificando o que foi dito anteriormente.



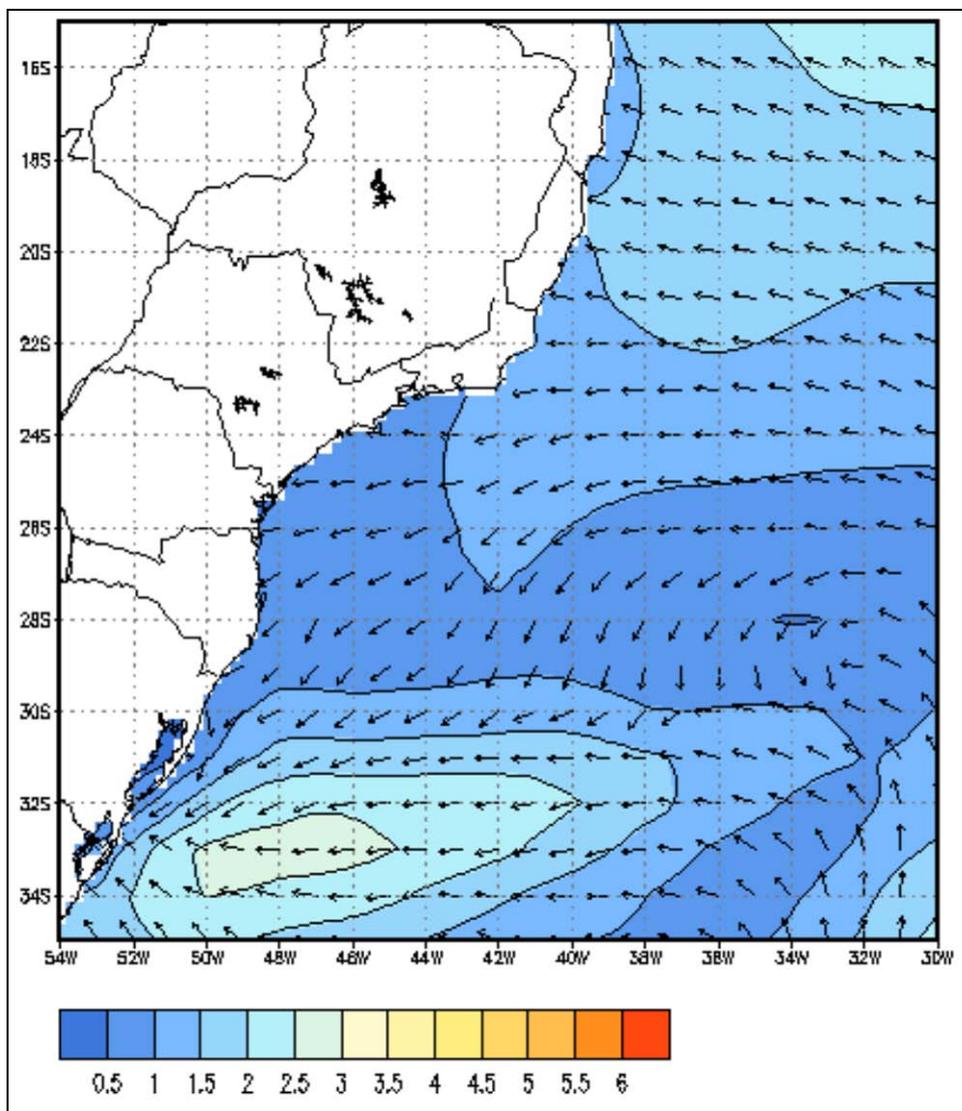
**Figura 2.3.5-2-** *Altura significativa (m) e direção principal na costa sul/sudeste do Brasil, exemplificando a presença de ondas com altura significativa de 1,0m e direção de E na costa do Espírito Santo. Condição vigente ao longo de todo o ano. (Reproduzido de EcologyBrasil, 2009)*

Na **Figura 2.3.5-3** apresenta-se o período médio do mar local, com aproximadamente 3 s na costa do Espírito Santo

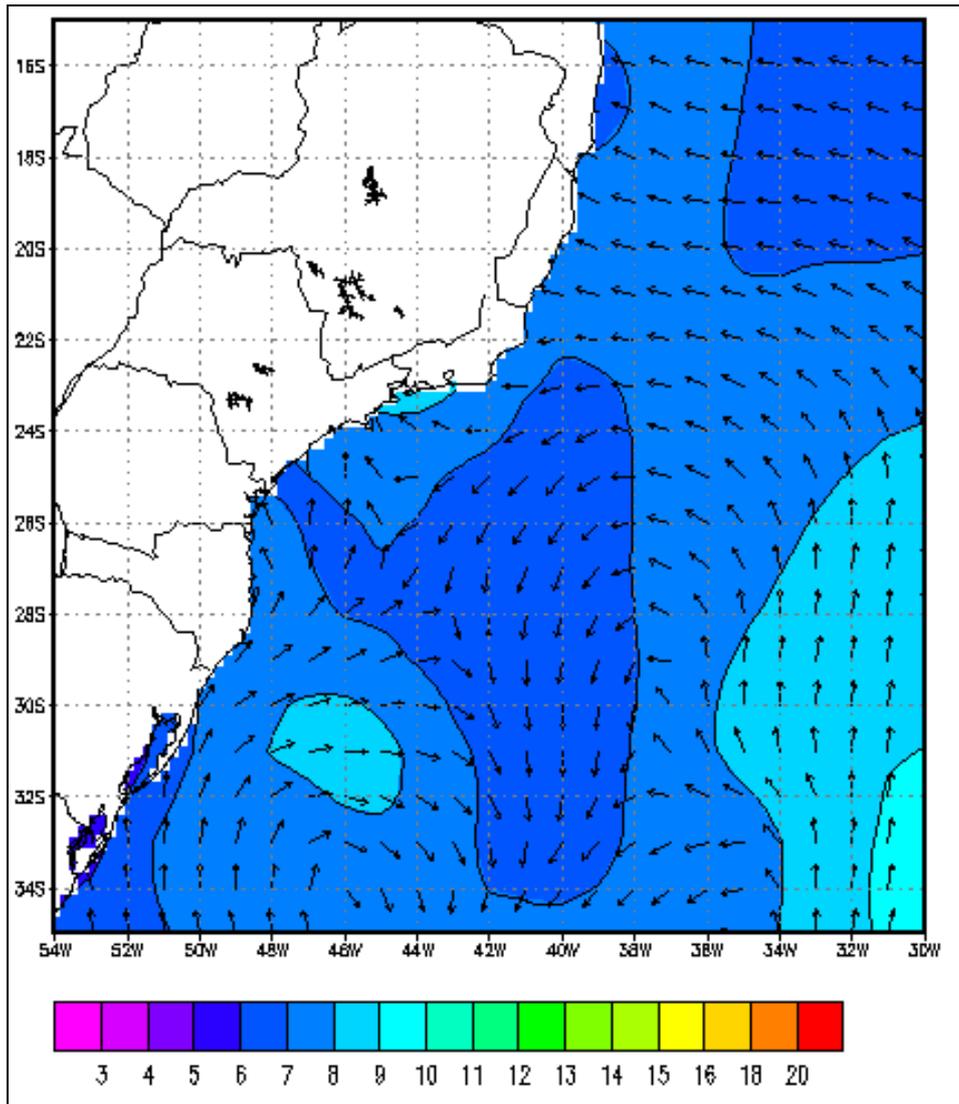


**Figura 2.3.5-3-** Período (s) e direção do mar local na costa sul/sudeste do Brasil, exemplificando a presença de ondas com período médio entorno de 3 s na costa do Espírito Santo. Condição vigente ao longo de todo o ano. (Reproduzido de EcologyBrasil, 2009)

Embora haja a dominância de ondas de NE ao longo de todo o ano, no período de outono e inverno (abril a agosto), com a alteração do regime de ventos para E-SE, existe a presença significativa de ondas dessas direções (E-SE), com alturas significativas médias de 1,5 m e períodos médios variando entre 6 a 7 s (Figura 2.3.5-4 e Figura 2.3.5-5).

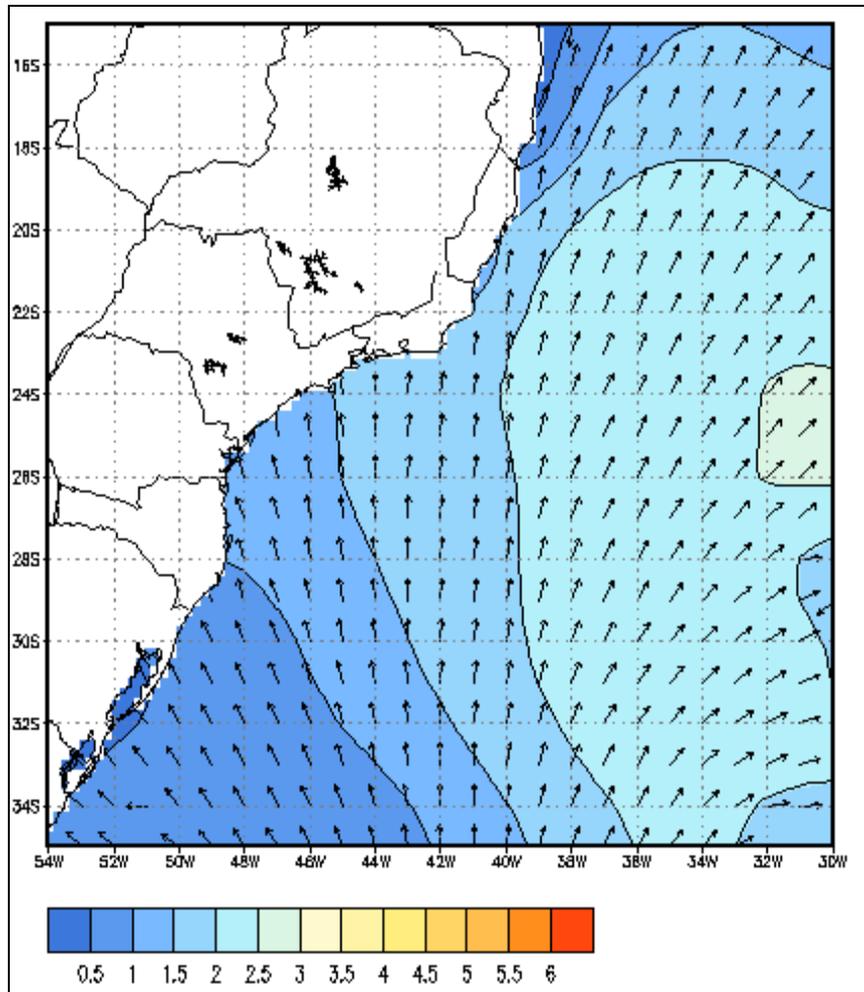


**Figura 2.3.5-4** - Altura significativa (m) e direção principal na costa sul/sudeste do Brasil, exemplificando a presença de ondas com altura significativa de 1,0 – 1,5m e direção de E-SE na costa do Espírito Santo. Condição vigente no período de inverno. (Reproduzido de EcologyBrasil, 2009)

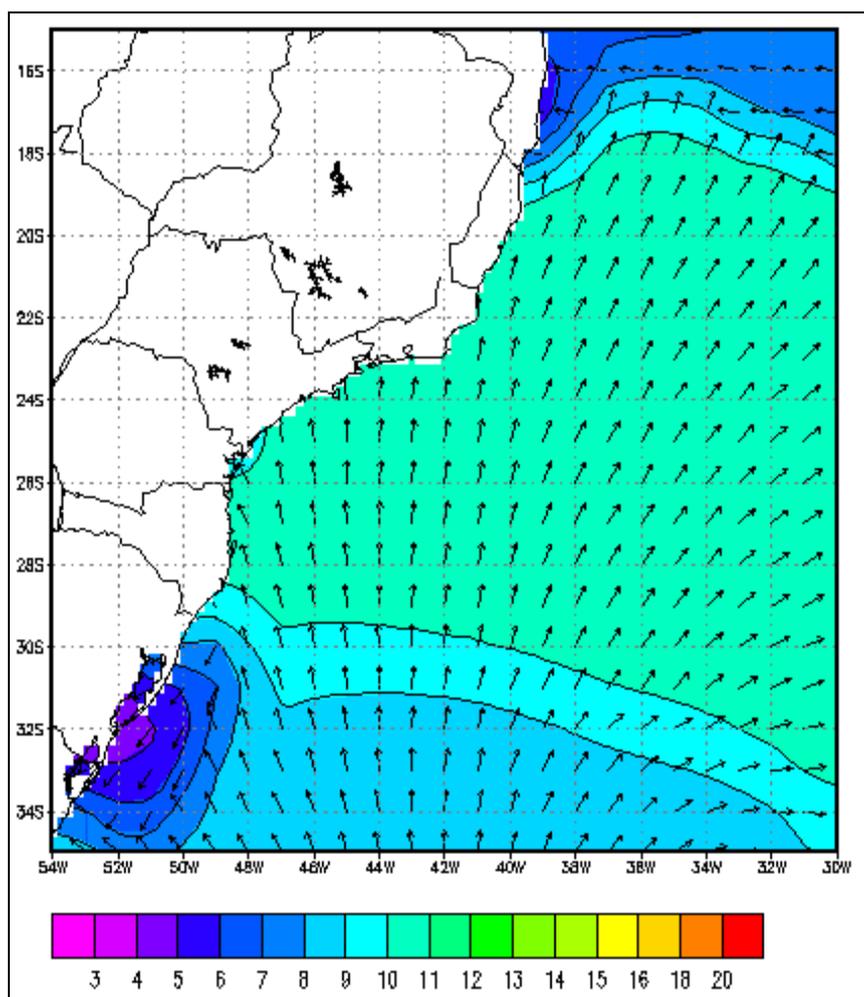


**Figura 2.3.5-5** - Período (s) e direção do mar local na costa sul/sudeste do Brasil, exemplificando a presença de ondas com período médio entorno de 7s na costa do Espírito Santo. Condição vigente no período de inverno. (Reproduzido de EcologyBrasil, 2009)

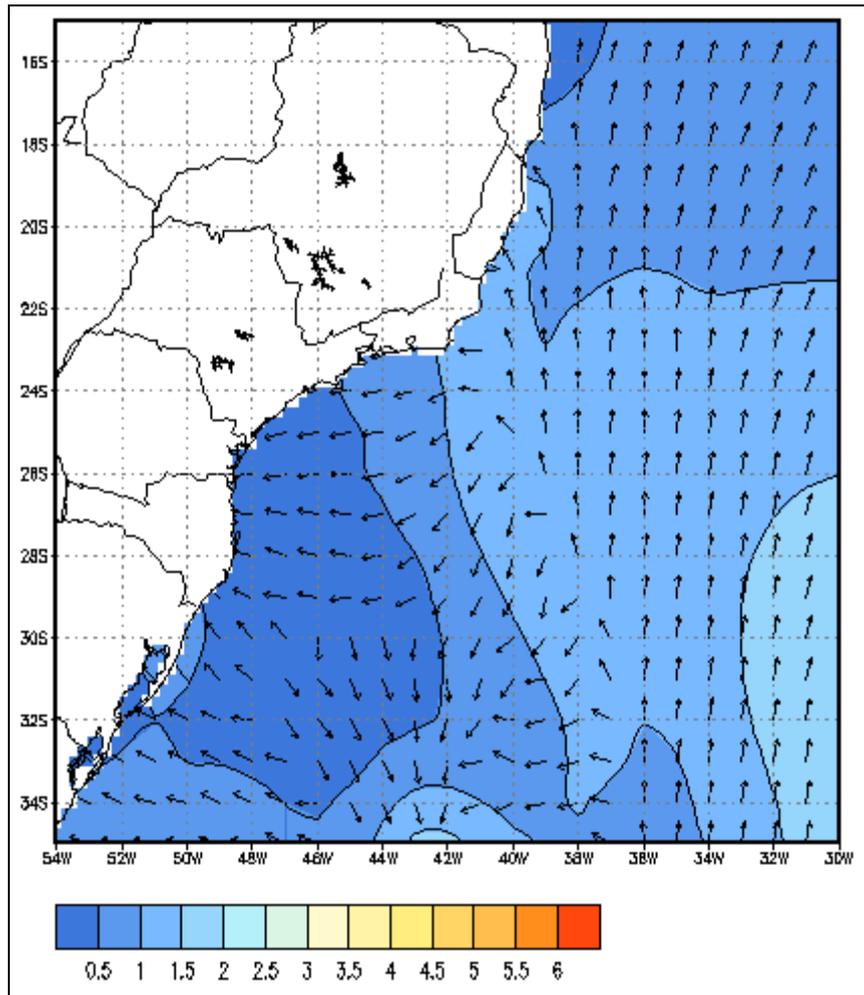
No período de inverno existe uma maior ocorrência na passagem de sistemas frontais, deixando a área sujeita à ação de ondas de S-SW (**Figura 2.3.5-4** e **Figura 2.3.5-5**), embora, na maioria das vezes, os marulhos gerados por esses sistemas atinjam o litoral desta região com direção SE (**Figura 2.3.5-6** e **Figura 2.3.5-7**) (EcologyBrasil, 2009).



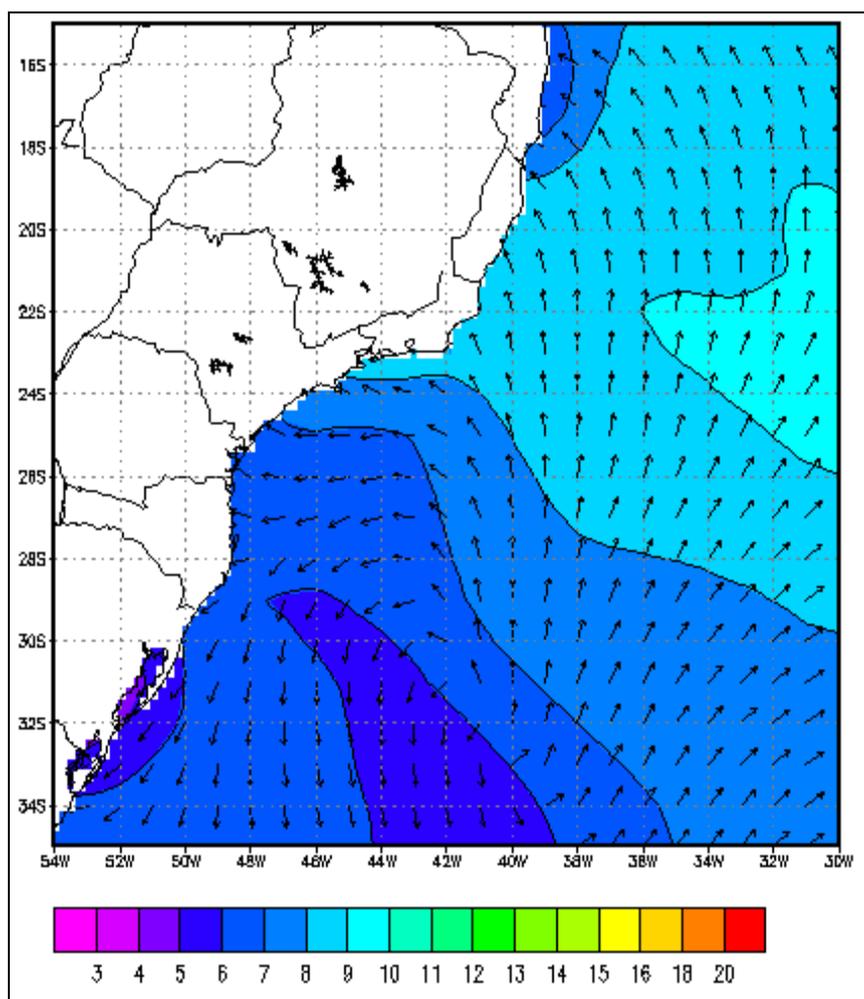
**Figura 2.3.5-6** - Altura significativa (m) e direção principal na costa sul/sudeste do Brasil, exemplificando a presença de ondas com altura significativa de 1,5 – 2,0m e direção de S-SW na costa do Espírito Santo. Condição vigente no período de inverno, com passagem de sistema frontal. (Reproduzido de EcologyBrasil, 2009)



**Figura 2.3.5-7** - Período (s) e direção do mar local na costa sul/sudeste do Brasil, exemplificando a presença de ondas com período médio entorno de 11s na costa do Espírito Santo. Condição vigente no período de inverno, com passagem de sistema frontal. (Reproduzido de EcologyBrasil, 2009)

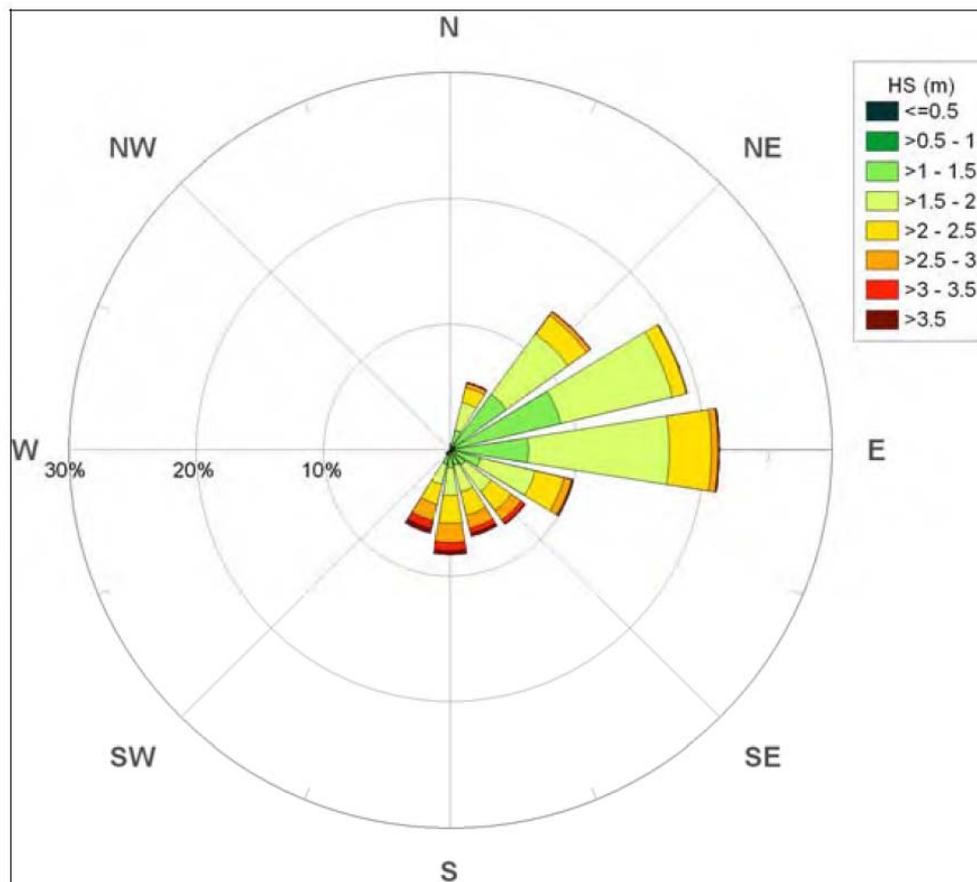


**Figura 2.3.5-8** - Altura significativa (m) direção principal na costa sul/sudeste do Brasil, exemplificando a presença de ondas com altura significativa de 1,0 – 1,5m e direção de SE na costa do Espírito Santo. Condição vigente no período de inverno, com passagem de sistema frontal. (Reproduzido de EcologyBrasil, 2009)



**Figura 2.3.5-9** - Período (s) e direção do mar local na costa sul/sudeste do Brasil, exemplificando a presença de ondas com período médio entorno de 9s na costa do Espírito Santo. Condição vigente no período de inverno, com passagem de sistema frontal. (Reproduzido de EcologyBrasil, 2009)

Um resumo dessas condições gerais é apresentado em CEPEMAR (2011), no qual ao longo do ano predominam as ondas de E seguidas das ondas do setor ENE e NE, embora as maiores alturas significativas de onda ocorram associadas aos setores SE a SSW (**Figura 2.3.5-10**).

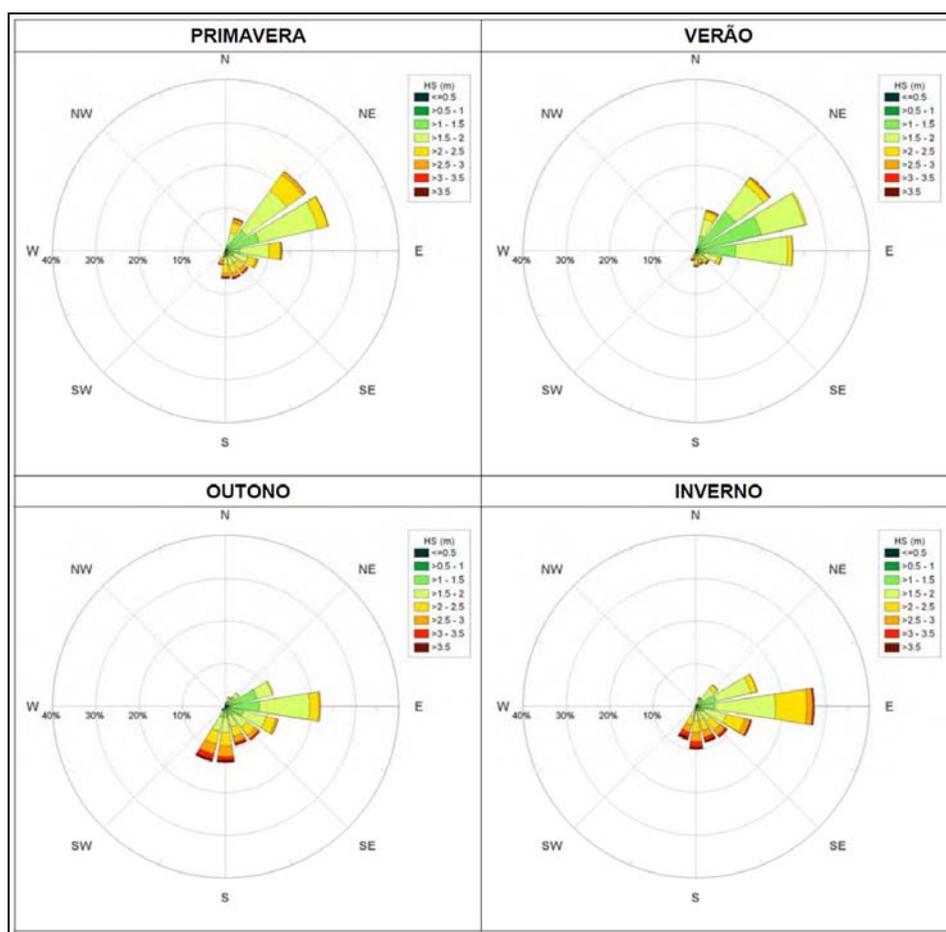


**Figura 2.3.5-10-** Histograma de ocorrência das alturas significativas de onda na região oceânica do Espírito Santo. (Reproduzido de CEPEMAR, 2011)

Assim, as ondas provenientes do conjunto de setores E-ENE-NE representam 53.9% do total de direções das ondas. As ondas do quadrante Sul (SE-SSE-S-SSW) são as únicas que apresentaram valores maiores que 3.5 m, embora estas somem menos de 1% do conjunto total de dados. (CEPEMAR, 2011)

Com relação à altura significativa, as classes mais frequentes são ondas de 1.5 a 2.0 m, seguidas das ondas entre 1.0 e 1.5 m. As ondas entre 1.0 e 2.0 m somam, em conjunto, 69.0% do total de ondas estimadas ao largo, enquanto as ondas maiores que 2.5 m somam 10.5% do total. A classe correspondente às maiores ondas é 4.0 a 4.5 m. (CEPEMAR, 2011)

Fazendo a caracterização sazonal, CEPEMAR (2011) constata uma diferença significativa entre a direção de ocorrência das ondas de inverno e de verão. Mais ainda, pôde-se notar que a distribuição das ondas na primavera assemelha-se à distribuição do verão, enquanto o histograma polar de outono é semelhante ao de inverno, denotando uma divisão de estações do ano em duas classes (primavera/verão e outono/inverno), **Figura 2.3.5-11**.

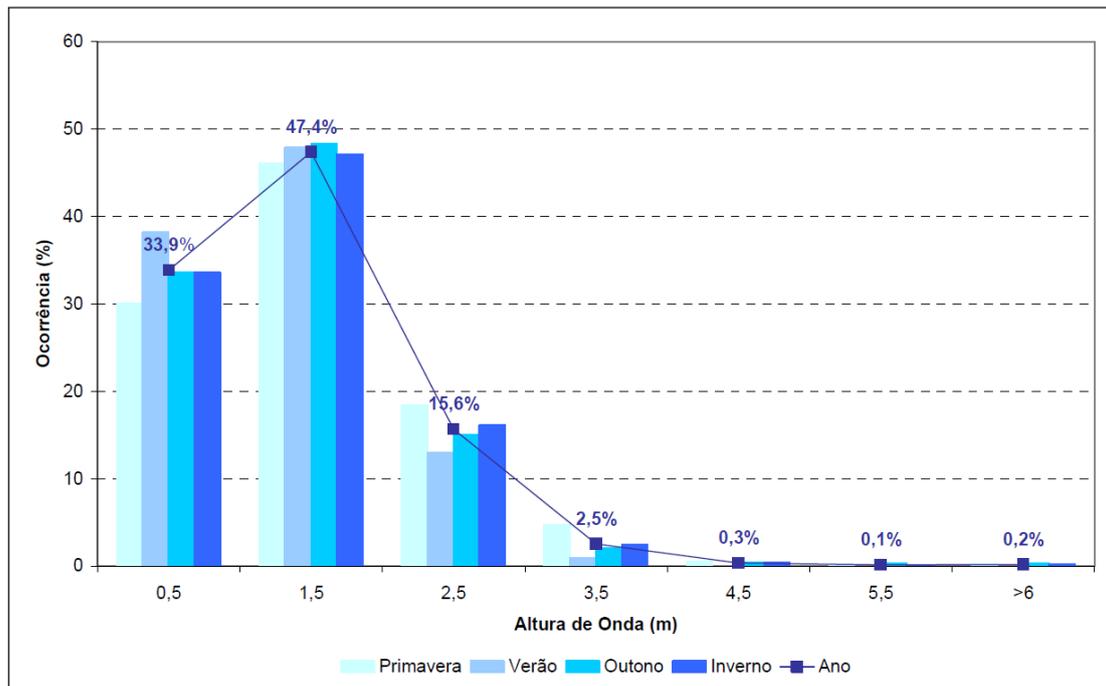


**Figura 2.3.5-11-** Histogramas de ocorrência das alturas significativas de onda por estação do ano. (Reproduzido de CEPEMAR, 2011)

Utilizando dados existentes no BND0 (Banco Nacional de Dados Oceanográficos) da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) COPPETEC (2011) apresenta uma caracterização do regime de ondas na região de Barra do Riacho.

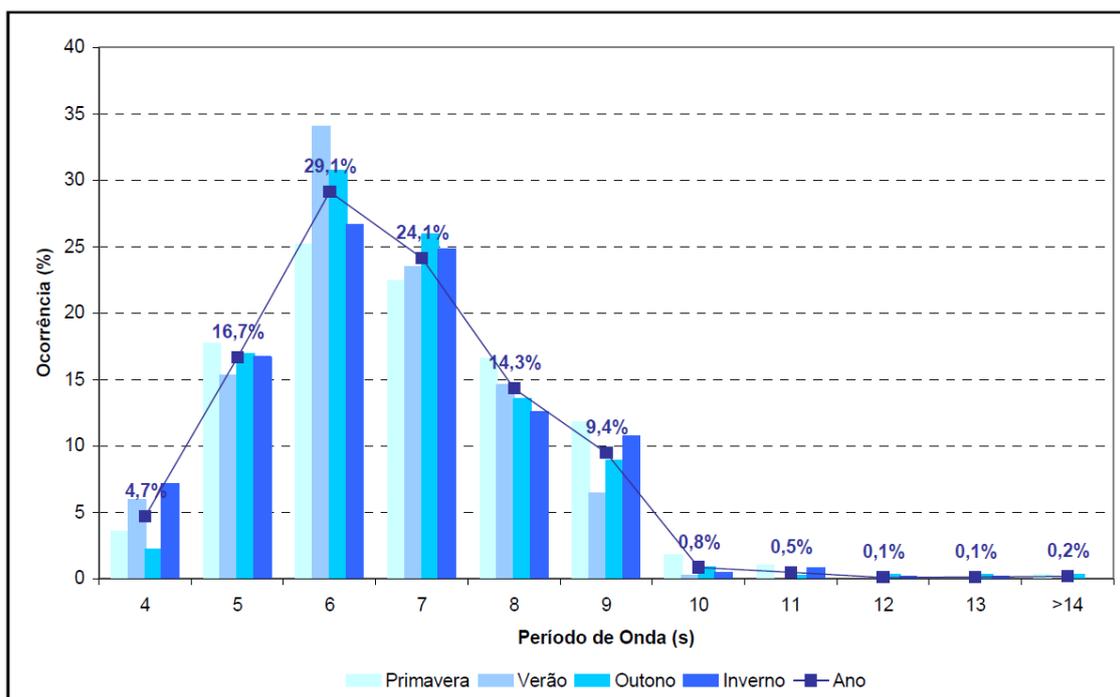
Através da integração de dados numa área centrada no ponto de latitude  $20^{\circ}$  S e longitude  $40^{\circ}$  W, com cerca de 90 milhas de comprimento paralelo ao alinhamento da costa, COPPETEC (2011) apresenta o resultado dessa caracterização. Os dados apresentam 2545 registros de ondas ao longo de um ano, com informações de altura (m), período (s) e direção de propagação em relação graus ao norte verdadeiro.

A distribuição sazonal e anual de alturas de ondas ao largo de Barra do Riacho é apresentada na **Figura 2.3.5-12** abaixo. Assim, podemos observar que a onda modal, em todas as estações do ano, apresenta altura de aproximadamente 1,5m; entretanto, há significativa ocorrência de ondas com alturas de até 3,5m, principalmente nos meses de inverno e primavera. A ocorrência anual de ondas maiores que 4,5m de altura é  $< 0,5\%$ .



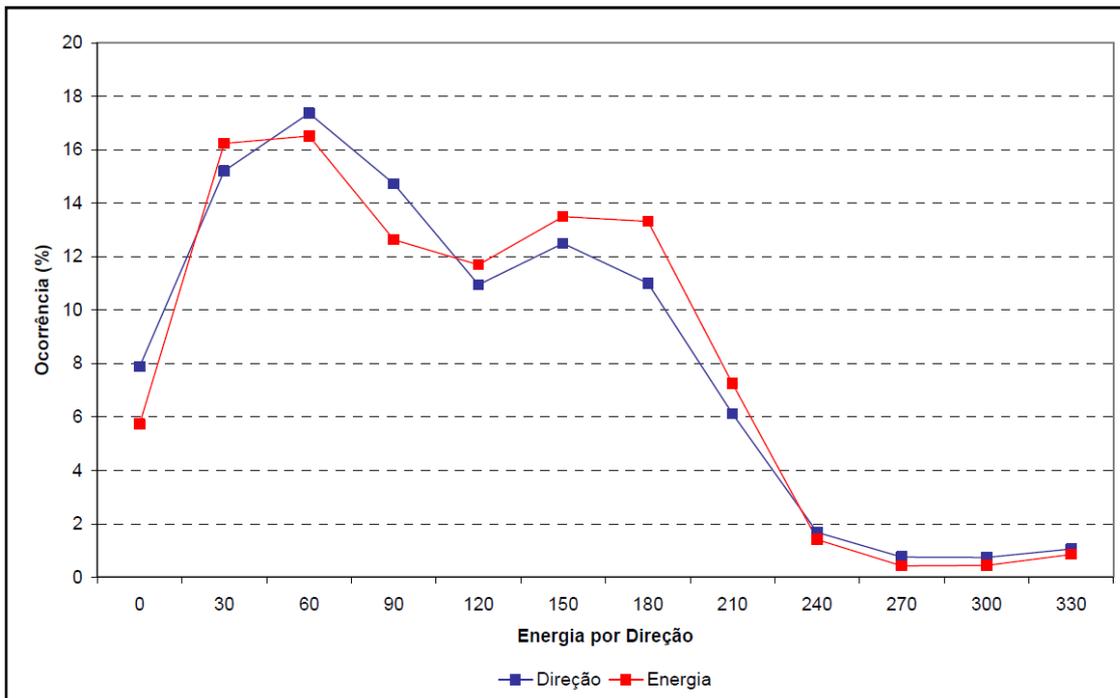
**Figura 2.3.5-12-** Distribuição sazonal e anual de alturas de onda ao largo de Barra do Riacho (COPPETEC, 2011).

Já a distribuição sazonal e anual de períodos de ondas ao largo de Barra do Riacho é apresentada na **Figura 2.3.5-13** a seguir, na qual se consegue identificar que a onda modal em todas as estações do ano é aquela com períodos em torno de 6 segundos; apesar de significativa ocorrência de ondas mais longas, com até 10s de período, principalmente nos meses de primavera, outono e inverno. A ocorrência de ondas com períodos maiores que 11s é da ordem de 0,9% por ano.



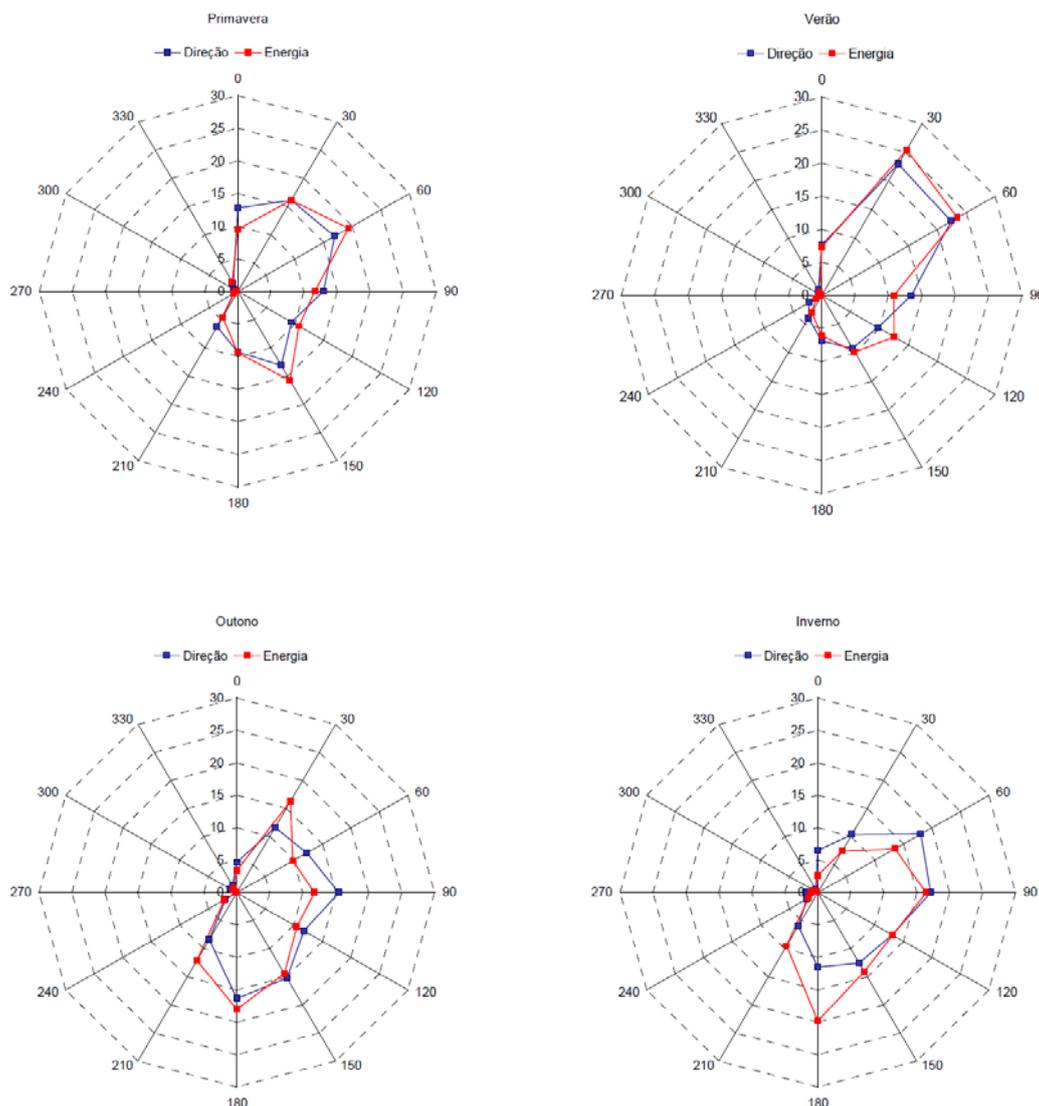
**Figura 2.3.5-13 - Distribuições sazonal e anual de períodos de onda ao largo de Barra do Riacho. (COPPETEC, 2011)**

Na **Figura 2.3.5-14** a seguir, temos as distribuições anuais de direção de propagação de ondas (em azul) e de energia por direção de propagação (em vermelho) para as ondas ao largo de Barra do Riacho. Verifica-se um clima de ondas bi-modal em relação à direção de propagação, com predomínio de ondas de nordeste ( $60^\circ$ ) seguidas de ondas de sul ( $180^\circ$ ). É possível constatar ainda que as ondas do quadrante sul, apesar de serem menos frequentes, contêm um nível de energia mais alto.



**Figura 2.3.5-14** - Distribuições anuais de direção de propagação de onda (azul) e de energia por direção (vermelho) para ondas ao largo de Barra do Riacho. Direções em graus de azimute. (COPPETEC, 2011)

As distribuições de direção de propagação e de energia por direção ao longo das estações (**Figura 2.3.5-15**) indicam que, durante o verão, as ondas provenientes do setor NE são as mais freqüentes e mais energéticas. Nessa época há pouca ocorrência de ondas do quadrante sul e os maiores níveis de energia deste quadrante são verificados naquelas que provêm de sudeste. Já no inverno, a situação se inverte e as ondas provenientes de sul, embora com porcentagens de ocorrência menor, apresentam altos níveis de energia.



**Figura 2.3.5-15-** Distribuições sazonais de direção de propagação de ondas (azul) e de energia por direção (vermelho) ao largo de Barra do Riacho. (Reproduzido de COPPETEC, 2011)

Analisando ao comportamento da linha de costa na foz do Rio São Mateus, Rampinelli et al (2011), apresentam que as ondas para a região *offshore* são caracterizadas com altura significativa ( $H_s$ ) entre 0,5 e 4,5 m, período de pico ( $T_p$ ) entre 4 e 20 segundos e direção de pico ( $D_p$ ) entre N e SW.

Neste mesmo estudo (Rampinelli et al, 2011), os autores afirmam ter encontrado uma variação no clima de ondas, que durante a década de 90 apresentou-se alterado com um aumento na direção de ondas no quadrante S-SE e redução no quadrante ENE, apesar de haver para a região a predominância no sentido do quadrante E-NE, e também no sentido SE-S, com ampla maioria *offshore* com  $H_s$  entre 1.5 e 2.5m e  $T_p$  inferior a 10s, para a primeira década analisada, anos 80. Entretanto, esse padrão da distribuição das ondas na década seguinte, 1991 a 1999, apresenta-se um pouco alterado com um declínio na frequência de ondas no quadrante E-NE e um aumento

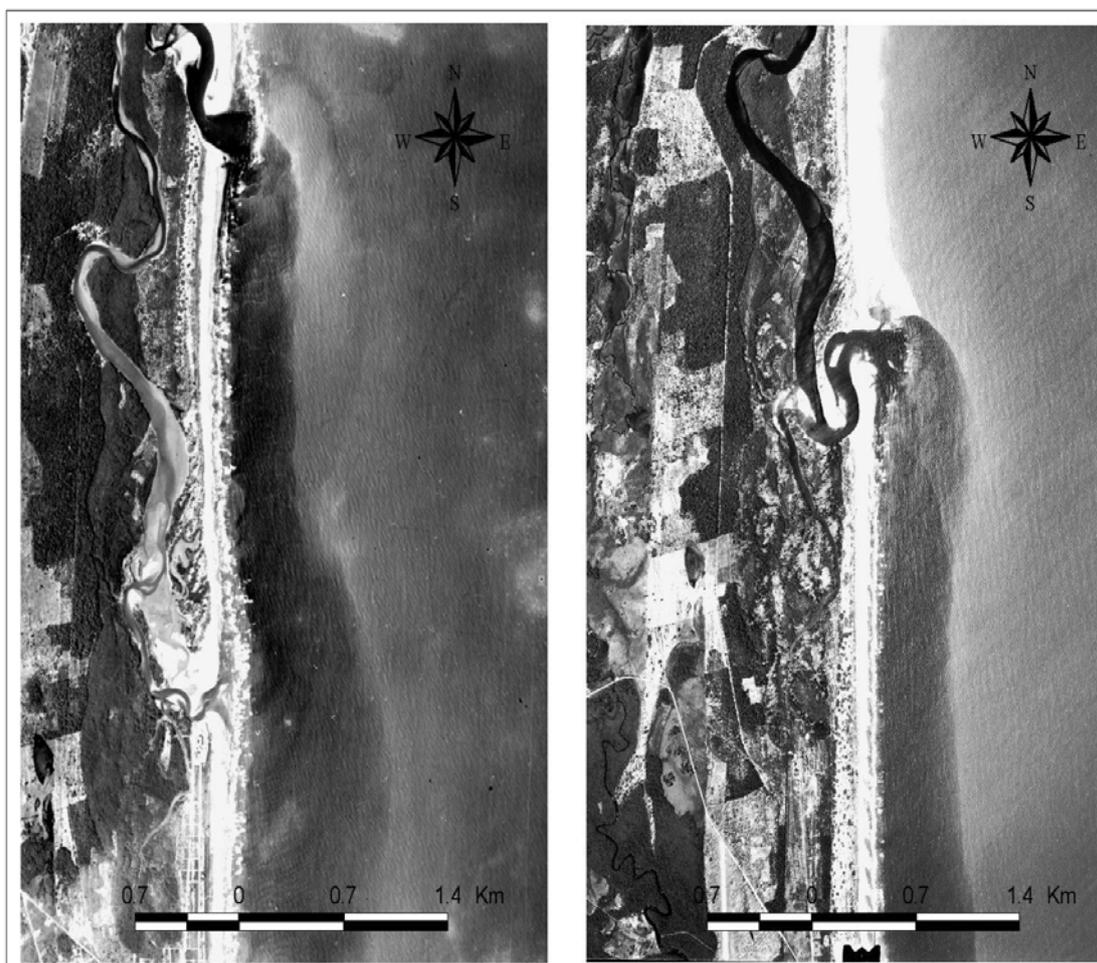
no quadrante S-SE. O mesmo também pode ser observado em relação ao período onde ocorre aumento na frequência de ondas com períodos acima de 12s. O padrão para a década seguinte, 2000, retoma ao da década de 80.

### 2.3.6 Aspectos do transporte superficial de sedimentos

Os fluxos de material em suspensão e a composição de elementos biogênicos trazidos à zona costeira por descarga estuarina afetam a eficiência da ciclagem de matéria, a magnitude da produtividade primária e a composição das populações dos produtores primários. Assim, alterações, naturais ou antropogênicas, sobre o regime de descarga dos rios na região de sua foz tem conseqüências para o desenvolvimento da rede trófica e o recrutamento de peixes em estuários e na zona costeira adjacente (Ittekkot et al. 2000).

A fim de se obter um melhor entendimento sobre a dinâmica da pluma costeira do rio São Francisco e sua relação com os forçantes físicos de energia externa (ventos, maré, ondas e descarga fluvial), Lorenzetti et al (2007) apresentam os resultados de pesquisas que vem sendo realizadas com ênfase principal na análise de dados coletados *in situ* na região estuarina e costeira adjacente à foz. Com vistas a contribuir com esse processo foram utilizadas imagens de satélite na caracterização espacial da pluma de sedimentos e na tentativa de estimar as concentrações de sedimentos presentes na região da pluma e zona costeira.

Em CEPEMAR (2004) é apresentada a avaliação qualitativa da dispersão de sedimentos finos em suspensão feita a partir da observação das fotografias aéreas verticais e imagem de satélite. Em todas estas fontes pode-se observar que as plumas de material particulado que emanam das desembocaduras do rio Itaúnas e Riacho Doce, são forçadas a se deslocar para sul em decorrência dos fluxos longitudinais derivados dos ventos de NE dominantes na região (**Figura 2.3.6-1**). Em presença de frentes frias quando dominam os ventos de SSE, estas plumas se deslocam para norte. Segundo esse mesmo autor, (CEPEMAR, 2004), esta situação não pôde ser documentada através de sensores óticos tendo em vista a grande nebulosidade associada ao avanço destes sistemas frontais.



**Figura 2.3.6-1** - Fotografias aéreas verticais mostrando a dispersão da pluma de sedimentos em suspensão que emana da desembocadura do rio Itaúnas para os anos de 1991 (esquerda) e 1970 (direita). Observar que a direção preferencial de dispersão é para sul. (Reproduzido de CEPEMAR, 2004)

A fim de se obter um melhor entendimento sobre a dinâmica da pluma costeira do rio São Mateus, foram utilizadas fotografias aéreas e imagens de satélite na caracterização espacial da pluma de sedimentos.

Neste sentido foram utilizadas fotografias aéreas dos anos 1970 e 2008 e imagens dos satélites Landsat e CBERS.

Os resultados obtidos com as fotografias aéreas são apresentados nas **Figuras 2.3.6-2 e 2.3.6-3**. Ressaltemos que não estava disponível a data das tomadas das fotos.

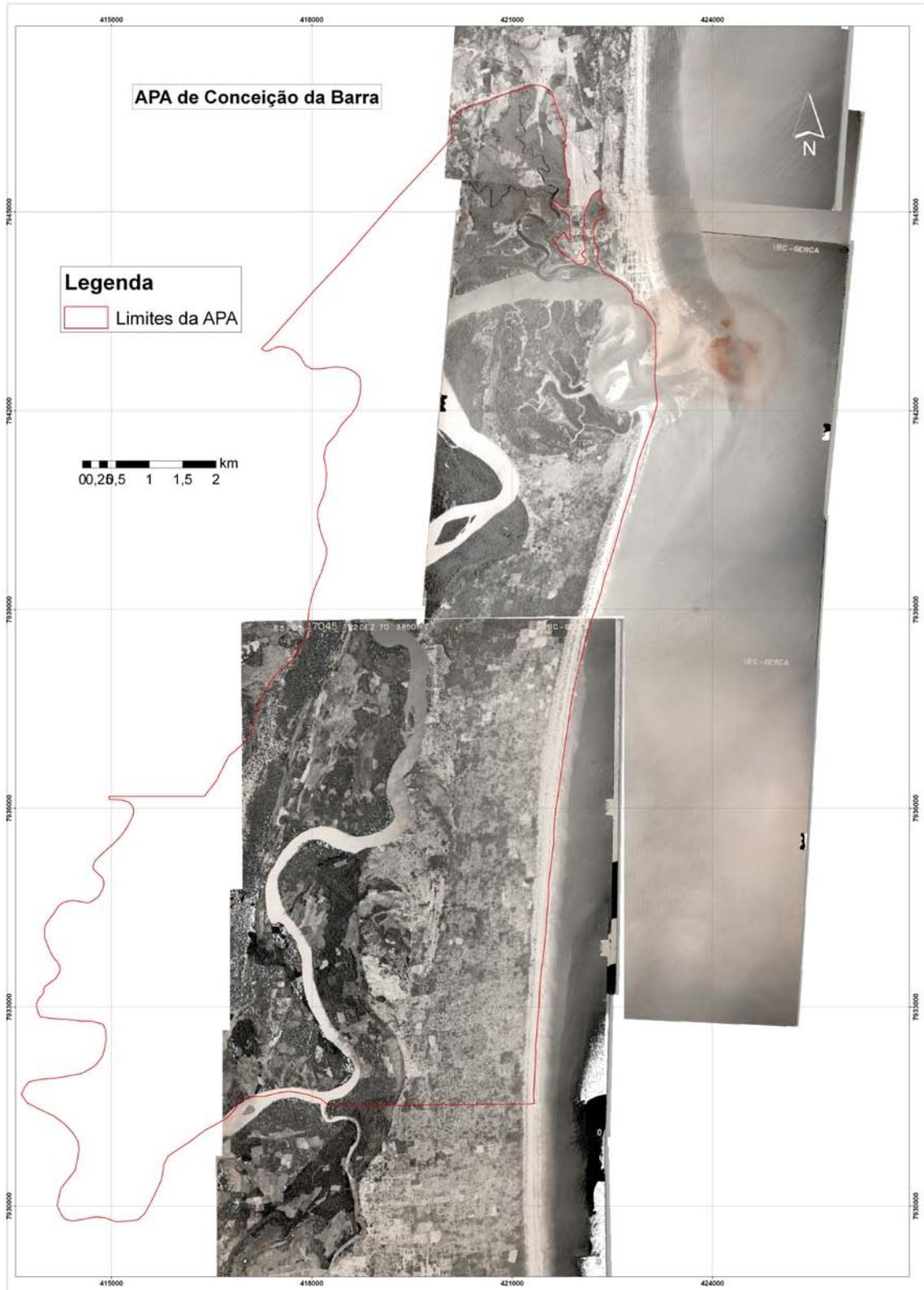


Figura 2.3.6-2 - Aspectos da pluma de sedimentos do Rio São Mateus, 1970.



Figura 2.3.6-3 - Aspectos da pluma de sedimentos do Rio São Mateus, 2008.

Nas figuras abaixo apresentamos resultados obtidos à partir do processamento de imagens Landsat, dos anos de 2006 (**Figura 2.3.6-4**) e 2011 (**Figura 2.3.6-5**)

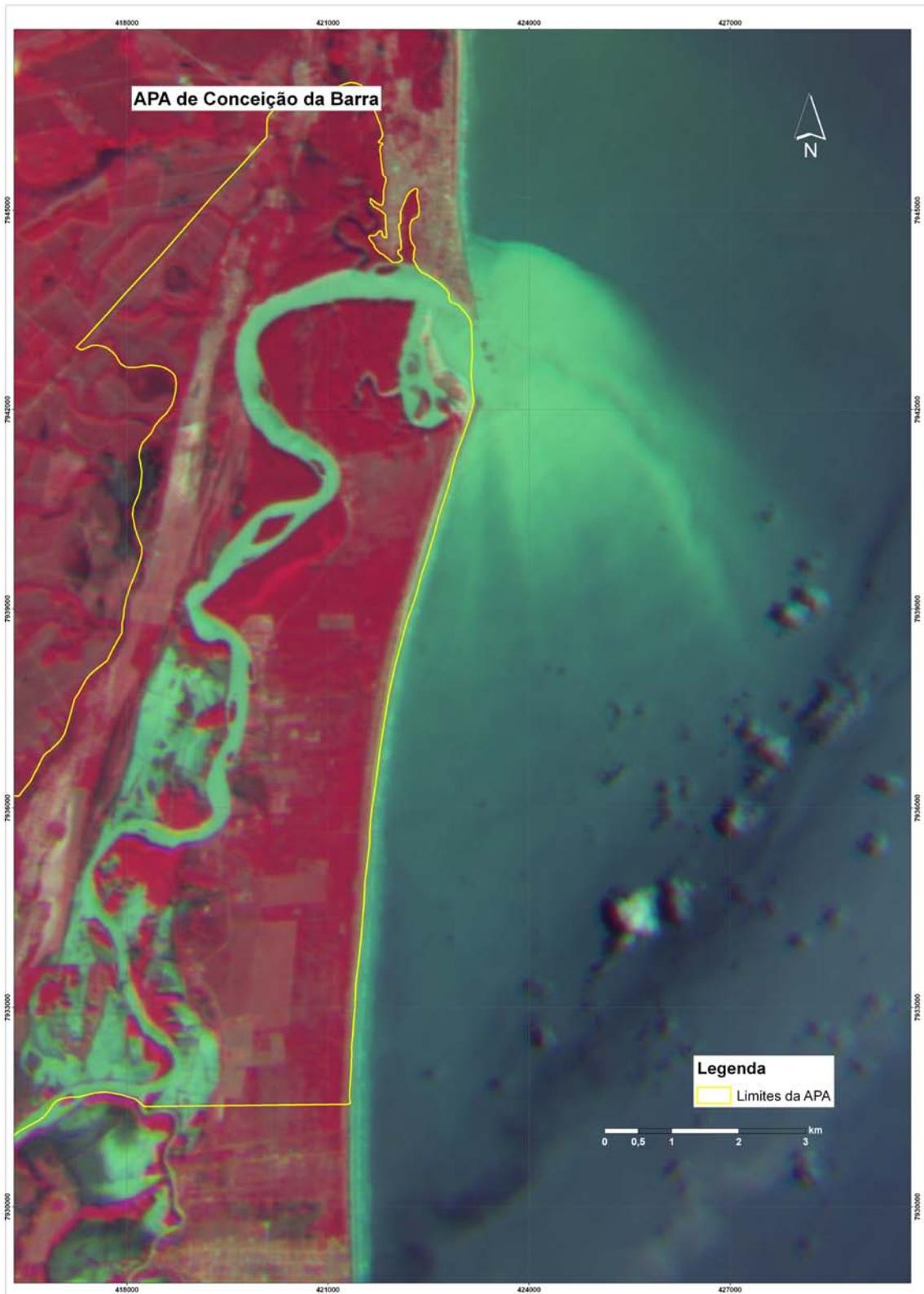


**Figura 2.3.6-4** - Aspectos da pluma de sedimentos do Rio São Mateus, Imagem Landsat 5, 11 de abril de 2006.

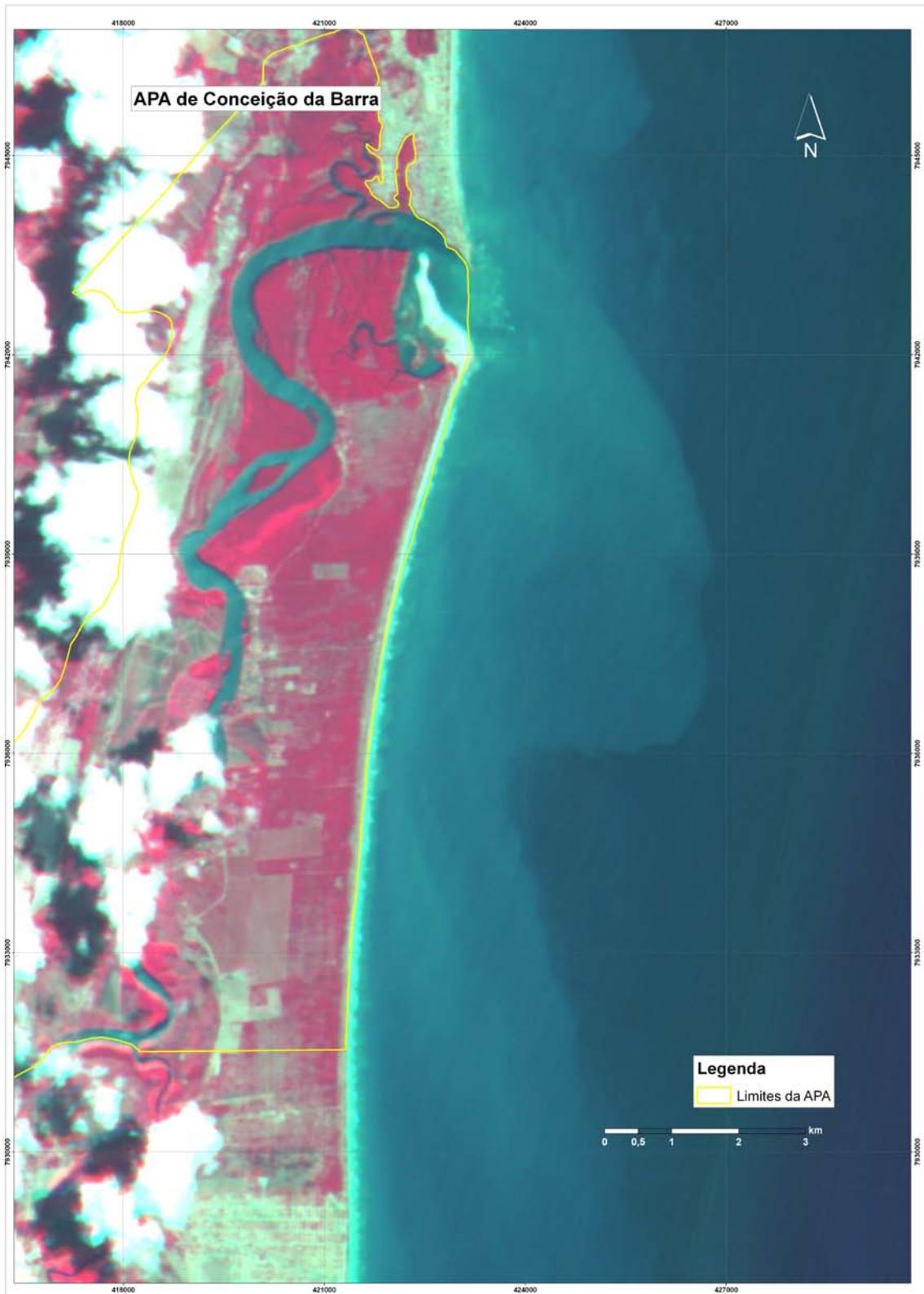


**Figura 2.3.6-5** - Aspectos da pluma de sedimentos do Rio São Mateus, Imagem Landsat 5, 27 de maio de 2011.

Nas figuras abaixo apresentamos resultados obtidos à partir do processamento de imagens CBERS, dos anos de 2009 (**Figura 2.3.6-6**) e 2010 (**Figura 2.3.6-7**)



**Figura 2.3.6-6** - Aspectos da pluma de sedimentos do Rio São Mateus, Imagem CBERS 2B, 07 de novembro de 2009.



**Figura 2.3.6-7 - Aspectos da pluma de sedimentos do Rio São Mateus, Imagem CBERS 2B, 24 de fevereiro de 2010.**

Com base na observação das fotografias aéreas verticais e imagens de satélite foi possível constatar que as plumas de material particulado que emanam da desembocadura do rio São Mateus são forçadas a se deslocar para sul em decorrência dos fluxos longitudinais derivados dos ventos de NE dominantes na região. Essa situação somente se altera com a presença de frentes frias quando dominam os ventos de SSE, que força a pluma a se deslocar para o norte, conforme pode ser observado na Imagem Landsat 5 do ano de 2011, cuja passagem provavelmente coincidiu com a presença de uma frente de ventos de SSE.