



**Consultoria e Projetos
de Engenharia Ltda**

ESTUDO AMBIENTAL

DRAGAGEM DO ACESSO AO CANAL DO TOMBA CARAVELAS/BA



Relatório Técnico HM RT-007-08

VOLUME 2/10

Caravelas, abril de 2008

5.1.5 Oceanografia e Hidrodinâmica Costeira

5.1.5.1 Considerações Gerais

O presente capítulo detalha a Oceanografia e a Hidrodinâmica Costeira da região de estudo. As fontes de informações utilizadas consistem essencialmente de dados obtidos através dos programas de monitoramentos, estudos de modelação numérica, além de informações já apresentadas no Estudo de Impacto Ambiental de 2001.

A extensa base de dados, oriunda dos monitoramentos e da contínua pesquisa realizada desde o início do projeto, permitiu que ao longo do tempo diversos trabalhos e estudos concernentes à hidrodinâmica costeira e oceanografia fossem executados. Tudo isto propiciou um entendimento detalhado e abrangente dos processos costeiros vigentes na região, obviamente limitados pelo conhecimento científico disponível na atualidade. Pode-se dizer que a região de estudo possui uma das maiores base de dados oceanográficos atualizada e contínua do país de que se tem conhecimento.

Os fenômenos hidrodinâmicos e de transporte de sedimentos que ocorrem na zona litorânea são complexos. Há dificuldade do uso prático dos equacionamentos teóricos desses fenômenos, que conseqüentemente acabam sendo simplificados ou descritos muitas vezes por fórmulas empíricas. Ainda, fatores como a aleatoriedade dos parâmetros do clima e variabilidade das características morfológicas e físicas dos ambientes costeiros tornam trabalhosos os estudos desses fenômenos.

O conhecimento do clima de ondas, maré, ventos, correntes e transporte de sedimentos litorâneo é essencial para a avaliação de impactos morfológicos, hidrodinâmicos e ambientais oriundos de obras costeiras e portuárias. A relevância de cada um dos agentes citados acima varia de acordo com a localidade de estudo e obra em questão.

É importante ressaltar que a região do empreendimento possui características oceanográficas particulares que tornam os processos hidrodinâmicos e sedimentológicos do local bastante complexos.

Dos parâmetros oceanográficos que apresentam ligação direta com a modelação da linha de costa, a maioria possui significativa relevância na região, entre os quais:

- Ondas: Na região encontram-se dois sistemas ondulatórios, com rumos fundamentalmente NE e SE. As ondas incidentes sofrem complexas deformações de propagação até a zona do empreendimento devido ao semi-abrigo da região dos recifes e à batimetria irregular da plataforma;

- Correntes: As correntes de marés apresentam magnitude considerável, com alta influência na área do canal (correntes de enchente e vazante), combinadas normalmente com um sistema rumo SW persistente no Canal de Sueste, porém que pode ser alterado devido a mudanças dos ventos.
- Sedimentos: A plataforma apresenta alta disponibilidade de sedimentos finos na região, proveniente de deposições durante o quaternário e devido erosão natural de terraços de mangue que afloram nas praias do entorno, ainda ativa. Sedimentos arenosos também são encontrados no local, porém insuficientes para a capacidade de transporte litorâneo longitudinal causado pelas ondas e existente na região.

Não obstante todos esses fatores, a abertura do Canal do Tomba em fins da década de 50 originou uma séria instabilidade morfológica no local, intensificando o processo erosivo da linha de costa da área de estudo, especialmente na região da Ilha Pontal do Sul. Após aproximadamente 50 anos da abertura do Canal do Tomba, os cálculos hidráulicos indicam que as duas embocaduras do rio Caravelas ainda não se encontram totalmente estabilizadas.

5.1.5.2 Localização da Área de Estudo

A área de estudo insere-se em um setor da plataforma continental brasileira conhecida como Banco de Abrolhos. A Figura 5.1.5-1 apresenta trecho de carta náutica detalhando a batimetria da região.

A área marinha defronte ao litoral da área de estudo é caracterizada por extensas formações recifais, formando, simplificada, dois arcos, sendo um mais interno, mais próximo à costa, e outro externo, no qual se inclui os recifes de Abrolhos.

Dois canais com aproximadamente 15 km de largura e profundidade de 15 m ajudam na distinção dos parcéis: o Canal de Abrolhos, localizado entre eles, e o Canal de Sueste, localizado entre o arco interno e o continente. A Figura 5.1.5-2 apresenta em detalhe a localização dos principais bancos de corais na região, os canais de Abrolhos e Sueste, bem como a localização do município de Caravelas e do Terminal de Barcaças da ARCEL.

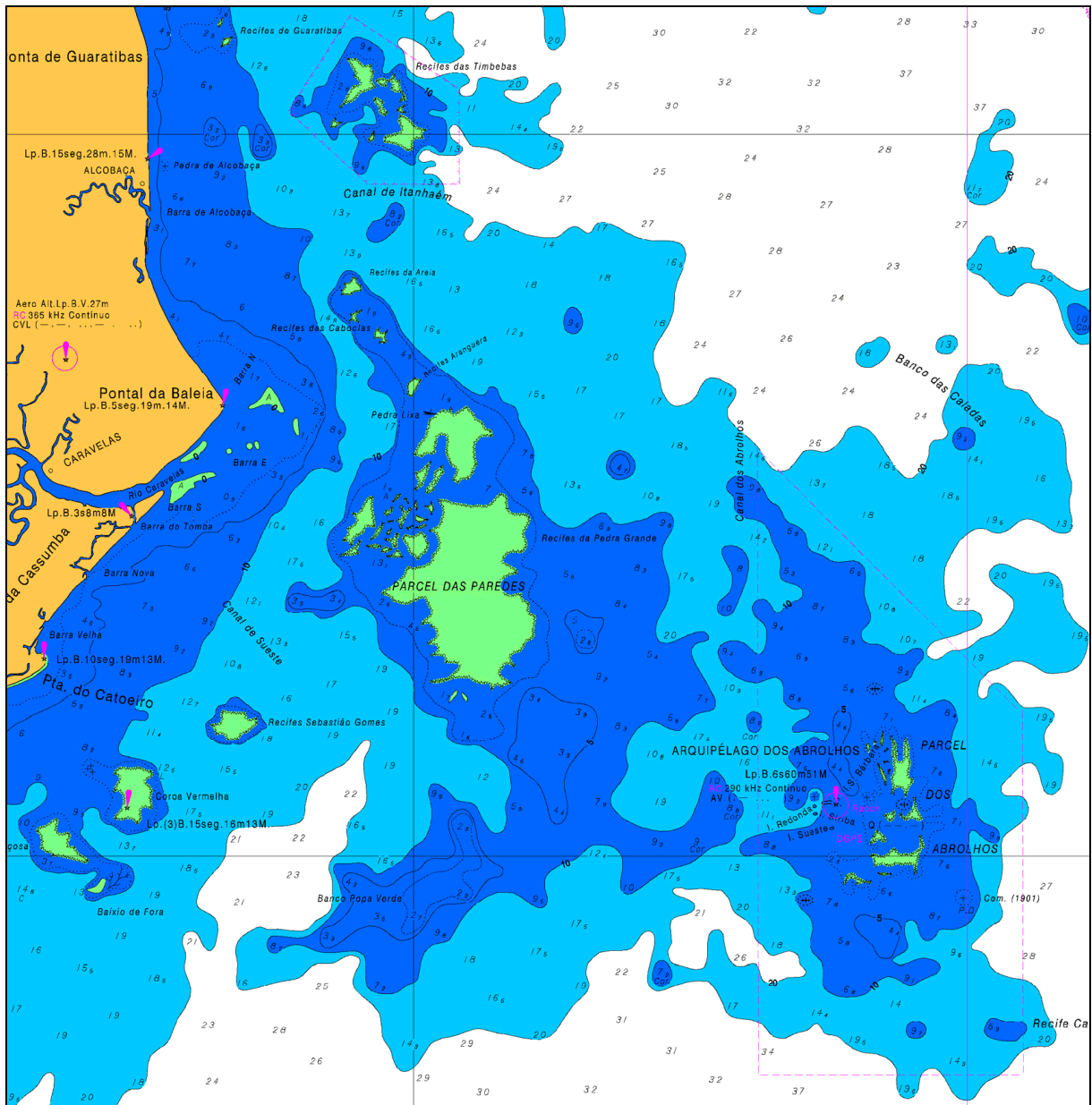


Figura 5.1.5-1 - Trecho de Carta Náutica da Região de Estudo, (Carta Náutica N° 1300, da Ponta Cumuruxatiba até o Rio Doce)

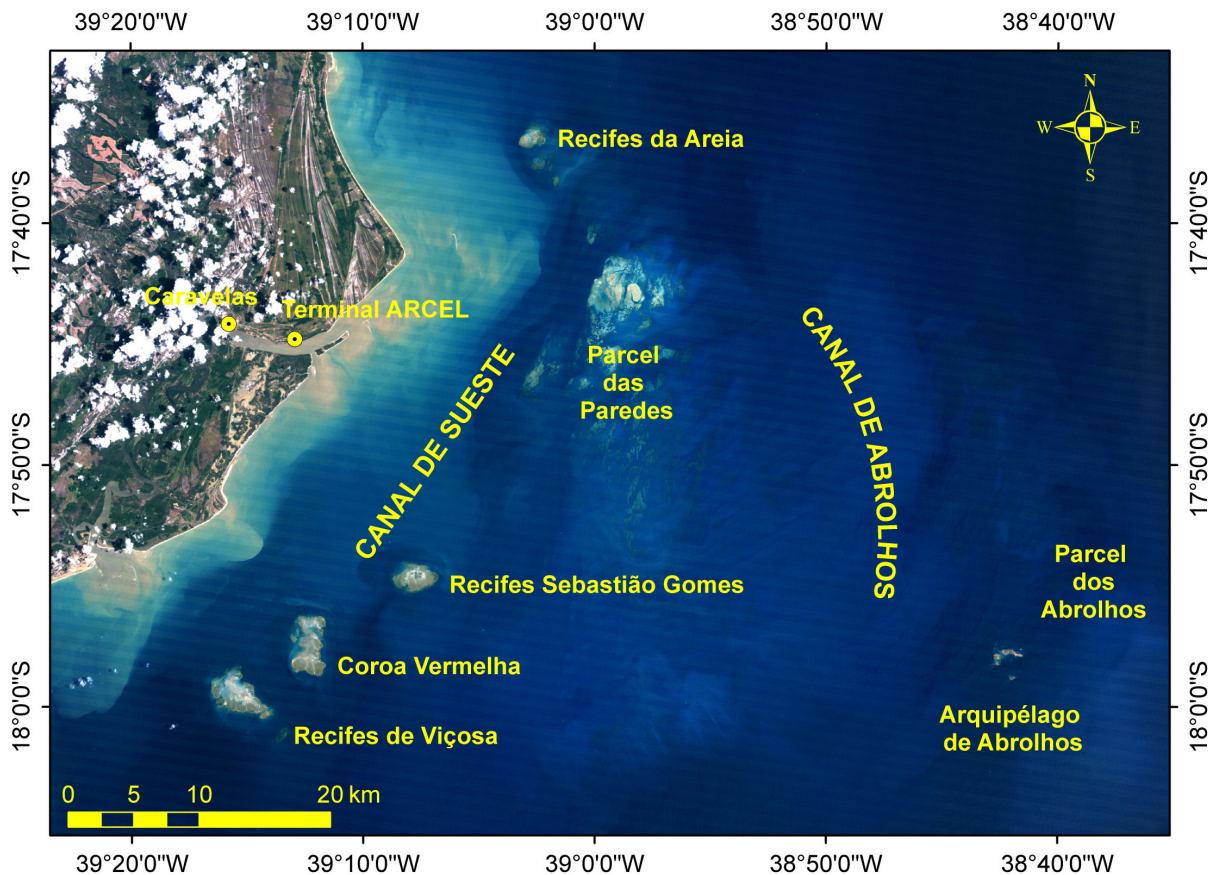


Figura 5.1.5-2 - Imagem de Satélite (Landsat TM5 em 03-fev-1999), mostrando em detalhe a localização dos principais bancos de corais na região, os canais de Abrolhos e Sueste

Na região da plataforma encontram-se as águas da Corrente do Brasil, com salinidades superiores a 36,9‰ e temperatura variando entre 22°C e 28°C (Meyerhöfer e Marone 1996, Leipe, *et al.*, 1999, Ovalle, *et al.*, 1999). A salinidade e temperatura da região são detalhadas no item 5.1.4.

5.1.5.3 Descrição dos Fundeios Oceanográficos - Estações #106 e #506

A maior parte dos dados hidrodinâmicos e de turbidez utilizados neste estudo provém de duas estações de fundeio oceanográficas, que operam continuamente nos mesmos locais desde 2002 (Figura 5.1.5-3). Assim, neste item descrevem-se a localização e metodologia de registro e análise de dados adotada para estas estações, as quais são importantes para o entendimento dos dados de maré, ondas, correntes e turbidez que serão apresentados no decorrer deste item.

5.1.5.3.1 Localização das estações #106 e #506

A região escolhida para os fundeios localiza-se no litoral do município de Caravelas, defronte à área de estudo no Canal de Sueste, em uma região parcialmente protegida da ação das ondas devido à barreira dos recifes de corais da região de Abrolhos e entorno. A plataforma continental nessa região apresenta-se bastante larga (200 km), com um contorno das isóbatas muito irregular e baixos gradientes de batimetria (Silva, *et al.* 2001).

A estação #106 está fundeada na posição 17°47.700'S / 39°07.150'W (WGS-84) e dista aproximadamente 11,3 km da Boca do Tomba na direção Leste. Enquanto a estação #506 encontra-se nas coordenadas geográficas 17°53.400'S / 39°12.600'W (WGS-84) distando da Boca do Tomba cerca de 17,1 km na direção Sul (Tabela 5.1.5-1). A distância entre uma estação e outra é de aproximadamente 16,5 km. A profundidade no local de ambas as estações é de aproximadamente 10 m (DHN), em área que apresenta um fundo plano e com sedimento lamoso na camada superficial.

Tabela 5.1.5-1 - Características das Estações de Monitoramento

Estações	Latitude (WGS-84)	Longitude (WGS-84)	Profundidade aproximada atual (m) (DHN)	Distância da costa (km)*
# 106	17°47.700'S	39°07.150'W	10 m	11,3
# 506	17°53.400'S	39°12.600'W	10 m	17,1

* distancia entre a Boca do Tomba até as estações (#106 e #506).

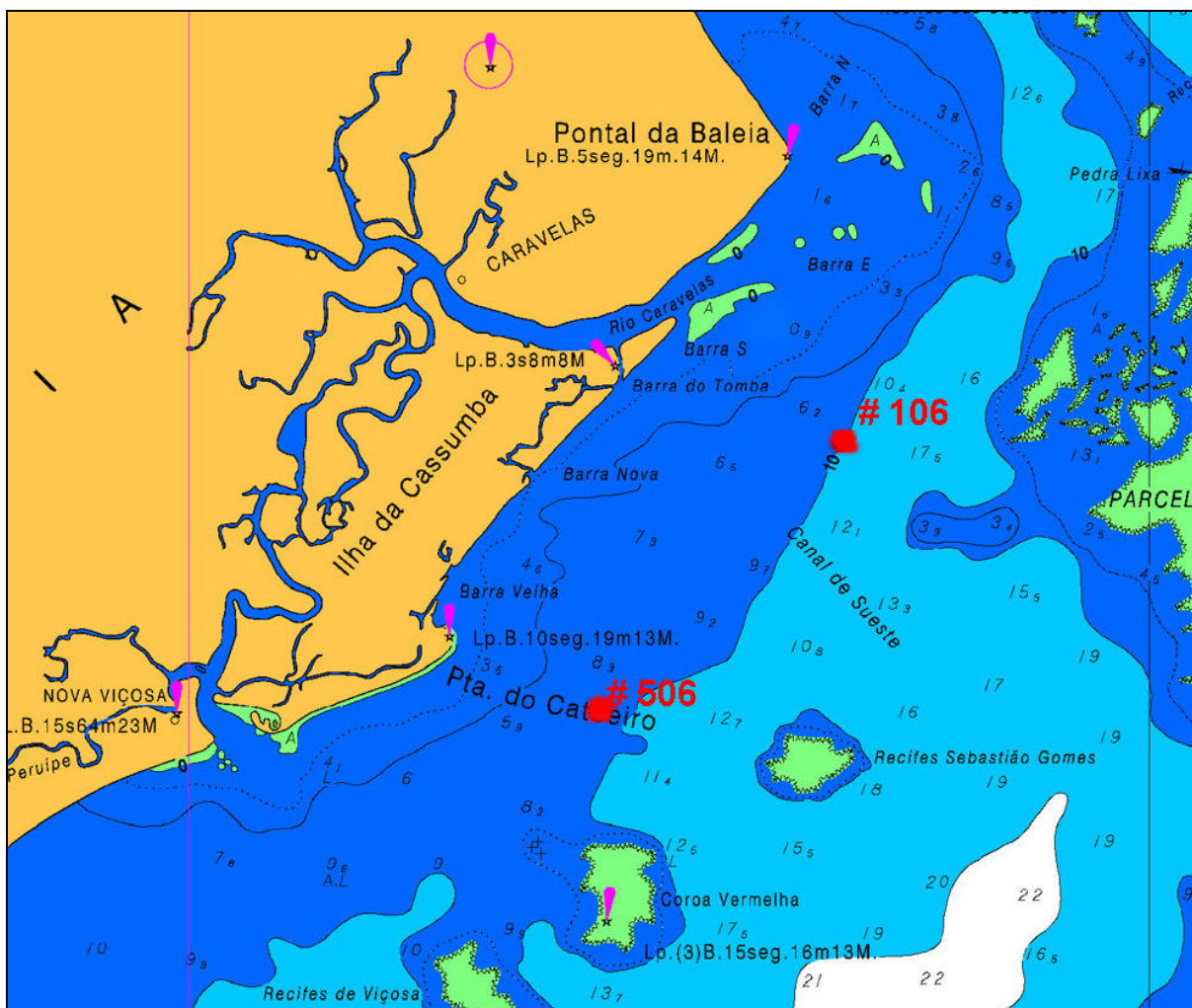


Figura 5.1.5-3 - Localização do fundeio dos correntômetros (Estação #106 e #506) – Carta Náutica da DHN

5.1.5.3.2 Descrição dos correntômetros eletromagnéticos

O modelo de correntômetro S4ADWI que vem sendo utilizado nas medições oceanográficas (Figura 5.1.5-4), é uma versão da série S4 fabricada pela InterOcean Systems que possui processamento interno de onda e outros avanços que simplificam a aquisição de dados em tempo real e aplicações de telemetria. Ele é capaz de executar em tempo real, no local de registro, análises e cálculos relativos à agitação ondulatória.

Este equipamento é projetado para medir com precisão a magnitude e direção do movimento horizontal da corrente hidráulica em qualquer ambiente aquático, sendo capaz também de medir além das correntes, ondas e marés. Através de um acessório opcional integrado à versão básica do equipamento, os correntômetros utilizados também fazem medição da turbidez da água.



Figura 5.1.5-4 - Correntômetros eletromagnéticos S4ADWI

O medidor de turbidez (dispositivo OBS - optical backscatter) é acoplado à esfera em sua parte superior, preso ao eixo de titânio, comunicando-se com o instrumento através de um cabo elétrico. O princípio de funcionamento consiste na emissão de feixe de luz infravermelho, que incidido na coluna d'água reflete-se no material em suspensão existente. Através da medição da intensidade de luz que é refletida de volta para o sensor, pode-se medir turbidez, que no caso do S4ADWI é dada na unidade FTU (Formazine Turbidity Unit). A Figura 5.1.5-5 mostra o sensor OBS acoplado no eixo de titânio do S4ADWI.



Figura 5.1.5-5 - Detalhe do sensor OBS acoplado ao S4ADWI

5.1.5.3.3 Registro dos dados de Maré, Ondas, Correntes e Turbidez

Os equipamentos estão configurados para atuar em modo duplo, ou seja, capaz de coletar dados hidrodinâmicos e de qualidade da água (turbidez) simultaneamente e com ciclos de coleta independentes um do outro.

No caso da configuração das ondas, foi estipulada a configuração de programação que contempla o registro de 1024 amostras ("FFT samples"), em frequência de 2 Hz, correspondendo a um período de análise de aproximadamente 8,6 minutos, a cada ciclo de 3 h. Logo o equipamento fornece a estatística de ondas a cada 3 h, totalizando 8 resultados por dia. A análise das ondas está configurada para ser executada entre os limites de período das ondas entre 3 e 30 segundos (frequências: "low cutoff" = 0,0333 Hz e "high cutoff" = 0,3333 Hz). A informação da distância da altura do aparelho em relação ao fundo também é informada na programação, a fim de possibilitar cálculos precisos da ondulatória. A distância entre os sensores do aparelho até o fundo é de 3,0 m.

Em relação à configuração da qualidade da água (turbidez) e correntes, estipulou-se uma coleta de 240 amostras, numa frequência de 2 Hz, gerando um valor médio dentre as 240 amostras registradas em dois minutos, para um tempo de ciclo de 30 minutos, o que totaliza 48 amostras diariamente (Tabela 5.1.5-2).

Tabela 5.1.5-2 - Características amostrais dos dados

Dados	Amostras	Ciclo	Freqüência (Hz)	Nº de amostras por dia
Ondas	1024	3 h *	2	8
Turbidez/Maré/Correntes	240	30 min **	2	48

* coleta os valores de ondas a cada 3 horas durante tempo aproximado de 8,6 minutos. / ** coletas de 2 minutos a cada 30 minutos.

Valores espúrios de turbidez são identificados após o estabelecimento de um envelope, ao longo das séries de dados, definido pela média mais ou menos dois desvios padrões. A média e o desvio são calculados para uma janela móvel de 10,5 horas centrada no dado de interesse. Lacunas existentes na série de dados inferiores a 6 horas são preenchidas por interpolação linear.

A maré foi registrada pelas estações através do sensor de pressão de alta resolução. Assim como os dados de turbidez e de correntes, o registro de maré foi executado a cada 30 minutos, sendo que a altura de coluna d'água acima do sensor foi calculada pela média de 240 leituras que são obtidas durante o tempo de 2 minutos de registro.

5.1.5.4 Marés

A maré é um fenômeno dependente principalmente da força de atração dos corpos celestes próximos da Terra em relação à massa de água dos mares, sendo a Lua e o Sol, nesta ordem, os principais. Entretanto, a maré não tem características somente astronômicas, sendo influenciada pela geomorfologia costeira e podendo sofrer também a interferência dos ventos, que causam a chamada maré meteorológica.

A partir da análise harmônica de dados de medições de maré obtêm-se suas constantes harmônicas. Com as constantes harmônicas conhecidas, consegue-se, através do uso de fórmulas numéricas, executar a previsão astronômica dos níveis de maré da localidade.

5.1.5.4.1 Maré na Plataforma Continental Interna

A Tabela 5.1.5-3 apresenta as alturas e ângulos de fase para as principais constantes harmônicas da região oceânica de Abrolhos, calculadas a partir de um registro de 23 dias em 1995.

Tabela 5.1.5-3 - Amplitude e ângulo de fase das principais constantes da maré em Abrolhos (medições feitas pela DHN entre 29/09 e 22/10 de 1995)

Constantes	Amplitude (cm)	Fase (°)
O_1	7,8	122.2
K_1	4,2	181.4
N_2	11,2	97.5
M_2	78,2	98.3
L_2	3,4	103.7
S_2	31,5	110,4
$2SM_2$	1,3	322.5
NU_2	2,1	97.6
T_2	1,8	110,9
K_2	8,5	111.4
M_4	3,1	201.2

As marés na plataforma continental interna podem ser classificadas como micromarés semidiurnas. O número de forma ($K = (O_1 + K_1) / (M_2 + S_2)$) da maré em Abrolhos, igual a 0,14, indica uma maré sem desigualdades diurnas. A altura média da maré em sizígia e quadratura, estimada através das constantes harmônicas, é de 2,22 m e 0,82 m, respectivamente.

É importante mencionar que a maior extensão da plataforma continental neste trecho da costa brasileira gera amplitudes de marés ligeiramente superiores às regiões vizinhas. Como pode ser observado na Figura 5.1.5-6, ocorre o aumento da altura de maré em direção à área de estudo, observe a ocorrência de alturas menores em Ilhéus e Mucuri, e maiores na Barra do Tomba. A amplificação da maré ainda maior defronte à cidade de Caravelas deve-se a efeitos associados à morfologia do estuário. O aumento da altura da maré, aliado à pequena altura das ondas na região, gera características particulares na geomorfologia costeira da área, como a suavização do perfil da face da costa, deltas de maré vazante mais alongados e maior extensão de fácies sedimentares lamosas.

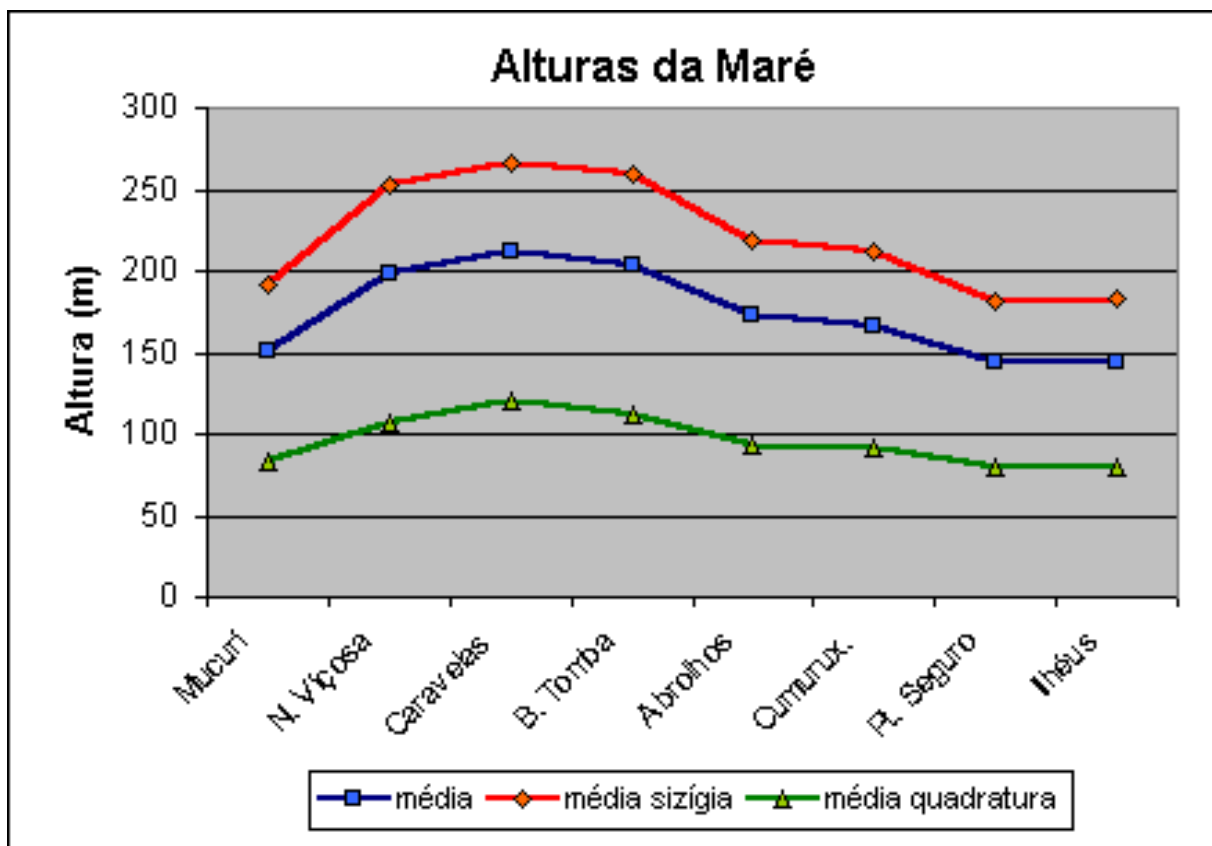


Figura 5.1.5-6 - Altura média das marés, bem como as médias em fase de sizígia e quadratura, na região vizinha a Caravelas (consideração apenas das constantes M2 e S2)

5.1.5.4.2 Maré no Canal de Sueste

A maré tem sido registrada nas estações #106 e # 506 desde 2002, através do sensor de pressão de alta resolução. Assim como os dados de turbidez e de correntes, o registro de dados foi executado a cada 30 minutos, sendo que a coluna d'água acima do sensor foi calculada pela média de 240 leituras que são obtidas no registro no período de 2 minutos.

Para todo o período de medição, as alturas de maré variaram entre um mínimo de -0,28 m e um máximo de 3,39 m. Os níveis de maré apresentados estão referidos ao nível de redução da DHN para o Porto de Caravelas. As profundidades medidas pelos correntômetros foram reduzidas a partir da relação conhecida entre os níveis de maré observados na régua do Porto de Caravelas comparativamente aos medidos simultaneamente pelos instrumentos.

As medições executadas com os equipamentos comparadas às previsões de maré astronômica apresentaram poucas discrepâncias, discrepâncias estas que puderam ser explicadas pela ocorrência de marés meteorológicas. A maré registrada no Canal de Sueste representa uma das maiores alturas de maré da costa leste brasileira. As amplitudes das

duas maiores componentes de maré, M2 e S2, foram estimadas de 0.91 m e 0.38 m, respectivamente.

A variabilidade do nível médio atingiu oscilações próximas de 50 cm. Estas oscilações estão ligadas a um ciclo anual e apresentam usualmente 25 cm de altura, sendo relacionadas às mudanças sazonais da meteorologia. Níveis médios mais elevados ocorrem nos meses de outono e inverno (quando predominam ventos de S-SE), e níveis médios mais baixos ocorrem na primavera e verão (quando predominam ventos de N-NE).

Todas as oscilações de baixa frequência estão em grande parte associadas à ação do vento sobre a superfície marinha. A correlação da série temporal do nível médio do mar com a componente subinercial do vento paralela à costa (v) apresenta um coeficiente de 0.76. Conforme comentado, a depressão do nível médio do mar esta geralmente associada a ventos de N-NE, enquanto que a elevação do nível médio se associa a ventos de S-SE. Este comportamento pode ser explicado pelo transporte de massa transversal à linha costa causado pela espiral de Ekman na plataforma, a qual gera fluxos direcionados contra a costa (elevando o nível médio) e costa afora (rebaixando o nível médio).

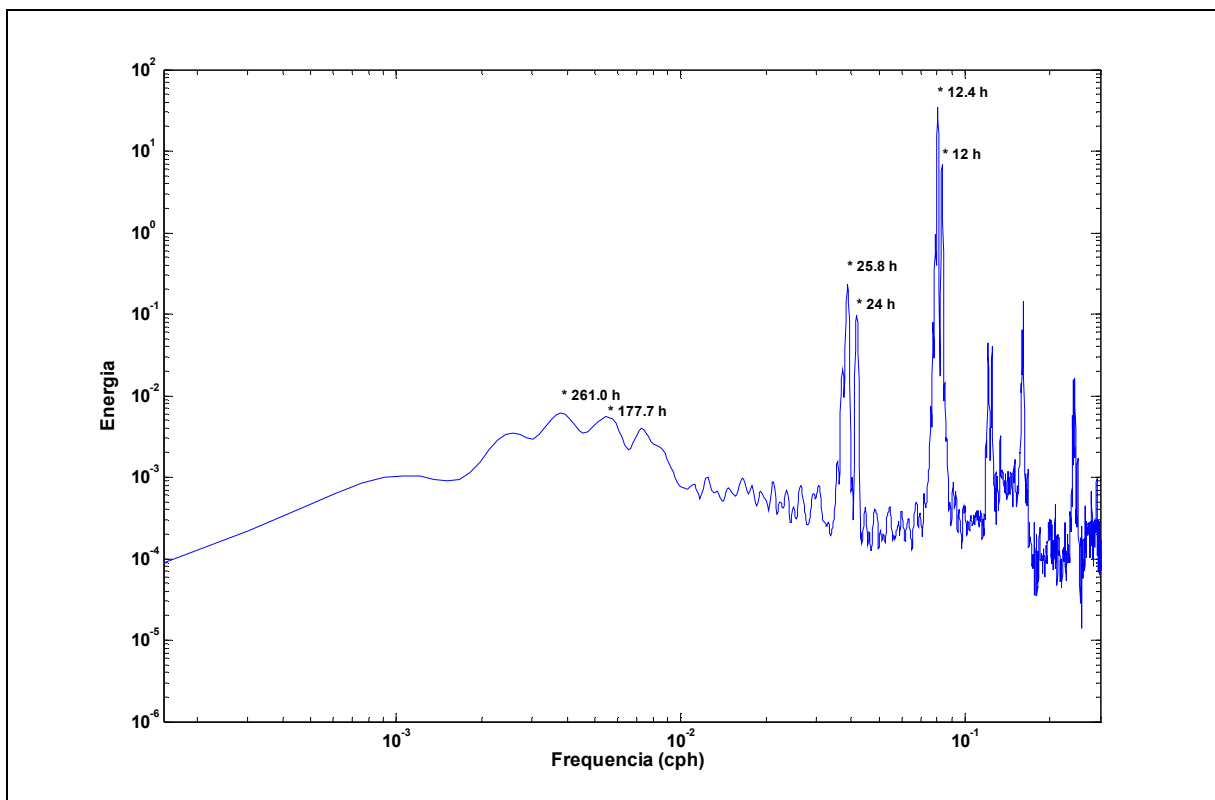


Figura 5.1.5-7 - Análise espectral da série de dados de maré

A análise espectral (Figura 5.1.5-7) dos dados de maré mostra, como esperado, a maior concentração de energia no período de 12,4 horas, seguido pelos períodos de 12 horas, 25,8 horas e 24,8 horas. A presença dos 2 picos diurnos e semidiurnos é explicada pela maré astronômica e a ação dos ventos (Figura 5.1.5-8).

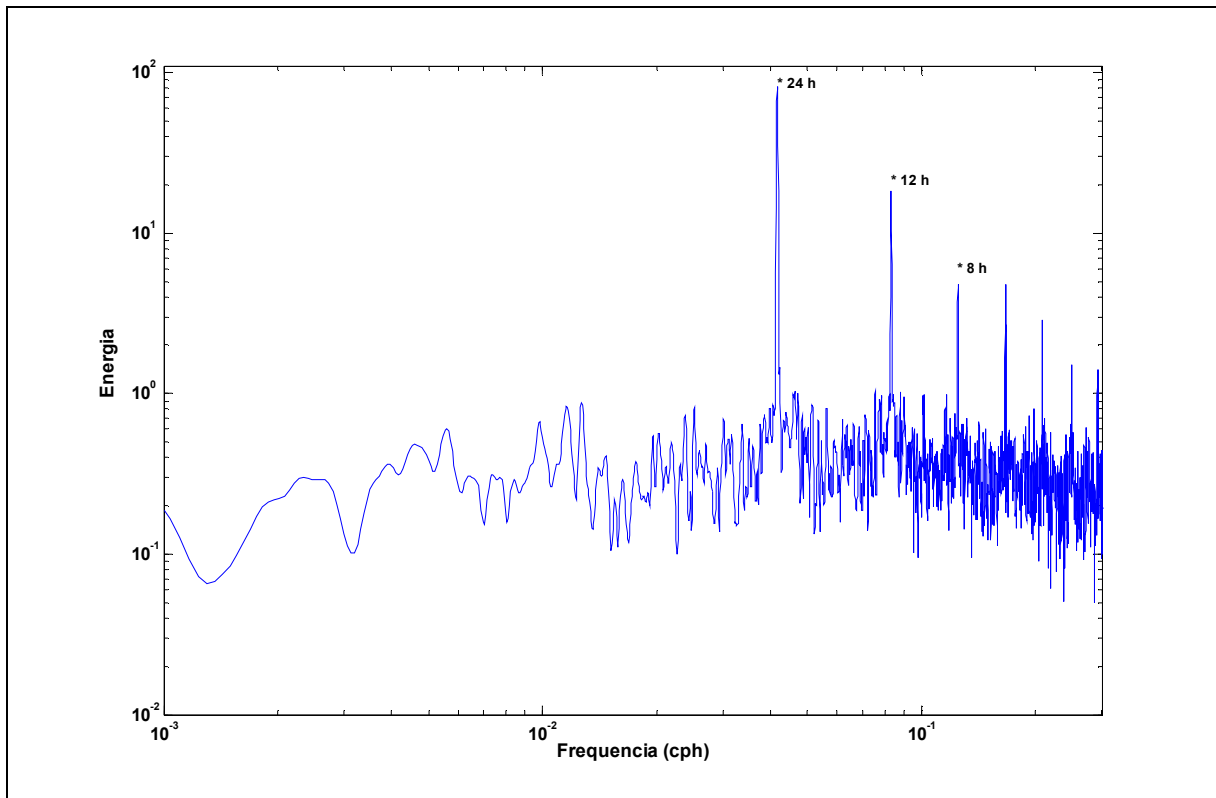


Figura 5.1.5-8 - Análise espectral da série de ventos

Da Figura 5.1.5-9 até a Figura 5.1.5-12 apresenta-se a maré para os meses de junho a setembro de 2007 ocorrida na estação #506, permitindo a visualização da variação dos níveis de maré do solstício ao equinócio. Este período apresentado de maré permite a visualização dos eventos de sizígia de grande amplitude, ocorridos devido ao equinócio de setembro combinado com fases de lua cheia e nova, sendo possível observar a ocorrência de marés negativas.

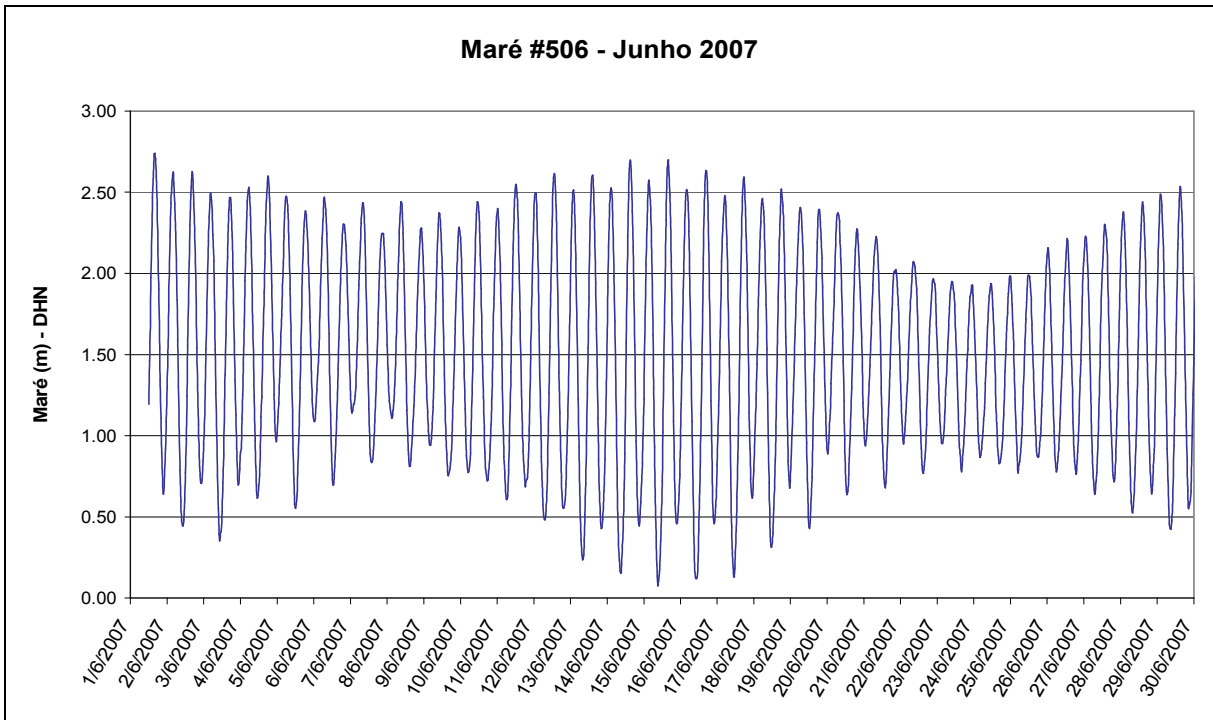


Figura 5.1.5-9 - Maré na Estação #506 – Junho de 2007

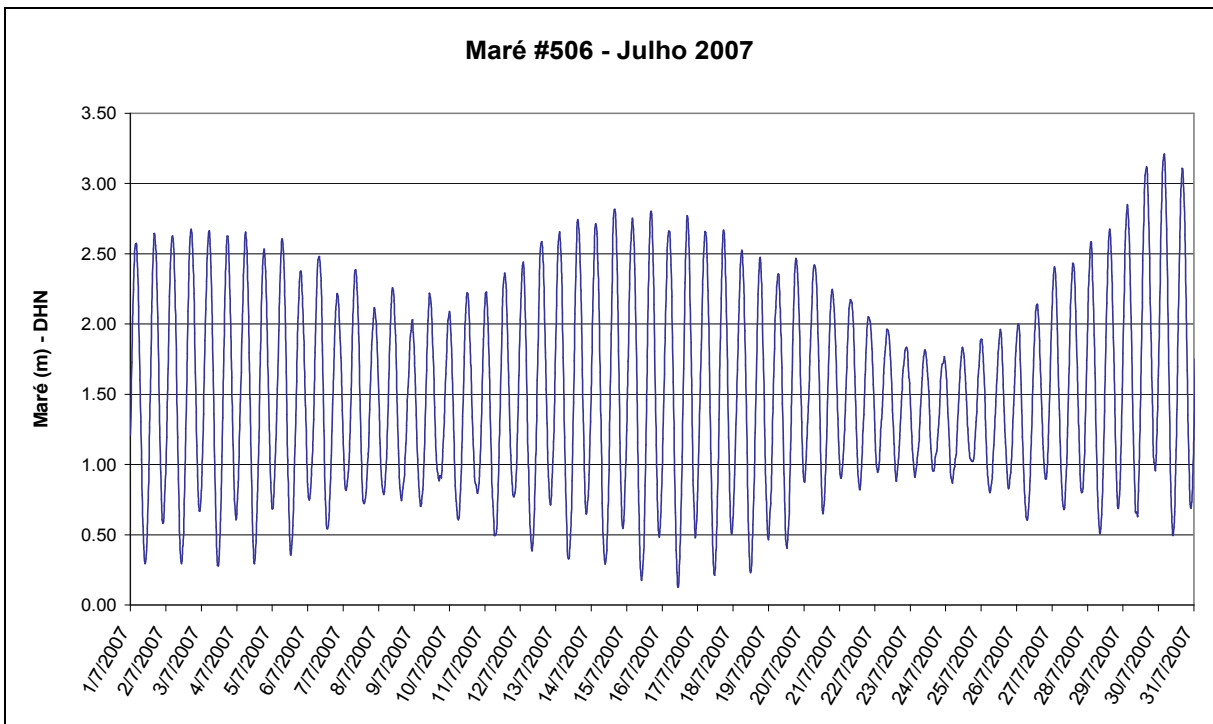


Figura 5.1.5-10 - Maré na Estação #506 – Julho de 2007

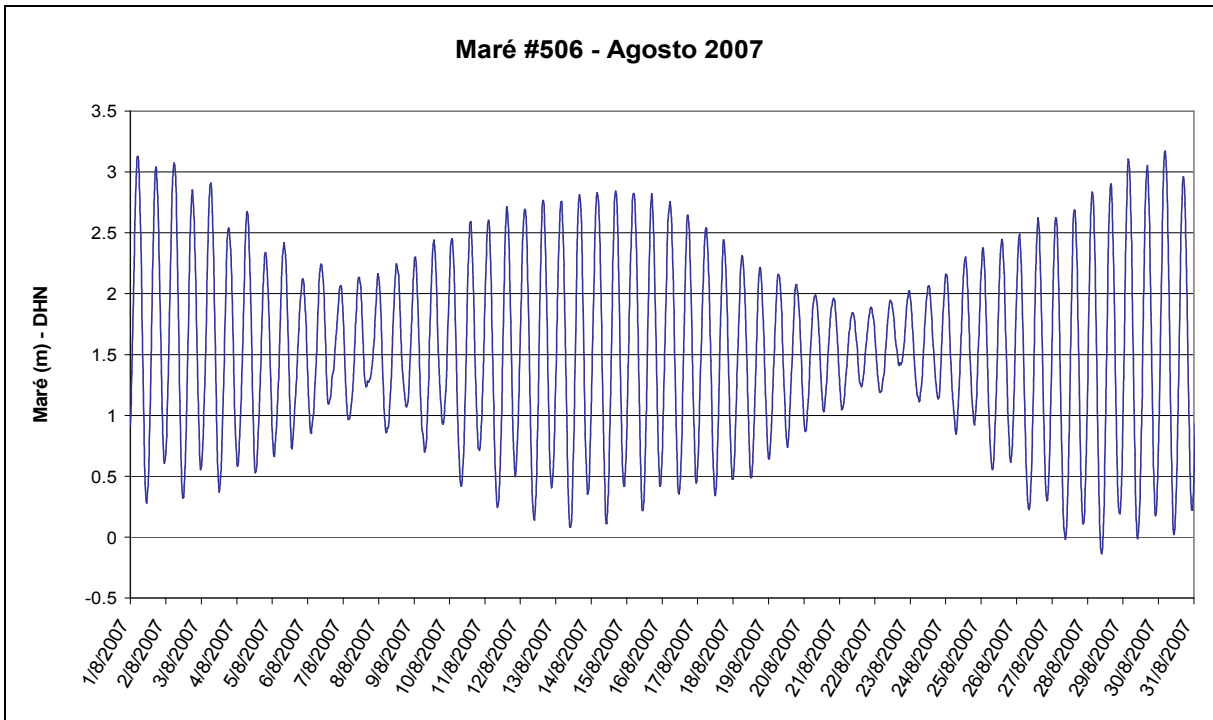


Figura 5.1.5-11 - Maré na Estação #506 – Agosto de 2007

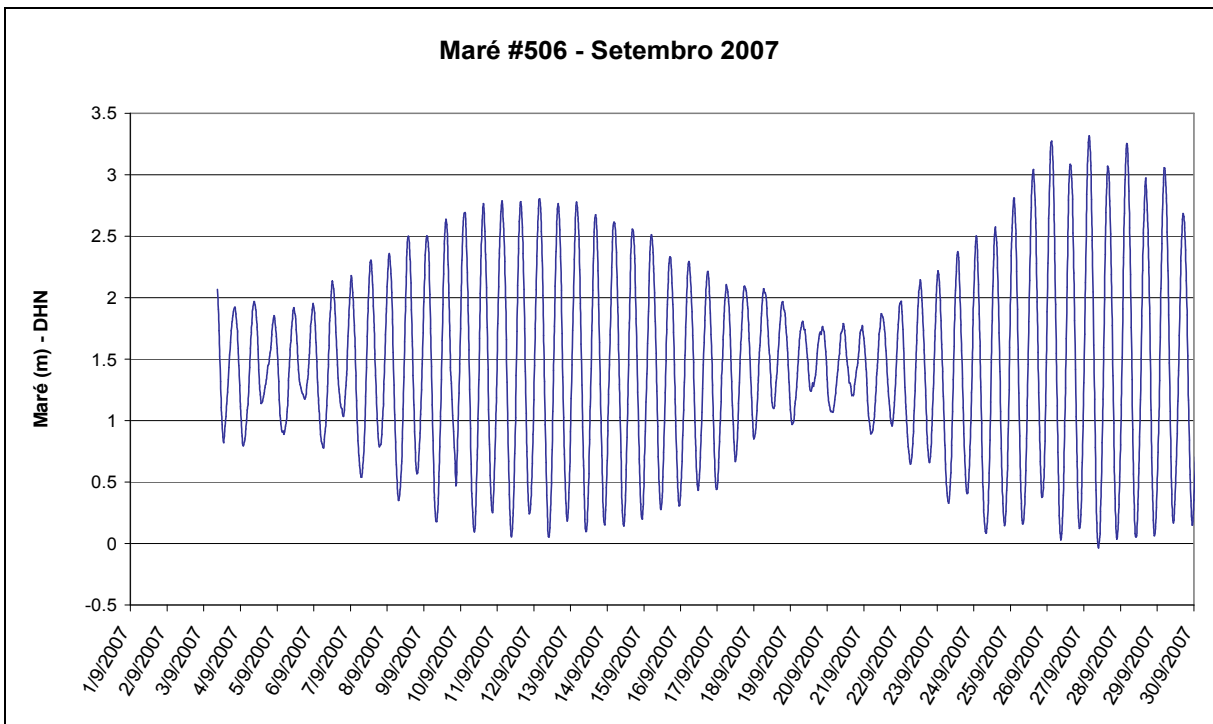


Figura 5.1.5-12 - Maré na Estação #506 – Setembro de 2007

5.1.5.4.3 Marés no Estuário

A variação do nível d'água foi registrada entre os dias 30/04/2000 e 13/06/2000 em intervalos de 6 minutos através de marégrafos (sensores de pressão) instalados a 500 m do cais do Porto de Caravelas e no Canal do Tomba (Figura 5.1.5-13).

Uma segunda etapa de registros se estendeu do dia 22/02/2001 ao dia 27/04/2001 no cais do Porto de Caravelas apenas, com uma interrupção de 15 dias ao final do mês de março. Em ambas as campanhas, a elevação dos marégrafos em relação ao nível de redução da DHN foi obtida a partir do seu nivelamento em relação a um marco topográfico existente no cais.

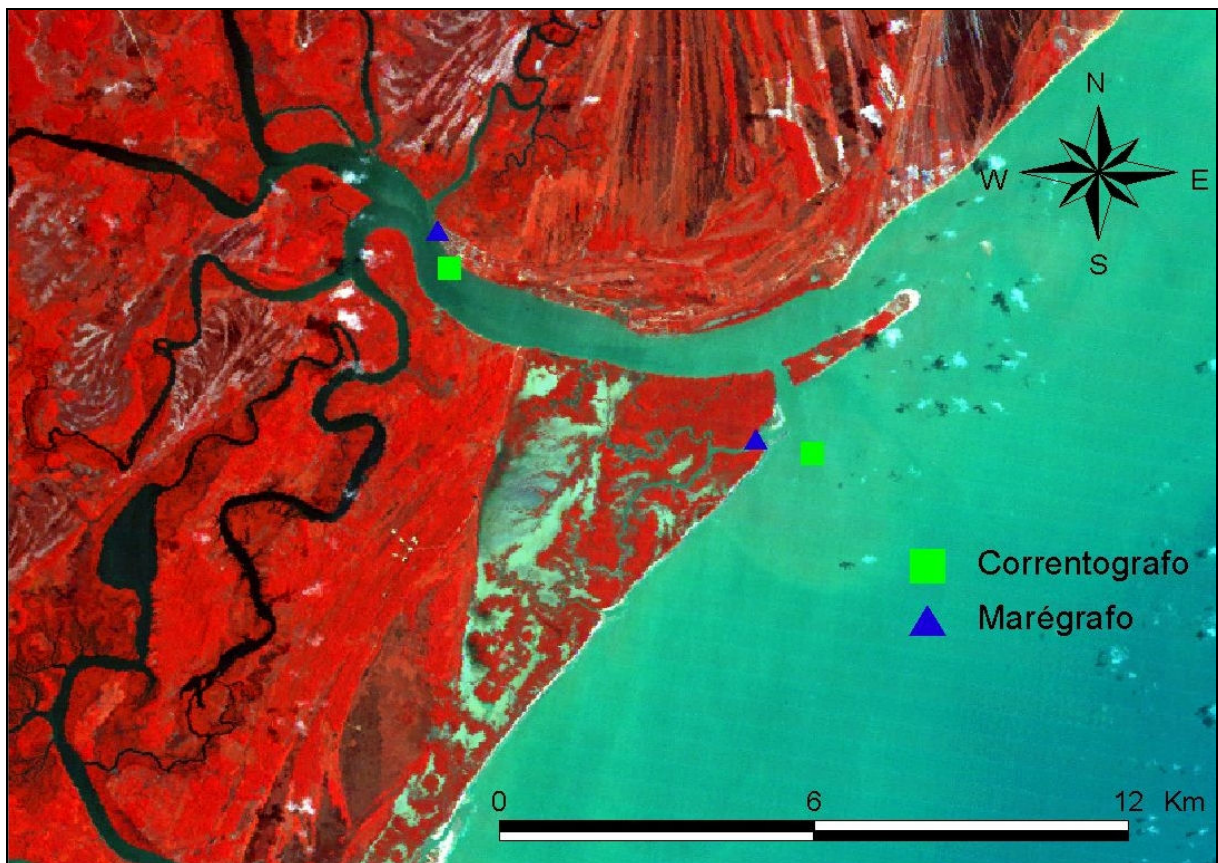


Figura 5.1.5-13 - Imagem de satélite da desembocadura do rio Caravelas com a localização das estações maregráficas e correntométricas da campanha de maio e junho de 2000

5.1.5.4.3.1 Período de maio - junho de 2000

Os registros obtidos nas duas estações maregráficas, que incluem três períodos de sizígia e quadratura, estão apresentados na Figura 5.1.5-14. As alturas médias de maré nestes dois períodos foram de 1,10 m (quadratura) e 2,90 m (sizígia) (Figura 5.1.5-15), sendo que o

nível médio do mar, o nível máximo e mínimo das preamares e baixamares de sizígia, calculados para a estação de Caravelas, foram de 1,67m, 3,15m e 0,01m, respectivamente.

Observa-se na Figura 5.1.5-14 uma sobreposição aproximadamente exata das ondas de maré, indicando uma pequena diferença de altura e fase entre os dois locais monitorados. De fato, como pode ser observado na Figura 5.1.5-16 e na Figura 5.1.5-17, a altura média da maré em Caravelas (2,12 m) foi 8 cm superior àquela de Barra do Tomba (2,04 m), durante o período monitorado. Esta característica pode ser também verificada pela amplitude das constantes harmônicas da maré nas duas estações (Tabela 5.1.5-4 e Figura 5.1.5-18), onde as constantes semidiurnas, ter-diurnas, e quarto-diurnas apresentam-se um pouco maiores em Caravelas. Já o ângulo de fase de M2, a principal componente da maré, é 7° mais elevado em Caravelas (Tabela 5.1.5-4), indicando um atraso médio da onda de maré em Caravelas de aproximadamente 15 minutos em relação à Barra do Tomba (as preamares de sizígia chegam a ocorrer com até 30 minutos de atraso em Caravelas). Em relação à maré de Abrolhos (Tabela 5.1.5-4), que representa a condição da maré oceânica, o atraso sugerido pelas constantes chega a ser de 15° ou cerca de 30 minutos.

A Figura 5.1.5-14 mostra também o sinal da maré filtrado, ou seja, a variação do nível médio do mar durante o mês de maio. Observa-se a passagem de ondas de baixa frequência, com período médio de 10 dias e altura máxima de 0,46 m (na segunda semana de maio). Estas ondas estão associadas à passagem de sistemas frontais, como pode ser observado pela Figura 5.1.5-19, onde as linhas coloridas correspondem às médias móveis de 24 horas dos valores de velocidade e direção do vento. A Figura 5.1.5-19 mostra ao menos quatro oscilações de velocidade e direção, com ventos mais fortes provenientes do quadrante sul. Nota-se a estreita correspondência de fase entre as maiores elevações do nível médio com os ventos mais fortes do quadrante sul. Nestas situações as áreas intermarés do estuário tendem a sofrer um afogamento mais prolongado.

Outra característica importante a ser observada na Figura 5.1.5-17, mas principalmente nas marés de quadratura, é a distorção sofrida pela maré dentro do estuário. Esta distorção reflete o intervalo de tempo desigual entre a inundação e drenagem do estuário, sendo o primeiro mais longo. Enquanto os tempos médios de inundação e drenagem na Barra do Tomba são relativamente similares, ou seja de 6:22 e 6:03 horas, em Caravelas eles passam a ser 6h52 e 5h32. A Figura 5.1.5-20 mostra a razão entre o intervalo do tempo de inundação e drenagem nas duas estações em cada ciclo de maré. Observa-se que as razões entre os intervalos na região de Caravelas são constantemente superiores a 1, o que indica maiores tempos de inundação. Esta distorção é causada pela lenta inundação da extensa área de manguezais e planícies intermarés do estuário, comum nessas regiões.

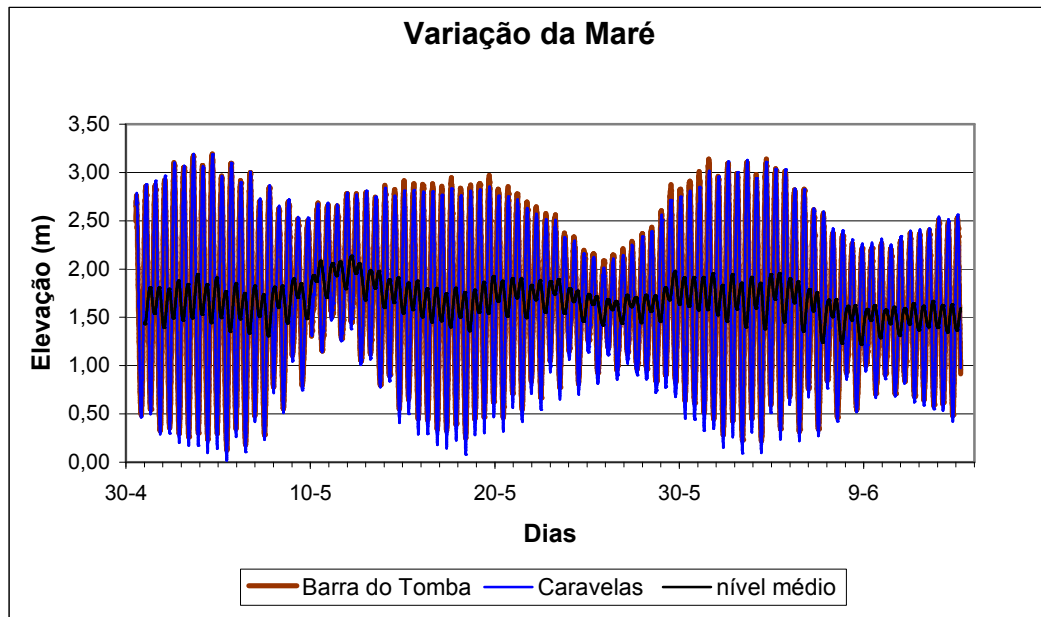


Figura 5.1.5-14 - Registro das marés na Barra do Tomba e Caravelas junto à variação do nível médio na Barra do Tomba

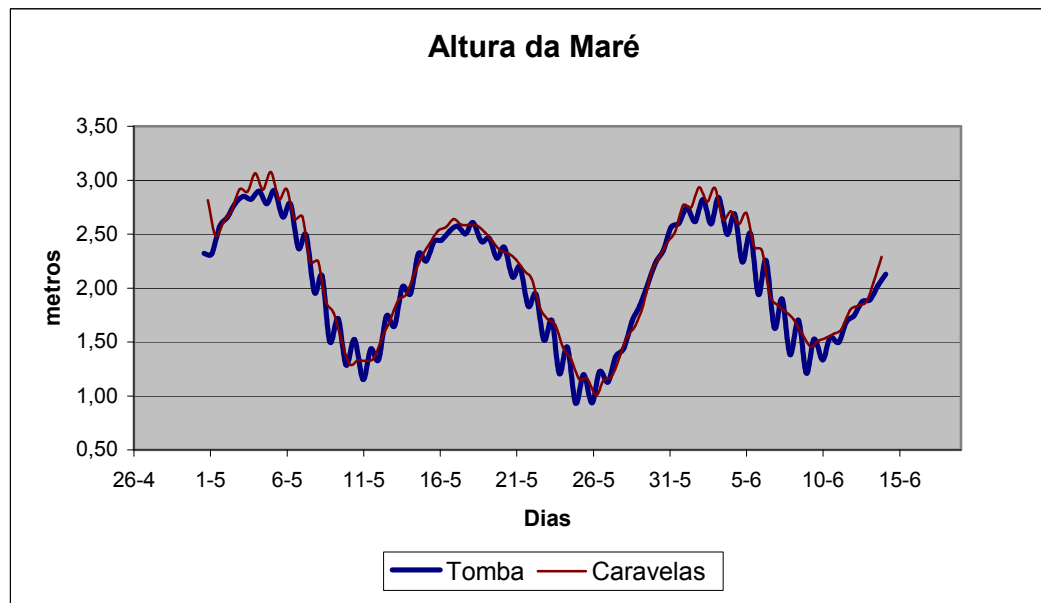


Figura 5.1.5-15 - Variação da altura da maré nas duas estações nos meses de maio e junho de 2000

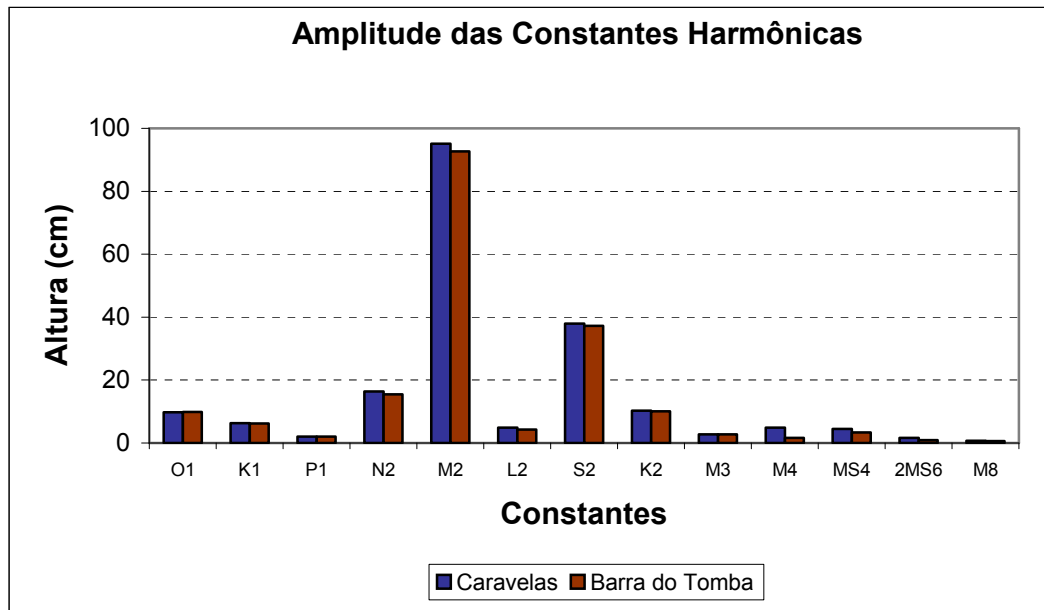


Figura 5.1.5-18 - Altura de algumas das principais constantes harmônicas calculadas para Barra do Tomba e Caravelas

Tabela 5.1.5-4 - Lista das principais constantes harmônicas da maré calculadas para Barra do Tomba e Caravelas em junho de 2000.

Constantes Harmônicas	Caravelas		Barra do Tomba	
	Altura (cm)	Fase°	Altura (cm)	Fase °
Q1	2,68	105,76	2,6	105,67
O1	9,73	118,14	9,87	116,75
K1	6,28	177,78	6,24	176,67
P1	2,08	173,31	2,06	172,18
MU2	5,18	156,71	4,26	122,26
N2	16,35	117,63	15,45	109,09
M2	95,16	115,51	92,72	108,94
L2	4,87	66,06	4,29	66,9
S2	37,93	135,61	37,21	125,48
2N2	2,17	119,76	2,06	109,23
NU2	3,11	117,41	2,94	109,07
T2	2,24	136,41	2,2	126,14
K2	10,32	137,23	10,12	126,82
M3	2,78	138,2	2,71	125,56
M4	4,91	348,11	1,64	201,73
MS4	4,43	66,6	3,34	138,09

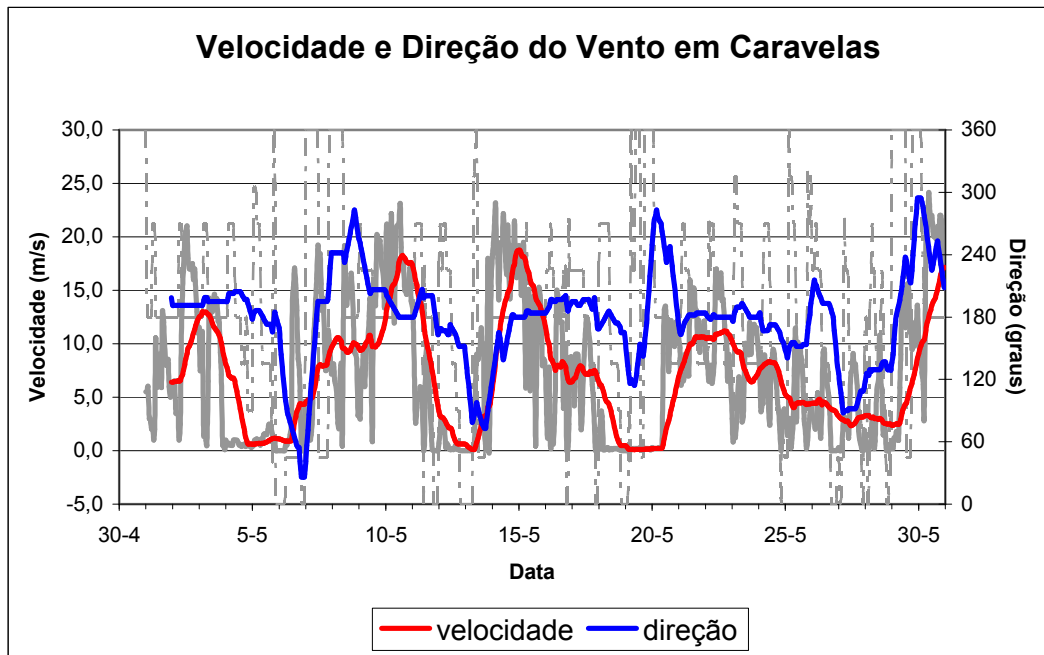


Figura 5.1.5-19 - Velocidade e direção dos ventos durante o mês de maio, de 2000, registrados pela estação de Caravelas. As linhas coloridas mostram a média móvel dos dados de velocidade e direção. Os valores reais estão em cinza

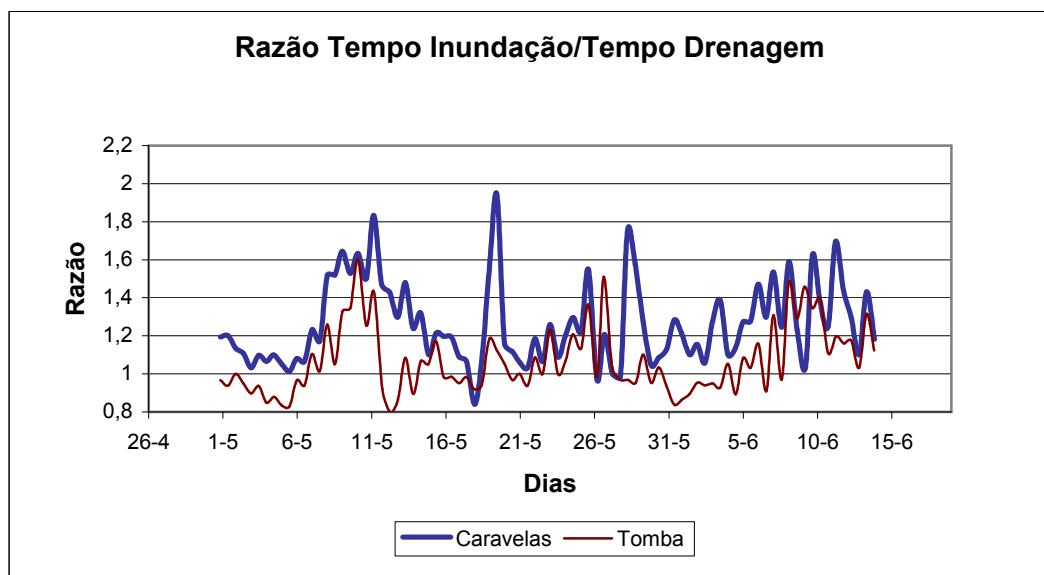


Figura 5.1.5-20 - Razão entre o tempo de inundação e drenagem do estuário nas duas estações de correntometria

5.1.5.4.3.2 Período de Fevereiro a Abril de 2001

O registro obtido neste período é apresentado na Figura 5.1.5-21. As alturas médias de maré nestes dois períodos foram de 1,0 m (quadratura) e 3,10 m (sizígia) (Figura 5.1.5-22). O nível médio do mar apresentou oscilações de menor amplitude que aquelas observadas em junho de 2000, o que pode ser creditado à menor frequência e intensidade de centros de baixa pressão sobre a área.

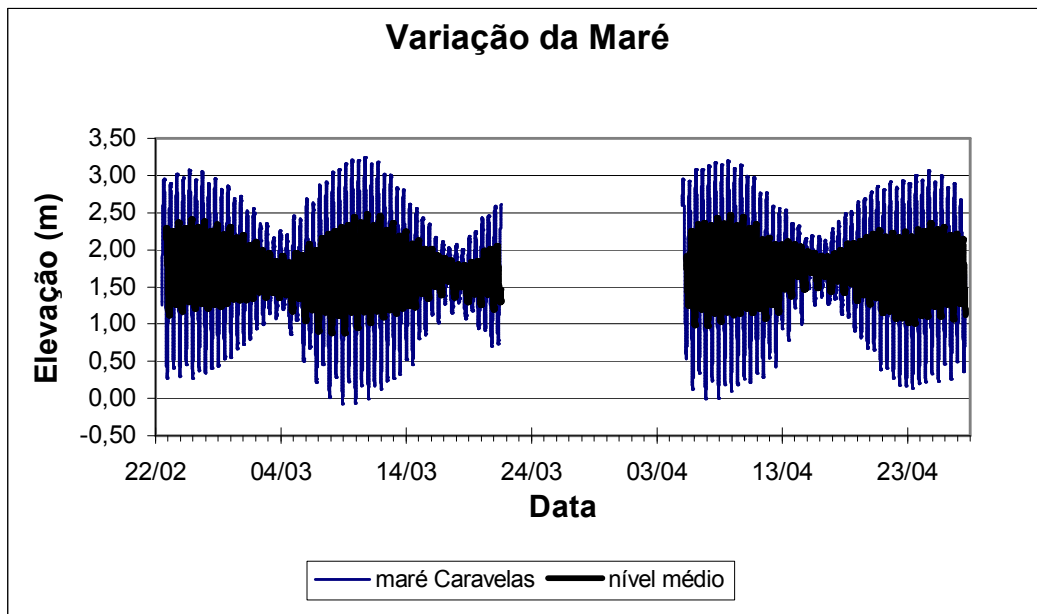


Figura 5.1.5-21 - Registro das marés em Caravelas junto à variação do nível médio do mar para período de fevereiro a abril de 2001

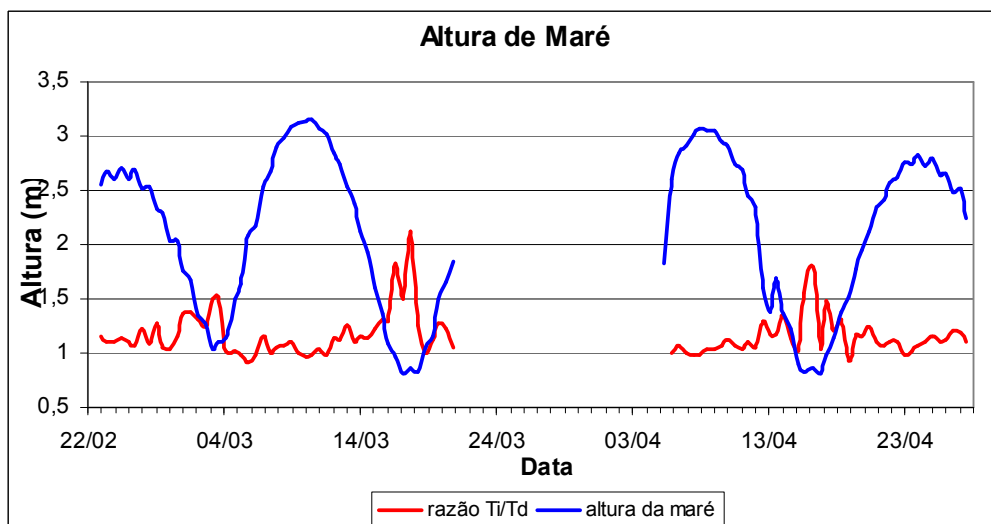


Figura 5.1.5-22 - Variação da altura da maré em Caravelas nos meses de fevereiro a abril de 2001, junto à variação da razão entre os tempos de inundação (Ti) e tempo de drenagem (Td)

As constantes harmônicas foram calculadas para o período de 22 de fevereiro a 21 de março, e os resultados (Tabela 5.1.5-5) mostram pequena diferença em relação aos valores de junho de 2000.

As distorções da maré também se mantiveram similares às observadas em junho de 2000, com predomínio de marés assimétricas, com tempo maior de inundação do que drenagem, especialmente no período de quadratura (Figura 5.1.5-23). Os tempos médios de inundação e drenagem foram de 6,66 e 5,66 horas, respectivamente.

Tabela 5.1.5-5 - Lista das principais constantes harmônicas (estatisticamente validadas) da maré calculadas para Caravelas em fevereiro e março de 2001

Constantes Harmônicas	Caravelas	
	Altura (cm)	Fase°
Q1	2,00	87,62
O1	9,00	121,60
K1	3,00	187,40
N2	14,00	122,32
M2	93,00	112,33
S2	39,00	133,27
2SM2	4,00	243,91
M3	2,00	145,61
M4	3,00	321,03
MS4	4,00	64,63

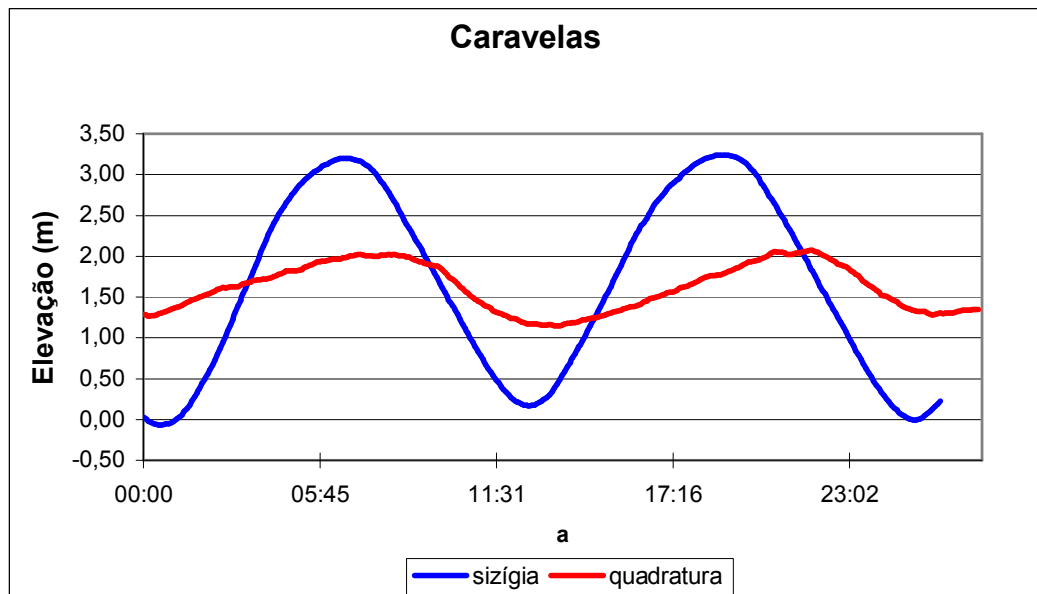


Figura 5.1.5-23 - Padrões distintos de variação da maré em sizígia e quadratura no porto de Caravelas. As marés correspondem aos dias 09 (sizígia) e 17 (quadratura) de fevereiro de 2001

5.1.5.4.3.3 Período de Maio a Julho de 1992

A DHN mantém, em seu catálogo de estações maregráficas, para o Porto de Caravelas uma análise harmônica realizada com dados de 17/05/1992 a 08/07/1992. A Figura 5.1.5-24 apresenta a ficha maregráfica oficial da DHN para o Porto de Caravelas, a partir da qual se podem obter as constantes harmônicas para execução de previsões de maré astronômicas. Observe que as constantes harmônicas apresentadas são compatíveis com as obtidas nas medições em campo realizadas para este estudo no interior do estuário do rio Caravelas.

Nome da Estação : CARAVELAS (PORTO) – BA					
Localização : Na margem esquerda do Rio Caravelas					
Organ. Responsável : DHN					
Latitude : 17° 44,2' S		Longitude : 39° 15,9' W			
Período Analisado : 17/05/92 a 08/07/92			Nº de Componentes : 36		
Análise Harmônica : Método Almirante Santos Franco					
Classificação : Maré Semidiurna.					
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		IV H 15 min	Nível Médio (Zo):		160 cm acima do NR.
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :		293 cm acima do NR.	Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :		221 cm acima do NR.
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :		28 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :		100 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	5,9	146
Ssa	-	-	N ₂	17,7	120
Mm	-	-	NU ₂	3,4	119
Mf	-	-	M ₂	96,5	116
MTM	-	-	L ₂	3,5	045
Msf	-	-	T ₂	2,1	142
Q ₁	-	-	S ₂	36,4	143
O ₁	9,2	111	K ₂	9,9	145
M ₁	-	-	MO ₃	-	-
P ₁	2,1	173	M ₃	3,1	158
K ₁	6,3	178	MK ₃	-	-
J ₁	-	-	MN ₄	-	-
OO ₁	-	-	M ₄	3,5	335
MNS ₂	3,4	124	SN ₄	1,8	179
2N ₂	2,3	123	MS ₄	4,4	094
Referências de Nível: RN-1 implantada na extremidade do cais.					
Obs: Outros períodos : 03/12/60 a 03/01/61.					

Código BNDO: 40160

Figura 5.1.5-24 - Constantes Harmônicas de Maré para o Porto de Caravelas

5.1.5.4.4 Conclusão

As marés da região próxima ao empreendimento podem se consideradas como mesomarés (amplitude entre 2 e 4 metros). Tais amplitudes são relevantes, pois normalmente originam valores de prisma de maré significativos, que podem gerar correntes de maré importantes nas desembocaduras estuarinas. São marés semidiurnas, de amplitude mais elevadas que as marés das localidades vizinhas devido aos efeitos de águas rasas do banco dos Abrolhos na propagação da onda de maré, que geram a amplificação de sua altura.

Através das medições dos fundeios oceanográficos das estações #106 e #506, no Canal Sueste, pôde-se caracterizar a variação do nível médio da região. A depressão do nível médio do mar está geralmente associada a ventos de N-NE, enquanto que a elevação do nível médio se associa a ventos de S-SE.

No interior do estuário, há um pequeno efeito de ressonância que amplifica a maré pouco significativamente. Os tempos de inundação são maiores que os tempos de drenagem e há um atraso de propagação da onda para o interior do estuário, condições comuns para zonas estuarinas confinadas e com manguezais.

5.1.5.5 Correntes

5.1.5.5.1 Correntes na região próxima da área de estudo

As informações sobre o regime de correntes na plataforma imediatamente adjacente à região em estudo provêm de 3 fontes:

- Instalação de dois fundeio nos canais de Sueste e Abrolhos, com correntômetros instalados próximos à superfície e ao fundo, durante três dias consecutivos em uma maré de sizígia em janeiro de 1995 (Meyerhöfer e Marone, 1996, Leipe, *et al.* 1999);
- Monitoramento, em abril de 2001, do fluxo por 13 horas em duas estações com 6 m e 12 m de lâmina d'água (ver localização na Figura 5.1.5-25), em dias consecutivos, em maré de sizígia, com perfilador doppler acústico obtendo as velocidades médias do fluxo a cada 0,25 m, em intervalos de 1 minuto;
- Monitoramento contínuo de correntes desde 2002 nas estações de fundeio oceanográficas #106 e #506.

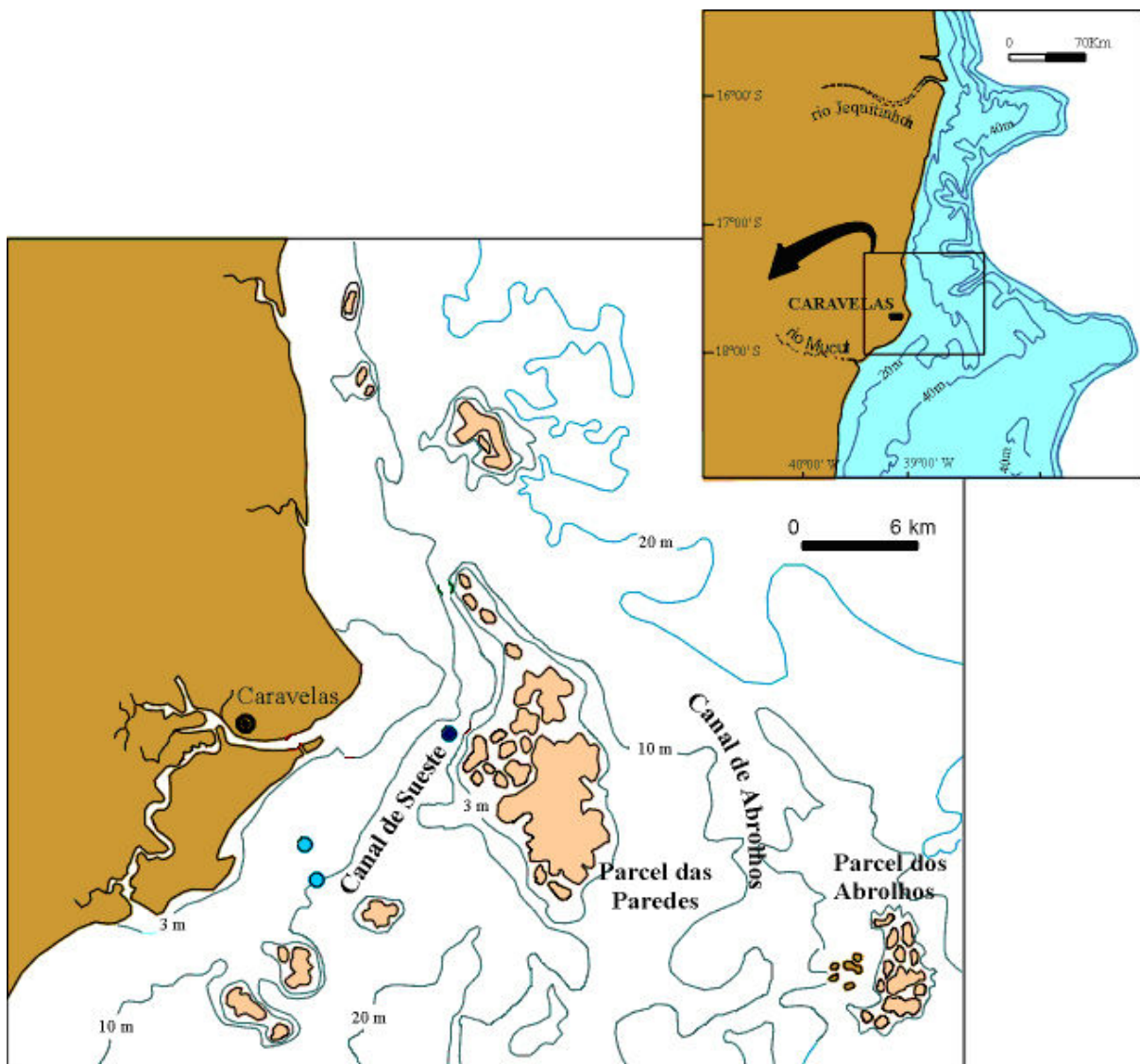


Figura 5.1.5-25 - Posição dos Correntômetros (marcadores azul claro) fundeados no Canal Sueste em abril de 2001 e marcador azul escuro referente ao fundeio de 1995

5.1.5.5.1.1 Dados de janeiro de 1995

A Figura 5.1.5-26 e a Figura 5.1.5-27 mostram a variação da direção da corrente próxima à superfície e próxima ao fundo no canal de Abrolhos e Sueste, respectivamente. Observa-se que a direção dos fluxos é concordante no fundo e em superfície, com direção preferencial NE-SW ($\cong N210^\circ$). A modulação da maré na direção das correntes é observada pela variação da direção entre enchente e vazante, onde o fluxo de vazante tende a impor um sentido aproximado SW-NE (Figura 5.1.5-28) e nos primeiros dois ciclos de maré na Figura 5.1.5-27. A direção preferencial das correntes mais fortes pode ser melhor visualizada na Figura 5.1.5-28 e na Figura 5.1.5-29, que mostram correntes mais velozes (com até 0,75 m/s) no canal de Sueste seguindo um direção preferencial de 210 graus.

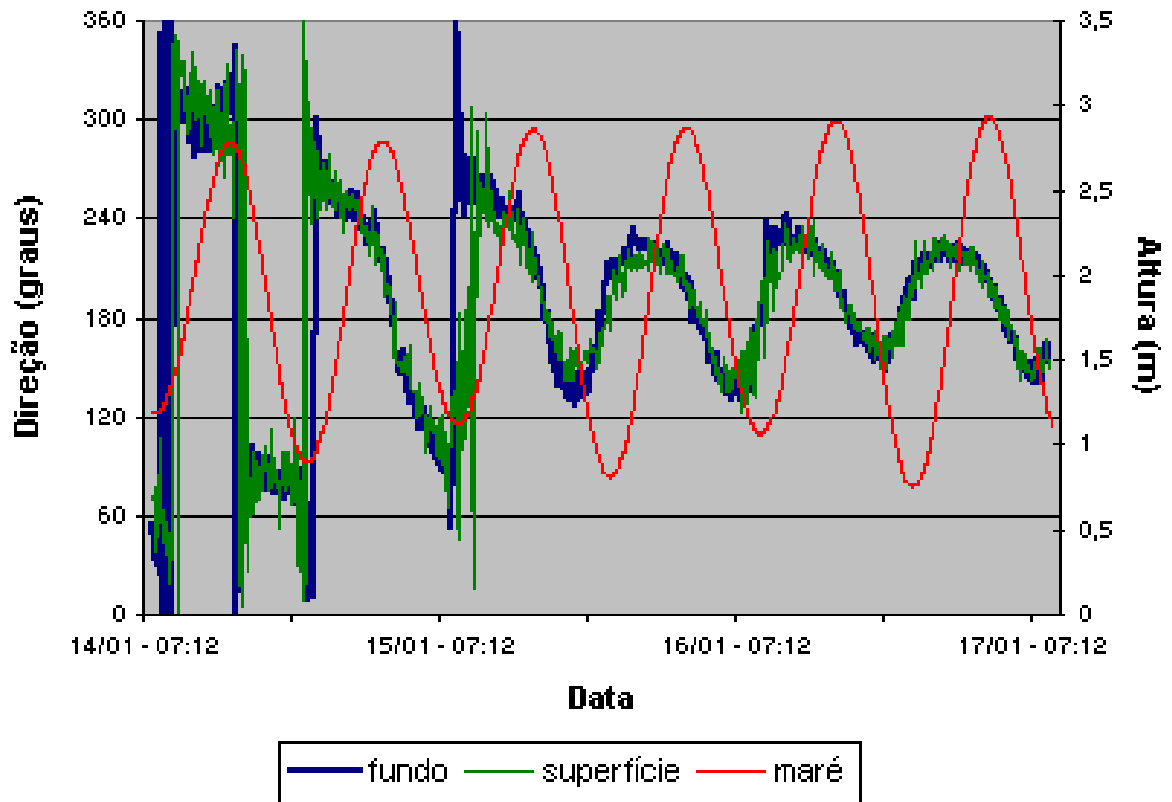


Figura 5.1.5-26 - Variação da direção das correntes ao longo do período de monitoramento no canal de Abrolhos

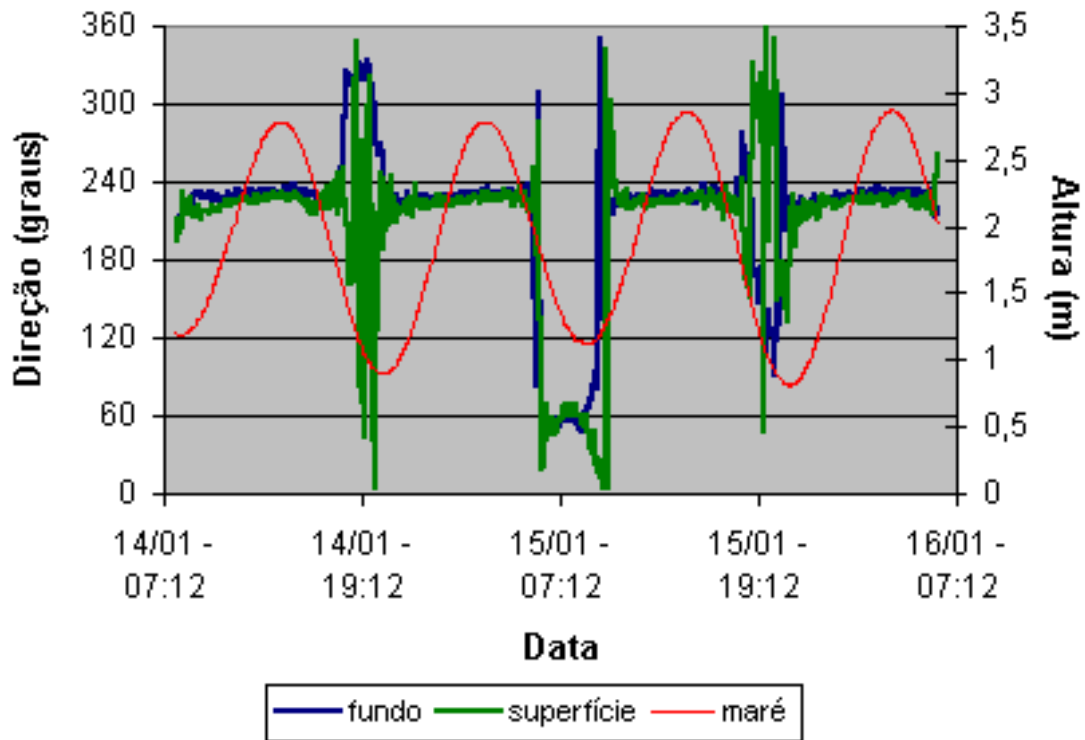


Figura 5.1.5-27 - Variação da direção das correntes ao longo do período de monitoramento no canal de Sueste

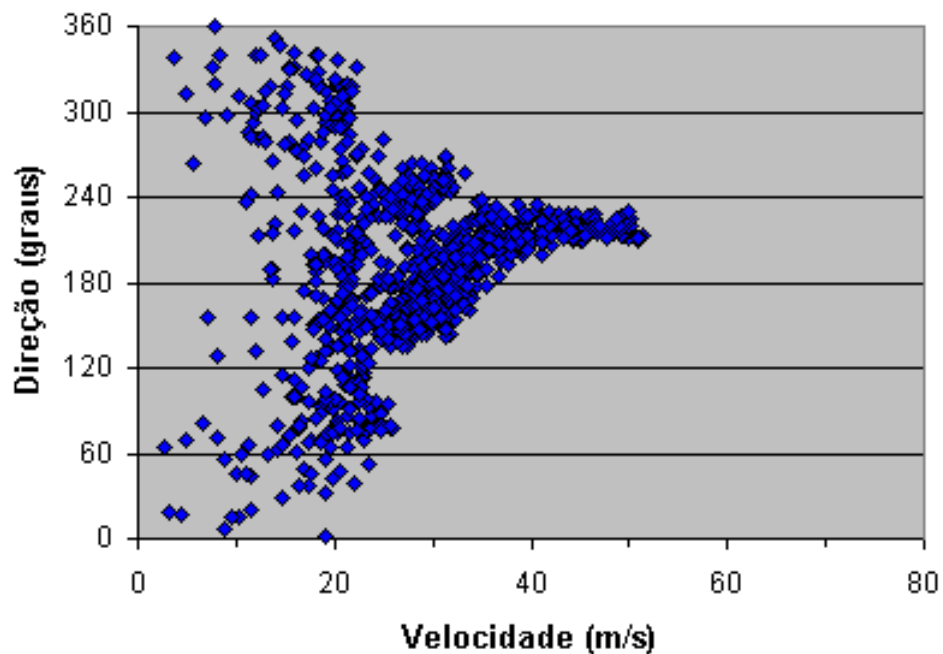


Figura 5.1.5-28 - Distribuição da direção das correntes oceânicas em Abrolhos de acordo com a velocidade. Observe a concentração dos valores mais elevados na direção de 230 graus

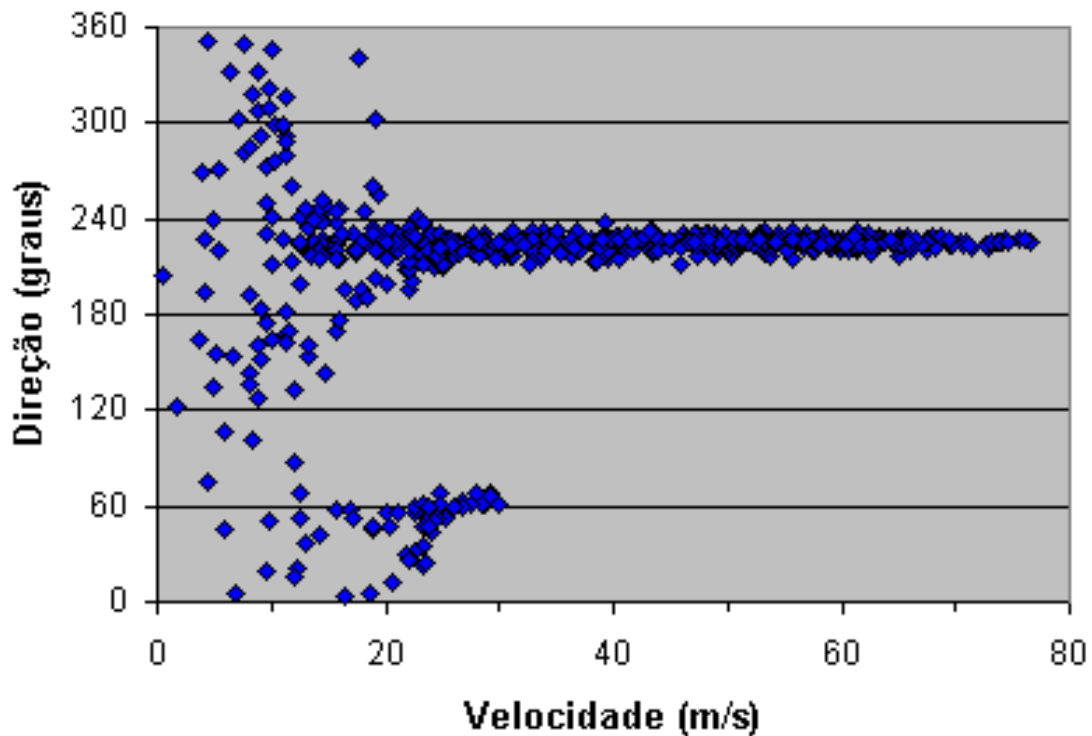


Figura 5.1.5-29 - Distribuição da direção das correntes oceânicas no canal de Sueste de acordo com a velocidade. Observe a preponderância da direção de 210 graus

O fluxo de maré não foi forte o suficiente para inverter completamente a direção preferencial do fluxo para SE. Na Figura 5.1.5-30 e na Figura 5.1.5-31 observa-se a intensificação do fluxo em direção ao quadrante sul, especialmente na estação de Abrolhos. Os alísios de N e NE, que prevalecem na região durante o verão, constituem-se no mecanismo forçante para as fortes correntes de S-SW observadas. O efeito das correntes de maré, que se direcionam para o norte na vazante e para o sul na enchente, causa apenas um efeito modulador na velocidade. No canal de Sueste, por exemplo (Figura 5.1.5-31), a maré vazante raramente consegue inverter a direção do fluxo. Sendo assim, apenas durante a passagem de frentes frias e ventos de S-SW, a situação verificada deve ser invertida.

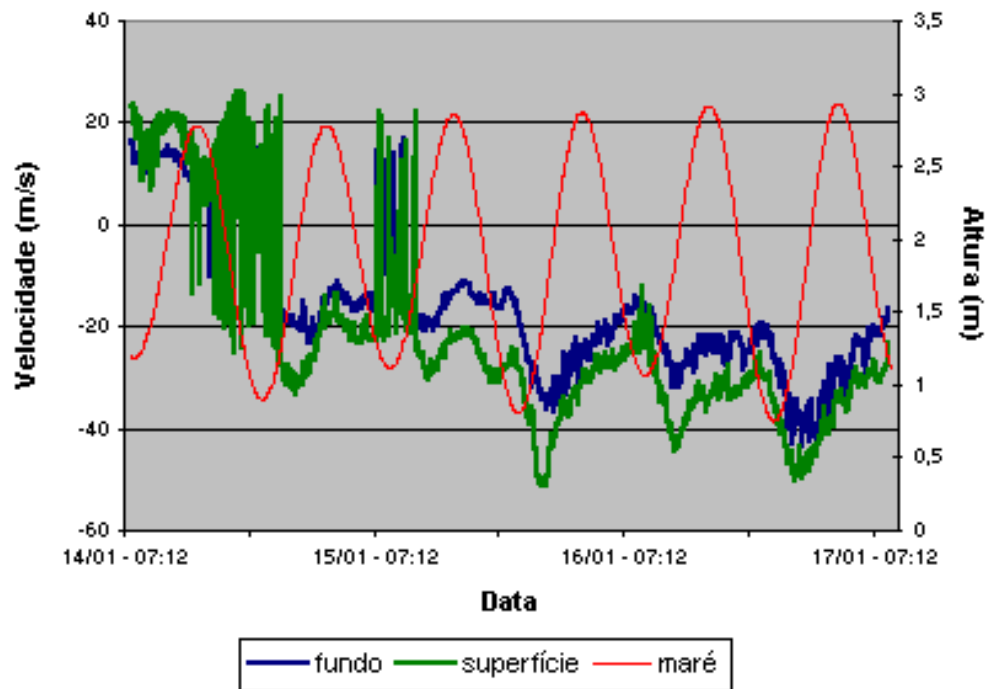


Figura 5.1.5-30 - Variação da velocidade das correntes ao longo do período de monitoramento em Abrolhos, com valores negativos indicando fluxo para o quadrante sul e fluxos positivos indicando fluxos para o quadrante norte

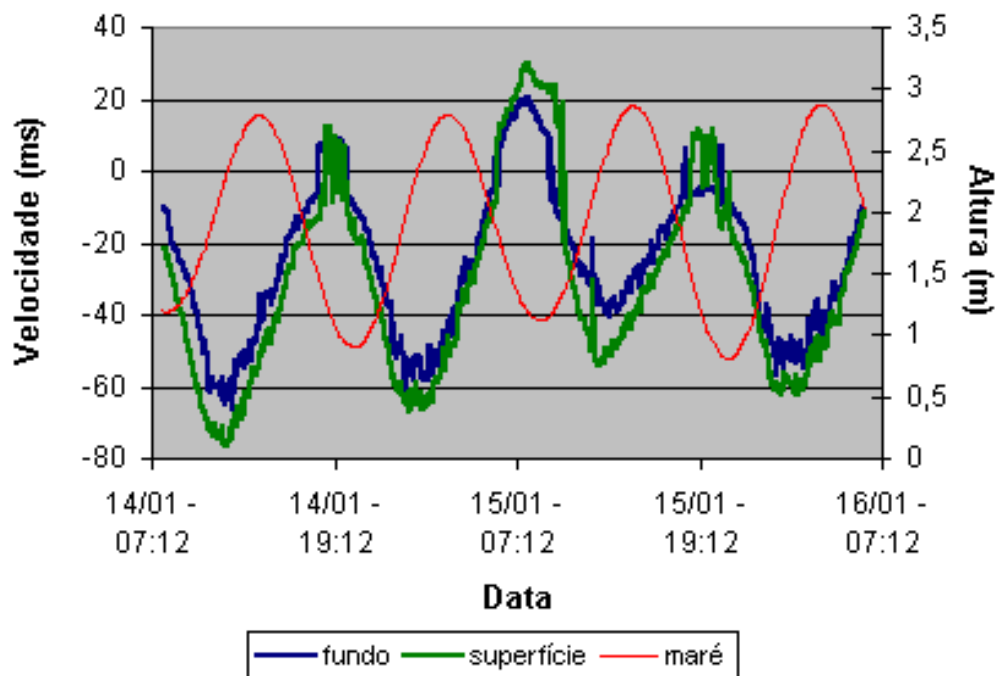


Figura 5.1.5-31 - Variação da velocidade das correntes ao longo do período de monitoramento no canal Sueste, com valores negativos indicando fluxo para o quadrante sul e fluxos positivos indicando fluxos para o quadrante norte

5.1.5.5.1.2 Dados de abril de 2001

As duas estações monitoradas apresentaram comportamentos ligeiramente diferentes, sendo esta diferença provavelmente associada à não simultaneidade das medições. A variação da velocidade média das correntes nas estações 1 (6 m de profundidade) e 2 (12 metros de profundidade) é exibida na Figura 5.1.5-32 e na Figura 5.1.5-33 respectivamente. Observa-se que as velocidades médias são de pequena magnitude, mas um pouco mais intensas na estação 1, onde alcançam valores de até 30 cm/s. Correntes de maré enchente (valores positivos), se direcionando para o quadrante norte, alcançaram velocidades menores e ocorreram por um período de tempo mais curto que aquelas associadas à vazante, se dirigindo para o quadrante sul (valores negativos). A assinatura da maré, facilmente identificada na estação 1, é obliterada na estação 2 devido à presença de um fluxo constante com forte componente para o sul.

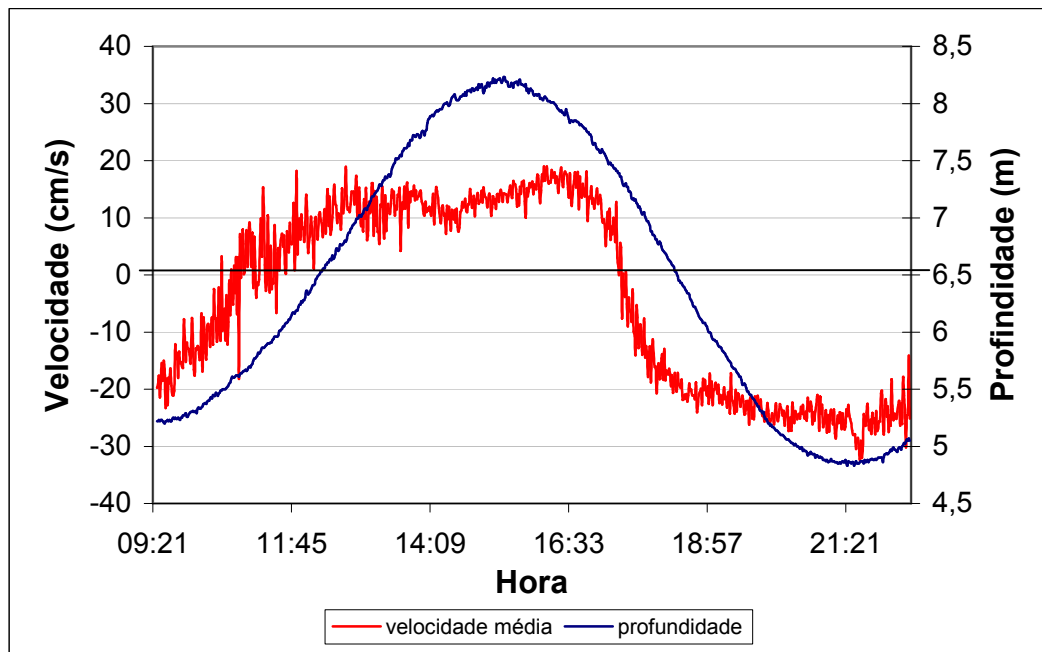


Figura 5.1.5-32 - Variação da velocidade média da corrente e profundidade (devido à maré) na estação 1 (6 m de lâmina d'água). Valores positivos de corrente indicam fluxo em direção ao norte, e valores negativos fluxo em direção ao sul

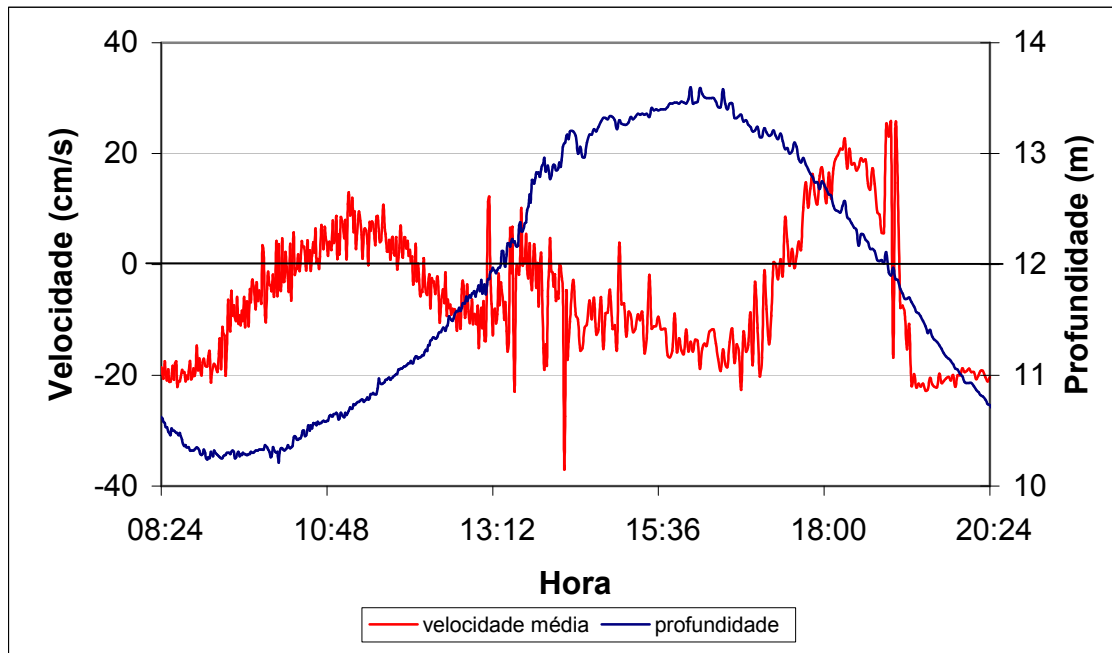


Figura 5.1.5-33 - Variação da velocidade média da corrente e profundidade (devido à maré) na estação 2 (12 m de lâmina d'água). Valores positivos de corrente indicam fluxo em direção ao norte, e valores negativos fluxo em direção ao sul

Apesar dos pequenos valores de velocidade da corrente, a situação observada em abril se assemelha àquela observada em janeiro de 1995, com preponderância do fluxo em direção ao sul. Com relação ao rumo das correntes e a condição de maré, nota-se que as estações de 2001 têm comportamento diferente à de 1995, o que é explicado pelo fato de em 2001 estarem posicionadas ao sul da desembocadura, enquanto que em 1995 a estação estava ao norte. O fluxo relativamente mais fraco em abril poderia ser explicado pela menor frequência dos ventos alísios de NE no período de outono, acarretando um menor deslocamento da massa d'água.

A variação temporal da velocidade e direção do fluxo na vertical, em ambas as estações, estão expostas na Figura 5.1.5-34 e na Figura 5.1.5-35. Problemas na definição do número máximo de células medidas restringiu a cobertura da lâmina d'água aos 10 m superiores durante o monitoramento na estação 2, de maior profundidade. Em ambas as estações a direção do fluxo é concordante em toda a lâmina d'água, com exceção de um período durante a meia enchente na estação 2, quando ocorreu uma pequena estratificação no escoamento a cerca de 5 m de profundidade.

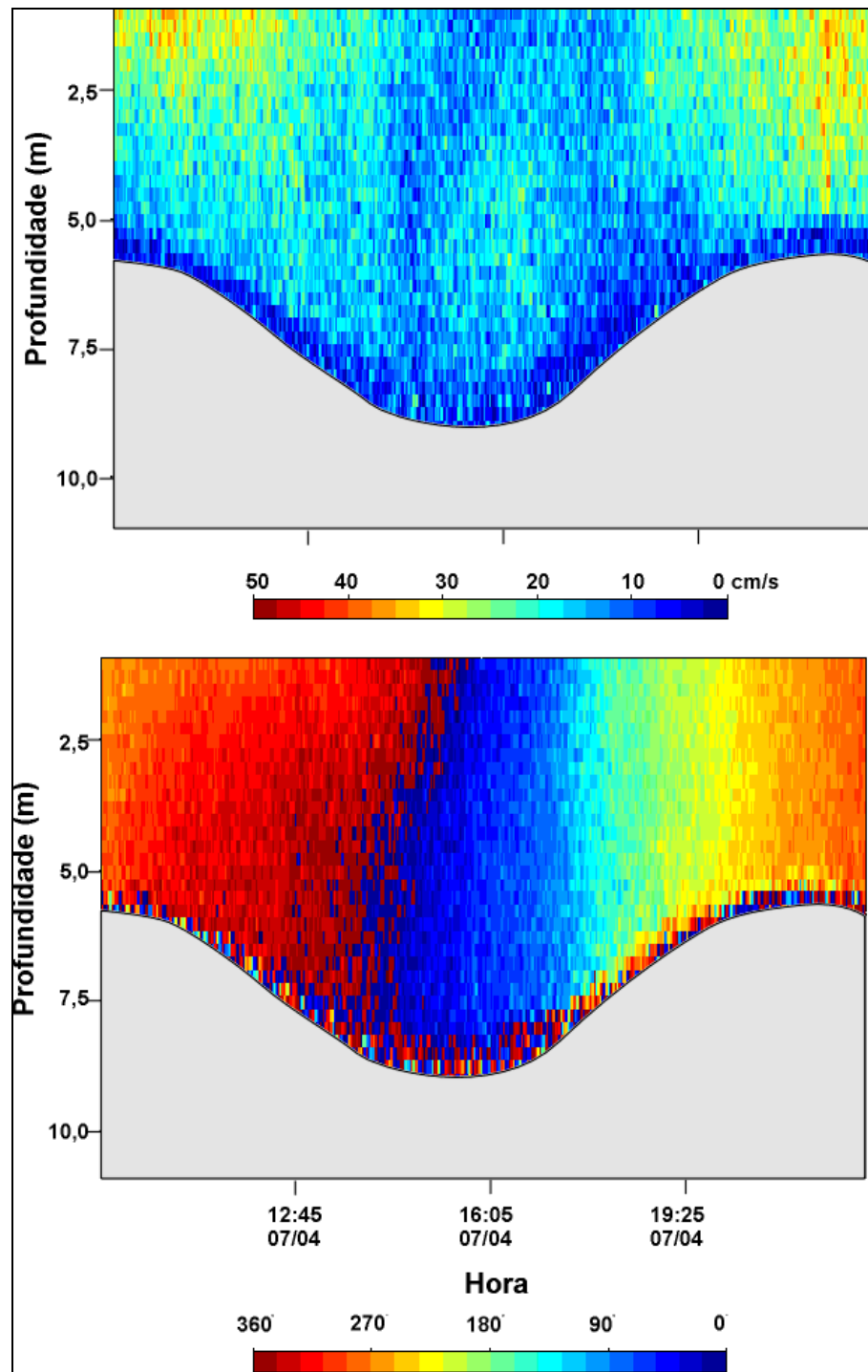


Figura 5.1.5-34 - Variação temporal da velocidade e direção do fluxo na estação 1 (6 m de lâmina d'água). Preamar ocorre por volta das 16:00 horas

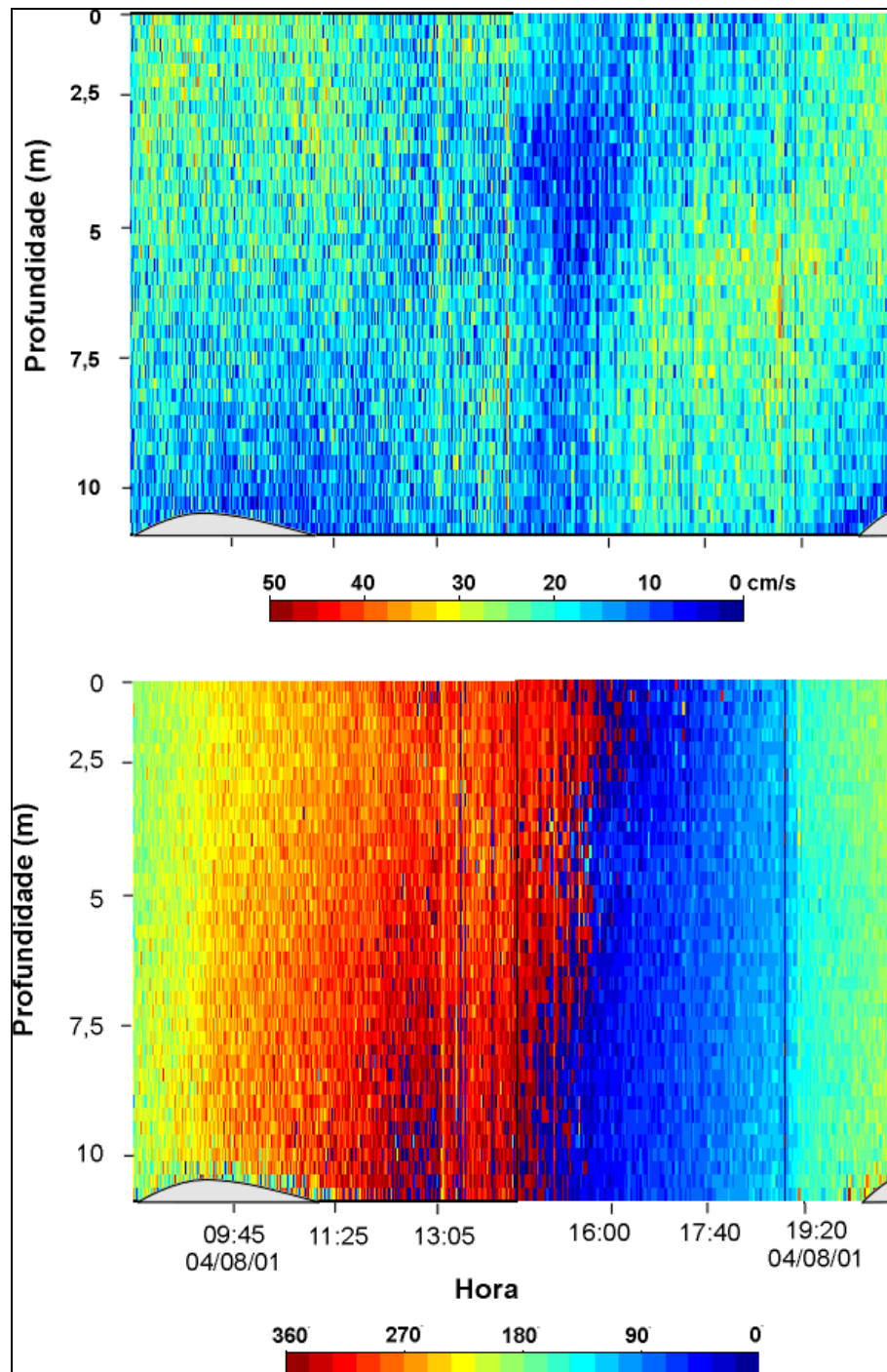


Figura 5.1.5-35 - Variação temporal da velocidade e direção do fluxo na estação 2 (12 m de lâmina d'água). Problemas na definição do número de células a serem medidas só permitiu a cobertura de toda a lâmina d'água próximo à baixa-mar

5.1.5.5.1.3 Dados de 2002 a 2007 – Correntes nas estações #106 E #506

Os dados de correntes apresentados para as estações #106 e #506 correspondem a aproximadamente 5 anos de medições, realizadas ininterruptamente entre 2002 e 2007.

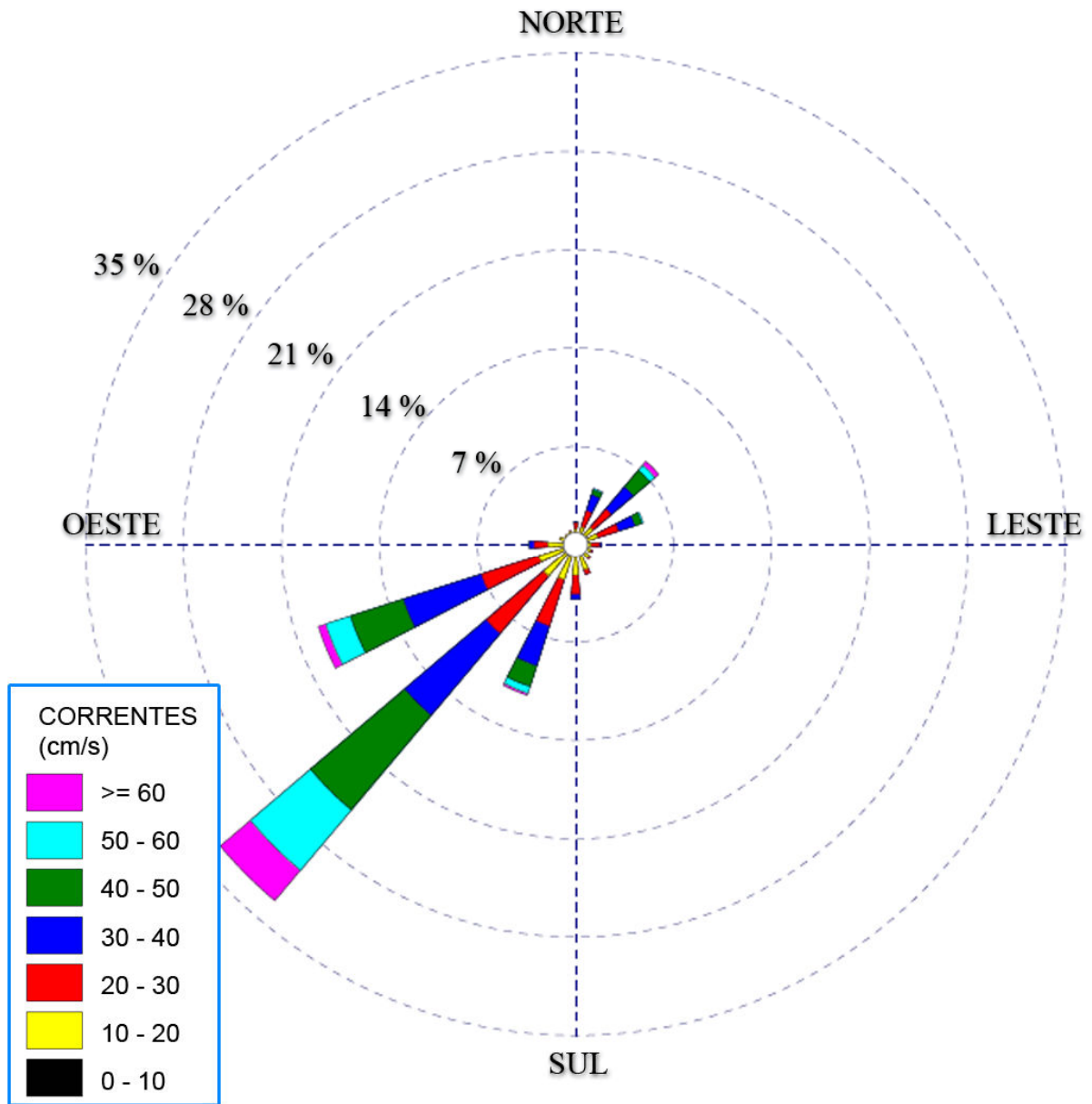
A magnitude média das correntes observadas para toda a série de dados foi de 0,25 m/s na estação #106 e 0,18 m/s na estação #506, sendo evidente a maior velocidade de corrente na estação #106. As velocidades máximas alcançaram coincidentemente 93 cm/s, para ambas as estações. As velocidades médias anuais apresentam pouca variação de ano para ano. A Tabela 5.1.5-6 apresenta a estatística da velocidade média para as estações durante as estações do ano e anualmente.

Tabela 5.1.5-6 - Valores médios da magnitude de Corrente – Estações #106 e #506

Estação do Ano	Estação #106 Velocidade Média (cm/s)	Estação #506 Velocidade Média (cm/s)
Primavera	31	21
Verão	24	18
Outono	21	16
Inverno	24	17
Anual	25	18

O rumo das correntes é nitidamente bimodal em ambas as estações, orientados preferencialmente ao longo de um eixo NE-SW, com fluxo residual bem marcante para SW, na maior parte do tempo e em ambas as estações.

Da Figura 5.1.5-36 a Figura 5.1.5-40 apresentam-se as rosas de correntes para as estação #106, para a primavera, verão, outono, inverno, além de uma rosa anual. Da Figura 5.1.5-41 até a Figura 5.1.5-45 apresentam-se as distribuições das velocidades de corrente respectivas.



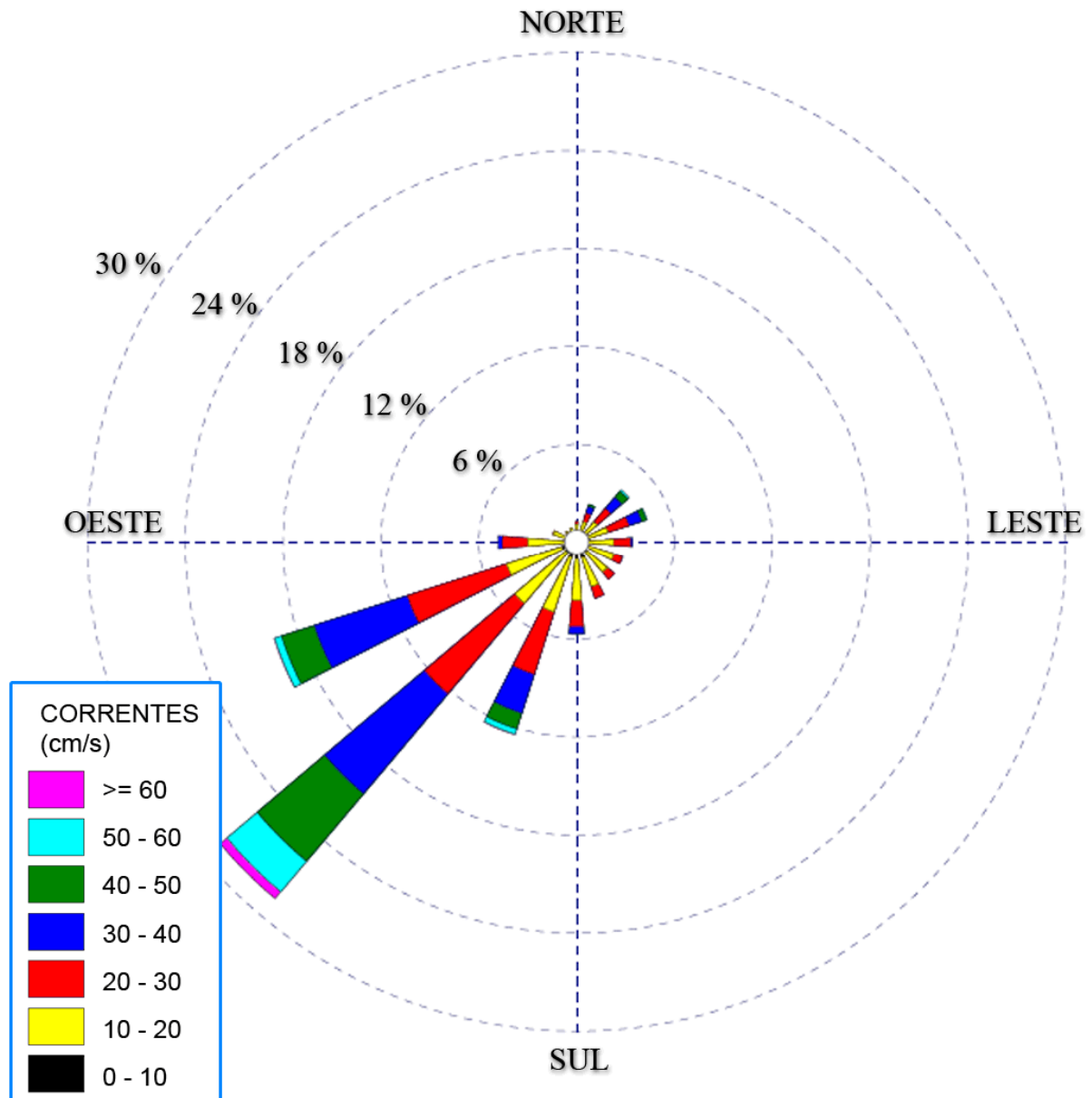


Figura 5.1.5-37 - Rosa da Magnitude das Correntes – VERÃO – Estação #106

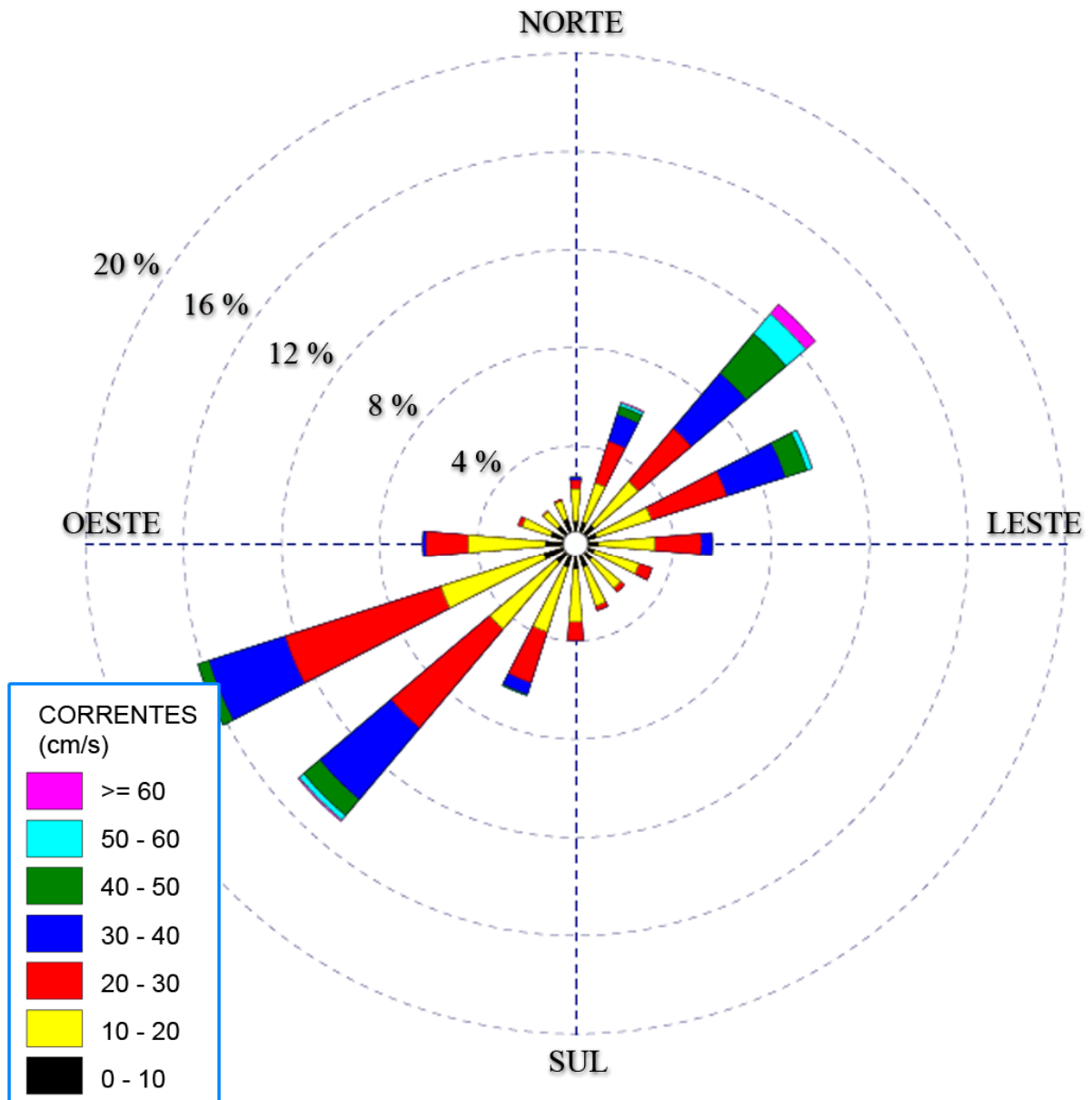


Figura 5.1.5-38 - Rosa da Magnitude das Correntes – OUTONO – Estação #106

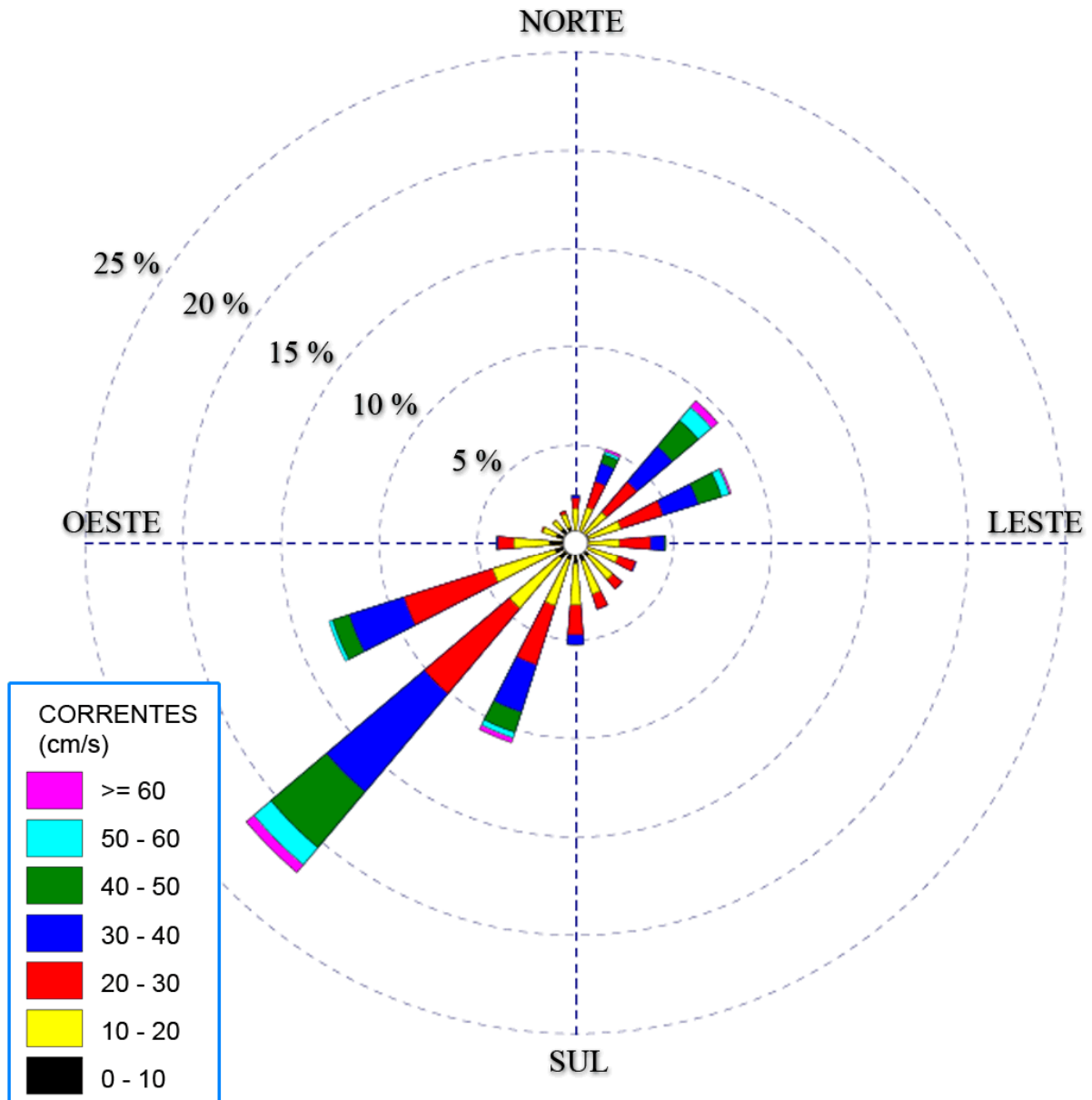


Figura 5.1.5-39 - Rosa da Magnitude das Correntes – INVERNO – Estação #106

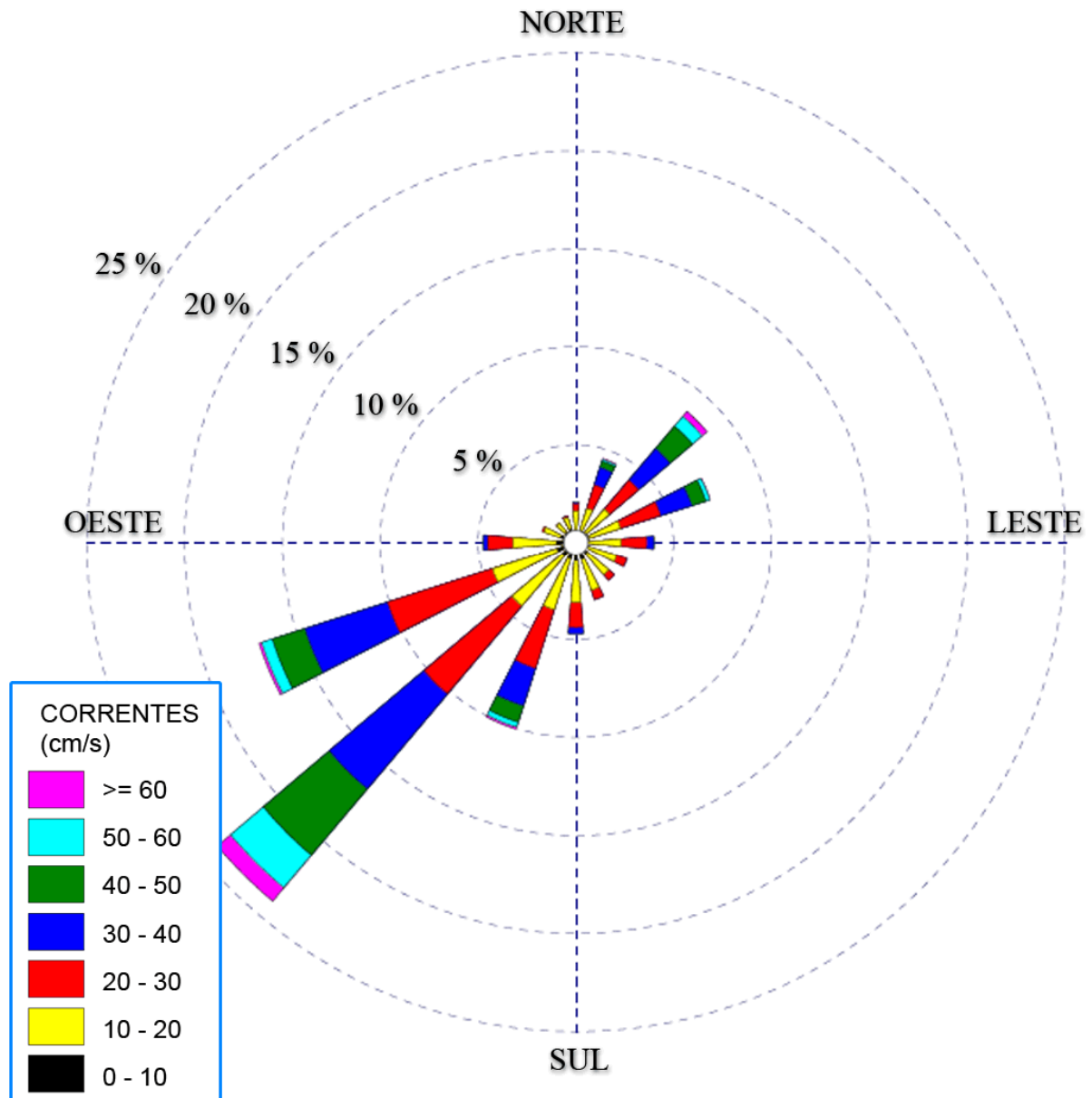


Figura 5.1.5-40 - Rosa da Magnitude das Correntes – ANUAL – Estação #106

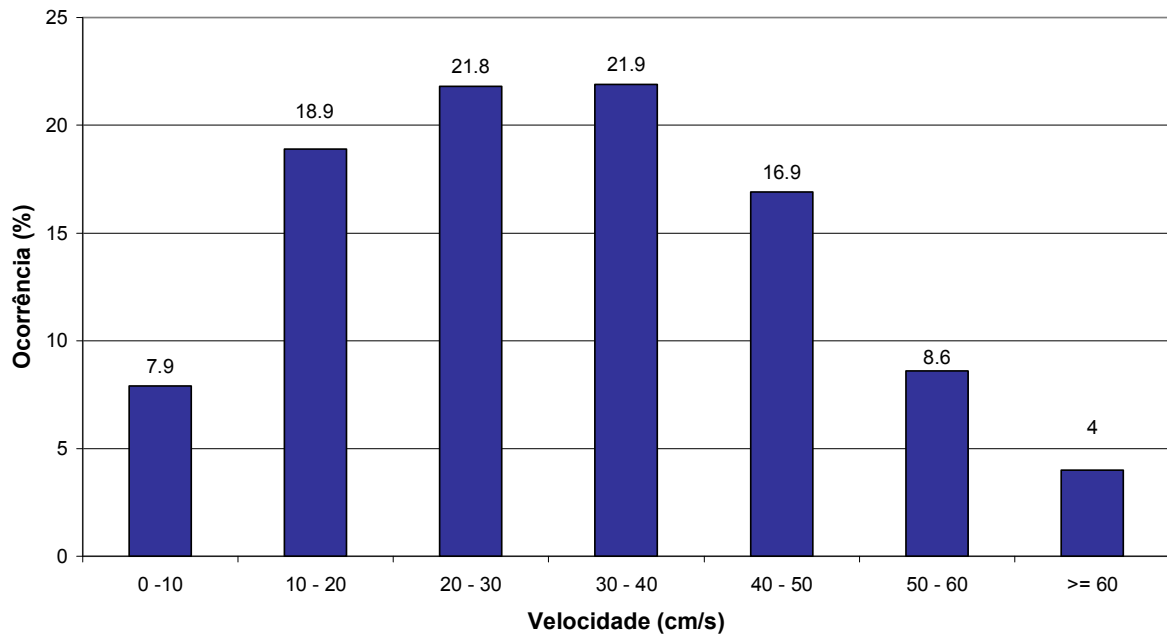


Figura 5.1.5-41 - Distribuição da Magnitude das Correntes – PRIMAVERA - Estação #106

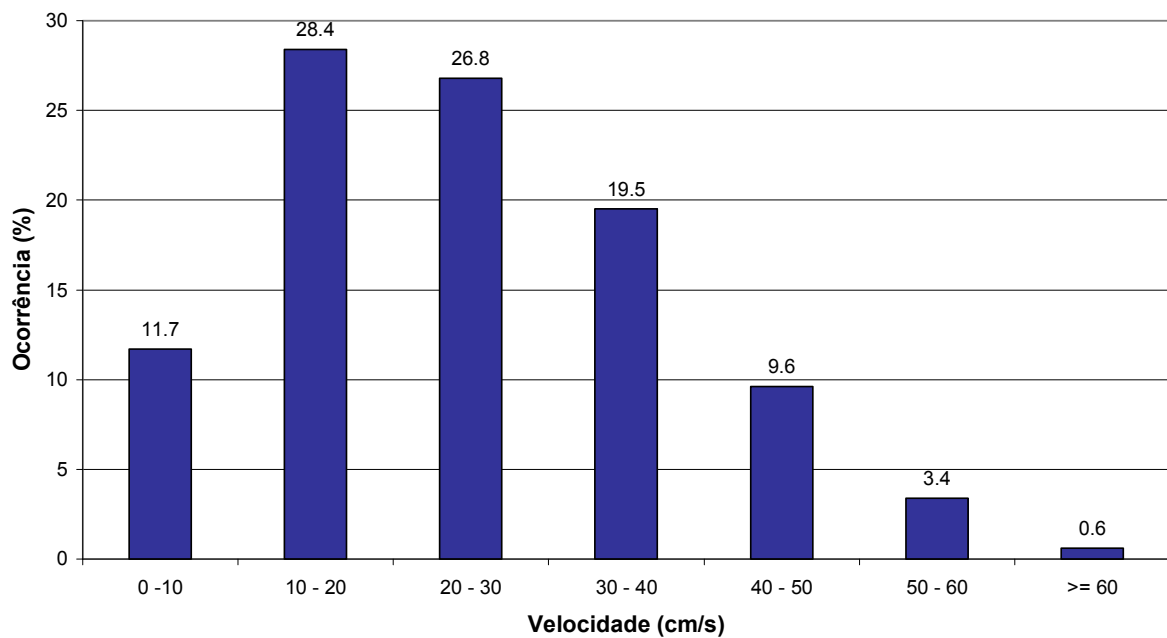


Figura 5.1.5-42 - Distribuição da Magnitude das Correntes – VERÃO - Estação #106

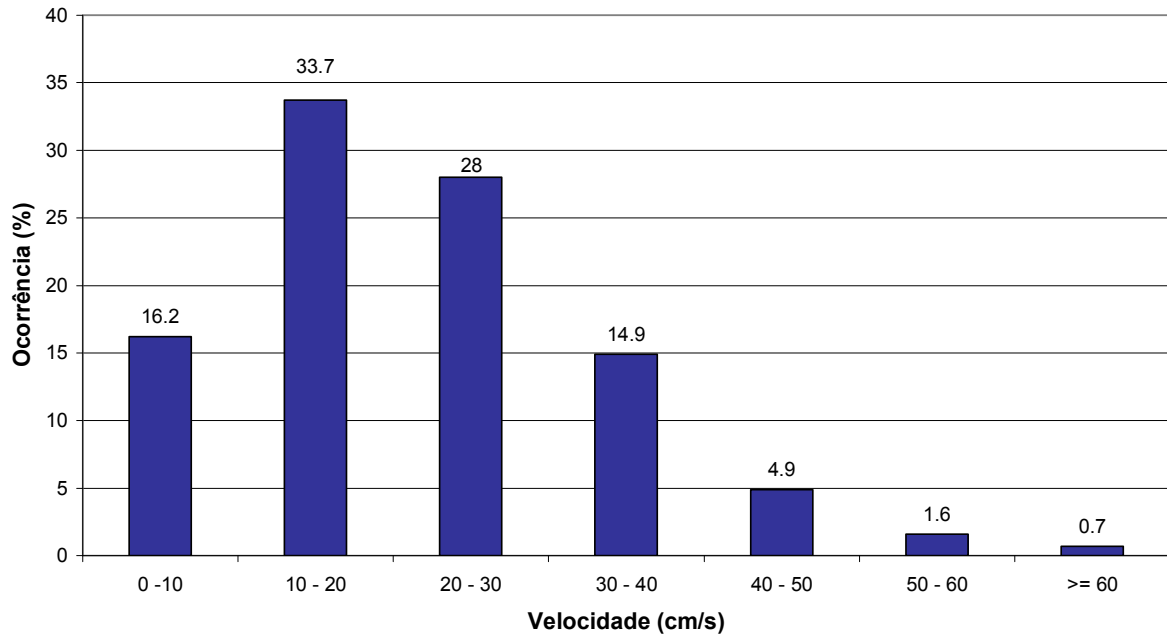


Figura 5.1.5-43 - Distribuição da Magnitude das Correntes – OUTONO - Estação #106

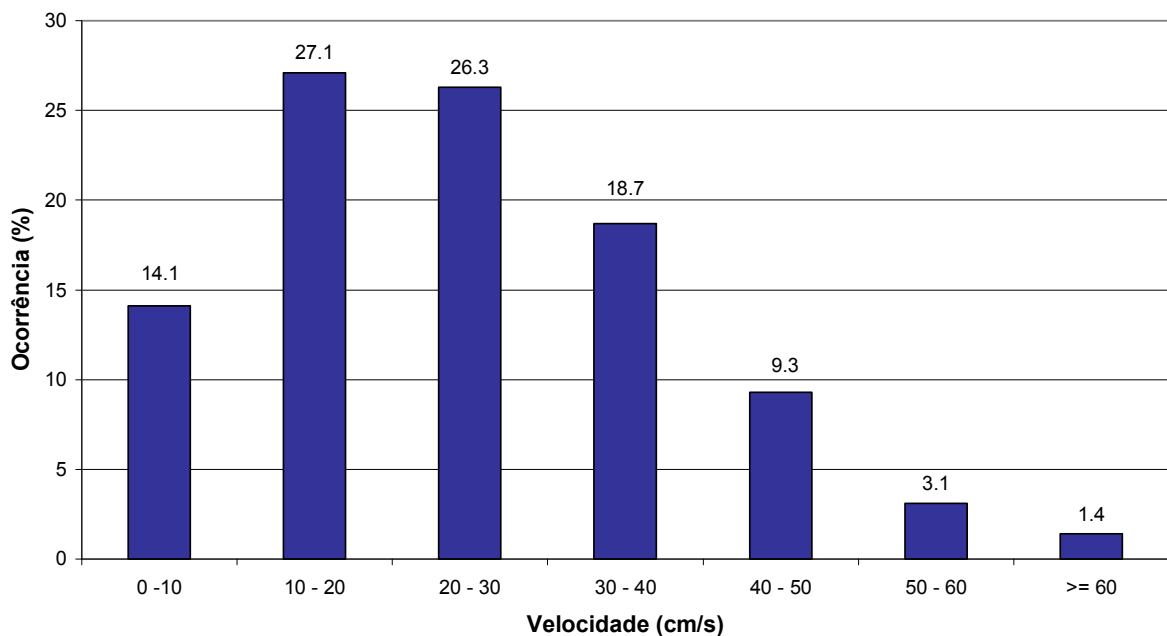


Figura 5.1.5-44 - Distribuição da Magnitude das Correntes – INVERNO - Estação #106

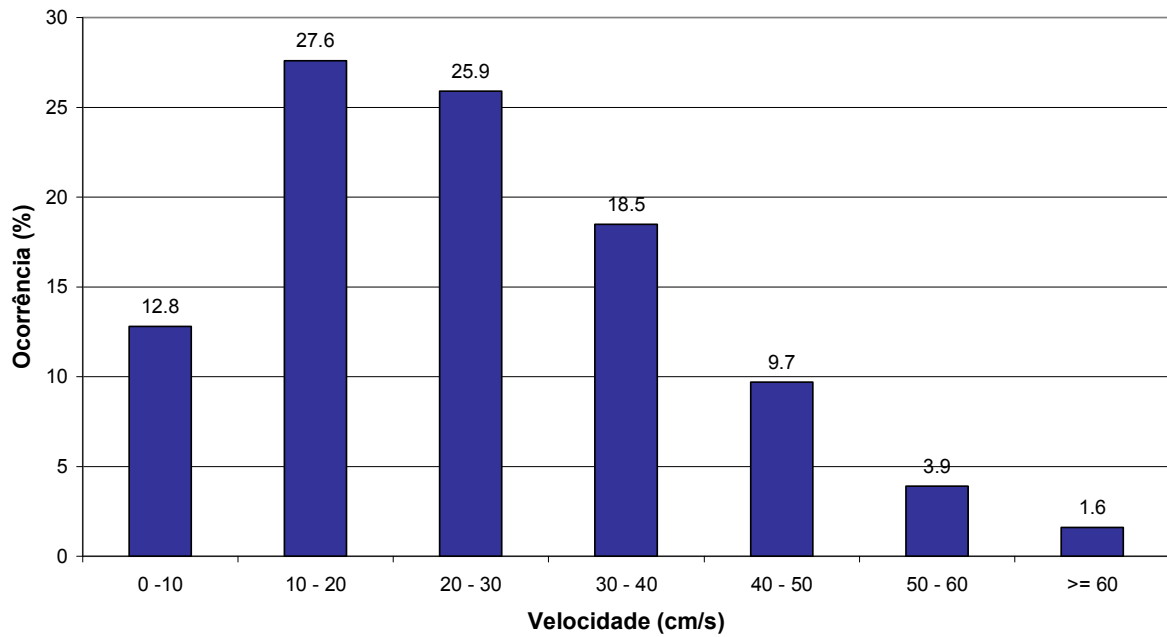


Figura 5.1.5-45 - Distribuição da Magnitude das Correntes – ANUAL - Estação #106

Da Figura 5.1.5-46 a Figura 5.1.5-50 apresentam-se as rosas de correntes para as estação #506, para a primavera, verão, outono, inverno, além de uma rosa anual. Da Figura 5.1.5-51 até a Figura 5.1.5-55 apresentam-se as distribuições das velocidades de corrente respectivas.

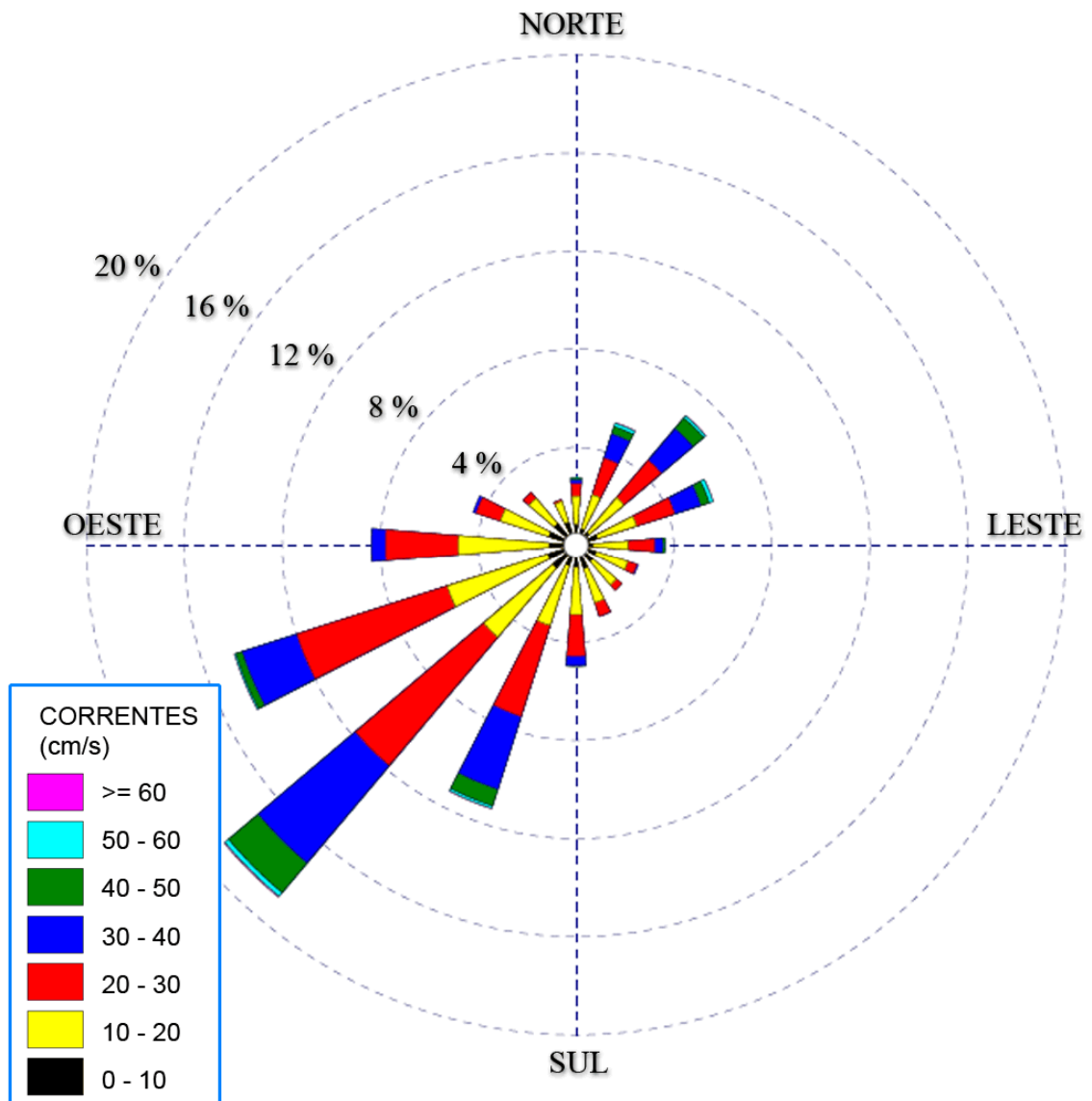


Figura 5.1.5-46 - Rosa da Magnitude das Correntes – PRIMAVERA – Estação #506

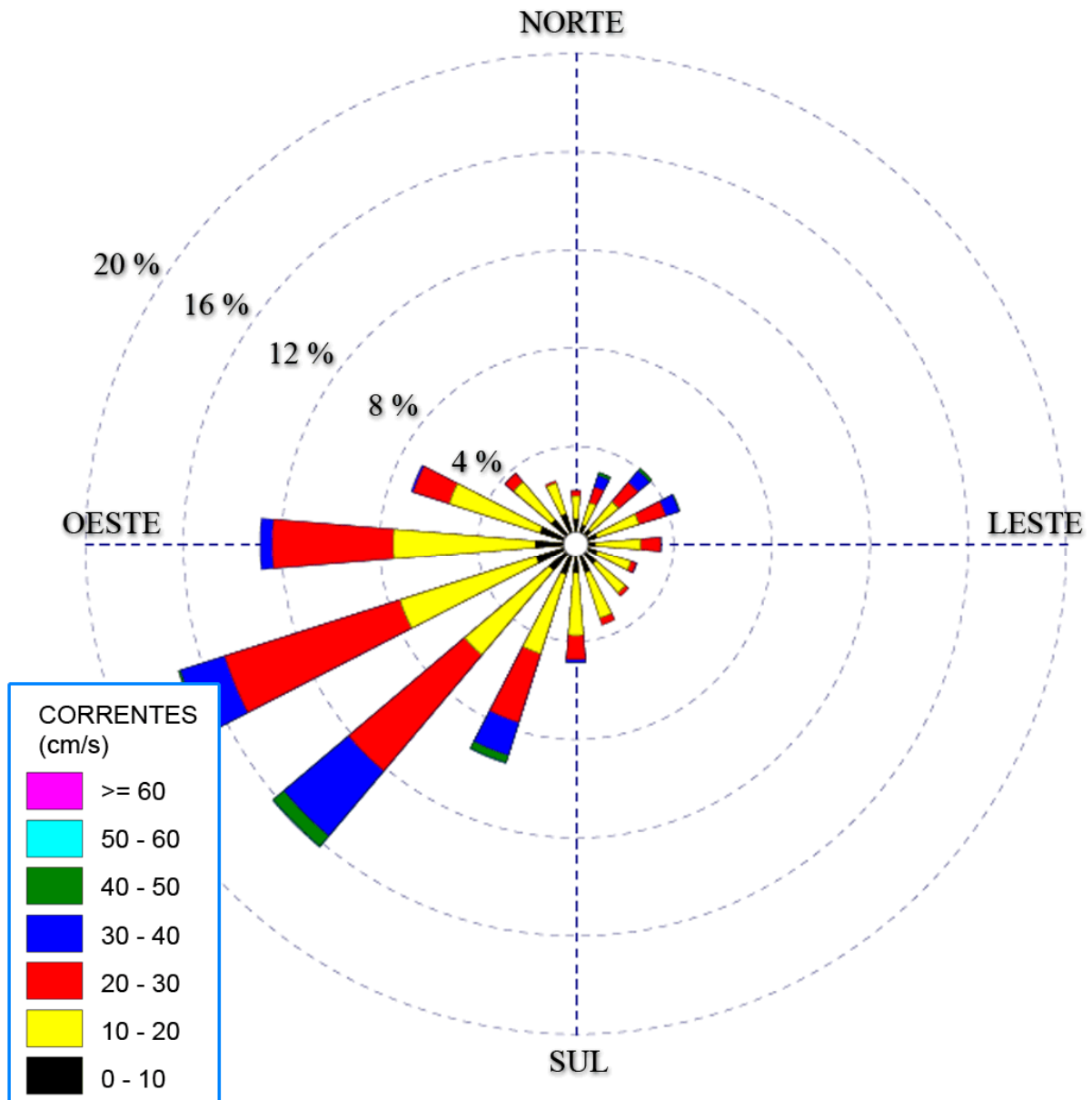


Figura 5.1.5-47 - - Rosa da Magnitude das Correntes – VERÃO – Estação #506

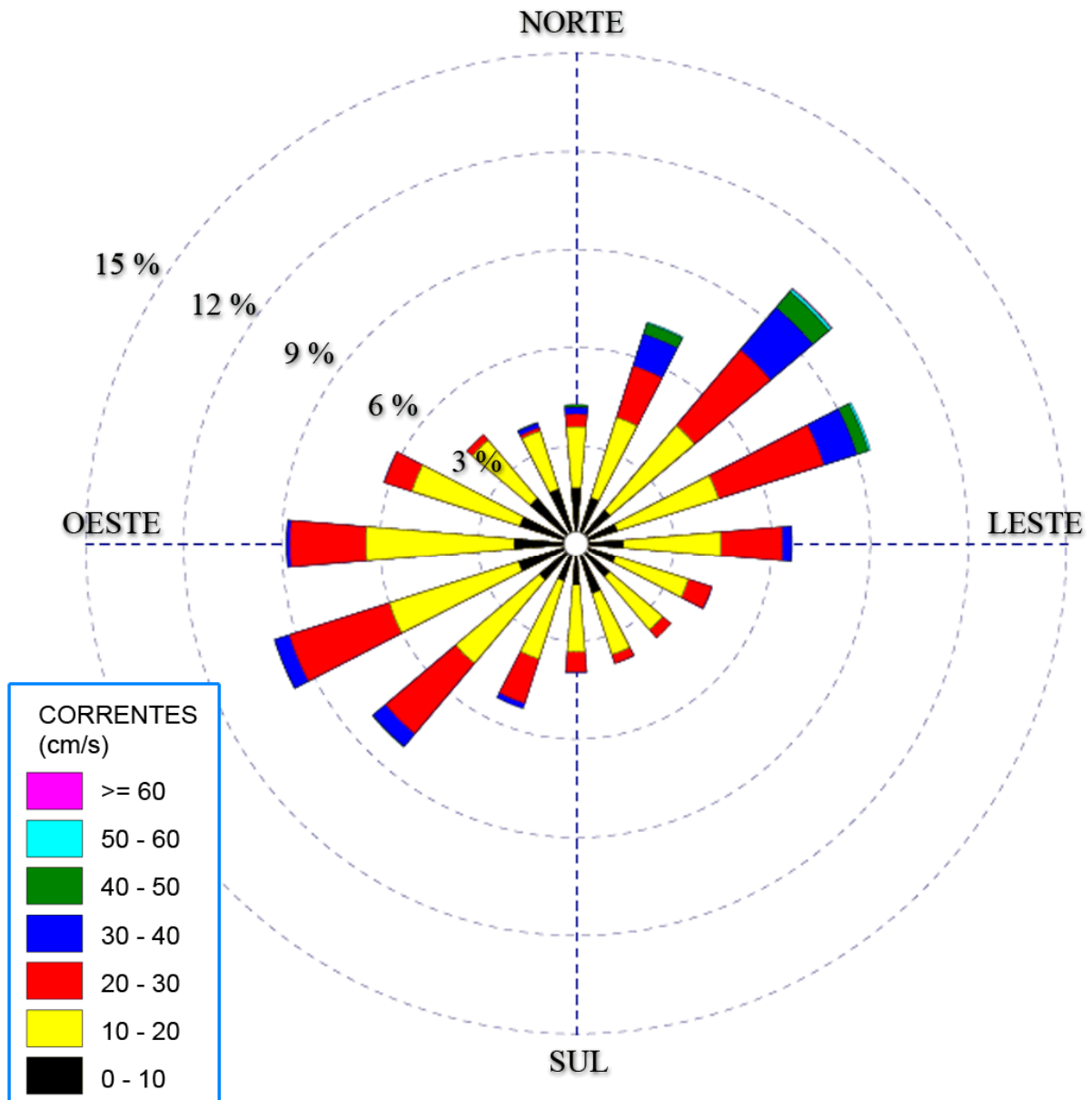


Figura 5.1.5-48 - Rosa da Magnitude das Correntes – OUTONO – Estação #506

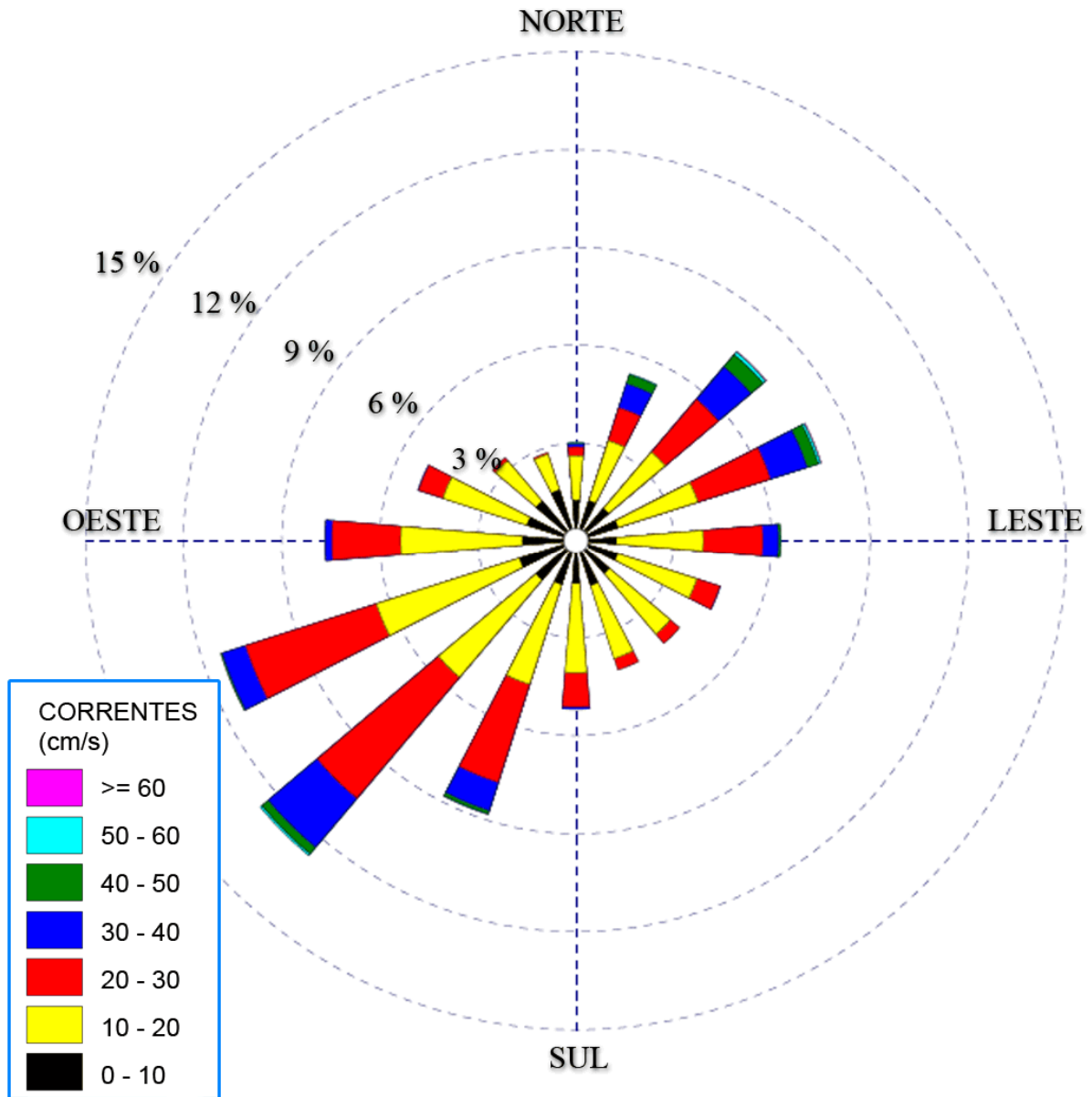


Figura 5.1.5-49 - Rosa da Magnitude das Correntes – INVERNO – Estação #506

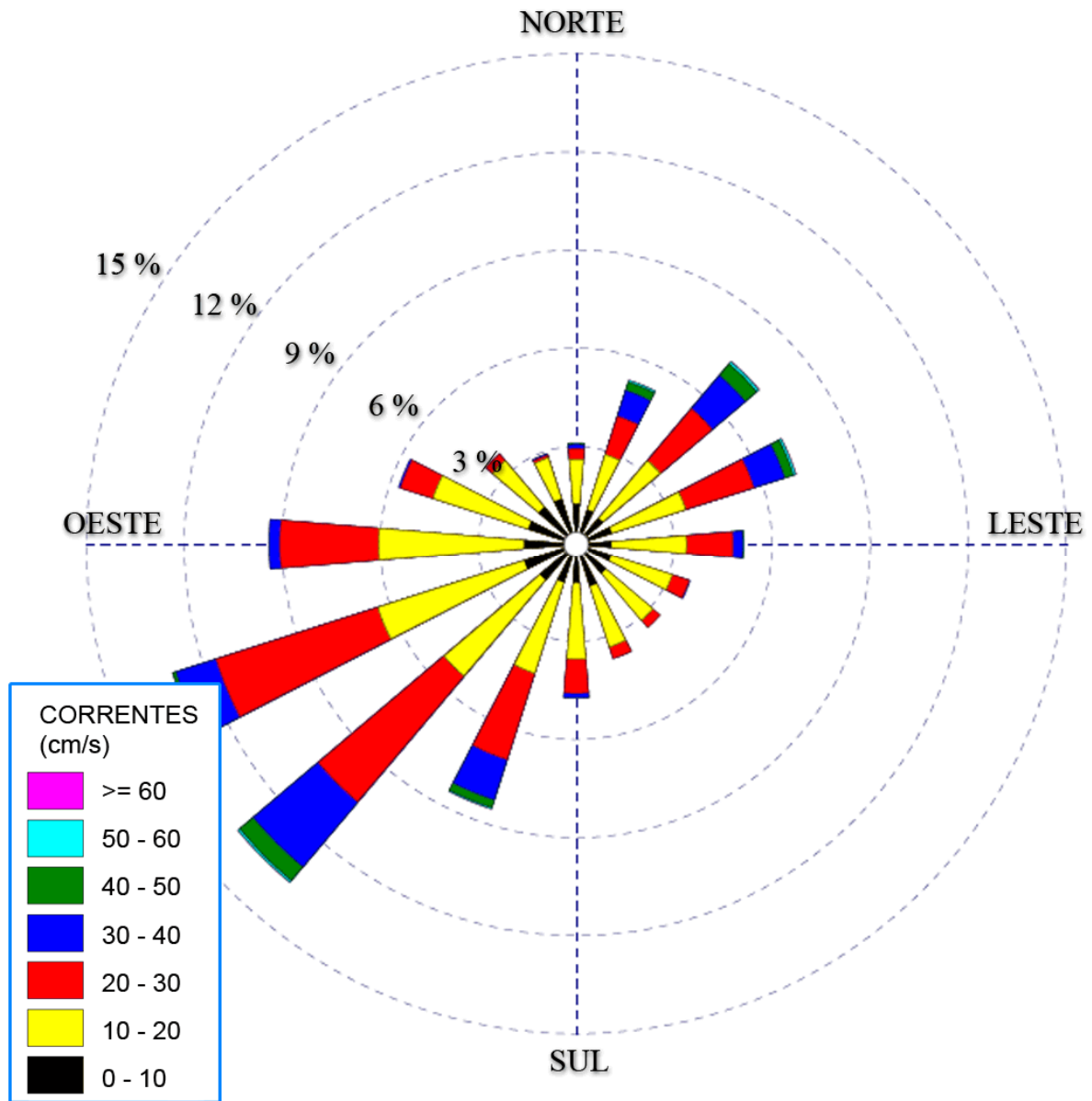


Figura 5.1.5-50 - Rosa da Magnitude das Correntes – ANUAL – Estação #506

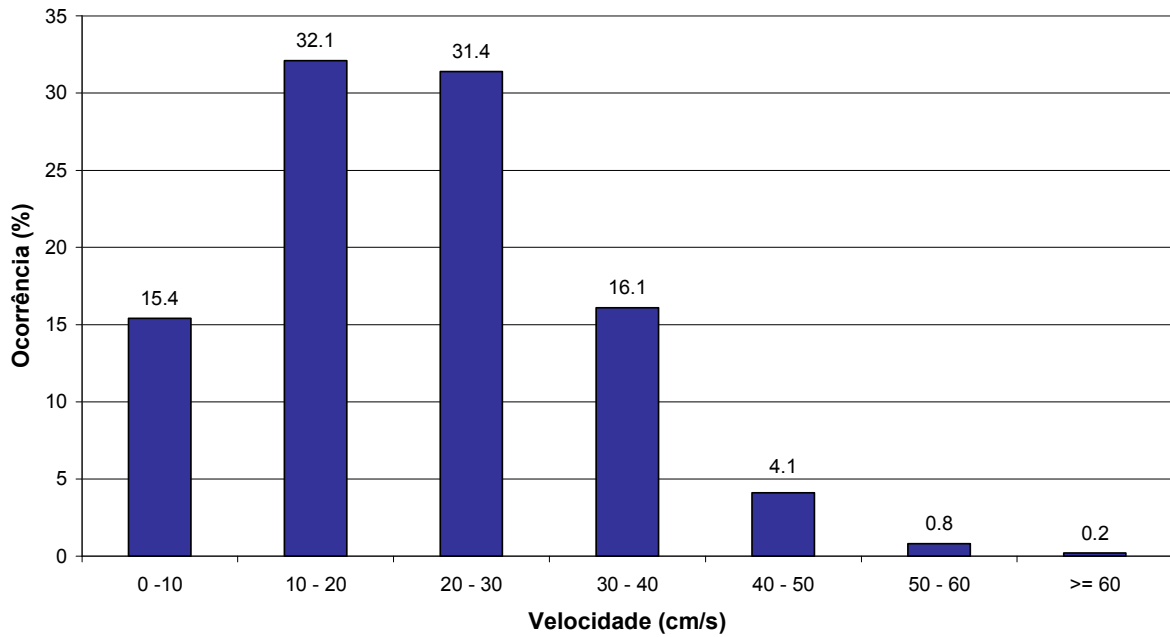


Figura 5.1.5-51 - Distribuição da Magnitude das Correntes – PRIMAVERA - Estação #506

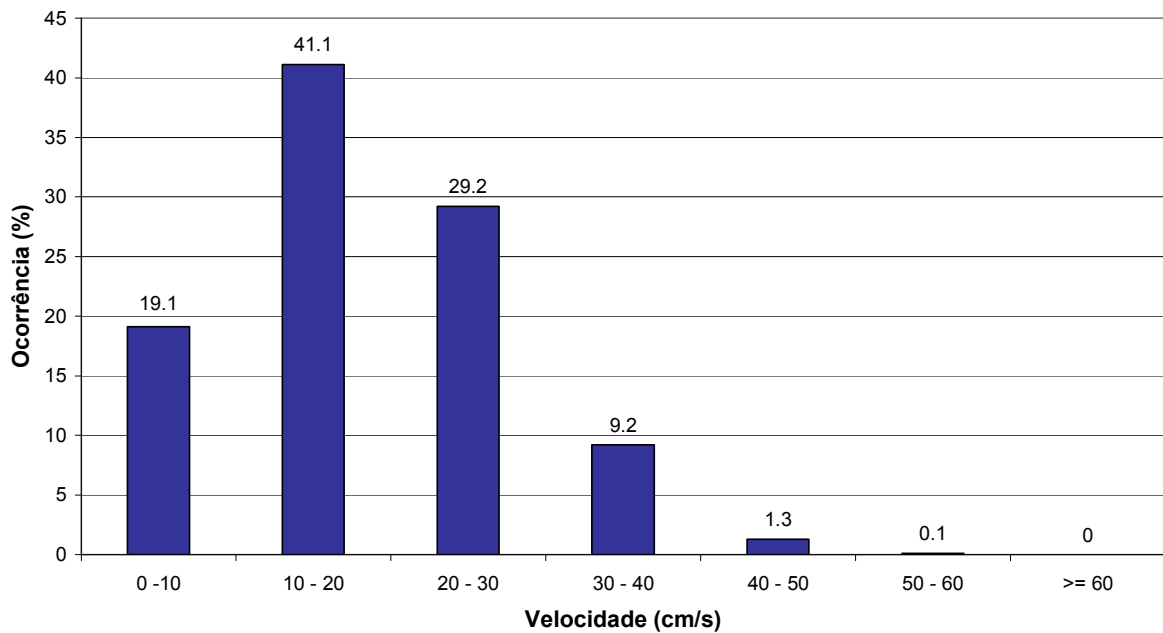


Figura 5.1.5-52 - Distribuição da Magnitude das Correntes – VERÃO - Estação #506

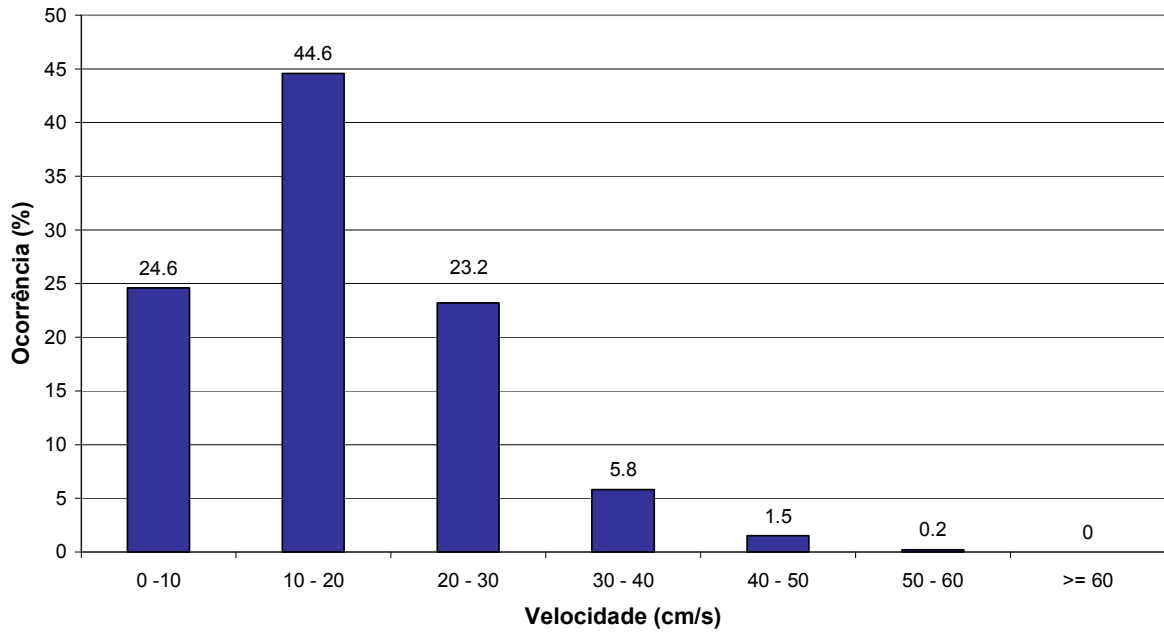


Figura 5.1.5-53 - Distribuição da Magnitude das Correntes – OUTONO - Estação #506

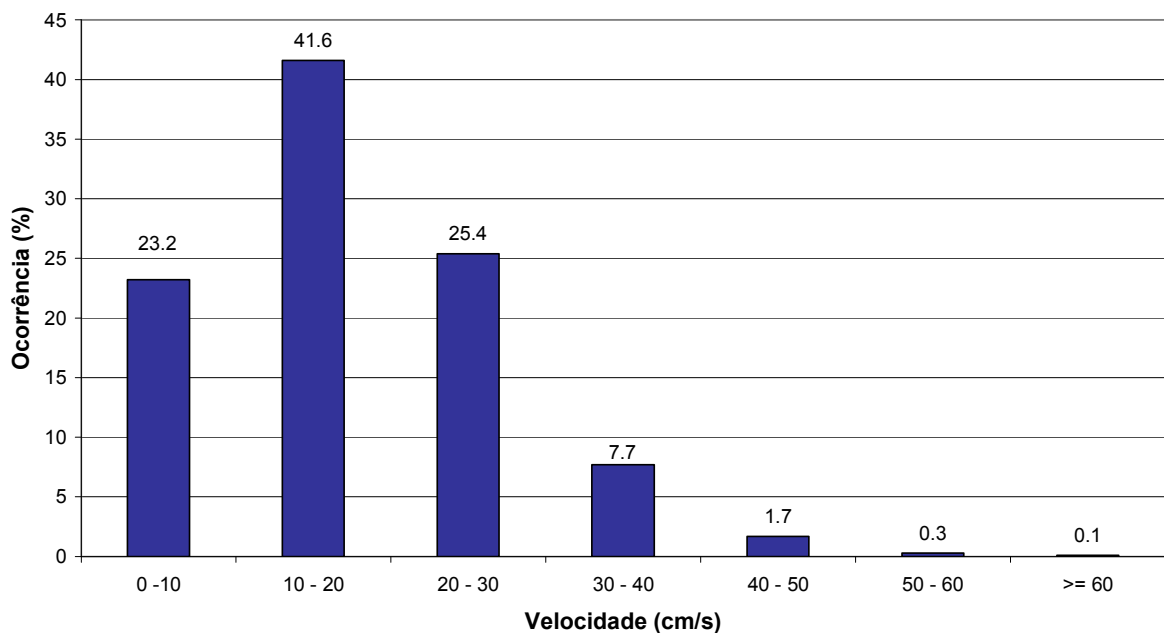


Figura 5.1.5-54 - Distribuição da Magnitude das Correntes – INVERNO - Estação #506

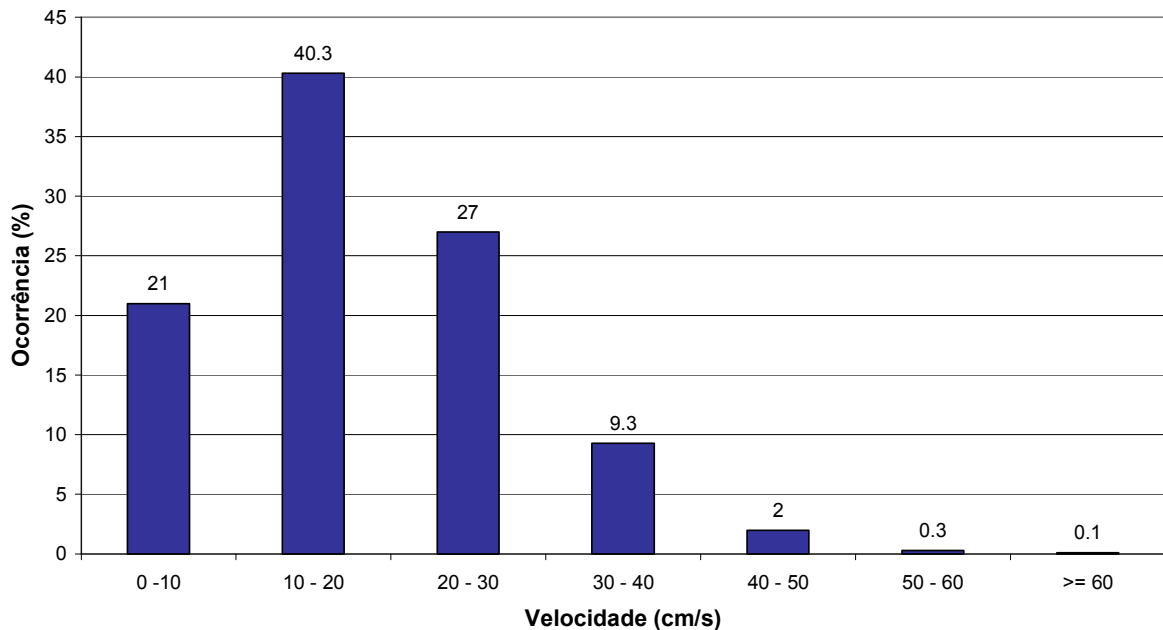


Figura 5.1.5-55 - Distribuição da Magnitude das Correntes – ANUAL - Estação #506

Da análise dos dados expostos pode-se notar uma estreita correlação entre a distribuição das velocidades das correntes e a do vento, com fluxos de SE bem estabelecidos na primavera e no verão e aumento da incidência de fluxos de N-NE no período de outono e inverno.

A componente da velocidade longitudinal à costa (v) apresentou magnitudes médias de 0,21 m/s na estação #106 e 0,14 m/s na estação #506. Estes valores foram superiores à magnitude média da componente da velocidade transversal à linha de costa (u), iguais 0,08 m/s e 0,09 m/s nas mesmas estações.

As correntes sub-inerciais alternam sua direção acompanhando as variações na direção dos ventos e flutuações do nível médio, em eventos bem definidos e identificáveis pela direção da componente de corrente paralela à costa. A correlação entre a componente da corrente sub-inercial paralela e transversal à costa, e a componente do vento paralelo à costa fornece um coeficiente máximo de respectivamente 0,91 e 0,67 (Figura 5.1.5-56). Percebe-se que a correlação com ambas as componentes é ligeiramente superior com cerca de 1 hora de defasagem entre as séries. A existência de uma correlação positiva, relativamente elevada, mostra como é grande a importância da circulação eólica no estabelecimento de fluxos costeiros na área de estudo.

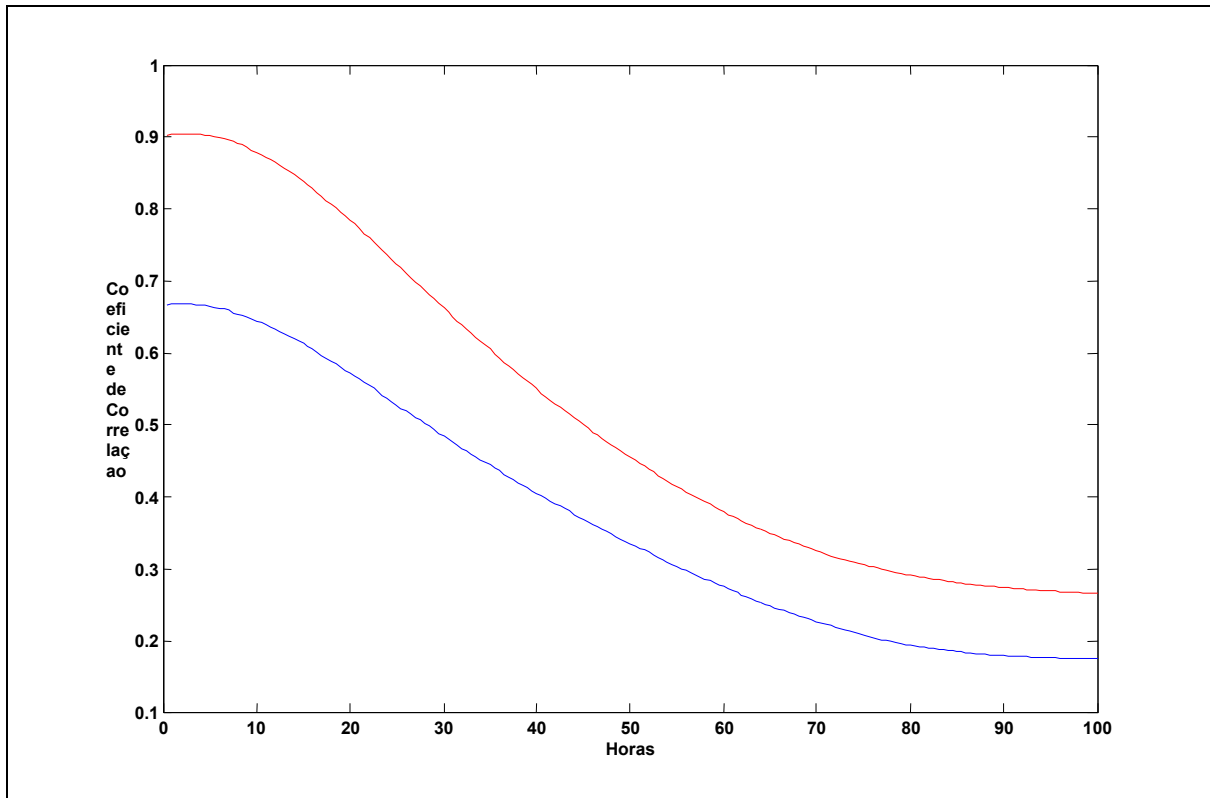


Figura 5.1.5-56 - Variação do coeficiente de correlação entre as componentes sub-inerciais paralela (vermelho) e transversal (azul) e o vento paralelo à costa

As médias mensais das componentes da corrente foram calculadas para os anos de 2002 a 2006 (Figura 5.1.5-57 e Figura 5.1.5-58). Observa-se que as velocidades máximas no sentido N-S (negativas) da componente paralela à costa ocorrem no período de primavera e verão, forçadas pelos ventos de N-NE. Já as maiores velocidades positivas ocorrem nos meses de outono e inverno associadas aos ventos de S-SE. De forma contrária, velocidades no sentido W-E (positivas) da componente perpendicular à costa ocorrem no período de outono enquanto velocidades negativas são registradas no verão.

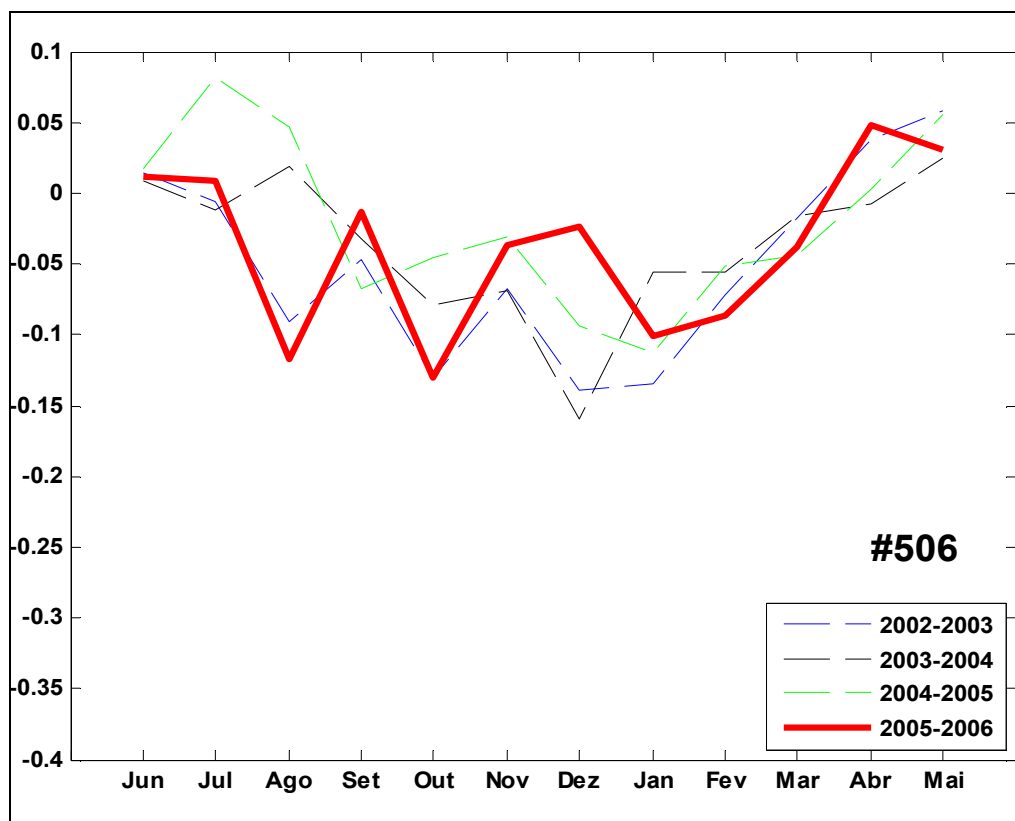
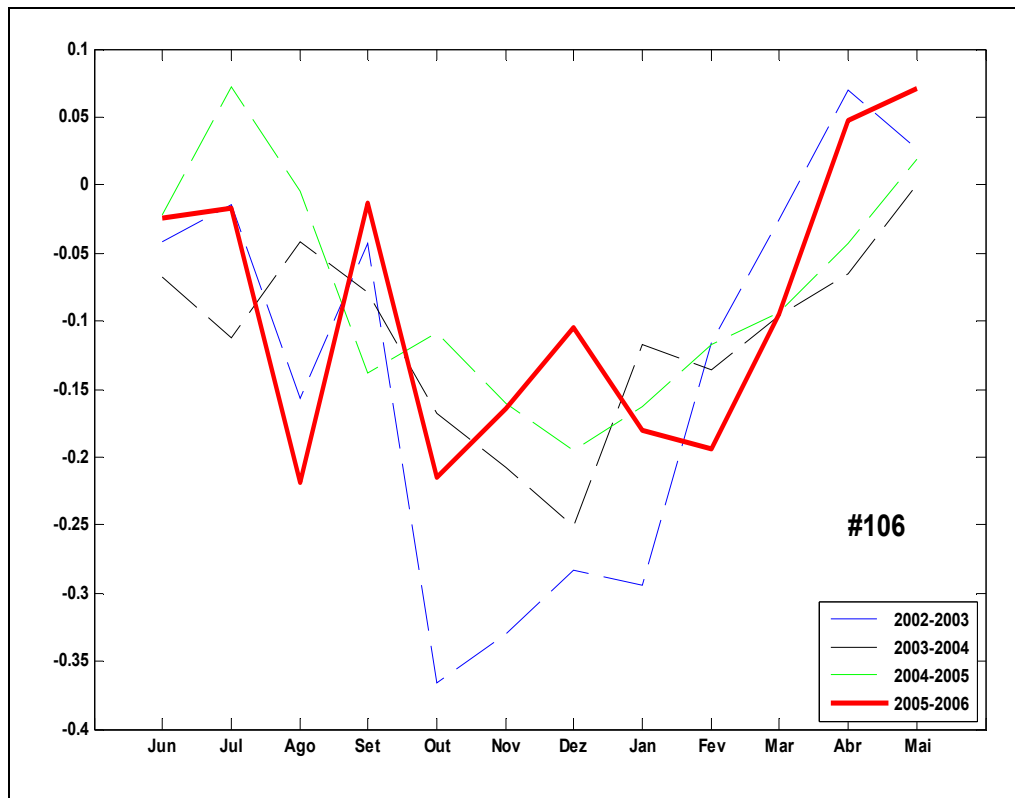


Figura 5.1.5-57 - Médias mensais da intensidade da corrente longitudinal à costa nas estações #106 (acima) e #506 (abaixo)

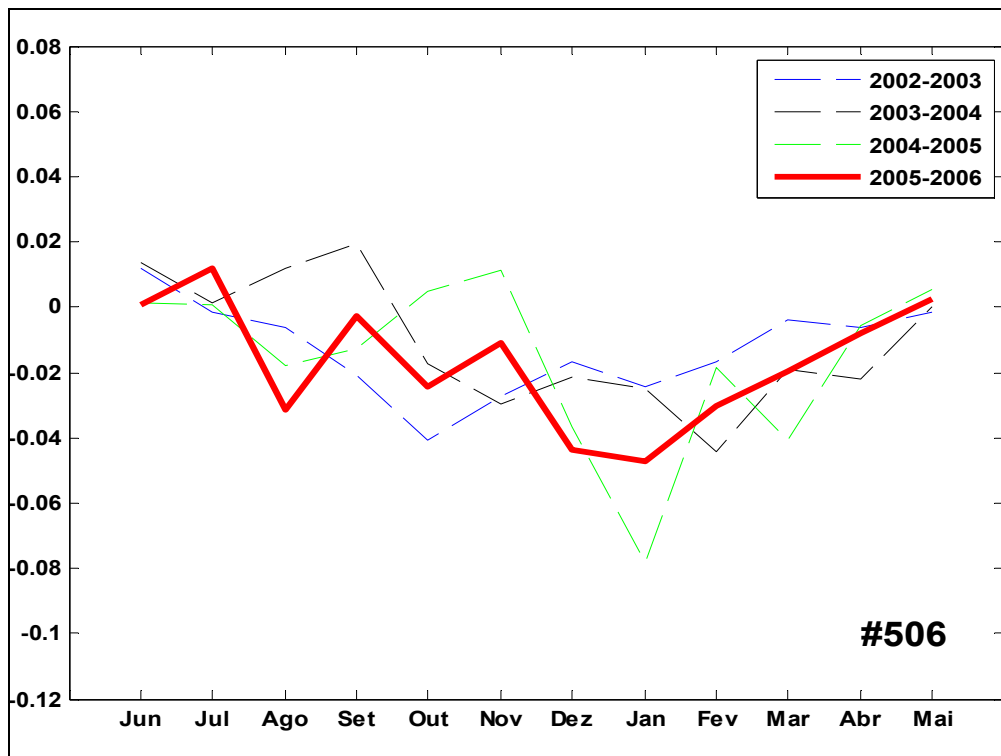
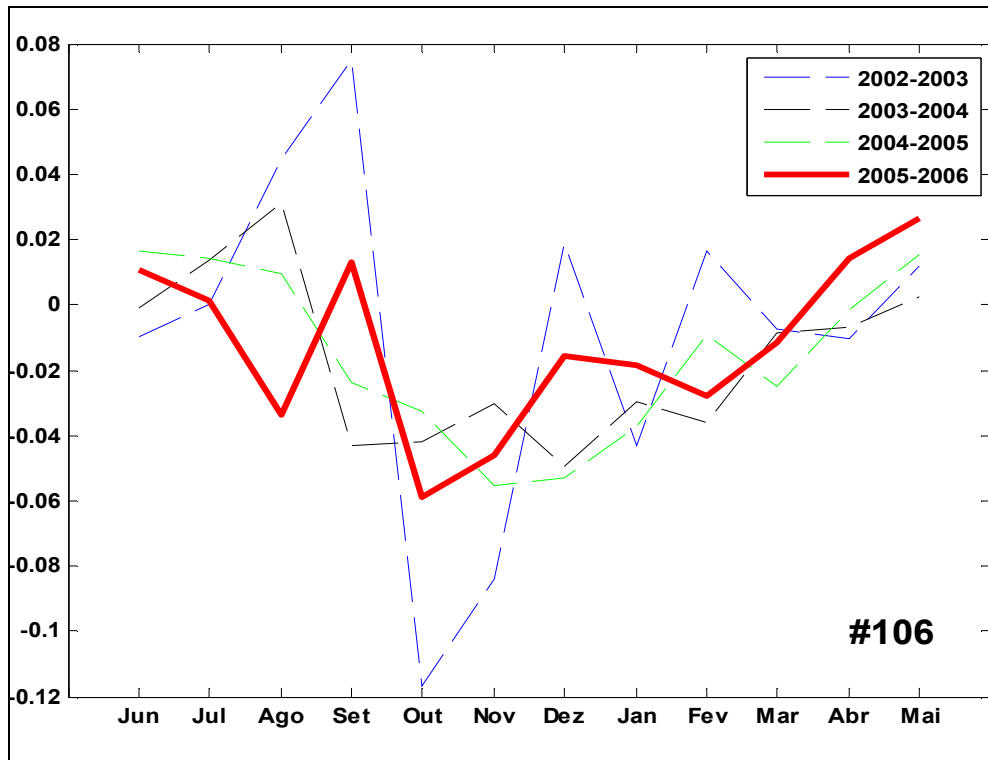


Figura 5.1.5-58 - Médias mensais da intensidade da corrente perpendicular à costa nas estações #106 (acima) e #506 (abaixo)

A Figura 5.1.5-59 apresenta as médias mensais da intensidade da corrente paralela à costa nas estações #106 e #506. Nota-se um pequeno aumento da velocidade média da componente do fluxo longitudinal que esteve ligada ao aumento da frequência dos ventos do quadrante sul dos últimos anos.

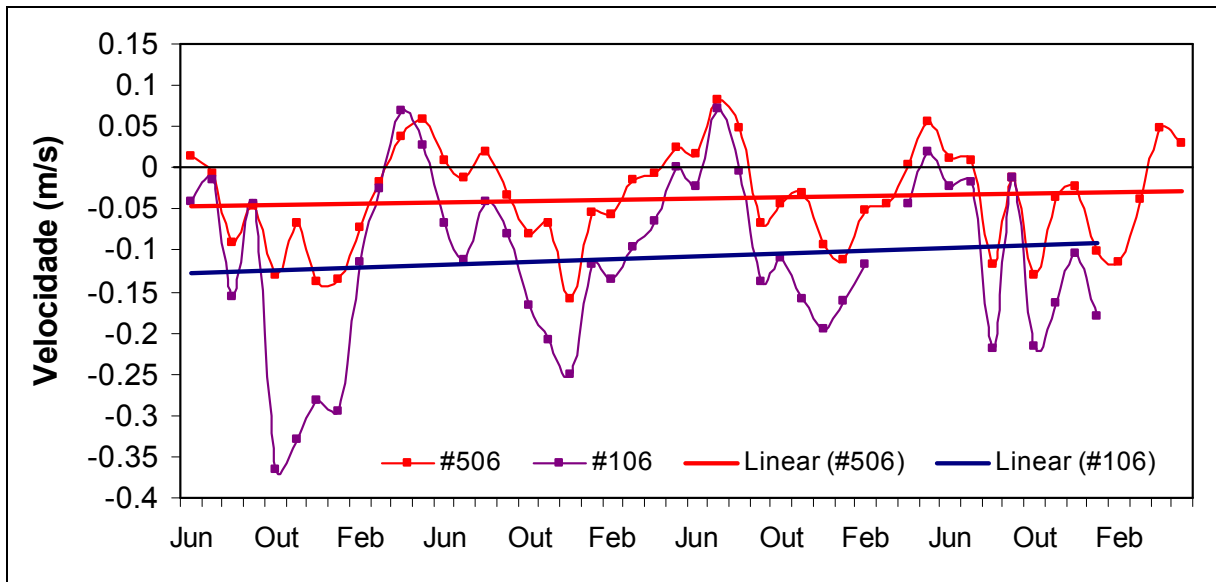


Figura 5.1.5-59 - Médias mensais da intensidade da corrente paralela à costa nas estações #506 e #106 entre maio de 2002 e maio de 2006

5.1.5.5.1.4 Correntes de Maré no Estuário - Correntometria

A primeira campanha de monitoramento da velocidade e direção do fluxo foi realizada em dois locais do estuário, próximo ao cais de Caravelas e na área externa do Canal do Tomba (Figura 5.1.5-60), entre os dias 14/05/2000 e 13/06/2000. Foram utilizados correntógrafos mecânicos, instalados a 60% da profundidade máxima local, ou a 2 m acima do fundo em ambas as estações, programados para registrar as informações em intervalos de 15 minutos (cais de Caravelas) e 5 minutos (Canal do Tomba). Ambos os instrumentos possuem uma precisão de ± 1 cm/s para as medições de velocidade.

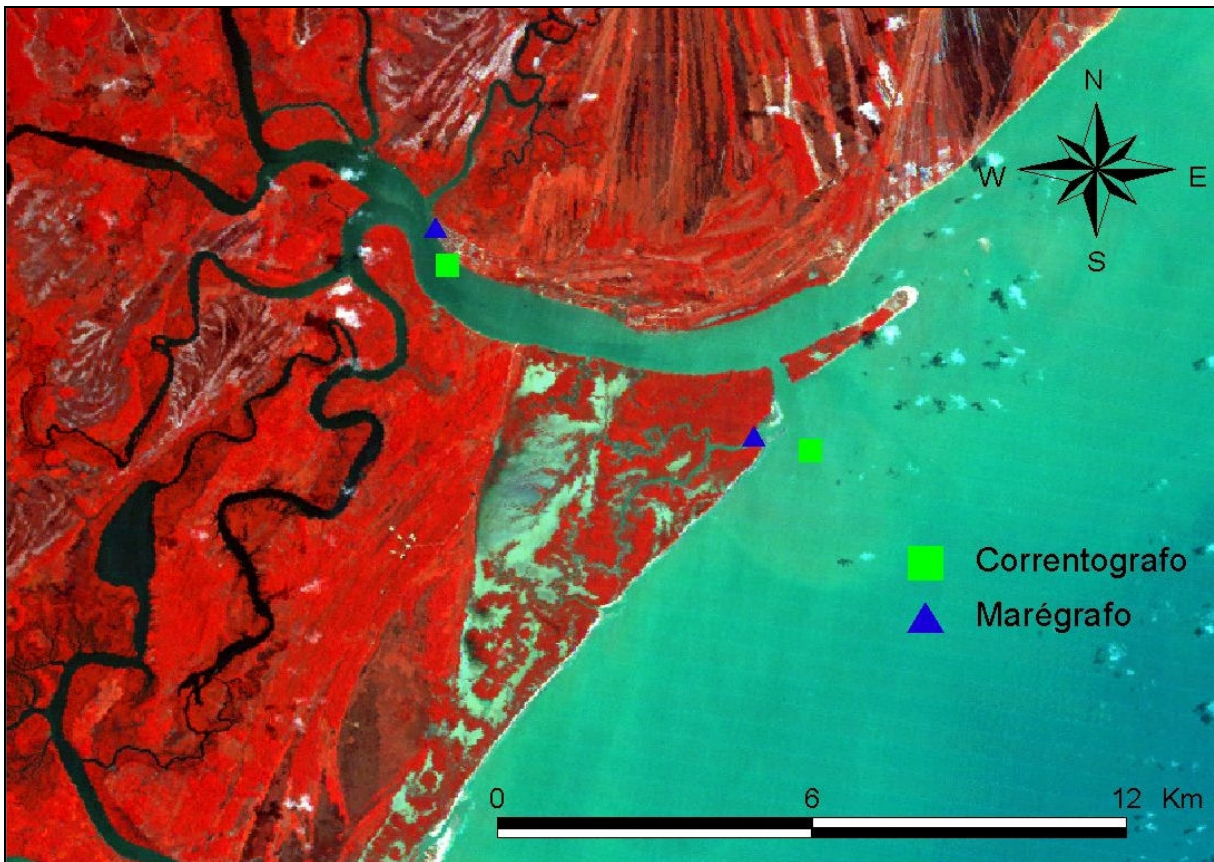


Figura 5.1.5-60 - Imagem de satélite da desembocadura do canal de Caravelas com a localização das estações maregráficas e correntométricas da campanha de maio e junho de 2000

Uma segunda campanha de correntometria foi executada em fevereiro e março de 2001, com a instalação de correntógrafos mecânicos na Barra do Tomba e na plataforma continental interna. O correntógrafo, entretanto, foi roubado ainda dentro d'água, sem que os dados tivessem sido descarregados. Com o objetivo de contornar a ausência de dados para caracterizar este período, uma campanha de correntometria, com um perfilador acústico dopler, cobrindo um ciclo completo de maré foi executada na maré de sizígia de 09/04/2001. Apesar de limitado no tempo, esta campanha permitiu a definição do campo de velocidade nas duas seções transversais críticas do estuário (canal de Caravelas - Barra Antiga e Canal do Tomba). O correntógrafo foi instalado em uma embarcação que, em intervalos de 1 hora, navegou transversalmente ao eixo dos canais, de uma à outra margem. O aparelho foi configurado para operar a uma frequência de 1500 Hz e resolver o fluxo da coluna d'água em camadas de 0,25 m de espessura.

5.1.5.5.1.4.1 Período de Maio- Junho de 2000

Devido às diferentes frequências de aquisição de dados de corrente na Barra do Tomba e na Barra Antiga, estes foram interpolados e decimados para que a análise dos dados fosse realizada com base em medidas simultâneas com intervalos de 10 minutos.

Os valores instantâneos da velocidade média da corrente 2 m acima do fundo estão expostos na Figura 5.1.5-61 e na Figura 5.1.5-62, onde valores negativos se referem às correntes direcionadas para dentro do estuário e valores positivos às correntes direcionadas para fora do estuário. As figuras mostram correntes máximas em marés de sizígia superiores a 1,0 m/s em ambos os locais, o que caracteriza ambientes com hidrodinamismo significativo. Em marés de quadratura as velocidades máximas se situam próximas a 0,50 m/s. Em ambas as fases de maré, mas especialmente durante marés de sizígia, as correntes de maré vazante se apresentam mais velozes que as de maré enchente. A média da distribuição dos valores de velocidade, ou a velocidade residual no ponto de medição, é positiva em ambas as estações, sendo 0,11 m/s na Barra do Tomba e 0,017 m/s em na Barra Antiga. A variação da velocidade resultante ao longo do período considerado é indicada também na Figura 5.1.5-61 e na Figura 5.1.5-62, que mostra os dados filtrados utilizando um polinômio de 6ª ordem.

Na Figura 5.1.5-63 expõe-se a variação da razão da velocidade máxima de vazante sobre velocidade máxima de enchente em cada ciclo durante o período considerado. Observa-se que as razões foram sempre superiores a 1 com exceção do período relacionado à primeira maré de quadratura na estação de Caravelas.

A onda de maré, caracteristicamente estacionária na costa, adquire contornos progressivos ao entrar no estuário. Como pode ser visto na Figura 5.1.5-64, os momentos de maior intensidade e de velocidade nula do fluxo na Barra do Tomba, estão associados aos instantes próximos à meia maré e à preamar e baixa-mar, respectivamente. Já em Caravelas (Barra Antiga), (Figura 5.1.5-65), as maiores velocidades de fluxo ocorrem mais próximas à preamar (velocidades máximas de enchente) e à baixa-mar (velocidades máximas de vazante), enquanto que fluxos nulos são observados em torno da meia maré. Desta forma, os momentos de velocidade máxima do fluxo de enchente e vazante em Caravelas encontram-se defasados em aproximadamente 1 hora e 4 horas, respectivamente, em relação à Barra do Tomba (Figura 5.1.5-66). Estas defasagens são superiores àquelas observadas nas variações do nível d'água.

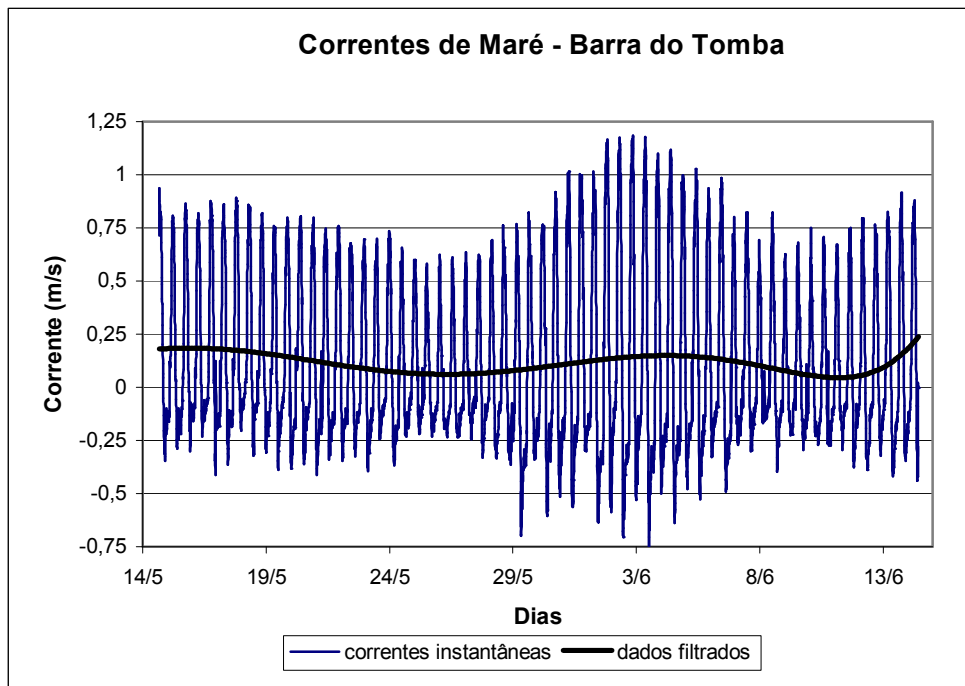


Figura 5.1.5-61- Variação das correntes de maré no canal do Tomba. Valores negativos se relacionam às correntes de enchente e valores positivos às correntes de vazante

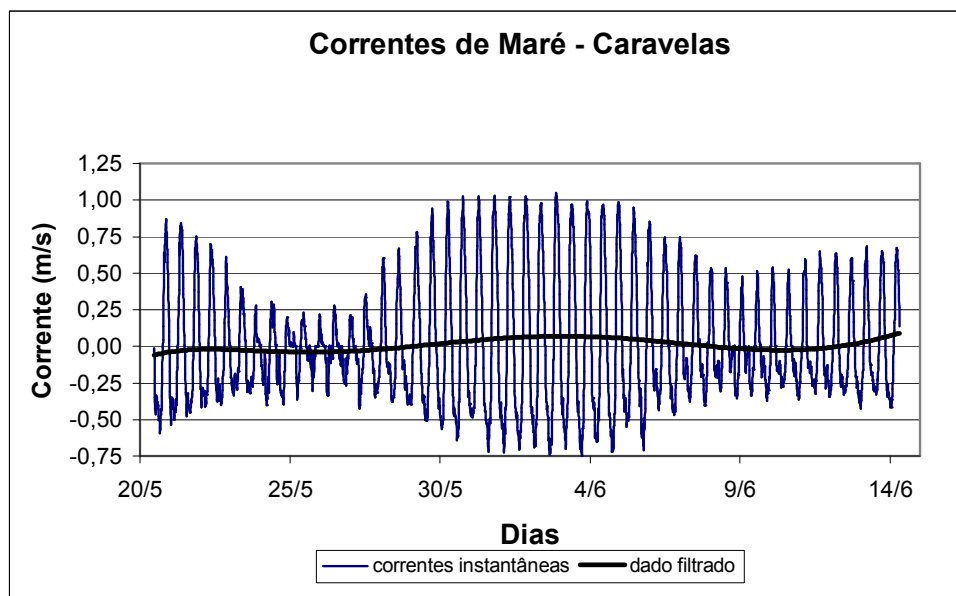


Figura 5.1.5-62 - Variação das correntes de maré no canal de Caravelas (Barra Antiga). Valores negativos se relacionam às correntes de enchente e valores positivos às correntes de vazante

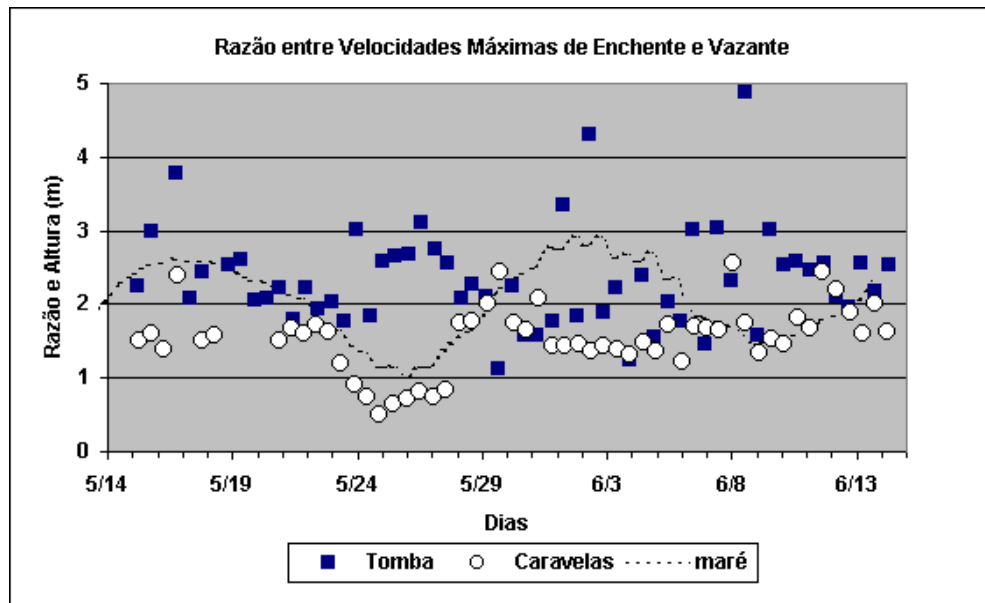


Figura 5.1.5-63 - Razão entre as velocidades máximas de enchente e vazante em cada ciclo de maré. Razões superiores a 1 indicam velocidades de vazante maiores

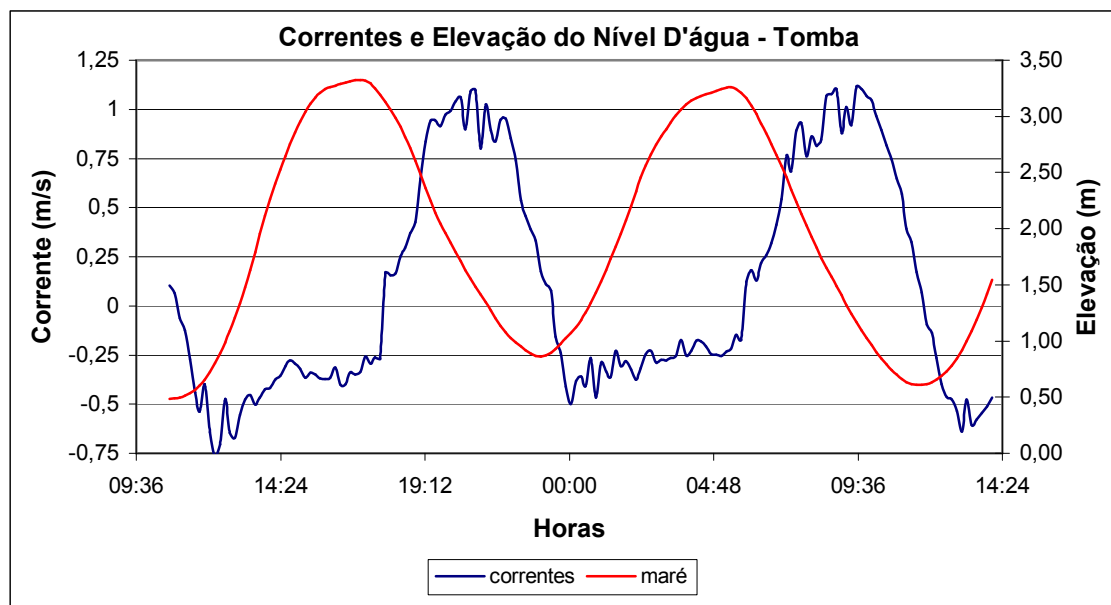


Figura 5.1.5-64 - Variação da maré e da velocidade da corrente durante um ciclo de maré de sizígia na Barra do Tomba

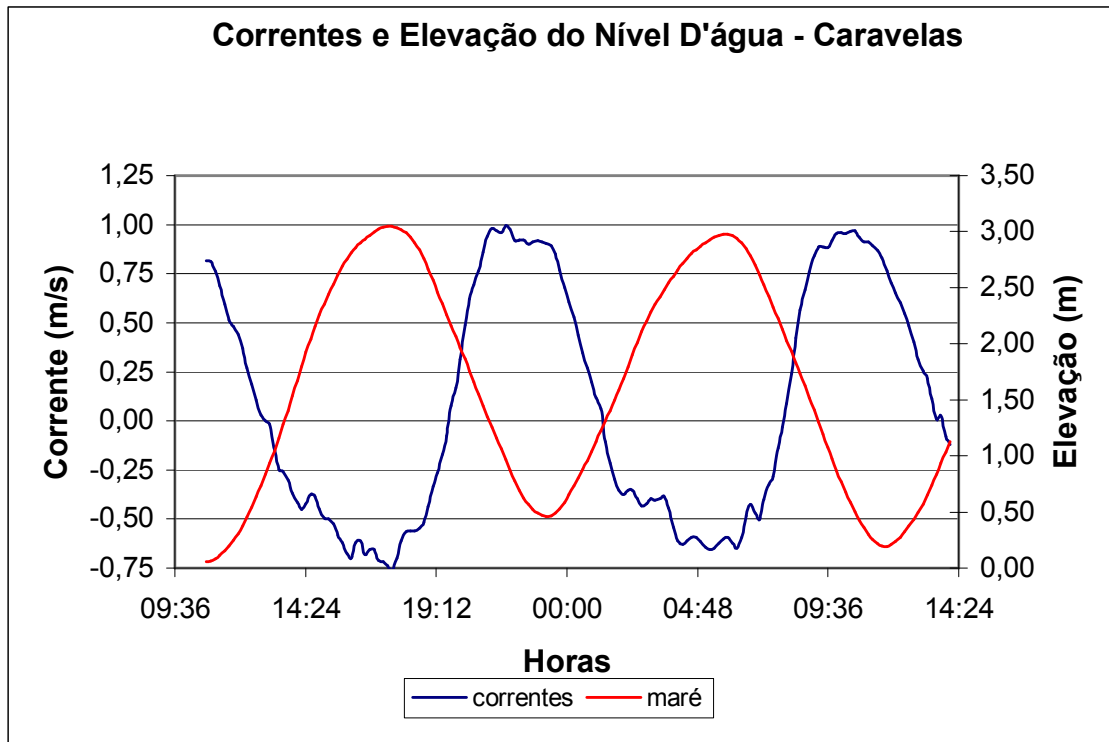


Figura 5.1.5-65 - Variação da maré e da velocidade da corrente durante um ciclo de maré de sizígia em Caravelas (Barra Antiga)

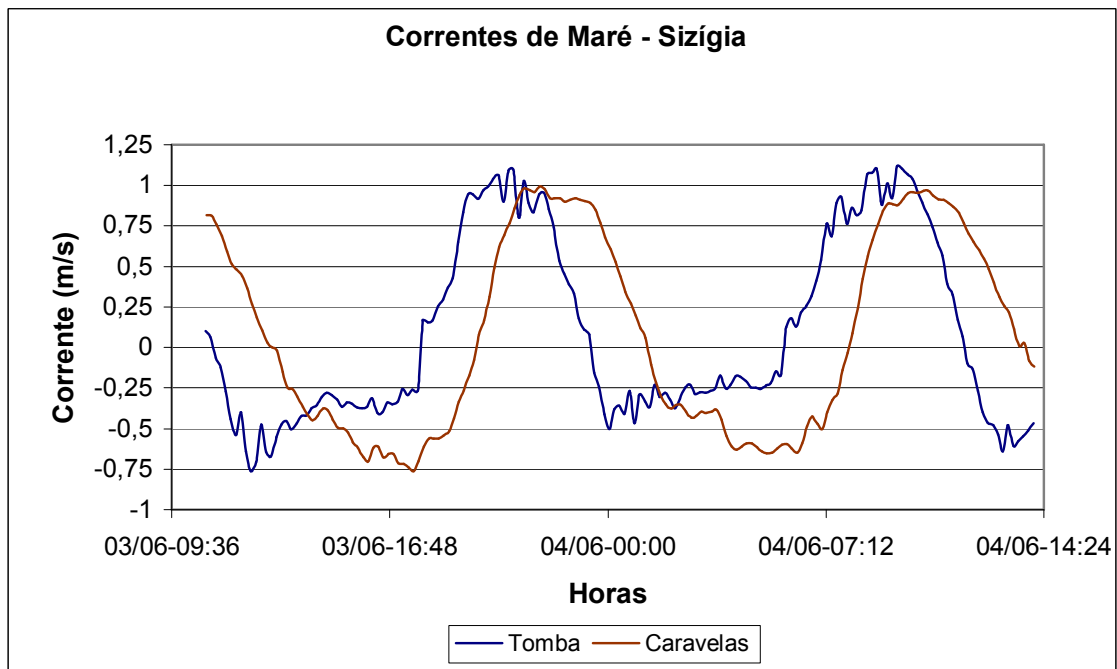


Figura 5.1.5-66 - Variações simultâneas das correntes de maré na Barra do Tomba e em Caravelas durante uma maré de sizígia

5.1.5.5.1.4.2 Período de Abril de 2001

As variações da velocidade médias do fluxo nas seções transversais aos canais da Barra do Tomba e Barra Antiga de Caravelas, medidas em abril de 2001, estão expostas na Figura 5.1.5-67 e Figura 5.1.5-68. Devido à grande largura da seção do Canal de Caravelas - Barra Antiga, esta foi subdividida em duas de forma a se investigar a variabilidade lateral do fluxo.

Velocidades médias máximas foram de aproximadamente 0,8 m/s no Canal de Caravelas - Barra Antiga e 1,4 m/s no canal do Tomba, e da mesma forma que na campanha citada anteriormente, o fluxo mais forte foi o de vazante. Observa-se que os maiores valores de velocidade são coincidentes com instante de meia maré enchente e vazante, e que o padrão geral de variação entre as duas sub-seções do Canal de Caravelas - Barra Antiga são semelhantes (Figura 5.1.5-67). Nota-se, no entanto, que fluxos médios mais velozes tendem a ocorrer na margem esquerda do estuário, ao invés do talvegue.

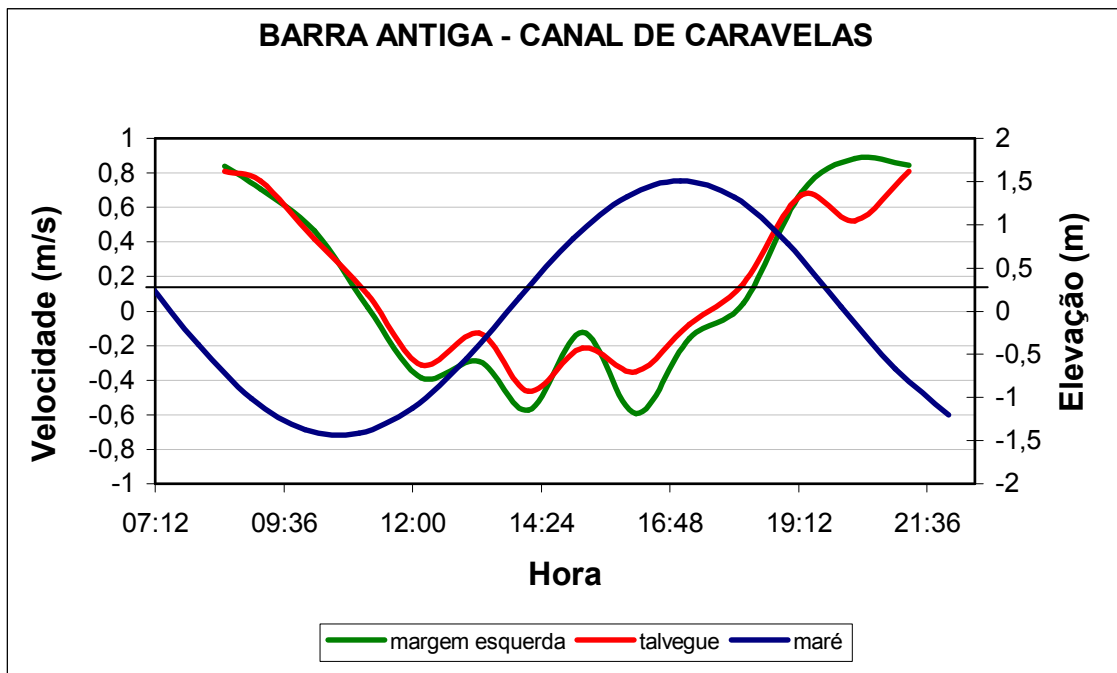


Figura 5.1.5-67 - Variação da maré e da velocidade média do fluxo em duas sub-seções do Canal de Caravelas - Barra Antiga

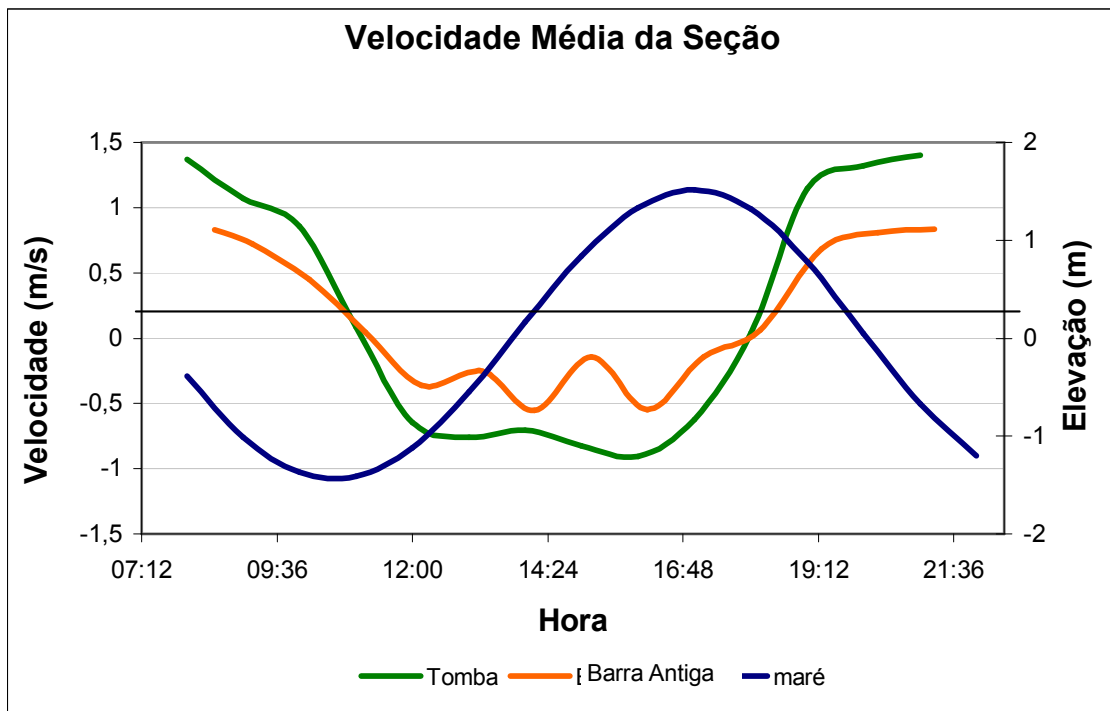


Figura 5.1.5-68 - Variação da maré e da velocidade média nos canais do Tombo e da Barra Antiga. Velocidades positivas correspondem a fluxos de vazante e negativas a fluxos de enchente

A comparação do padrão de variação do fluxo nos dois canais (Figura 5.1.5-68) mostra fluxos mais velozes no canal do Tombo e uma ligeira diferença de fase, com as velocidades máximas de enchente no canal do Tombo tendendo a ocorrer após aquelas no Canal de Caravelas - Barra Antiga, ou seja, mais próximo à preamar. A Figura 5.1.5-68 mostra também que a inversão da direção do fluxo nos dois canais tende a ser simultânea.

Para melhor ilustrar a variabilidade espacial do fluxo nos dois canais, os perfis transversais de velocidade e direção corrente à meia enchente e meia-vazante são mostrados nas Figura 5.1.5-69 e Figura 5.1.5-70. Observa-se que os picos de velocidade alcançam até 3,0 m/s (efeito localizado) no canal do Tombo, mas restringem-se a aproximadamente 1,5 m/s na área central, e não no talvegue, do Canal de Caravelas - Barra Antiga. É perceptível também uma pequena área na margem sul (à esquerda do perfil) do canal do Tombo com fluxo reverso, o que talvez seja explicado pela existência de um vórtice localizado, gerado pela expansão do fluxo após passar pela seção crítica.

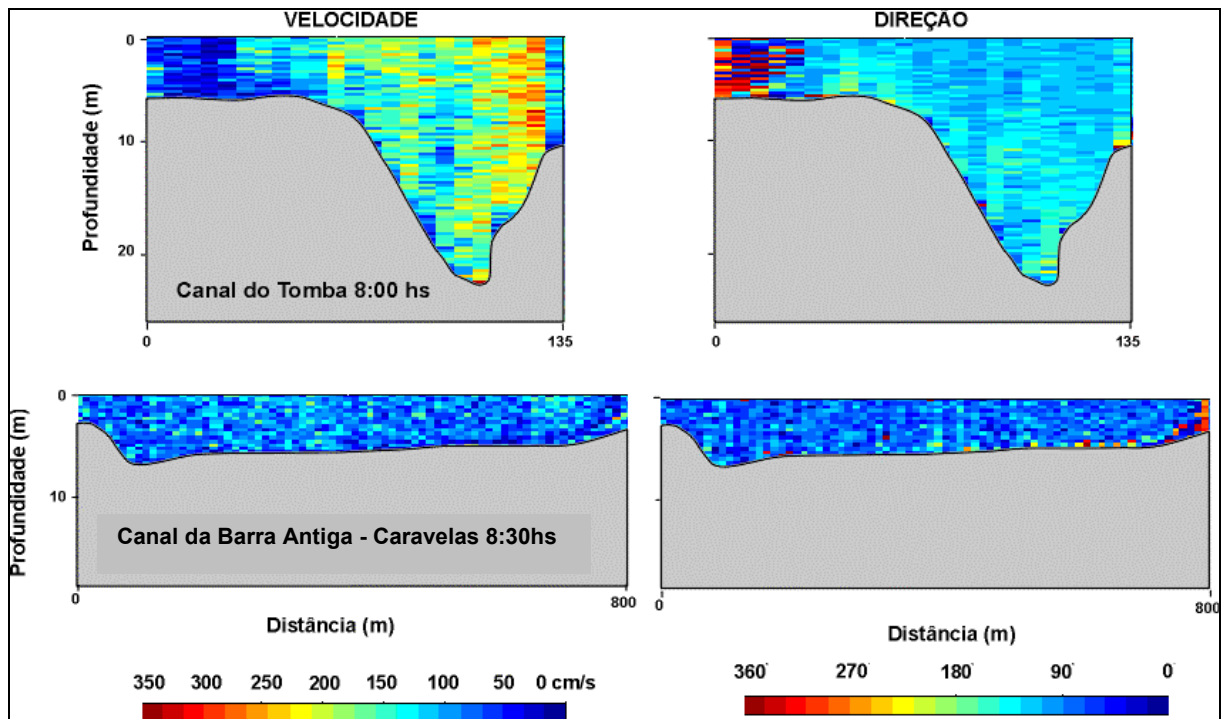


Figura 5.1.5-69 - Padrão espacial de distribuição da velocidade e direção do fluxo nos canais do Tomba e Barra Antiga, no momento de máximo fluxo de vazante

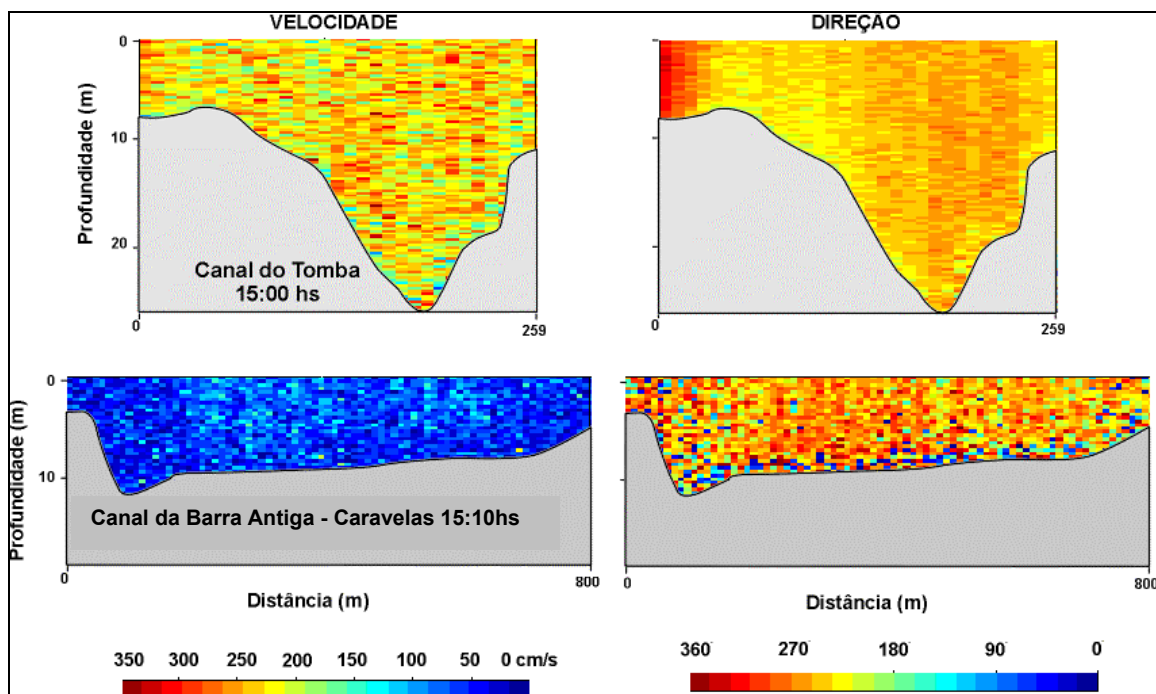


Figura 5.1.5-70 - Padrão espacial de distribuição da velocidade e direção do fluxo nos canais do Tomba e Barra Antiga, no momento de máximo fluxo de enchente

5.1.5.5.1.5 Descargas Líquidas das Desembocaduras

5.1.5.5.1.5.1 Período de maio- junho de 2000

Descargas instantâneas foram calculadas para a seção de posicionamento do correntógrafo na Barra do Tomba através da equação $Q = A\bar{U}$, onde A é a área da seção transversal e \bar{U} é a velocidade média da corrente na seção transversal.

Como a frequência de aquisição dos dados maregráficos era inferior à frequência dos dados correntométricos, os primeiros foram interpolados e decimados de forma a fornecer a altura do nível d'água simultânea à medição da velocidade da corrente. Como a velocidade média fornecida pelo correntógrafo corresponde a um único nível ao longo da coluna d'água, a velocidade média da coluna d'água (\bar{U}) no local de medição foi estimada através da equação (van Rijn, 1994).

$$\bar{U} = \frac{\bar{u}_z \left\{ \left(\frac{z_o}{h} \right) - 1 + \ln \left(\frac{h}{z_o} \right) \right\}}{\ln \left(\frac{Z}{z_o} \right)}$$

onde \bar{U} é a velocidade média na profundidade aferida, Z_0 é o valor da rugosidade do fundo, estimado em 2 mm, h é a espessura total da coluna d'água no momento da medição (função da maré), e Z é a altura do aparelho em relação ao fundo. O cálculo da velocidade média na seção transversal (\bar{U}), foi então estimado como sendo 85% da velocidade média da coluna d'água sobre o talvegue (Knight, 1981). A área da seção transversal relacionada ao nível d'água mais baixo aferido durante as medições foi de 3.237 m². Este valor foi recalculado para cada instante de medição (a cada 10 minutos) para incluir o efeito da variação da maré na área da seção.

A variação da descarga líquida durante o período de monitoramento pode ser observada na Figura 5.1.5-71. Nota-se que as maiores descargas em sizígia são de 4x10³ m³/s (vazante) e -2,3x10³ m³/s (enchente). Esta discrepância de valores instantâneos de vazão na enchente e vazante reflete a assimetria dos valores de corrente de maré já comentada. Integrando-se os valores de vazão no tempo obtém-se a descarga total, cuja variação pode ser observada na Figura 5.1.5-72. Os maiores valores calculados para o prisma em marés de sizígia são de 53,9x10⁶ m³ (vazante) e -32,0x10⁶ m³ (enchente), enquanto que os valores médios são de 33,4x10⁶ m³ e -15,1x10⁶ m³. Estes valores estão de acordo com aqueles esperados para explicar a existência de um delta de maré vazante com volume de 12,5x10⁶ m³, de acordo

com equações empíricas que relacionam o volume do delta ao prisma de maré (Hicks e Hume, 1996).

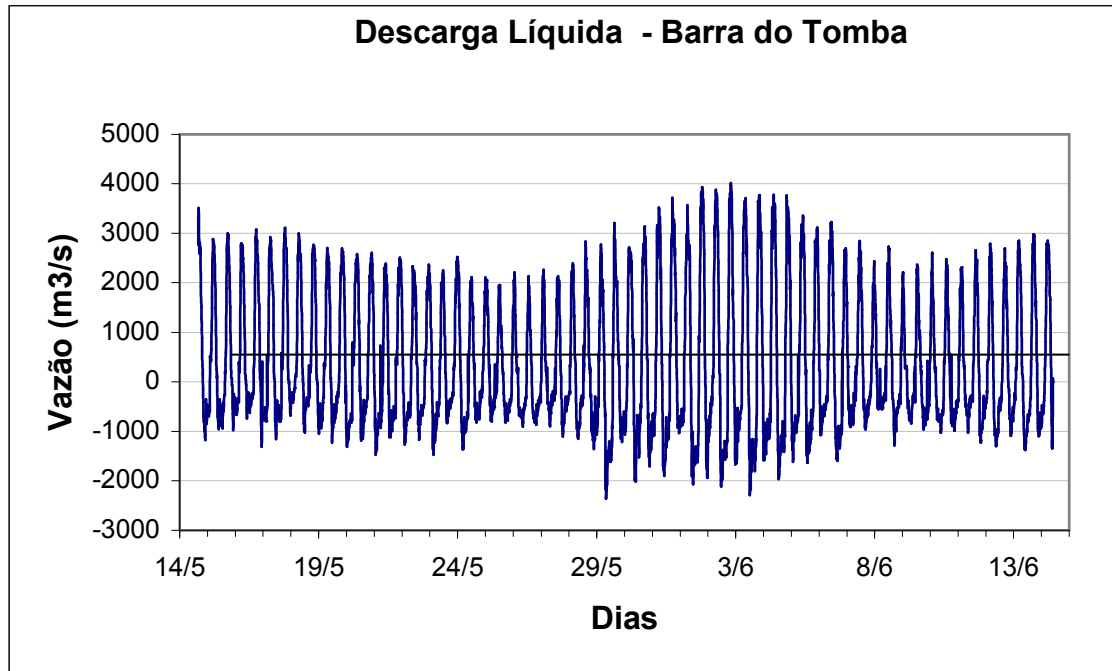


Figura 5.1.5-71 - Variação da descarga líquida na Barra do Tomba.

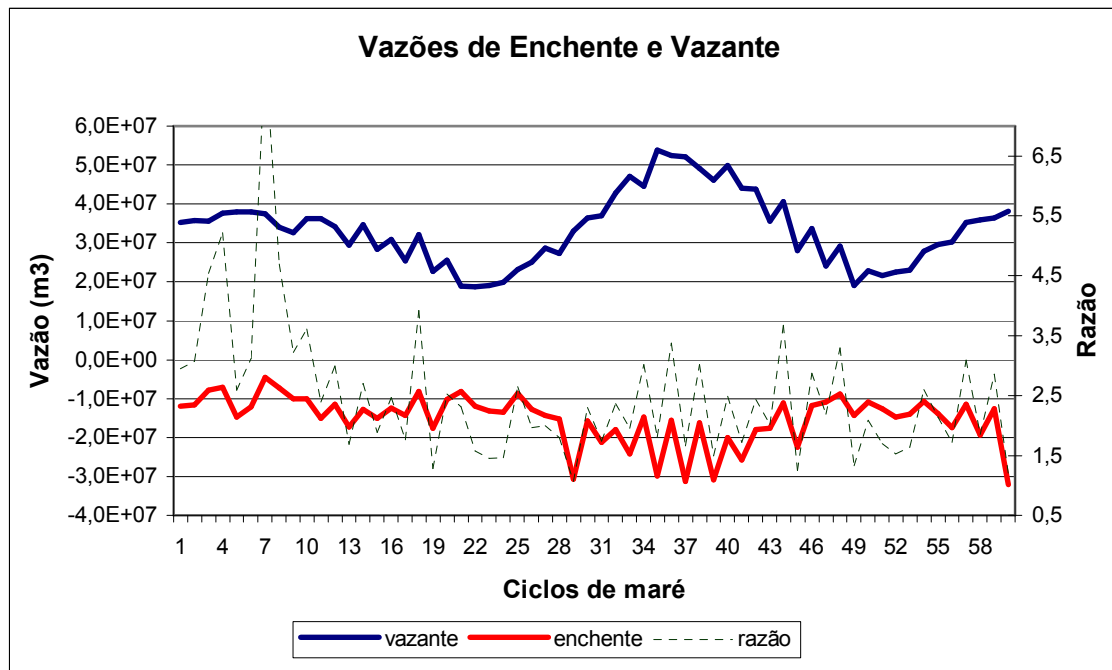


Figura 5.1.5-72 - Variação da vazão total de enchente e vazante na Barra do Tomba, por ciclo de maré.

5.1.5.5.1.5.2 Período de Abril de 2001

As perfilagens correntométricas realizadas nos dois canais dentro do mesmo ciclo de maré, em abril de 2001, permitiu calcular sua vazão relativa e a vazão total do estuário, ou prisma de maré. O cálculo do prisma de maré foi realizado pelo programa computacional do próprio correntógrafo, através da multiplicação da área de cada célula medida pela velocidade do fluxo respectivo.

A vazão nos dois canais foi proporcional e seguiu o mesmo padrão de variação (Figura 5.1.5-73), com vazões máximas de aproximadamente $4.000\text{m}^3/\text{s}$, ocorrendo próximo à preamar em função:

- Da maior área da seção transversal nos dois canais e;
- Ao pico de velocidade da corrente no canal do Tomba próximo à preamar. A magnitude das vazões computadas para este ciclo de maré é proporcional às vazões de sizígia calculadas para o período de maio-junho de 2000 (Figura 5.1.5-71).

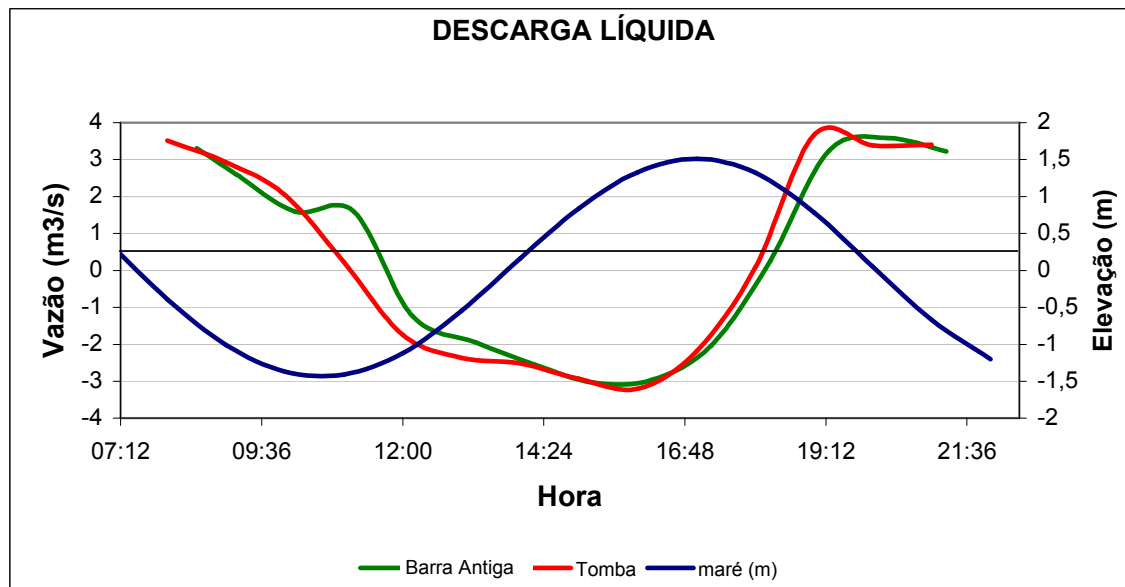


Figura 5.1.5-73 - Variação maré e vazão (em milhares de m³/s) no canal do Tomba e da Barra Antiga no dia 09 de abril de 2001.

As vazões totais computadas para o canal do Tomba e da Barra Antiga de Caravelas são de, respectivamente, $56,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $78,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ na vazante, e $-59,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $-49,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ na enchente. Desta forma o prisma de maré de sizígia para o estuário é de aproximadamente $121,4 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Observa-se que a vazão residual é negativa para o canal do Tomba ($-2,73 \times 10^5 \text{ m}^3$) e positiva para o Canal de Caravelas - Barra Antiga ($2,85 \times 10^6 \text{ m}^3$). Este residual somado fornece uma vazão média da ordem de $570 \text{ m}^3/\text{s}$ saindo do estuário durante o ciclo de maré, duas vezes maior que a vazão dos cinco maiores rios da região, que é de aproximadamente $273 \text{ m}^3/\text{s}$ (Leipe, *et al.* 1999). Esta vazão excedente pode ser creditada a dois fatores: i) oscilações de baixa frequência, associadas por exemplo a ondas de plataforma, que podem gerar condições de represamento de água temporário dentro do estuário, e ii) uma circulação residual de água entre os dois extremos da Ilha do Cassurubá, com entrada pelo lado sul (no canal de Nova Viçosa) e saída por Caravelas.

Um dado importante a considerar é a estabilidade da área da seção transversal crítica, que é o resultado do balanço entre erosão e deposição sedimentar. Erosão (deposição) ocorre de forma a aumentar (diminuir) a área da seção até que esta se adéque a um fluxo com velocidade que não favoreça nem erosão ou deposição, ou seja, um fluxo com velocidade de equilíbrio. A área da seção de equilíbrio é comumente calculada através de fórmulas empíricas utilizando o prisma de maré de sizígia como única variável. As fórmulas utilizadas são as de O'Brien (1969) - $A_{eq} = 6,6 \times 10^{-5} P$ - e a de Jarret (1976) - $A_{eq} = 3,78 \times 10^{-5} P^{1,03}$.

As áreas medidas das seções do canal do Tomba e da Barra Antiga, bem como aquelas calculadas pelas equações acima, são mostradas na Tabela 5.1.5-7. Observa-se que a área do canal do Tomba encontra-se bem próximo à área de equilíbrio estimada, talvez com pequena tendência à ampliação. A área do canal de Caravelas - Barra Antiga, por outro lado, parece estar superdimensionada, e um processo de assoreamento deve então estar ocorrendo.

Tabela 5.1.5-7 - Áreas de equilíbrio das seções transversais em m², dos canais do Tomba e da Barra Antiga.

	O'Brien	Jarret	Existente
Tomba	3.459	3.724	3.345
Barra Antiga	3.822	4.128	5.328

5.1.5.5.2 Conclusão

A magnitude das correntes na região do Canal de Sueste, próxima ao Canal do Tomba, é baixa, com média de 25 e 18 cm/s nas estações #106 e #506, respectivamente. O fluxo de correntes entre o litoral e o arco interno é claramente bimodal seguindo um eixo NE-SW, sendo que na maior parte tempo mantém-se o rumo SW, com fluxo concordante no fundo e em superfície. O rumo SW é o mais freqüente durante o verão, época condicionada à realização da dragagem.

As velocidades de correntes no canal Sueste são baixas, porém persistentes, de forma que se combinadas com ondas que possam ressuspender o fino sedimento do fundo presente na plataforma, podem ser responsáveis por grandes volumes de transporte de sedimentos em suspensão.

A influência das correntes de maré é pouco significativa nas regiões mais profundas do Canal Sueste. O monitoramento em duas profundidades do canal (6 e 12,0 metros) indicou influência significativa da maré apenas na estação mais rasa. A influência das correntes de maré também é pouco significativa nas estações #106 e #506, fundeadas em profundidades de 10 m (DHN). Somente em situações de ventos de menor intensidade é que ocorre um aumento da importância da maré no estabelecimento do fluxo, que acaba por imprimir sua elipse na distribuição dos vetores de velocidade, modulando a variação de nível.

De fato, o monitoramento contínuo das estações #106 e #506 permitiu comprovar a estreita correlação do vento com as intensidades e rumos das correntes existentes no Canal de Sueste.

No interior do estuário, foram medidas correntes máximas em marés de sizígia superiores a 1,0 m/s, e na boca do Tomba de até 1,4 m/s de velocidade média máxima (em pontos localizados de até 3,0 m/s), o que caracteriza ambientes com hidrodinamismo significativo. Em ambas as fases de maré, mas especialmente durante marés de sizígia, as correntes de maré vazante se apresentam mais velozes que as de maré enchente. Esta situação decorre da inundação de uma grande área de manguezais próximo à preamar. Esta característica também deve ser preservada ao longo de todo o estuário dada a ampla distribuição de manguezais em toda a área. A existência de um regime preferencial de vazante impede que resíduos lançados em uma determinada área venham a causar impactos em regiões à montante desta, pois o material tende a ser carregado para fora do estuário. Esta particularidade do estuário se torna ainda mais relevante se considerarmos o fato de que a dragagem e despejo dos resíduos ocorrerá fora na zona costeira, fora dos limites do estuário.

Observa-se que os maiores valores de velocidade no Canal do Tomba são coincidentes com instante de meia maré enchente e vazante. Embora sejam encontradas velocidades altas de correntes no interior do estuário e nas desembocaduras, as mesmas são significativas somente a curtas distâncias da desembocadura para ao largo.

O prisma de maré para o estuário é superior a $60 \times 10^6 \text{ m}^3$, o que fornece uma vazão média de água marinha da ordem de $2.700 \text{ m}^3/\text{s}$. Este valor é pelo menos duas ordens de grandeza maior que o fluxo de água doce que verte para o estuário, dada a pequena área da bacia de drenagem do mesmo. Sendo assim o padrão de circulação no estuário tende a ser constantemente bem misturado, o que foi comprovado pelo monitoramento físico-químico já apresentado (item 5.1.4).

Os cálculos de estabilidade da área da seção transversal crítica, através do volume de prisma estimado, concluem que a área do canal do Tomba encontra-se bem próximo à área de equilíbrio estimada, com pequena tendência à ampliação. Por outro lado, a área do canal de Caravelas - Barra Antiga apresenta-se superdimensionada, sendo esperado para esta desembocadura um gradual processo de assoreamento.

5.1.5.6 Ondas

5.1.5.6.1 Ondas na Plataforma Continental Interna

A estatística da distribuição das ondas em mar aberto, ou além da zona de influência do Parcel dos Abrolhos, em intervalos direcionais de 22,5° (DHI, 2000a), indica rumos prevaletentes de onda de E-NE para vagas e de SE-S para ondulações (swell), com alturas mais freqüentes entre 0,1 e 1,0 m para as ondas de E-NE e entre 1,0 e 2,0 m para as ondas de SE-S (Figura 5.1.5-74).

A análise dos dados de estatística de ondas do U.S.Navy (1978) mostra, assim como os resultados da Figura 5.1.5-75, que na parte central do litoral brasileiro, entre as latitudes de 13° e 20° S, coexistem dois sistemas de ondas. Conforme apresentado no item 5.1.2, a região de estudo está localizada na parte sul da área dos ventos alísios. Este sistema de ventos tem duas direções principais: nordeste e leste durante a primavera e o verão (outubro a março) e sudeste durante o outono e o inverno (abril a setembro). Isso ocorre devido a migração, para norte, da célula anticiclone do Atlântico Sul no verão, e para sul no inverno.

- ondas de rumo N-NE, com altura média de 1,0 m e períodos inferiores a 5 s, e;
- ondas de rumo E-SE, com alturas médias entre 1,5 m e 2,0 m e períodos entre 6 s a 7 s, sendo que no inverno a penetração de frentes frias polares é responsável pelo aumento das ondas de rumo S-SE.

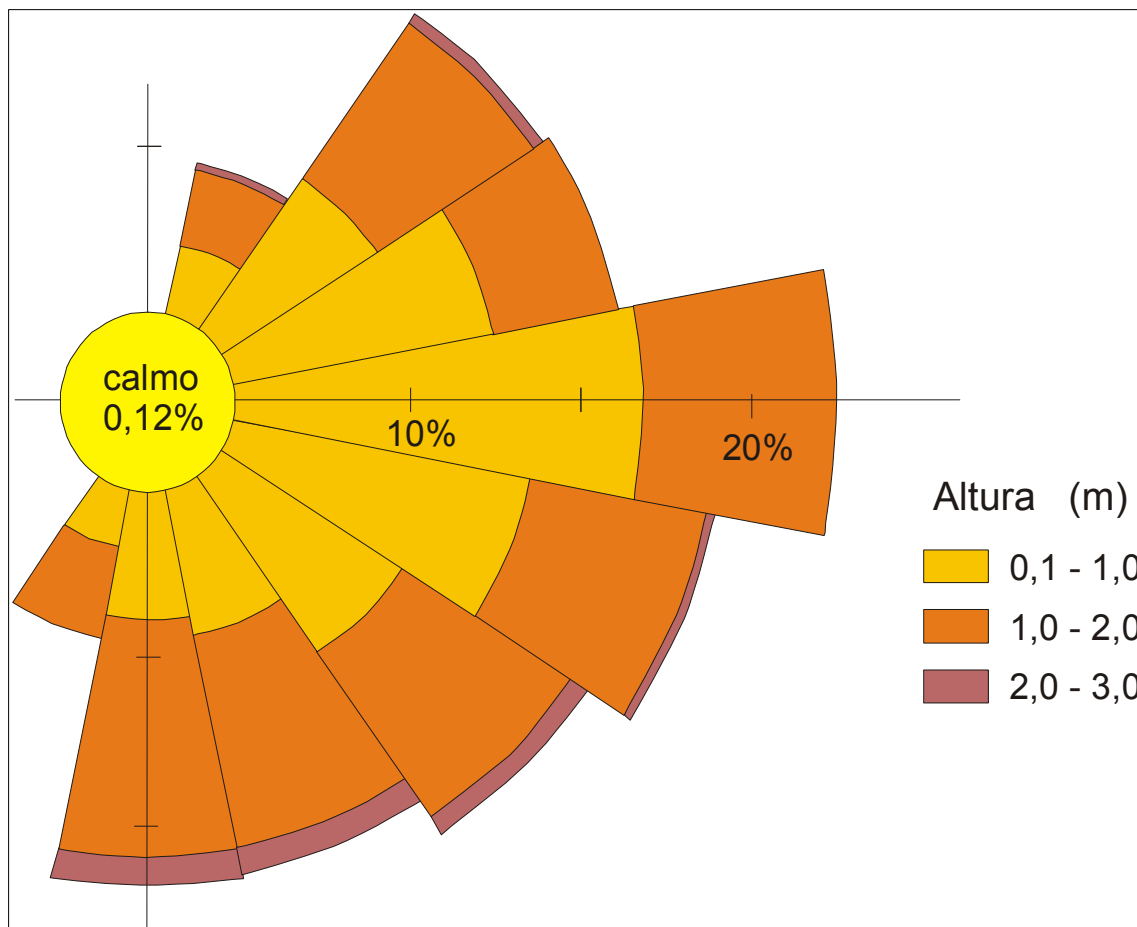


Figura 5.1.5-74 - Distribuição da direção e altura de ondas (ondas de vento e marulhos) para a região exterior ao Parcel de Abrolhos, 16,2° S e 38,1° W, de acordo com DHI (2000a)

A distribuição de frequência da direção dos ventos entre 1957 e 1997 (medições a cada 3 horas) no arquipélago de Abrolhos (aproximadamente 70 km costa afora), obtida no Banco Nacional de Dados Oceanográficos da Marinha do Brasil, apresenta uma significativa participação dos rumos do octante SE ao largo.(Tabela 5.1.5-8), o que corrobora com as informações do U.S.Navy (1978) e com as características conhecidas dos ventos alísios nesta região. Ondas geradas no Sul do Atlântico também podem atingir a região, entretanto não alcançam facilmente a costa do Estado da Bahia, devido a orientação N-S do litoral acima do Cabo de São Tomé e a presença de uma plataforma rasa e de largura muito extensa (Banco de Abrolhos).

Tabela 5.1.5-8 - Distribuição de ocorrência dos ventos em Abrolhos. (Fonte BNDO)

	CALM		N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		TOT
	Freq	%	Freq	%	Freq	%	Freq	%	Freq	%	Freq	%	Freq	%	Freq	%	Freq	Per	
jan	90	2,09	674	15,67	2025	47,09	976	22,7	320	7,44	144	3,35	21	0,49	16	0,37	34	0,79	4300
fev	106	2,47	408	9,49	1491	34,67	1157	26,91	435	10,12	194	4,51	31	0,72	14	0,33	20	0,47	3856
mar	182	4,23	554	12,88	1261	29,33	1164	27,07	548	12,74	496	11,53	66	1,53	38	0,88	33	0,77	4342
abr	127	2,95	335	7,79	797	18,53	888	20,65	769	17,88	1143	26,58	90	2,09	32	0,74	29	0,67	4210
maio	114	2,65	450	10,47	565	13,14	940	21,86	988	22,98	1171	27,23	72	1,67	21	0,49	40	0,93	4361
jun	125	2,91	373	8,67	700	16,28	1145	26,63	823	19,14	944	21,95	75	1,74	25	0,58	35	0,81	4245
jul	90	2,09	340	7,91	811	18,86	1215	28,26	919	21,37	834	19,4	47	1,09	27	0,63	19	0,44	4302
ago	50	1,16	371	8,63	1083	25,19	1257	29,23	697	16,21	644	14,98	28	0,65	15	0,35	19	0,44	4164
set	49	1,14	320	7,44	1390	32,33	1096	25,49	617	14,35	501	11,65	9	0,21	11	0,26	12	0,28	4005
out	35	0,81	620	14,42	1530	35,58	860	20	491	11,42	521	12,12	31	0,72	11	0,26	22	0,51	4121
nov	50	1,16	710	16,51	1599	37,19	648	15,07	359	8,35	501	11,65	43	1	23	0,53	25	0,58	3958
dez	83	1,93	870	20,23	1869	43,47	701	16,3	227	5,28	351	8,16	34	0,79	28	0,65	32	0,74	4195

5.1.5.6.2 Ondas no Canal Sueste

Os dados de ondas apresentados para as estações #106 e #506, localizadas no Canal Sueste (veja item 5.1.5.2) correspondem a aproximadamente 5 anos de medições, realizadas ininterruptamente entre 2002 e 2007.

As rosas de ondas (Hs – Onda Significativa e Ts – Período Significativo), foram criadas para o conjunto de dados ondulatório agrupado em estações do ano e para um ano climático completo. As rosas referentes à estação oceanográfica #106 encontram-se entre a Figura 5.1.5-74 e a Figura 5.1.5-84. Foi considerando o rumo da onda (de acordo com o Norte verdadeiro) da banda de frequência mais energética do registro. Da Figura 5.1.5-85 até a Figura 5.1.5-94 apresentam-se as distribuições das alturas e períodos significativos respectivos.

Da mesma forma, as rosas de ondas referentes à estação #506 encontram-se entre a Figura 5.1.5-95 e a Figura 5.1.5-104, sendo que da Figura 5.1.5-105 até a Figura 5.1.5-114 apresentam-se as distribuições das alturas e períodos significativos respectivos.

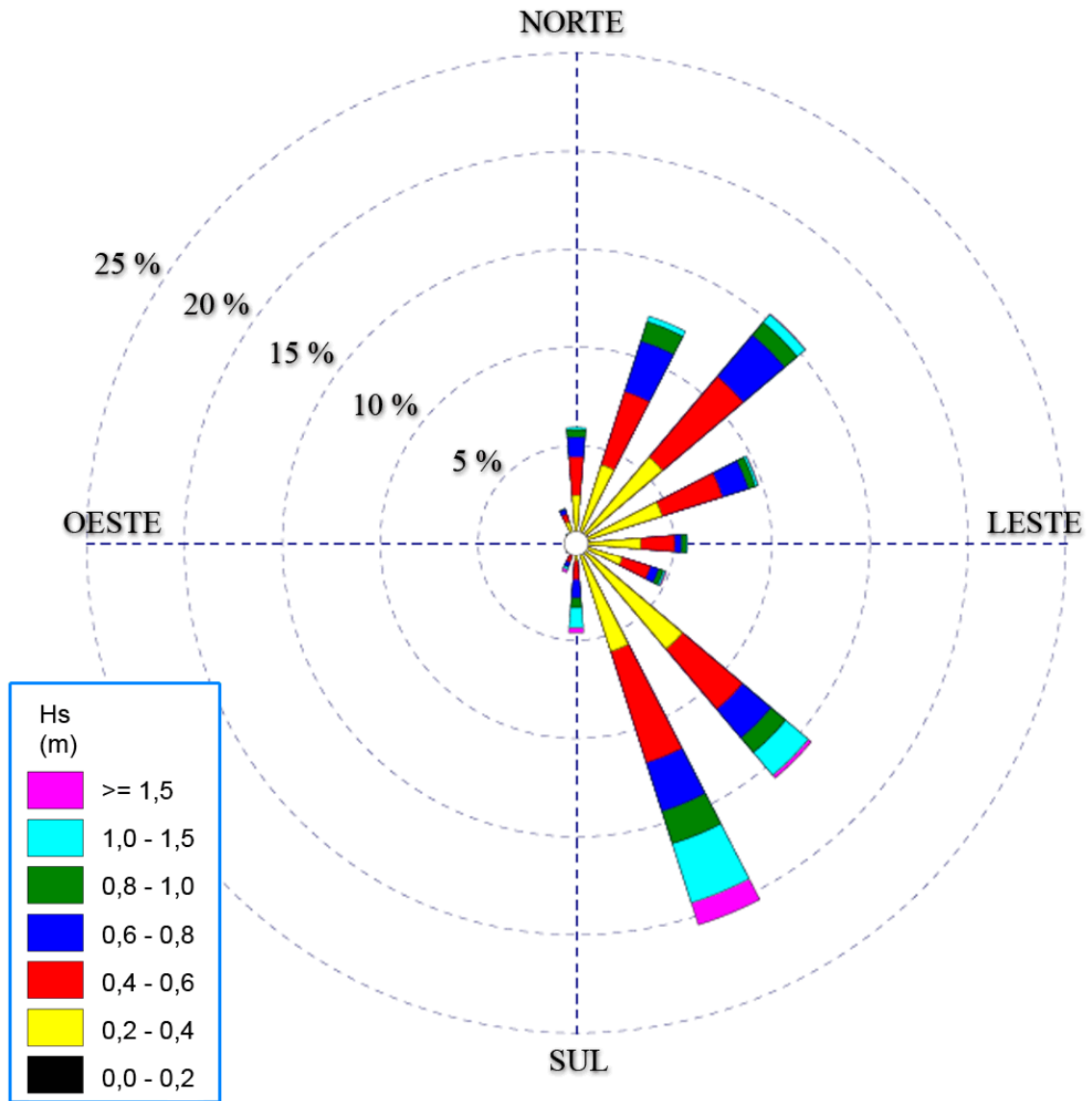


Figura 5.1.5-75 - Rosa das Alturas Significativas de Ondas – Primavera - Estação #106

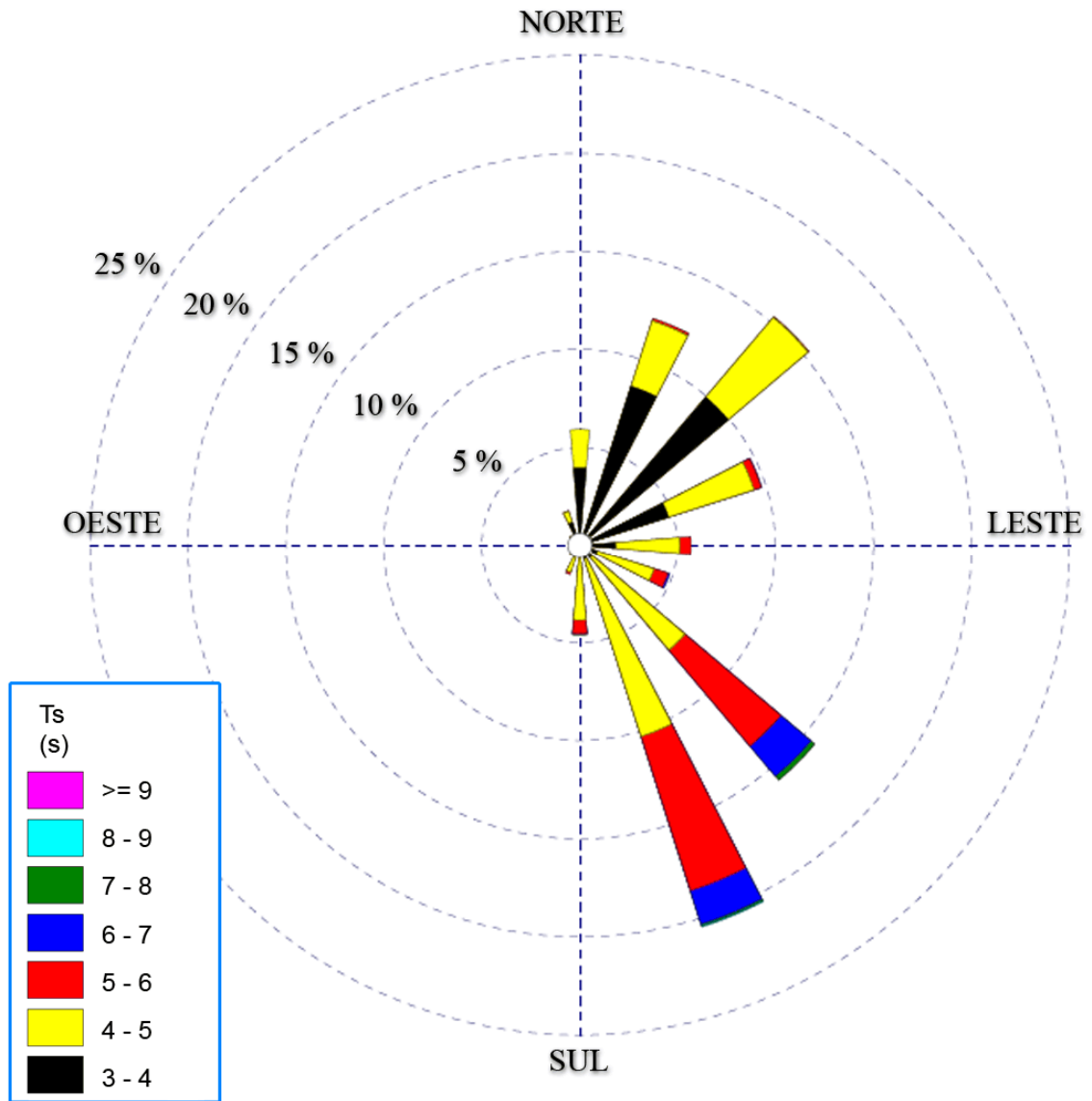


Figura 5.1.5-76 - Rosa dos Períodos de Ondas – Primavera - Estação #106

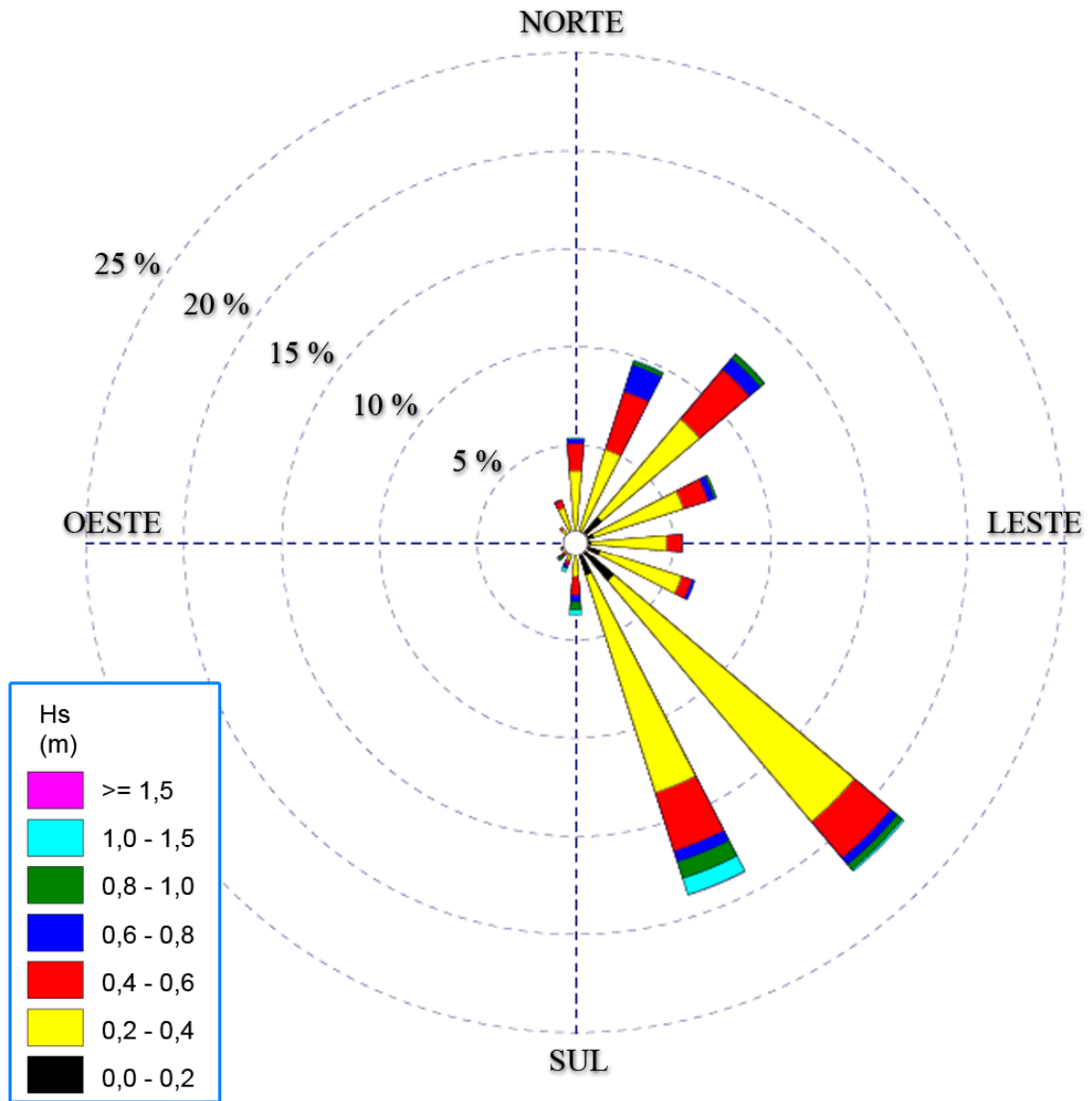


Figura 5.1.5-77 - Rosa das Alturas Significativas de Ondas – Verão - Estação #106

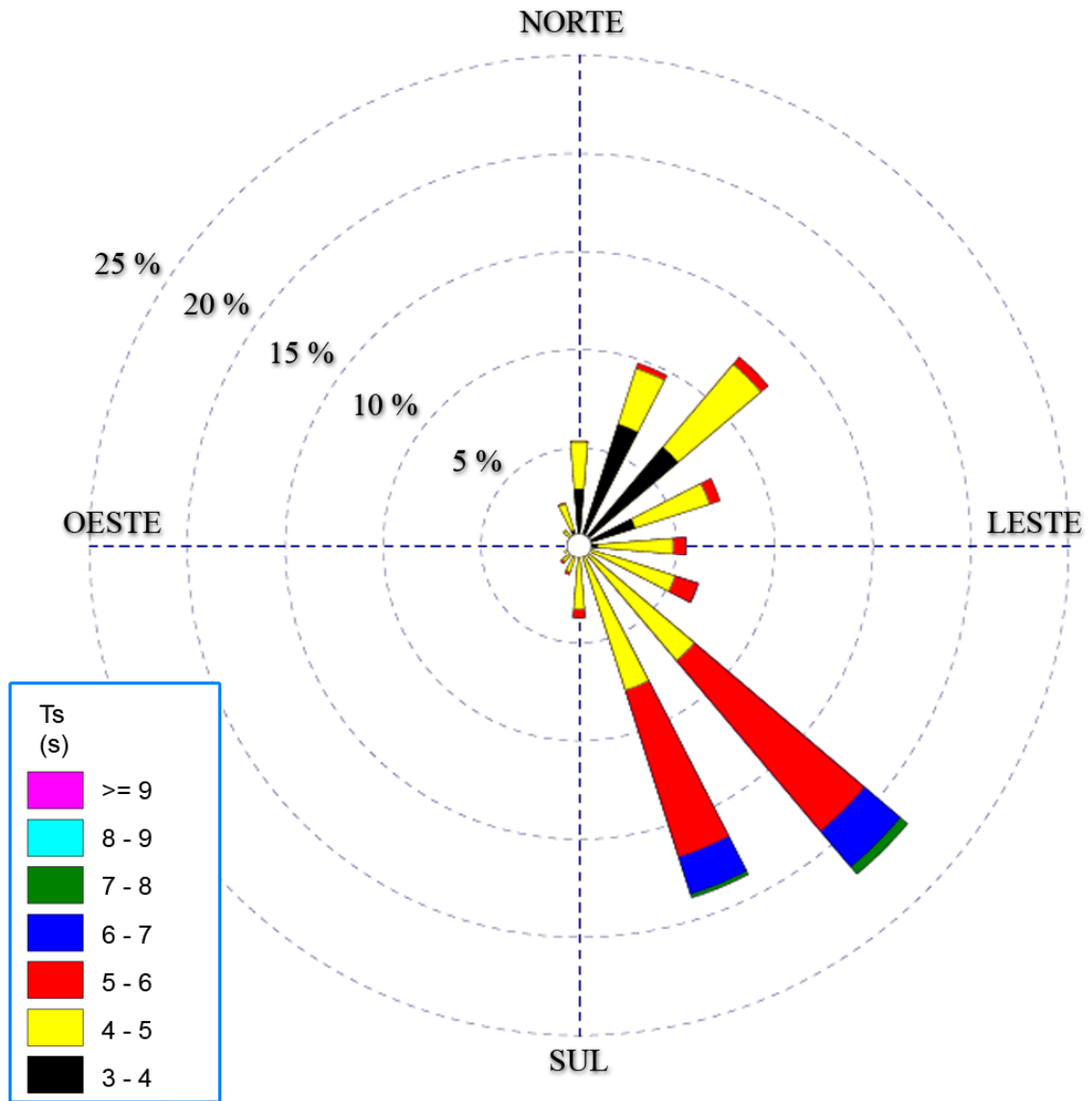


Figura 5.1.5-78 - Rosa dos Períodos de Ondas – Verão - Estação #106

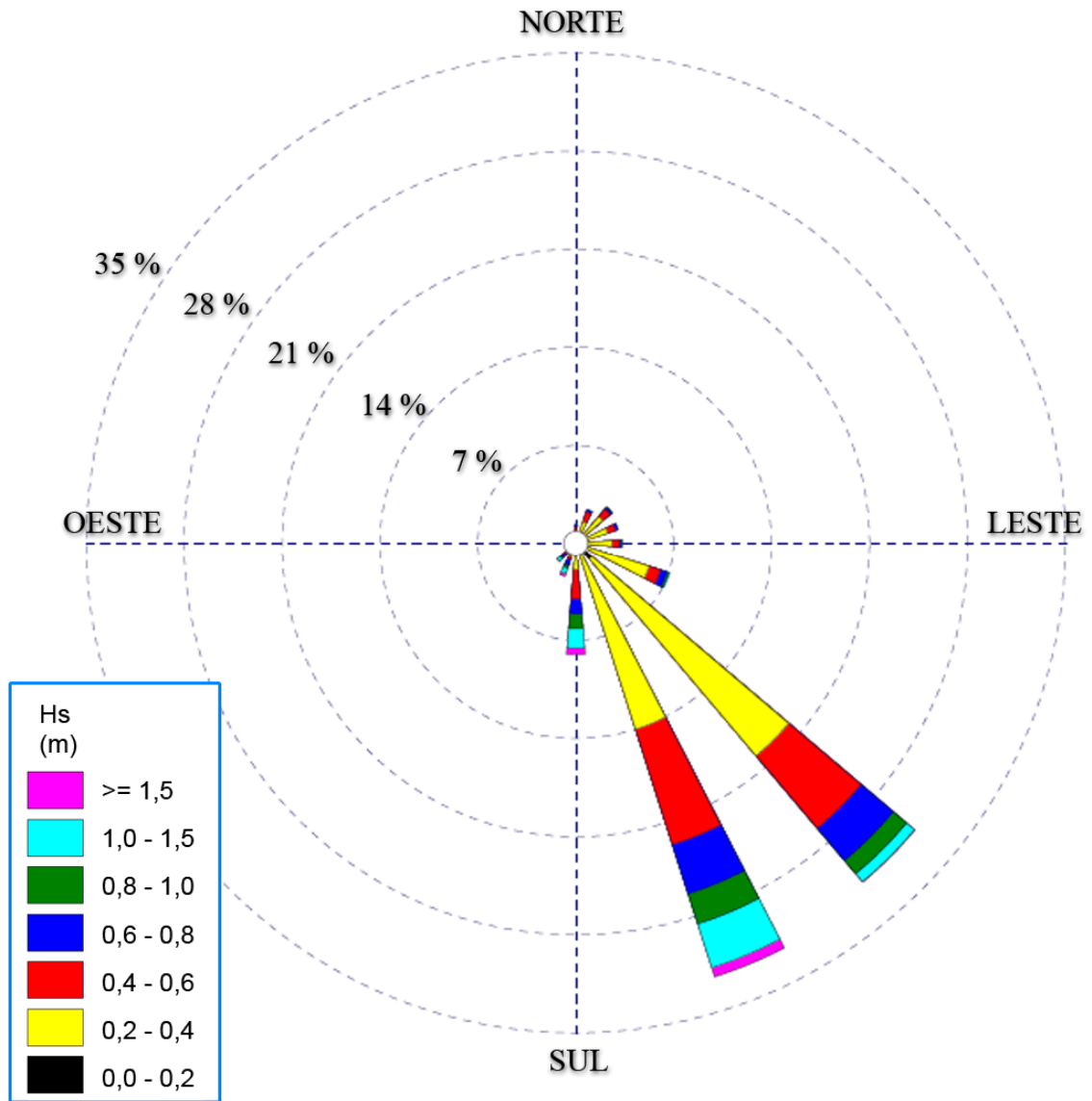


Figura 5.1.5-79 – Roda das Alturas Significativas de Ondas – Outono - Estação #106

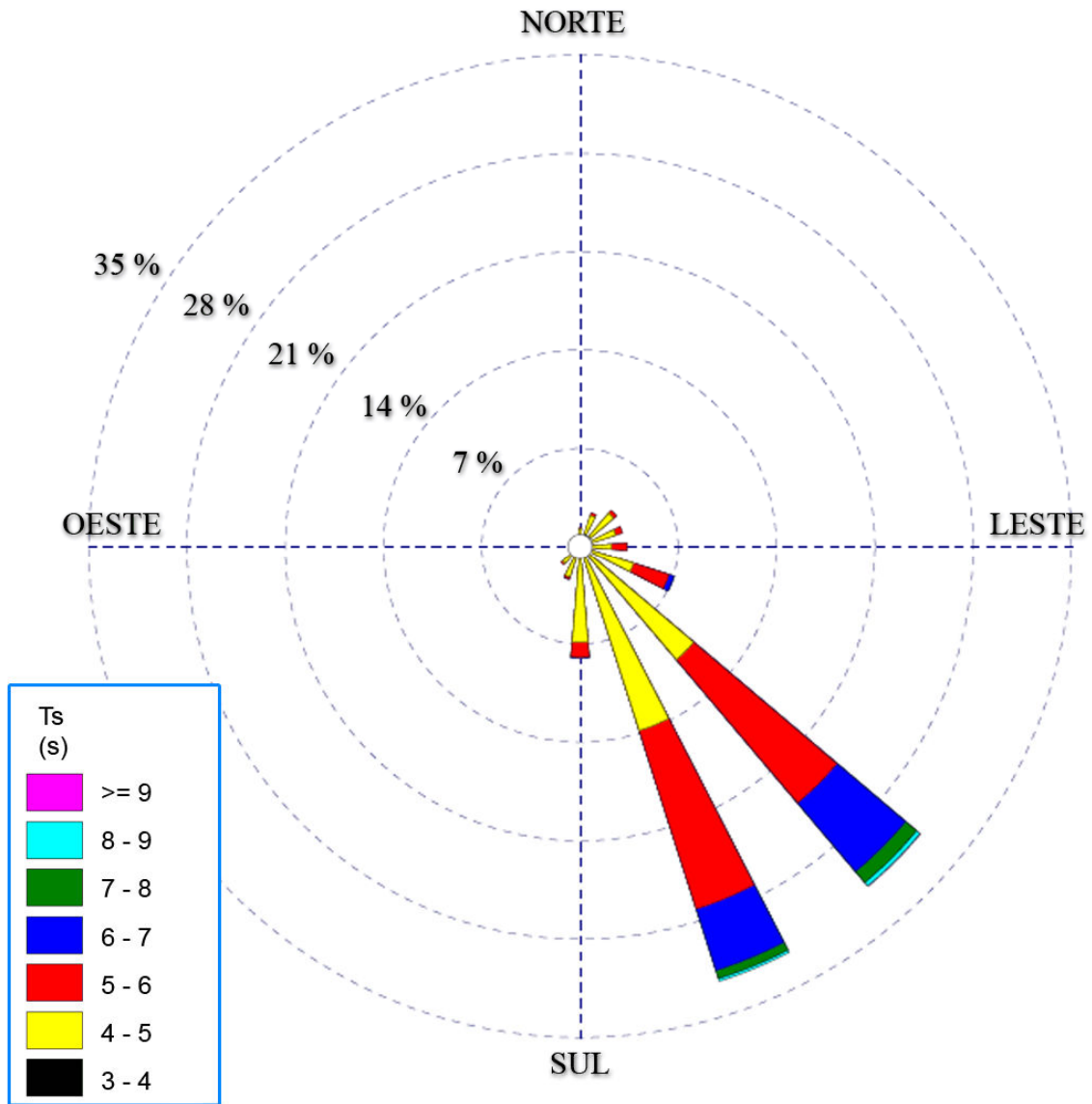


Figura 5.1.5-80 - Rosa dos Períodos de Ondas – Outono - Estação #106

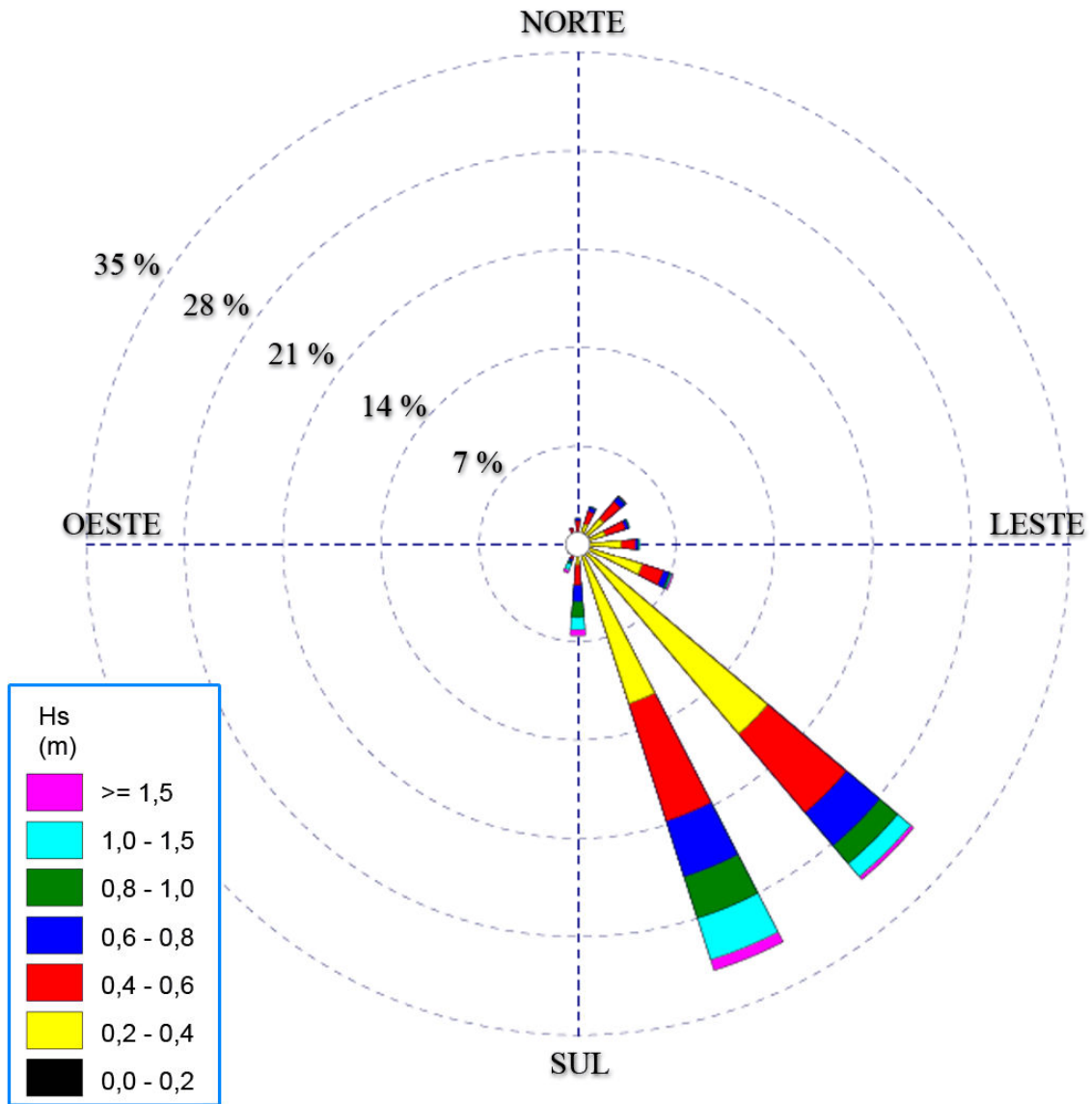


Figura 5.1.5-81 - Rosa das Alturas Significativas de Ondas – Inverno - Estação #106

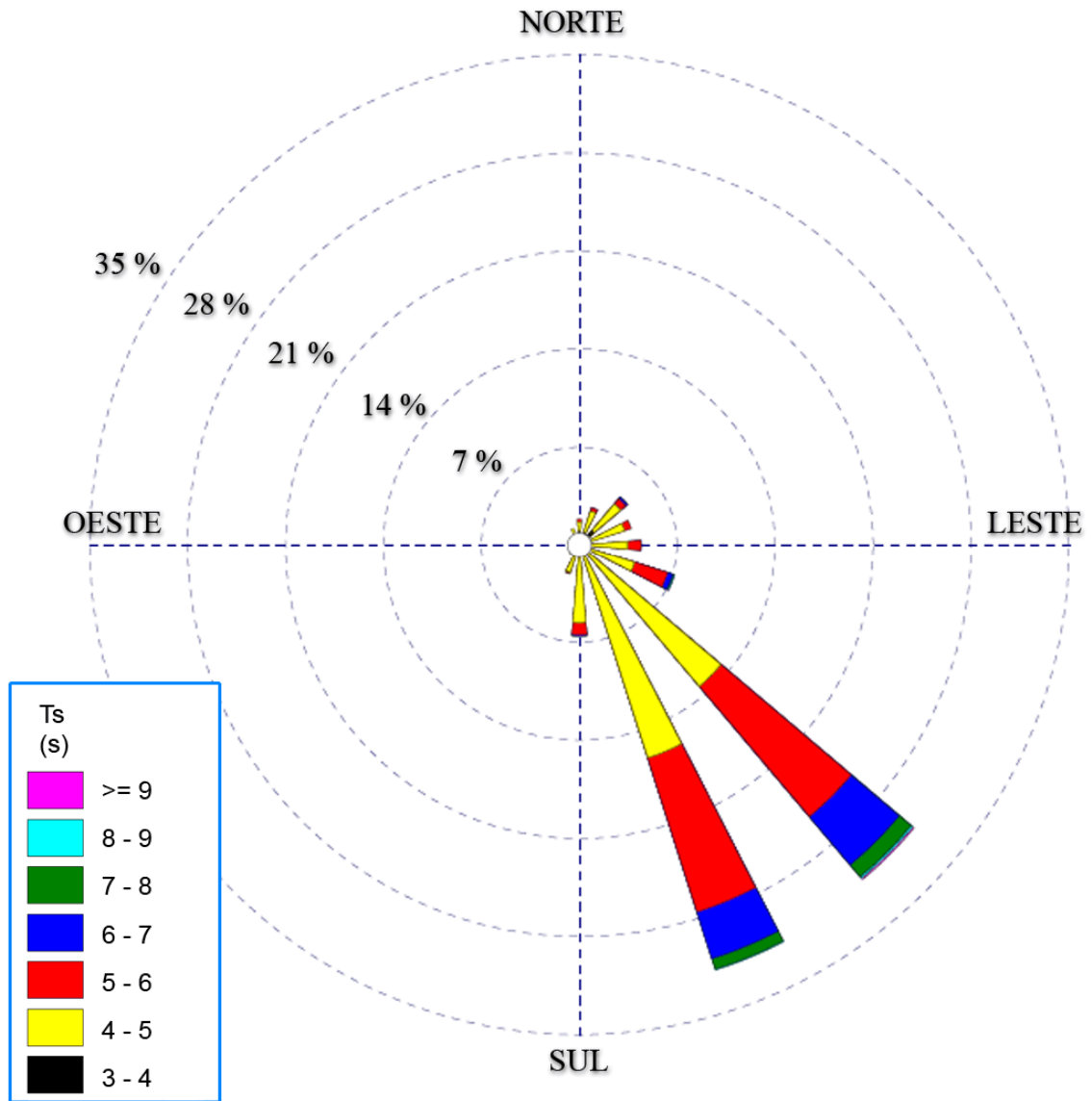


Figura 5.1.5-82 - Rosa dos Períodos de Ondas – Inverno - Estação #106

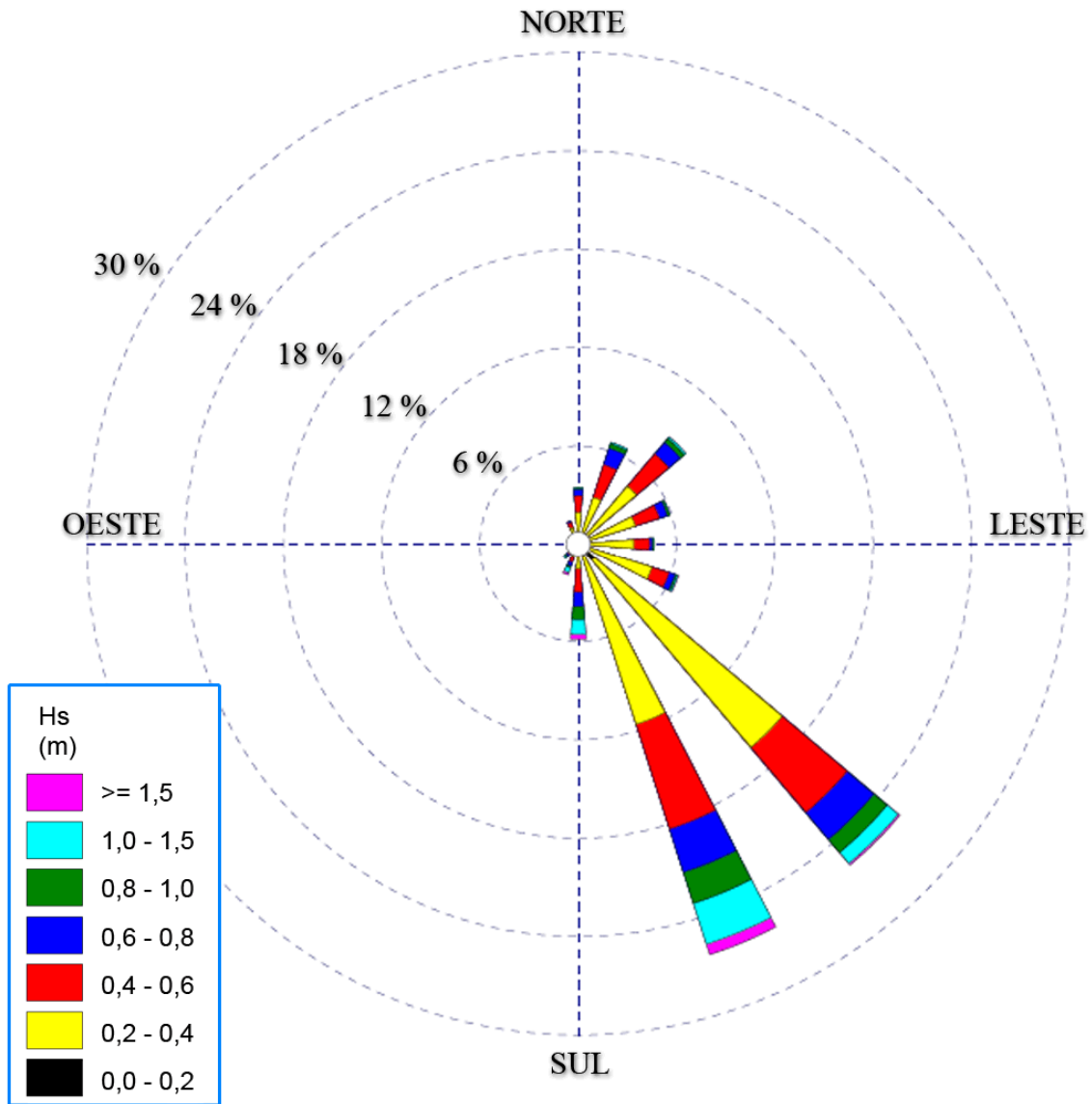


Figura 5.1.5-83 - Rosa das Alturas Significativas de Ondas – Anual - Estação #106

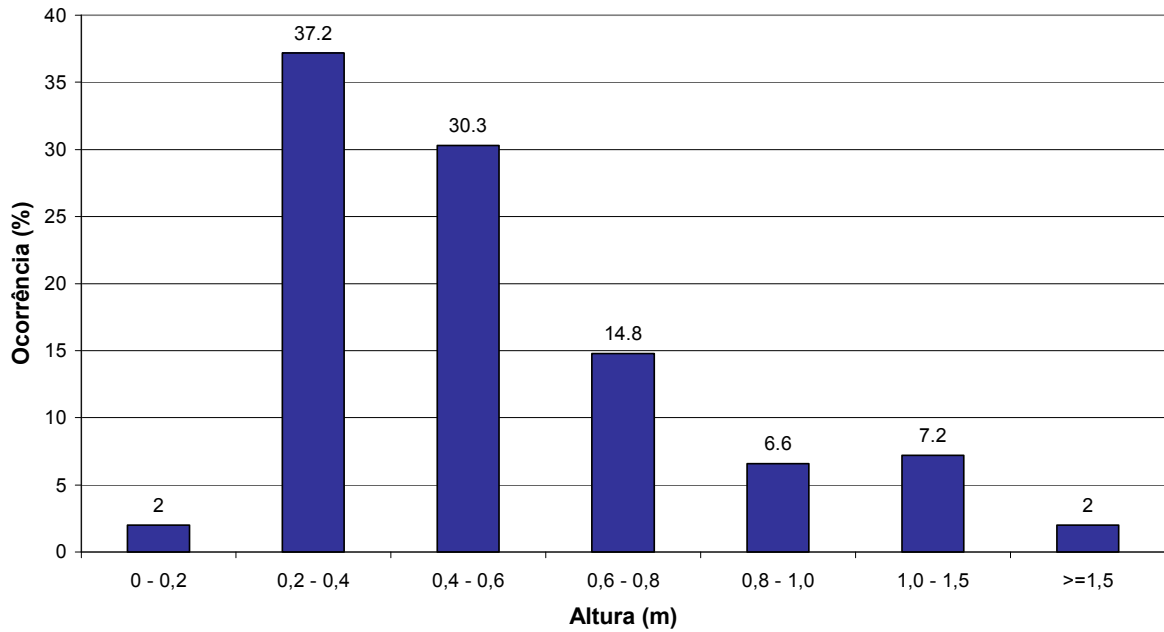


Figura 5.1.5-85 - Distribuição da Altura Significativa – Primavera - Estação #106

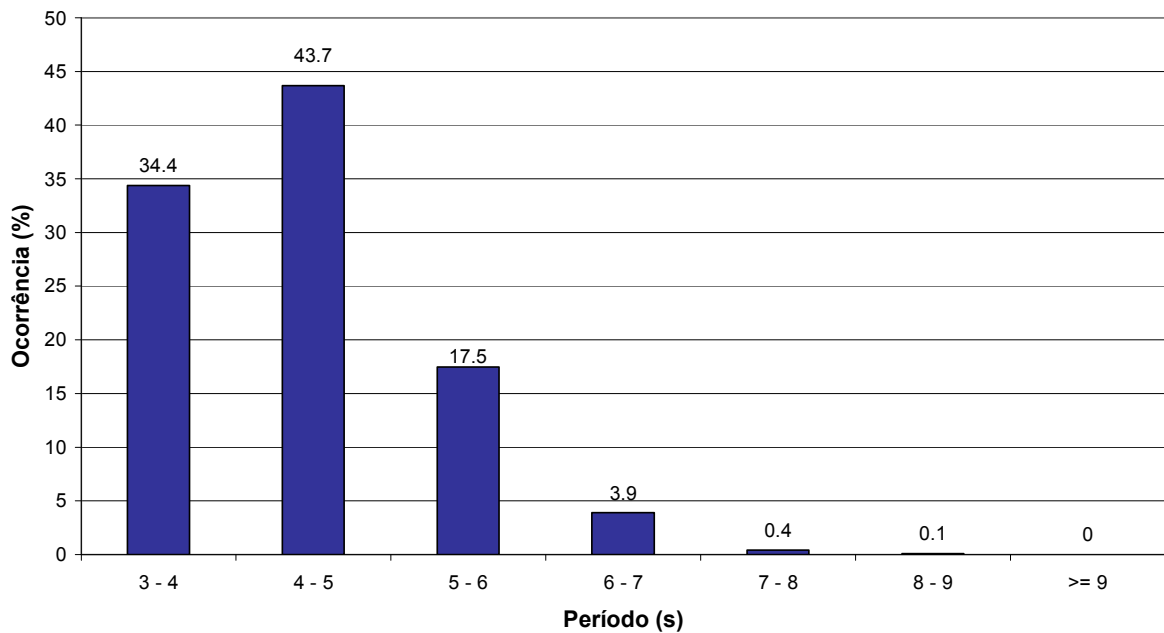


Figura 5.1.5-86 - Distribuição do Período Significativo - Primavera - Estação #106

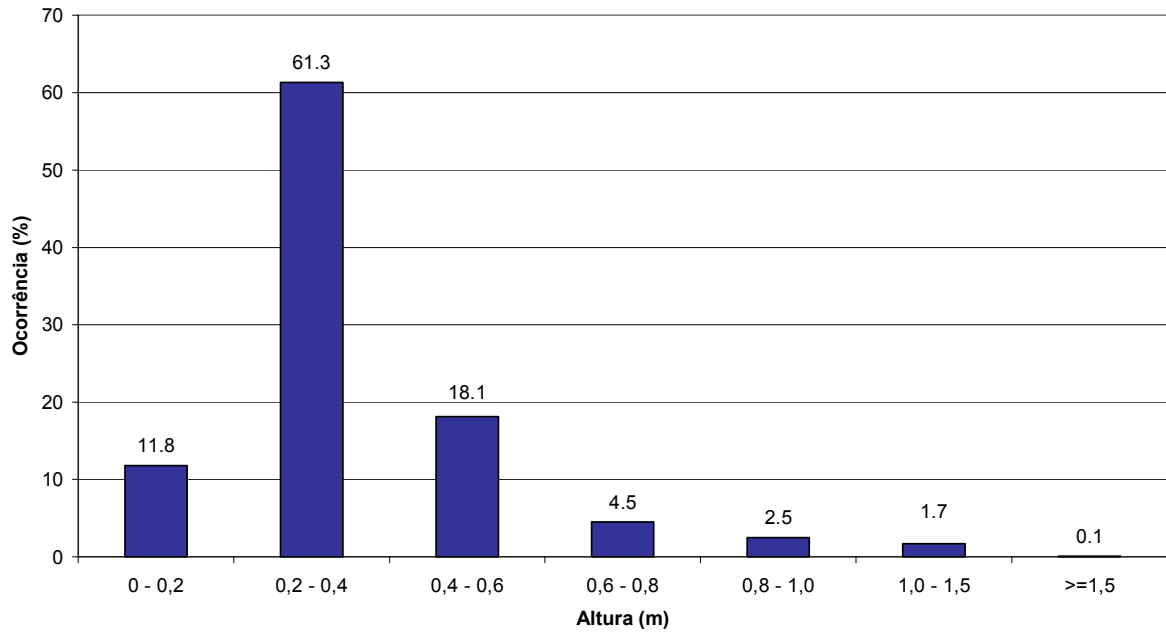


Figura 5.1.5-87 - Distribuição da Altura Significativa – Verão - Estação #106

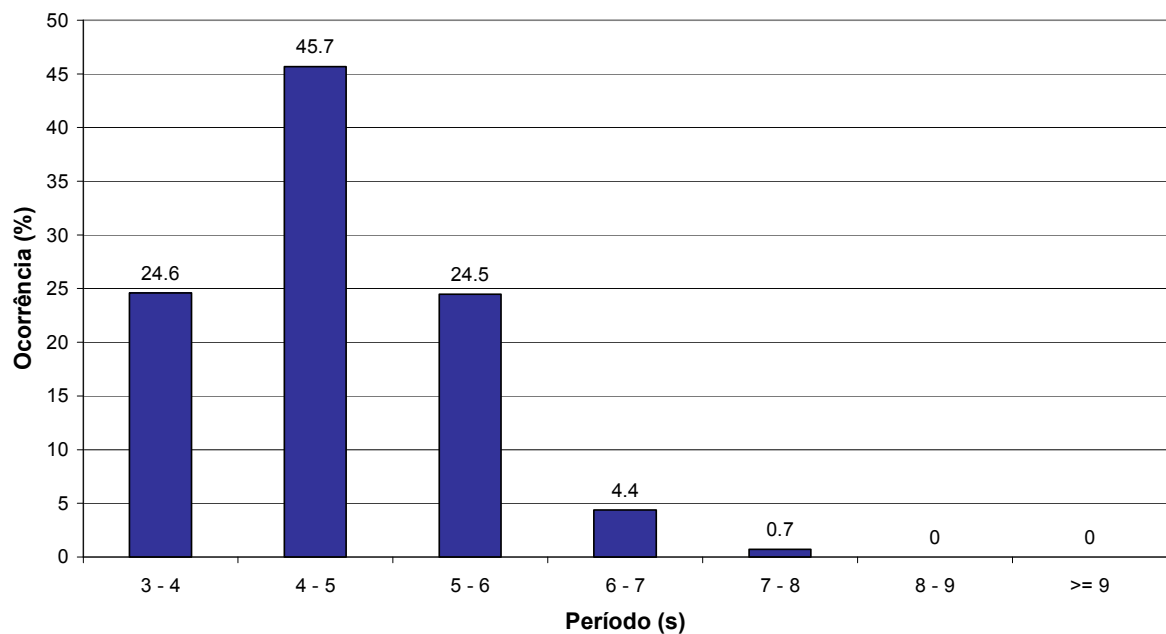


Figura 5.1.5-88 - Distribuição do Período Significativo - Verão - Estação #106

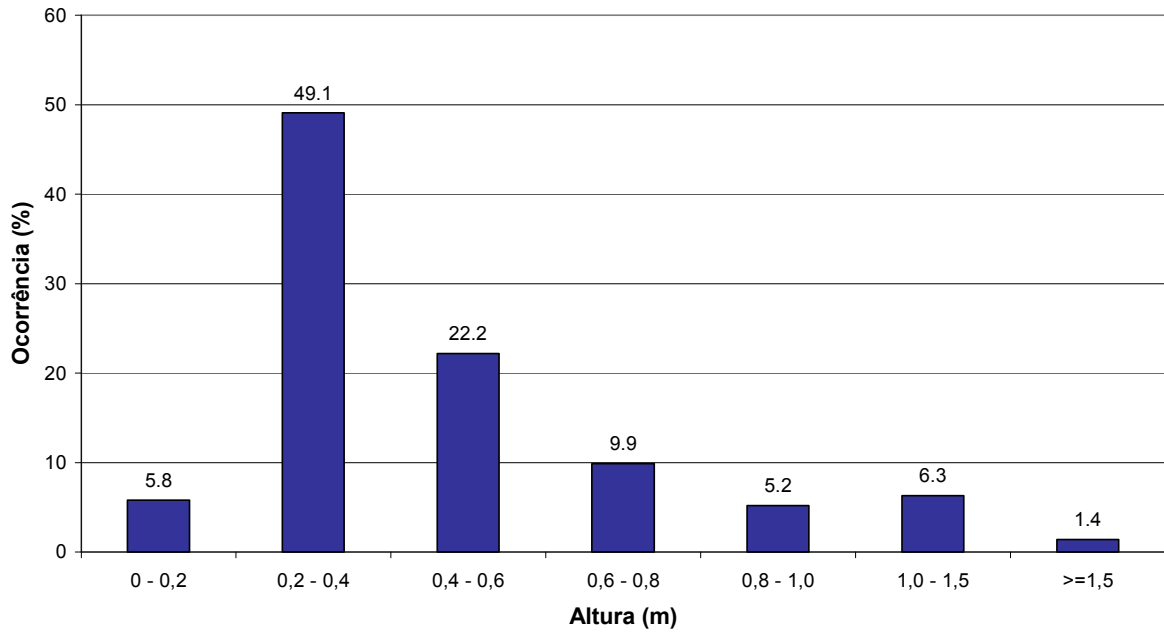


Figura 5.1.5-89 - Distribuição da Altura Significativa – Outono - Estação #106

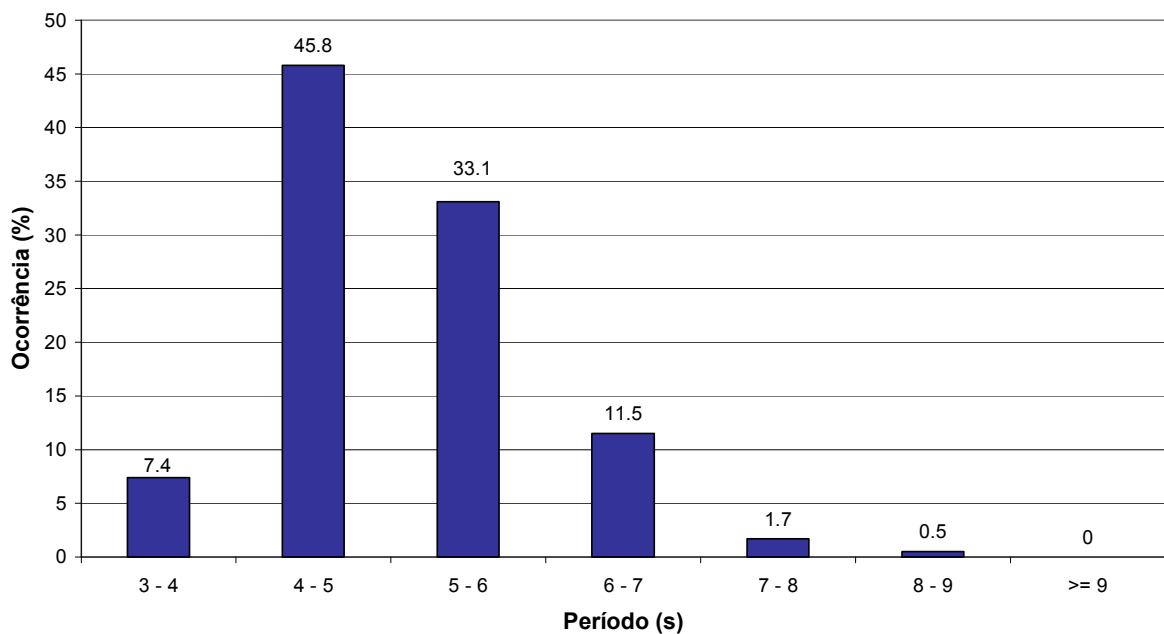


Figura 5.1.5-90 - Distribuição do Período Significativo - Outono - Estação #106

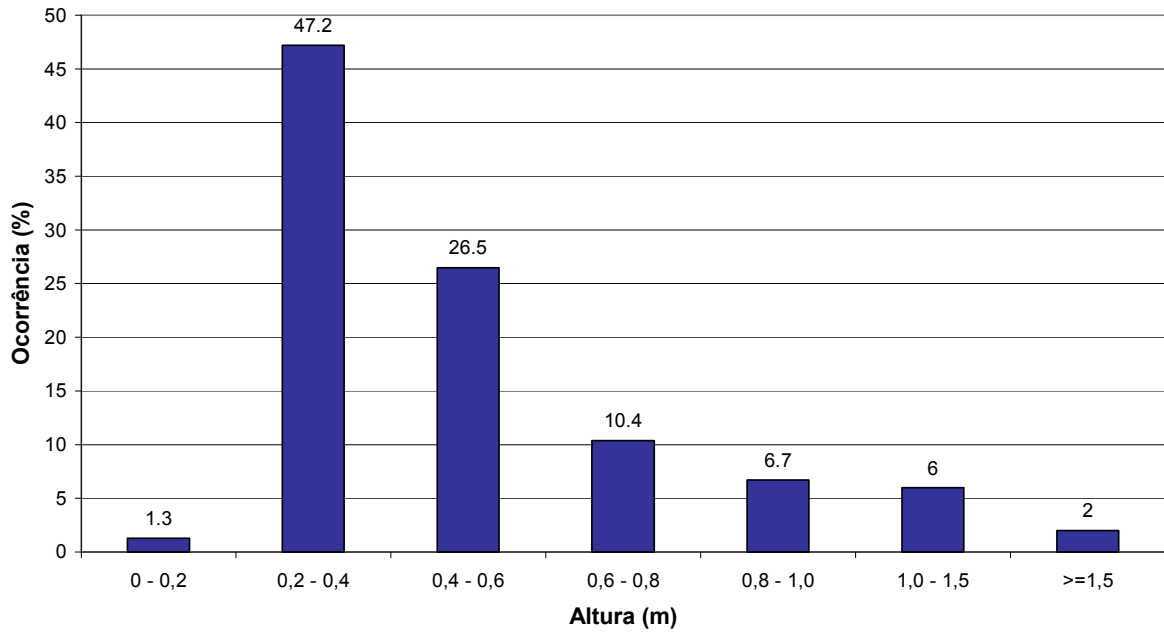


Figura 5.1.5-91 - Distribuição da Altura Significativa – Inverno - Estação #106

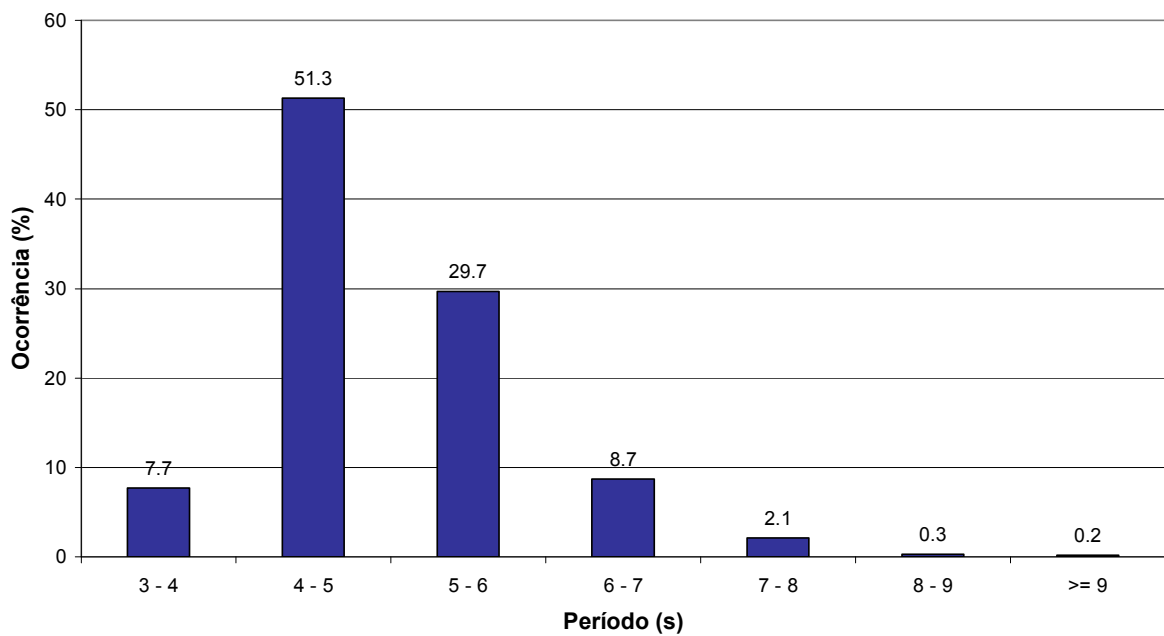


Figura 5.1.5-92 - Distribuição do Período Significativo - Inverno - Estação #106

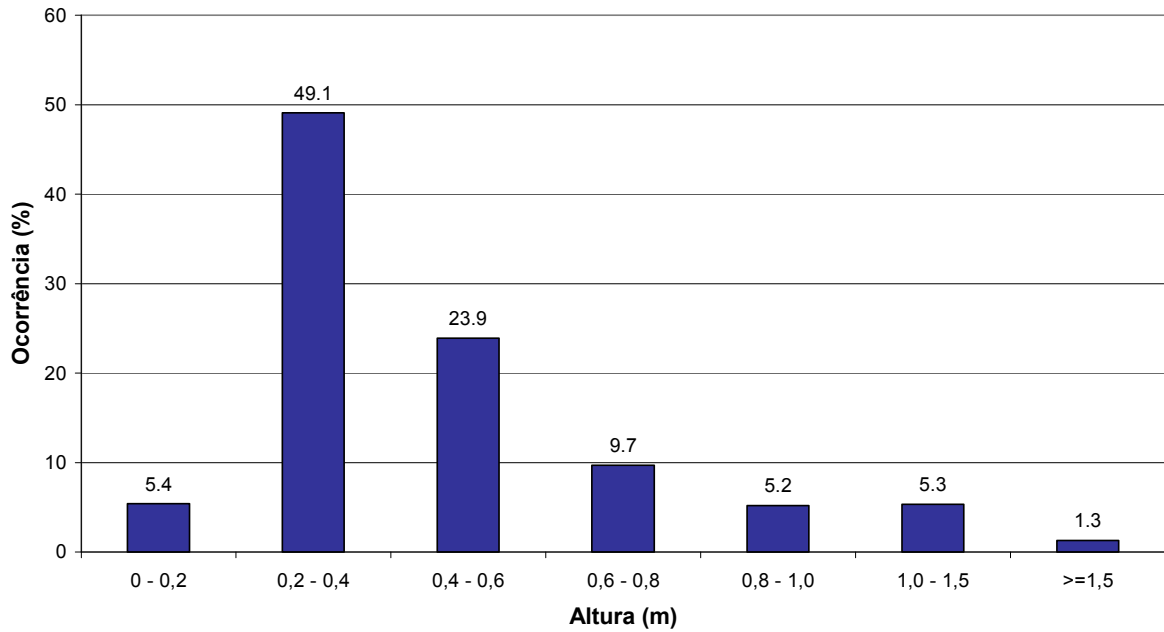


Figura 5.1.5-93 - Distribuição da Altura Significativa – Anual - Estação #106

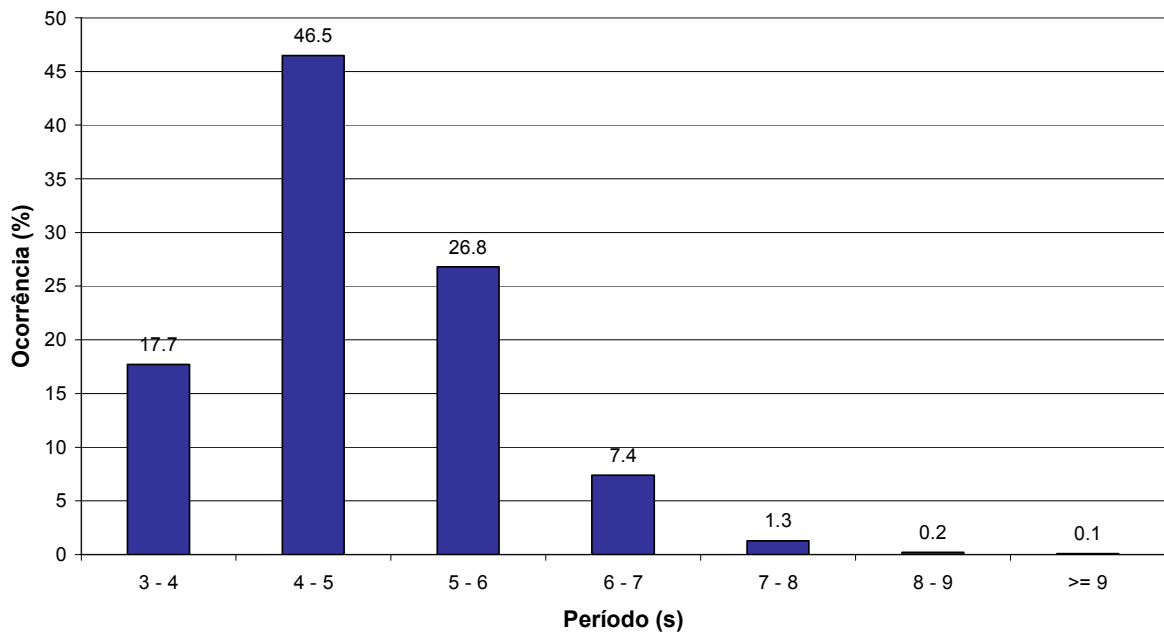


Figura 5.1.5-94 - Distribuição do Período Significativo - Anual - Estação #106

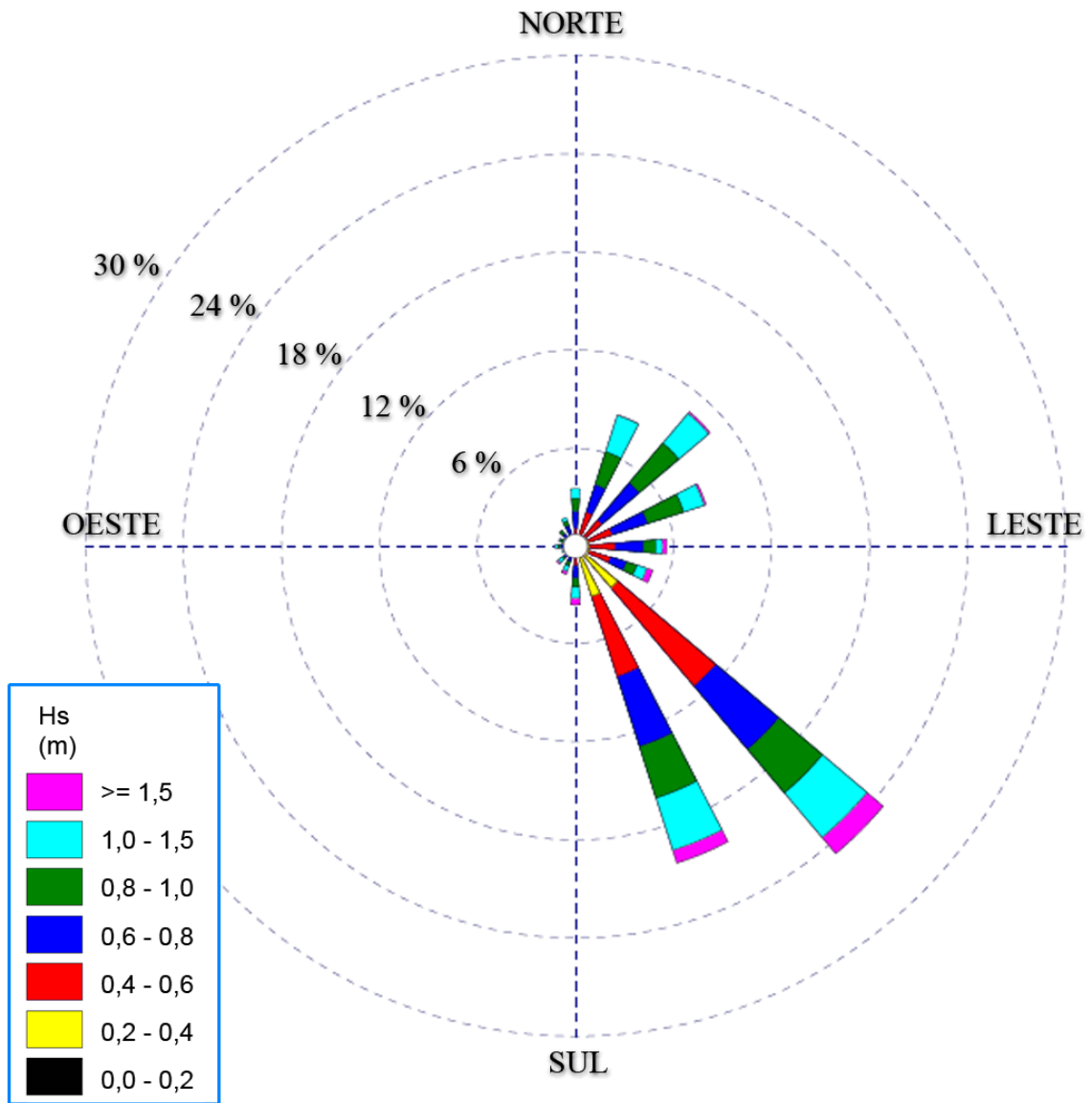


Figura 5.1.5-95 - Rosa das Alturas Significativas de Ondas – Primavera - Estação #506

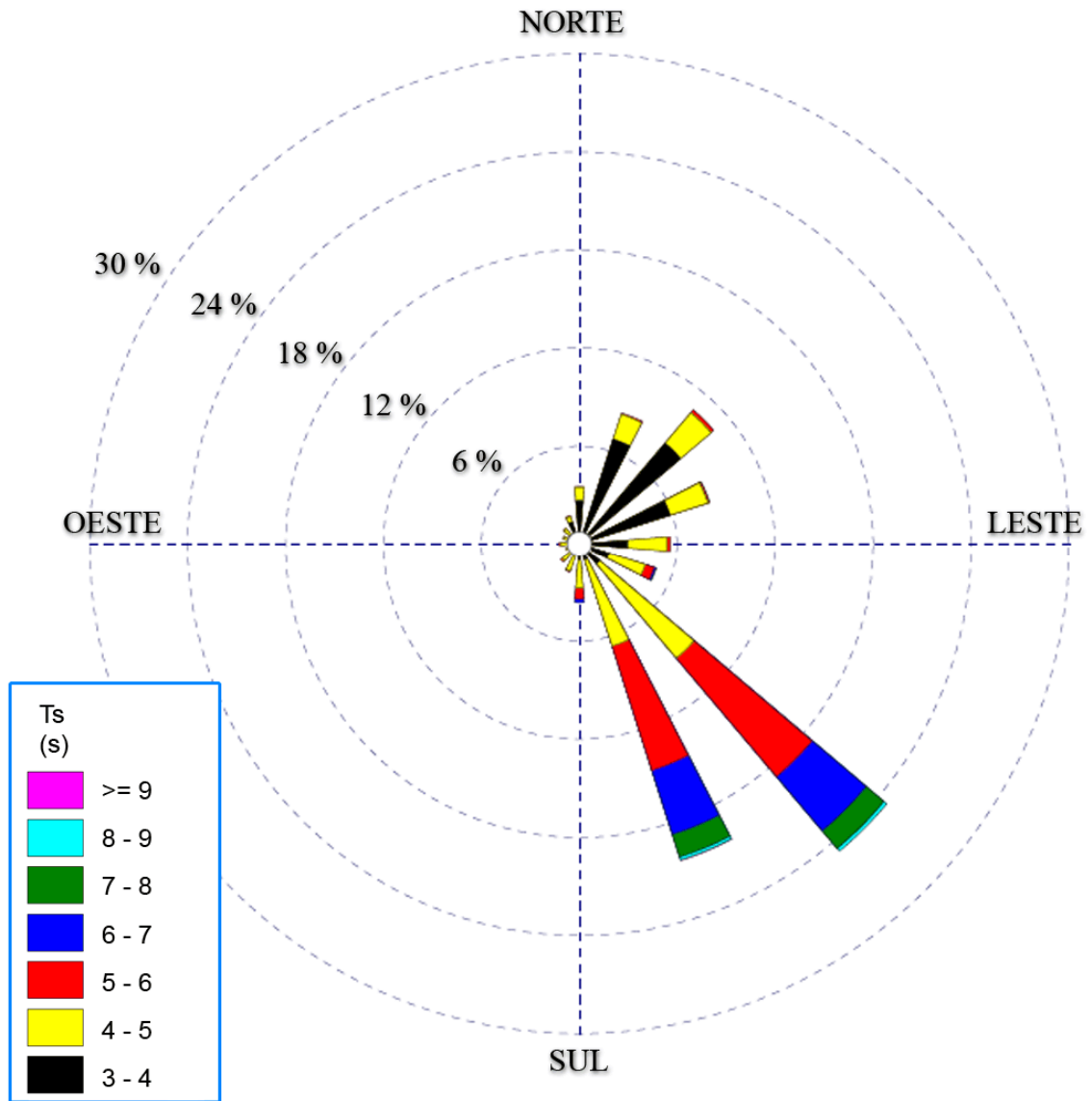


Figura 5.1.5-96 - Rosa dos Períodos de Ondas – Primavera - Estação #506

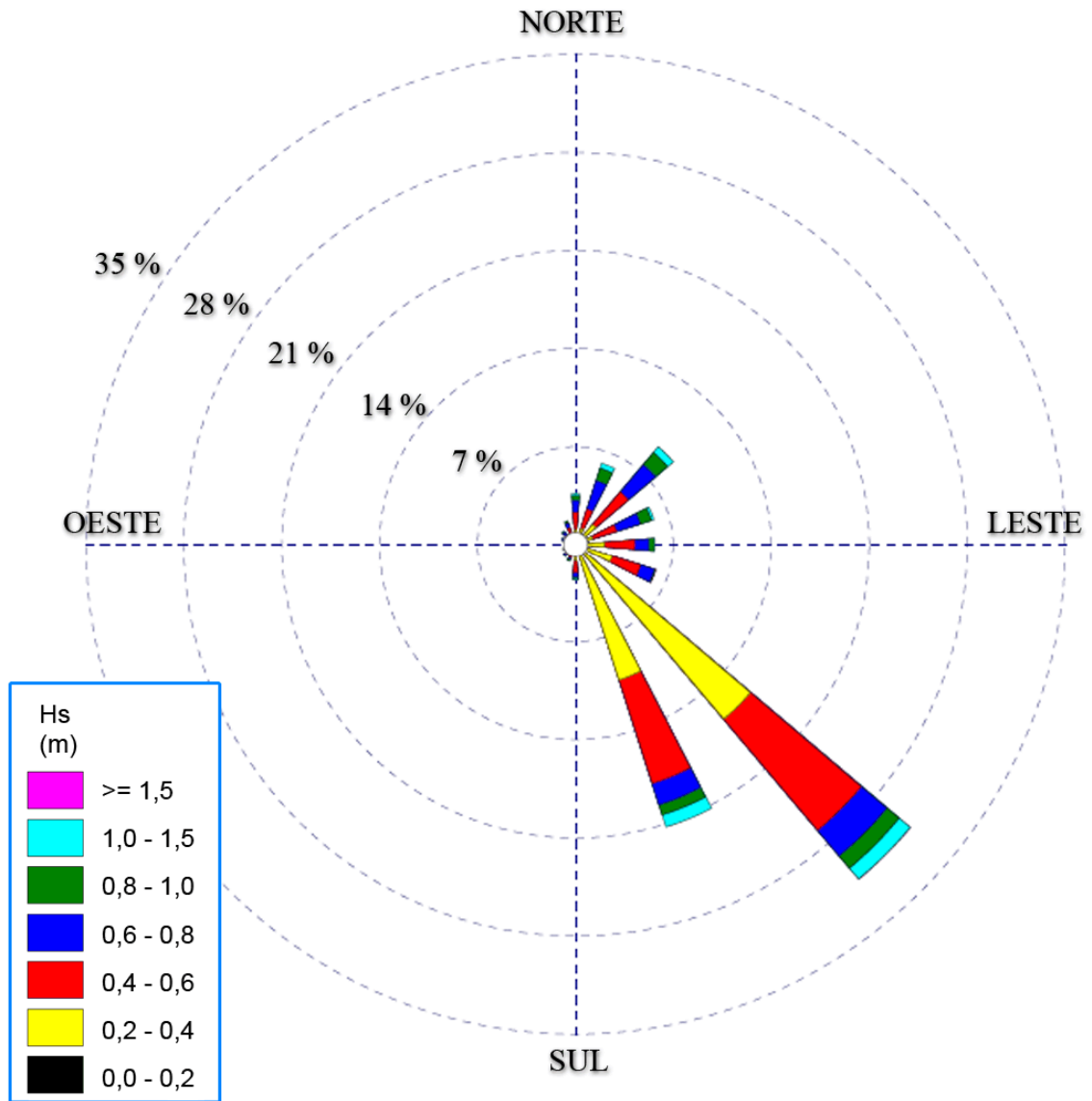


Figura 5.1.5-97 -Rosa das Alturas Significativas de Ondas – Verão - Estação #506

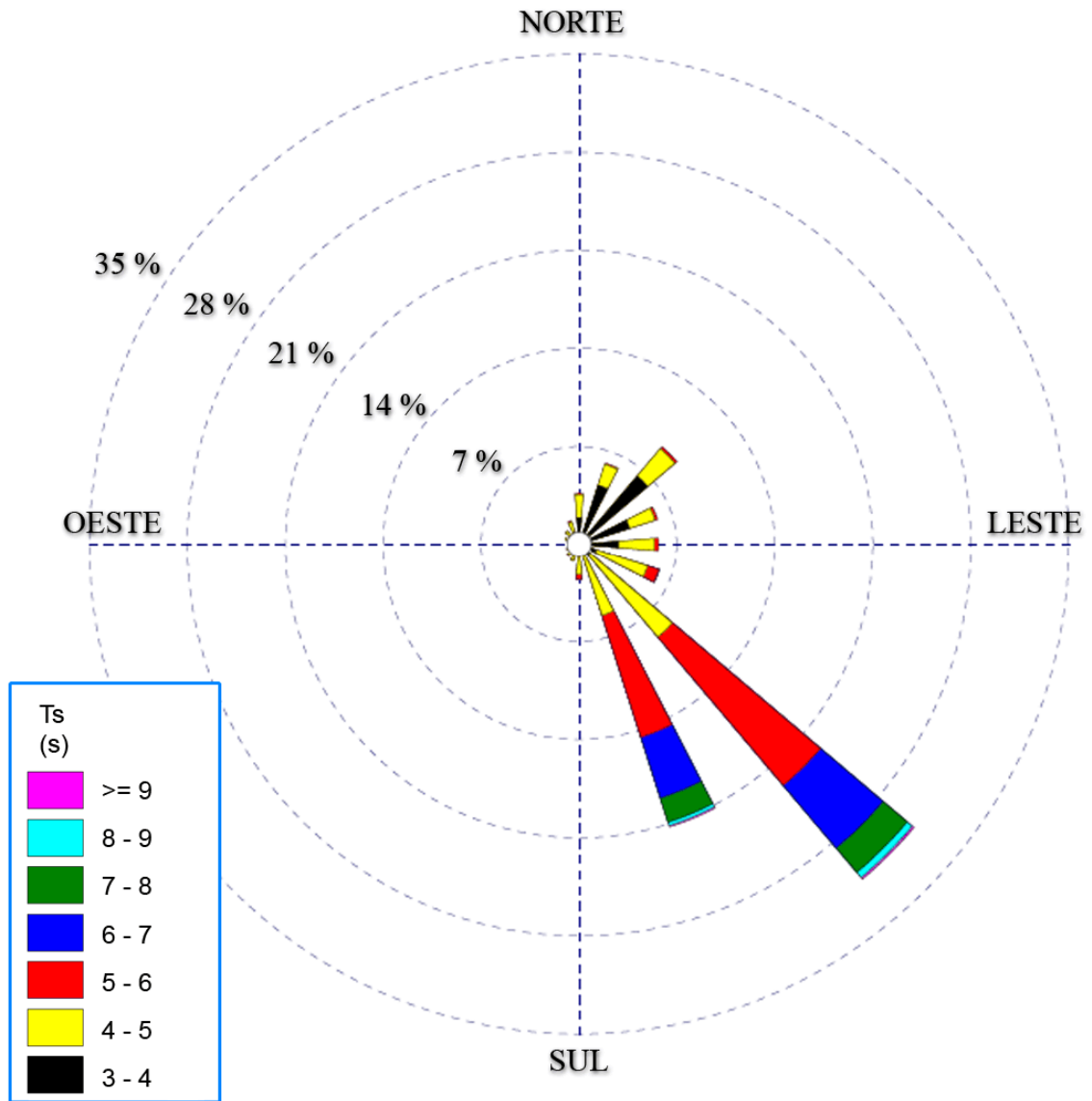


Figura 5.1.5-98 - Rosa dos Períodos de Ondas – Verão - Estação #506

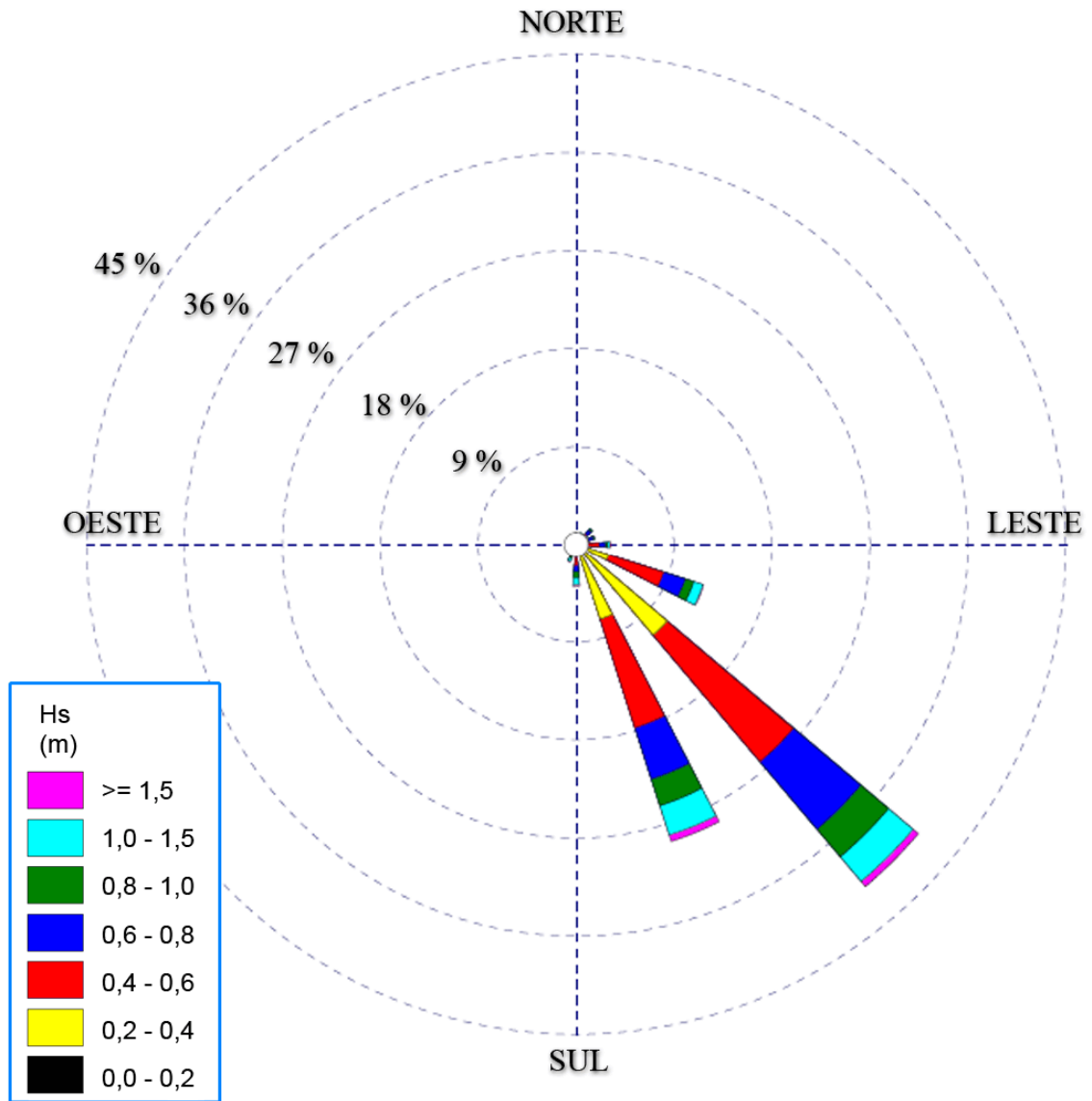


Figura 5.1.5-99 – Rosa das Alturas Significativas de Ondas – Outono - Estação #506

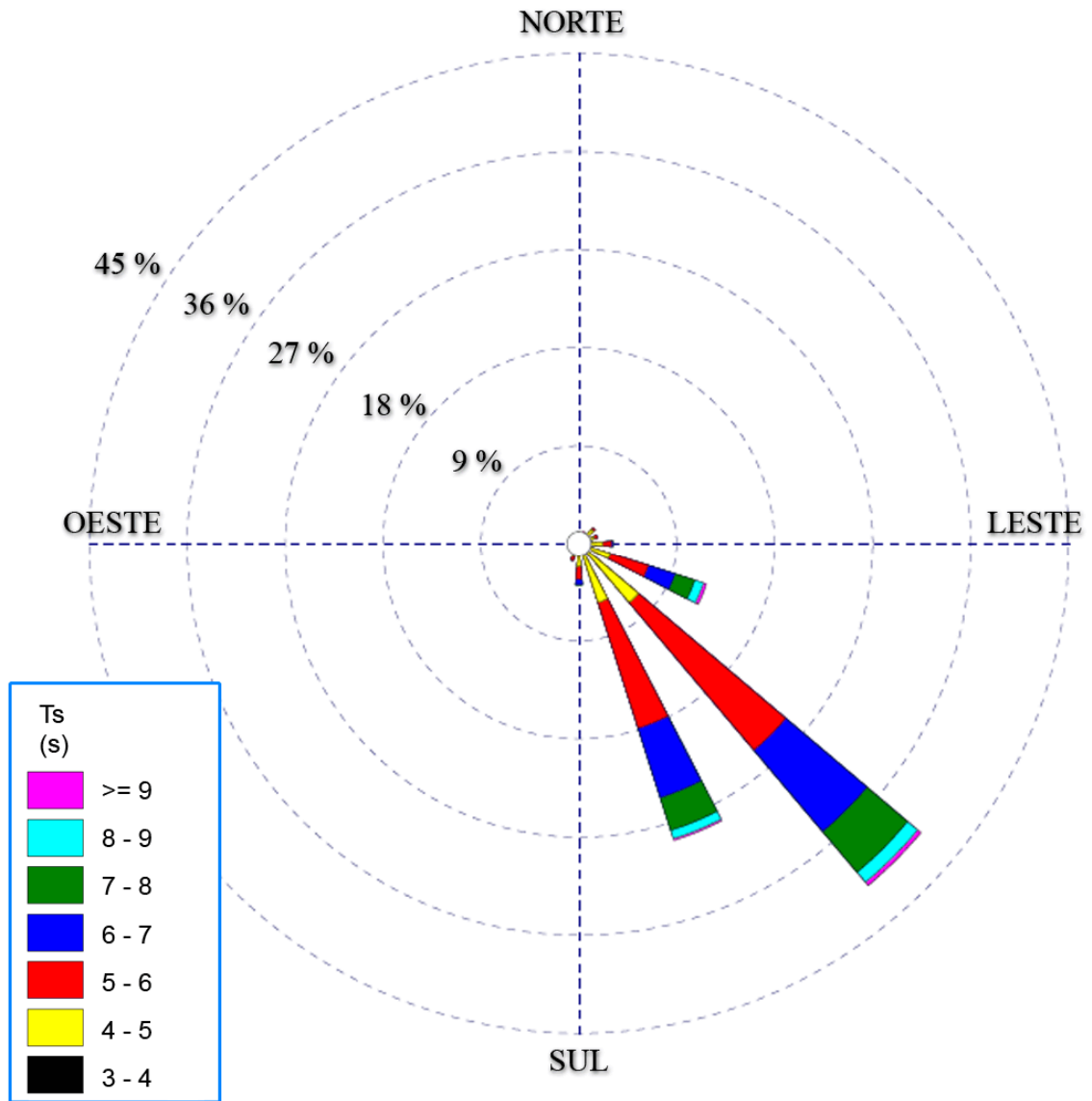


Figura 5.1.5-100 - Rosa dos Períodos de Ondas – Outono - Estação #506

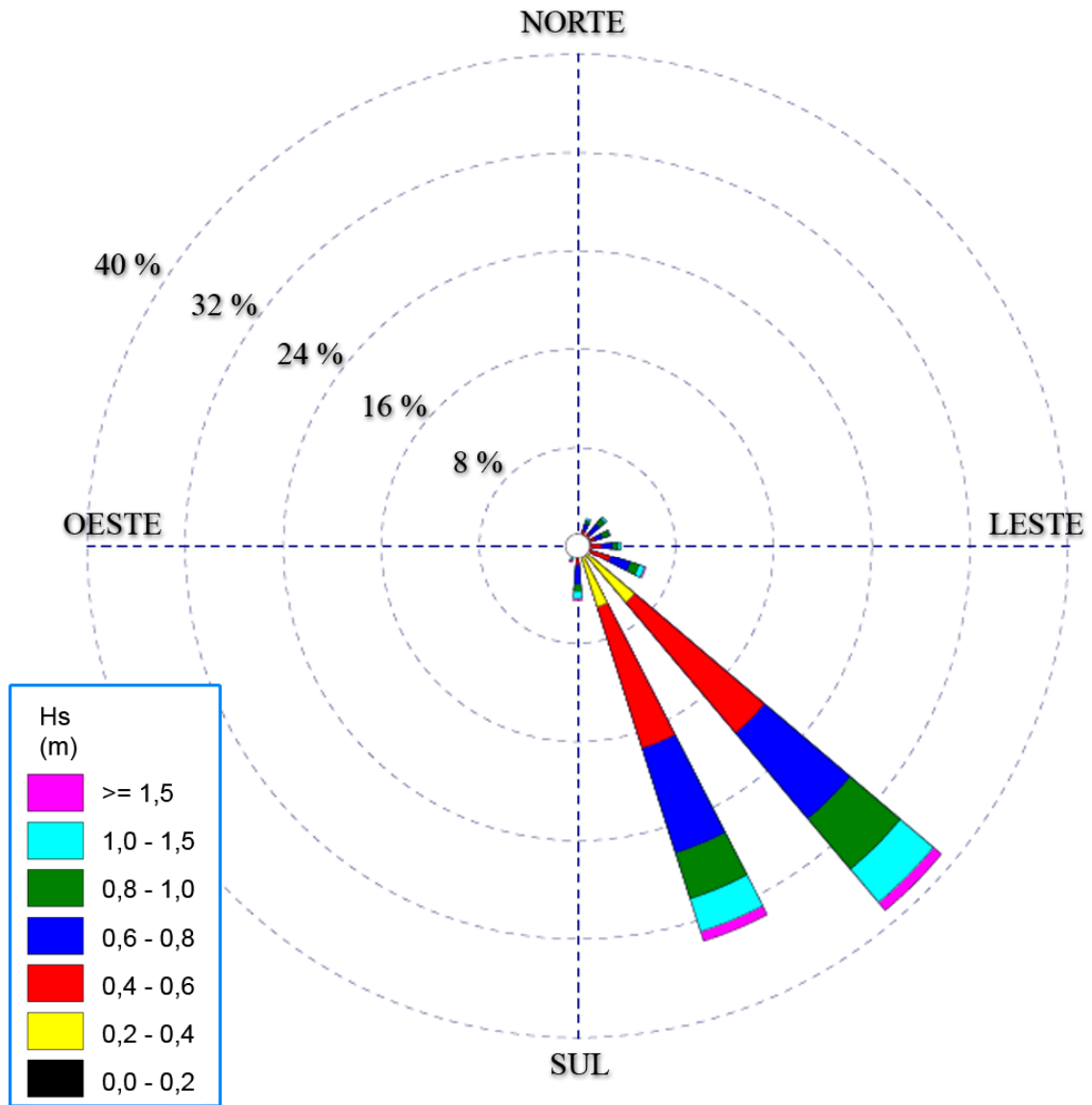


Figura 5.1.5-101 - Rosa das Alturas Significativas de Ondas – Inverno - Estação #506

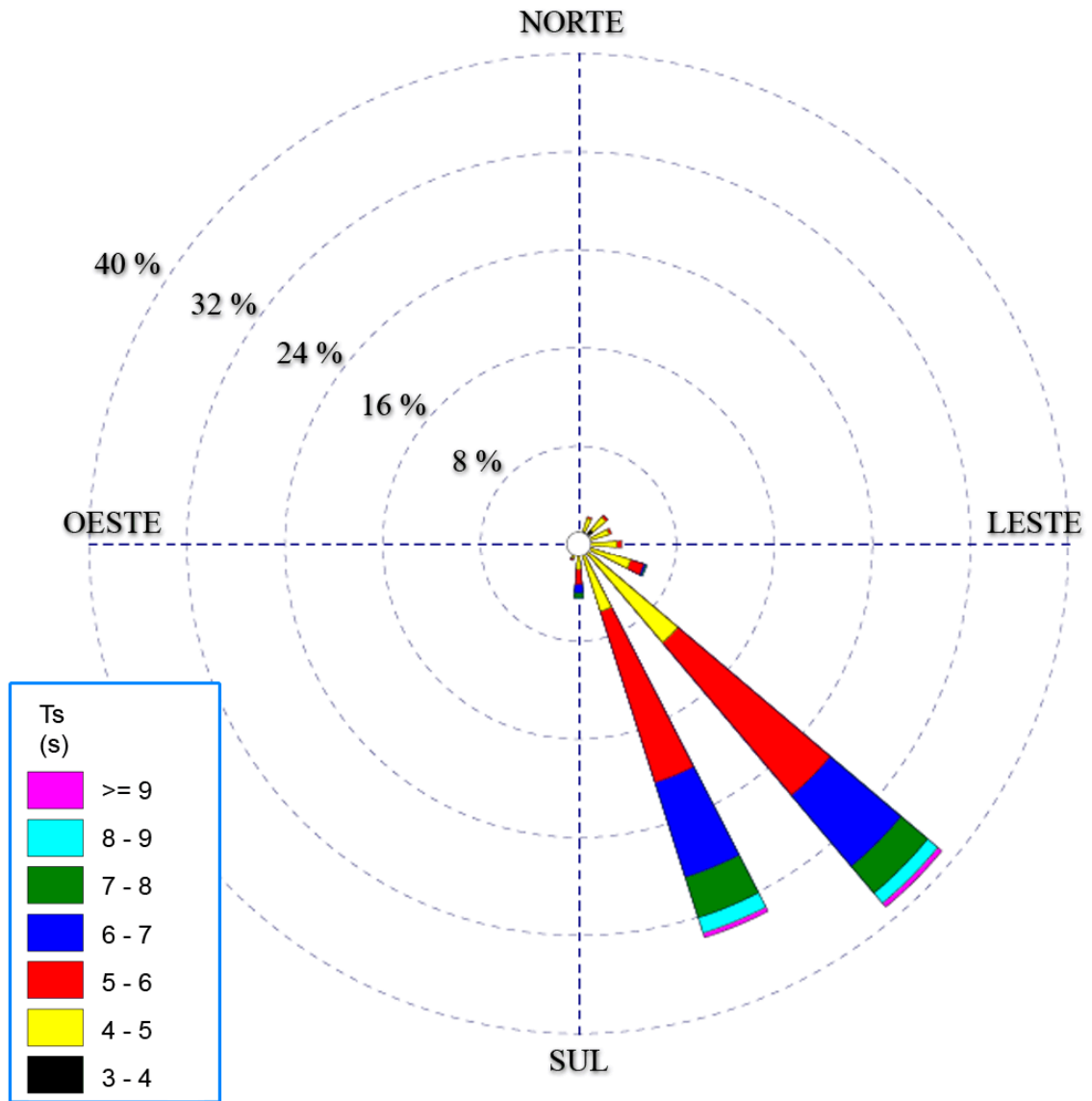


Figura 5.1.5-102 - Rosa dos Períodos de Ondas – Inverno - Estação #506

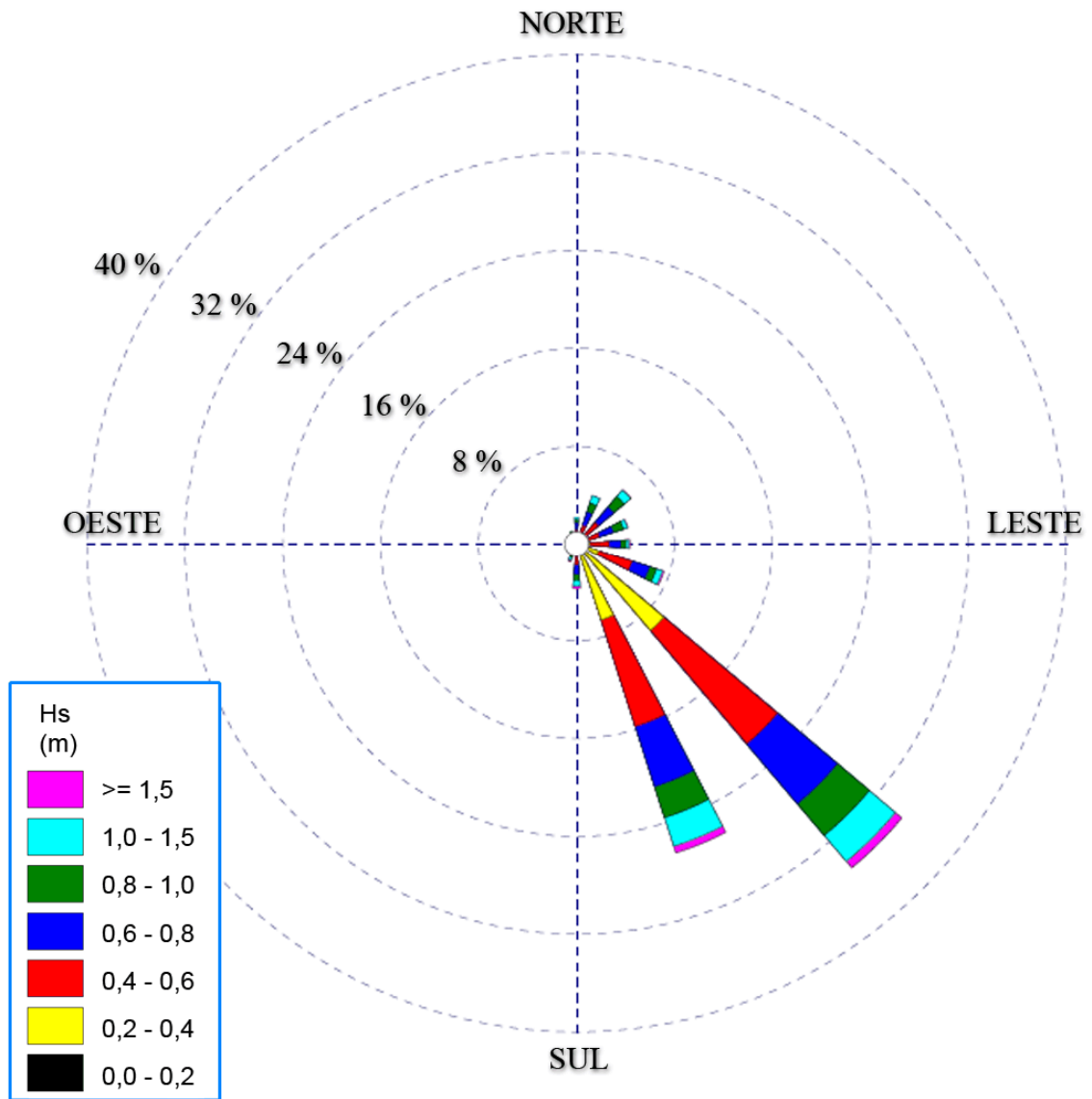


Figura 5.1.5-103 - Rosa das Alturas Significativas de Ondas – Anual - Estação #506

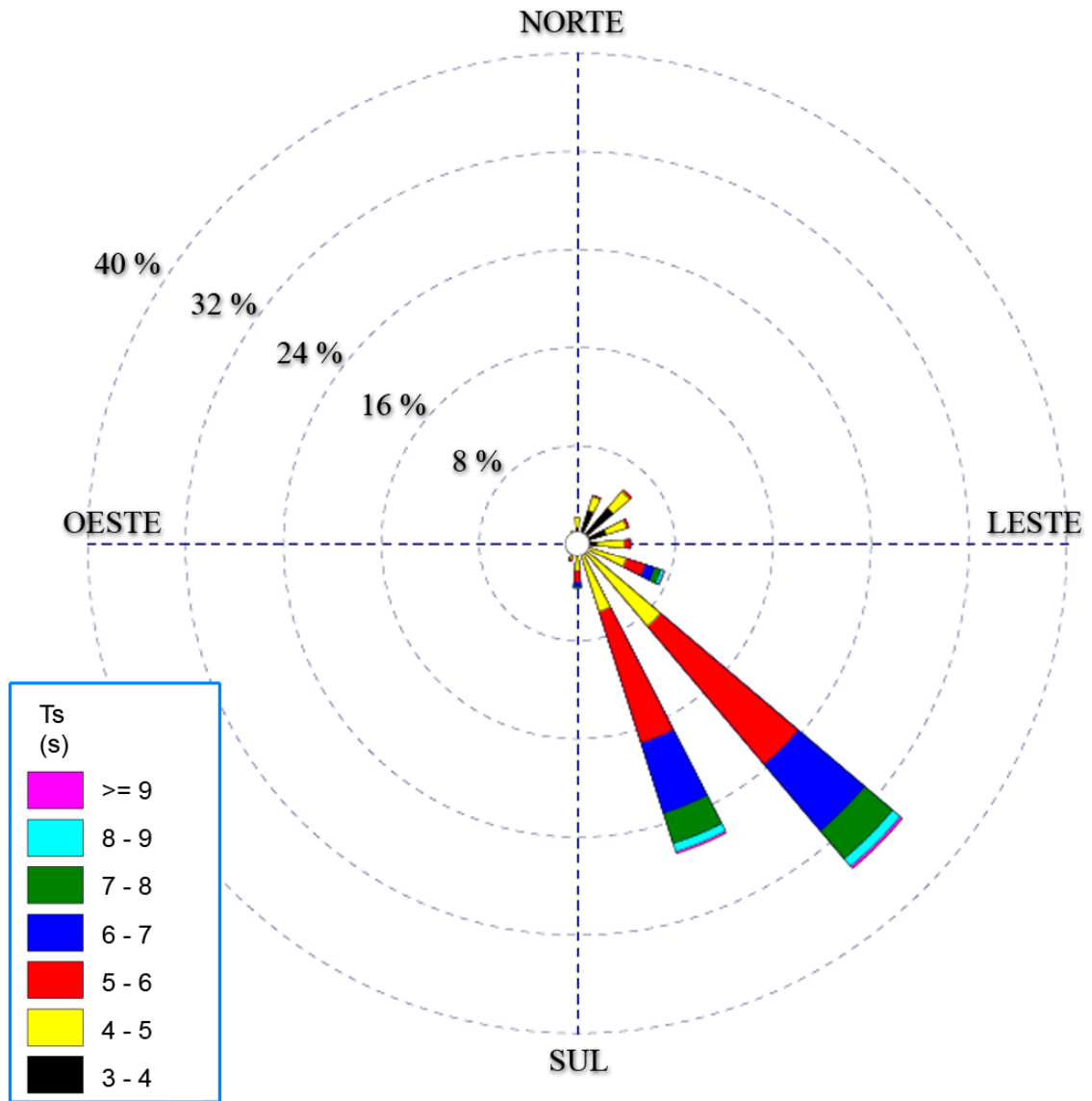


Figura 5.1.5-104 - Rosa dos Períodos de Ondas – Anual - Estação #506

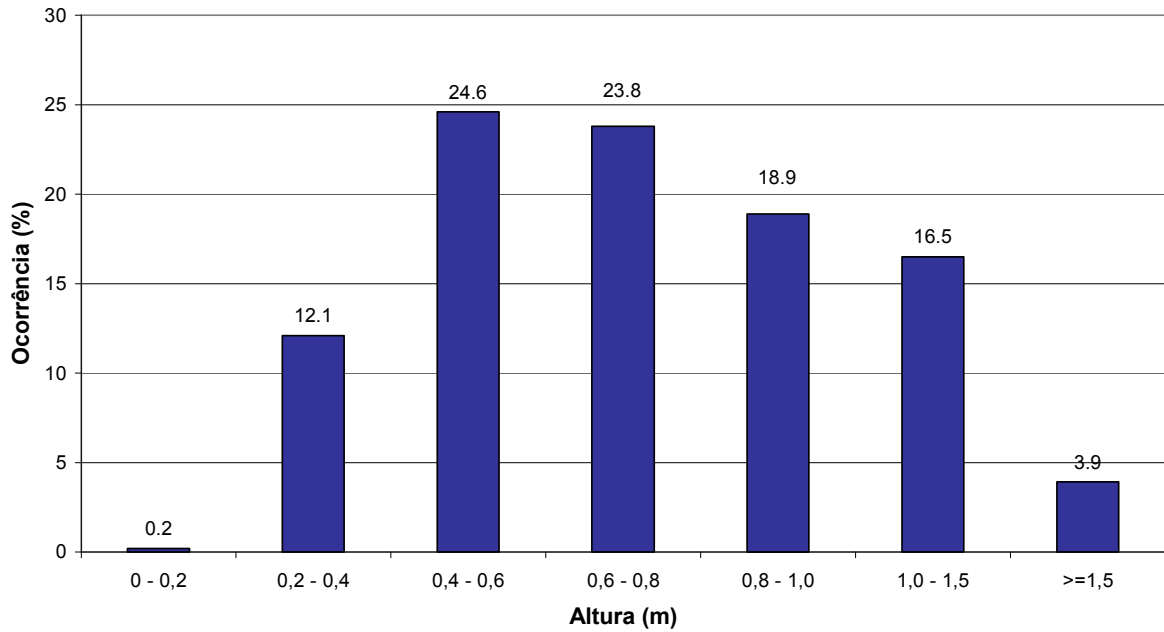


Figura 5.1.5-105 - Distribuição da Altura Significativa – Primavera - Estação #506

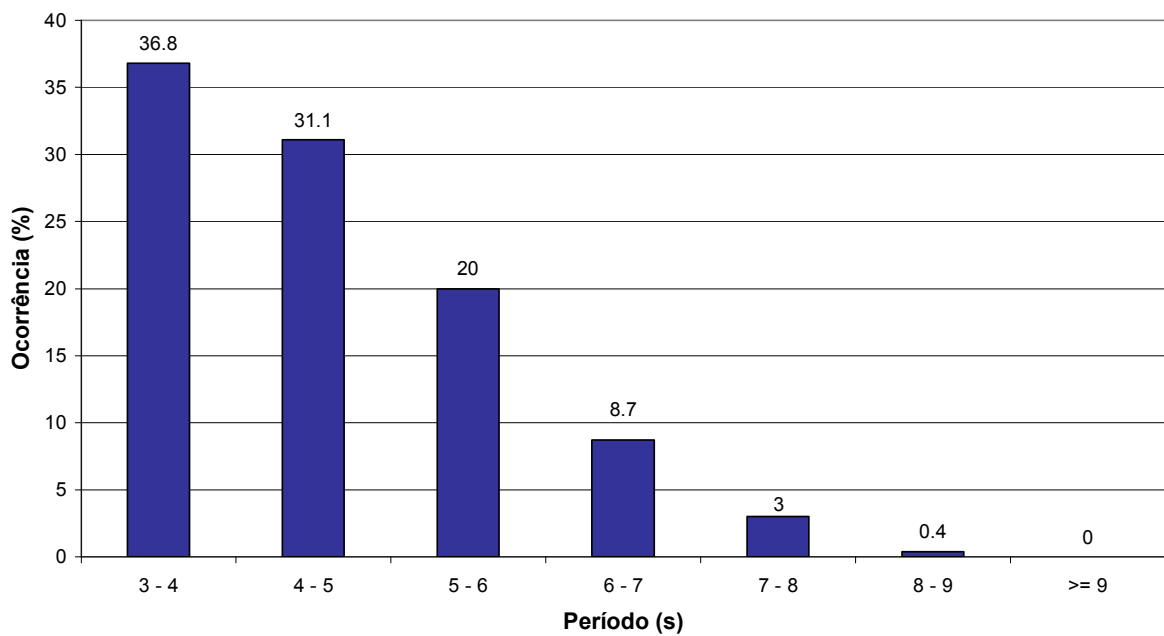


Figura 5.1.5-106 - Distribuição do Período Significativo - Primavera - Estação #506

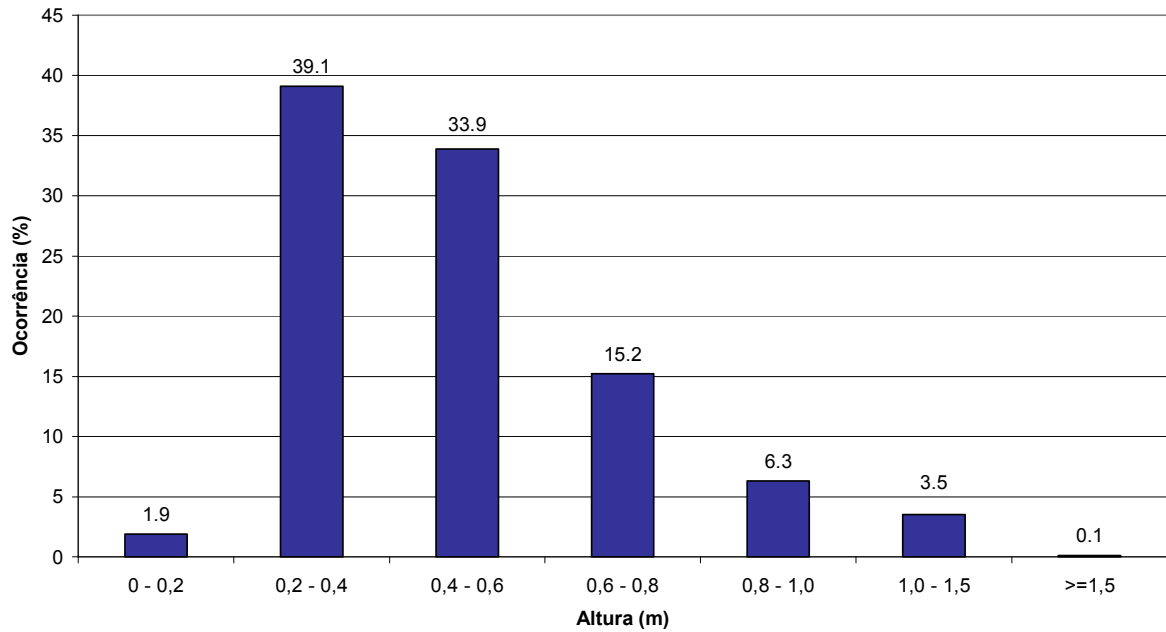


Figura 5.1.5-107 - Distribuição da Altura Significativa – Verão - Estação #506

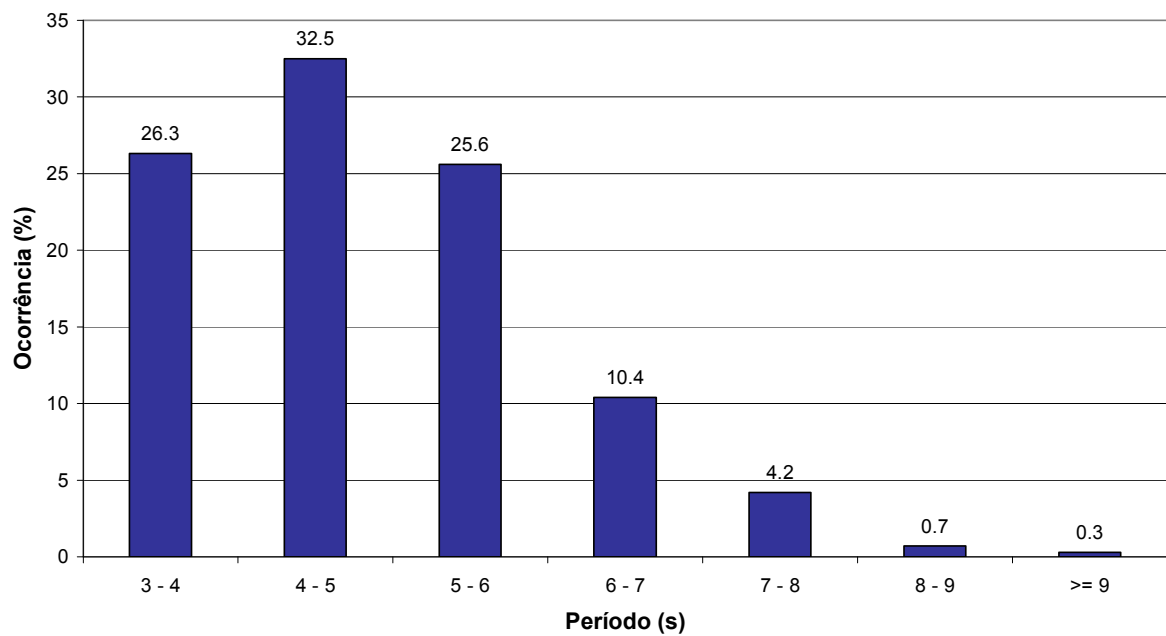


Figura 5.1.5-108 - Distribuição do Período Significativo - Verão - Estação #506

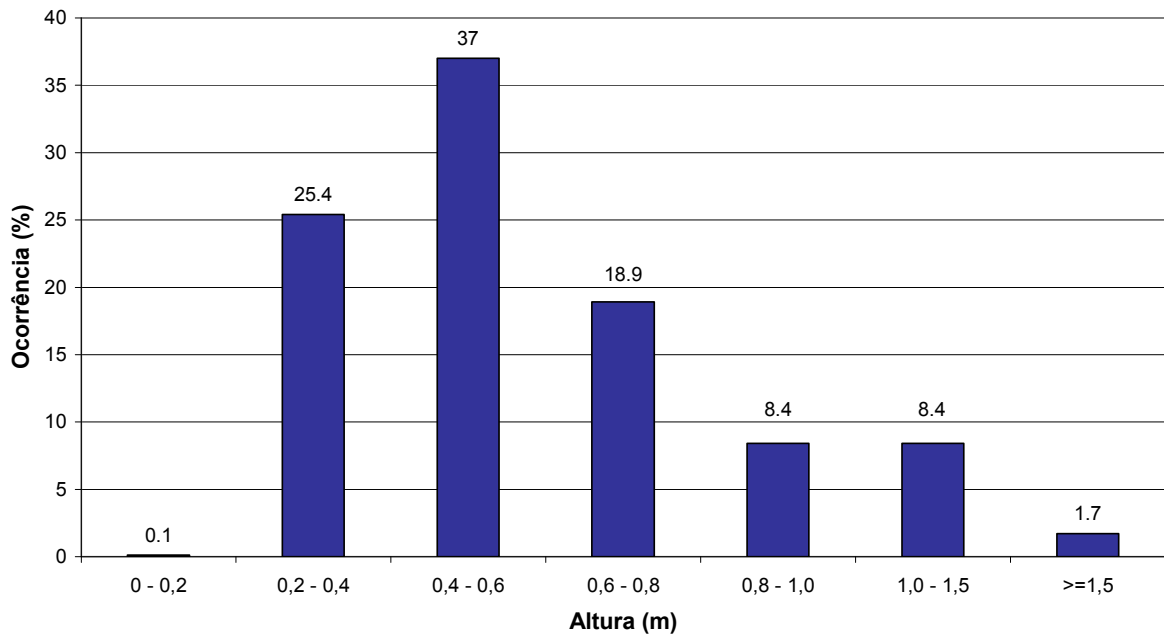


Figura 5.1.5-109 - Distribuição da Altura Significativa – Outono - Estação #506

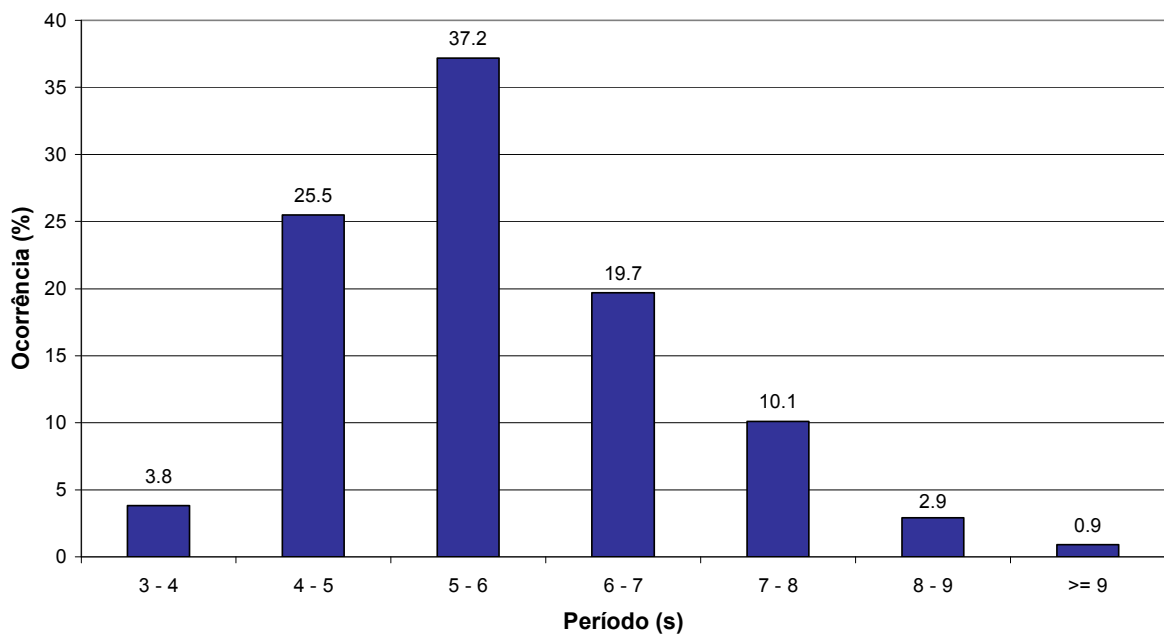


Figura 5.1.5-110 - Distribuição do Período Significativo - Outono - Estação #506

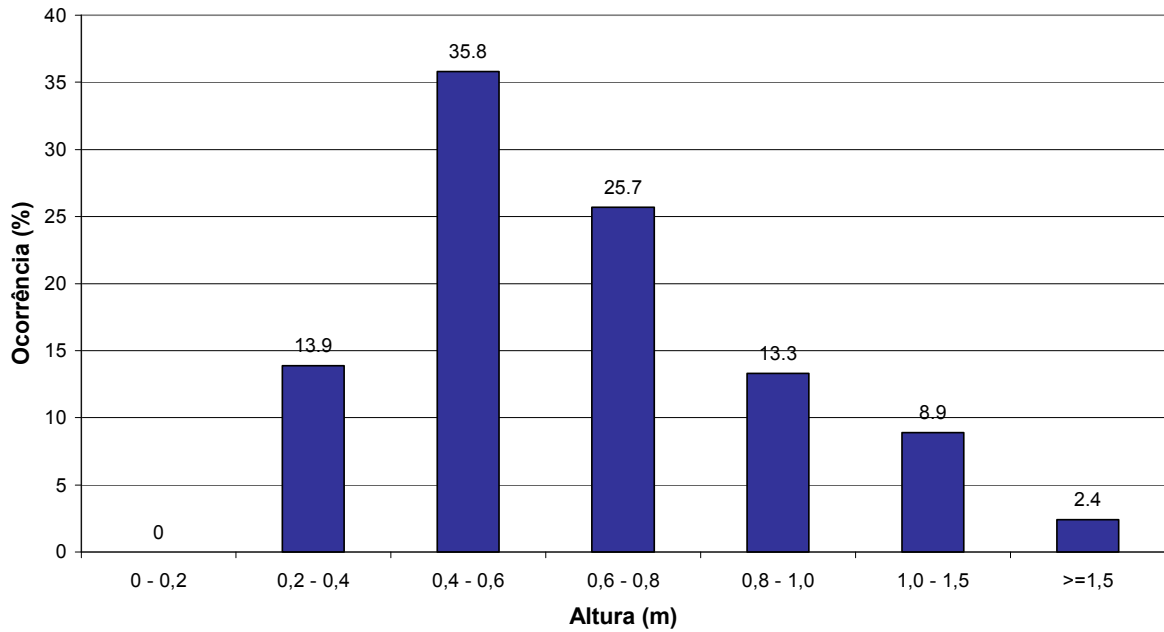


Figura 5.1.5-111 - Distribuição da Altura Significativa – Inverno - Estação #506

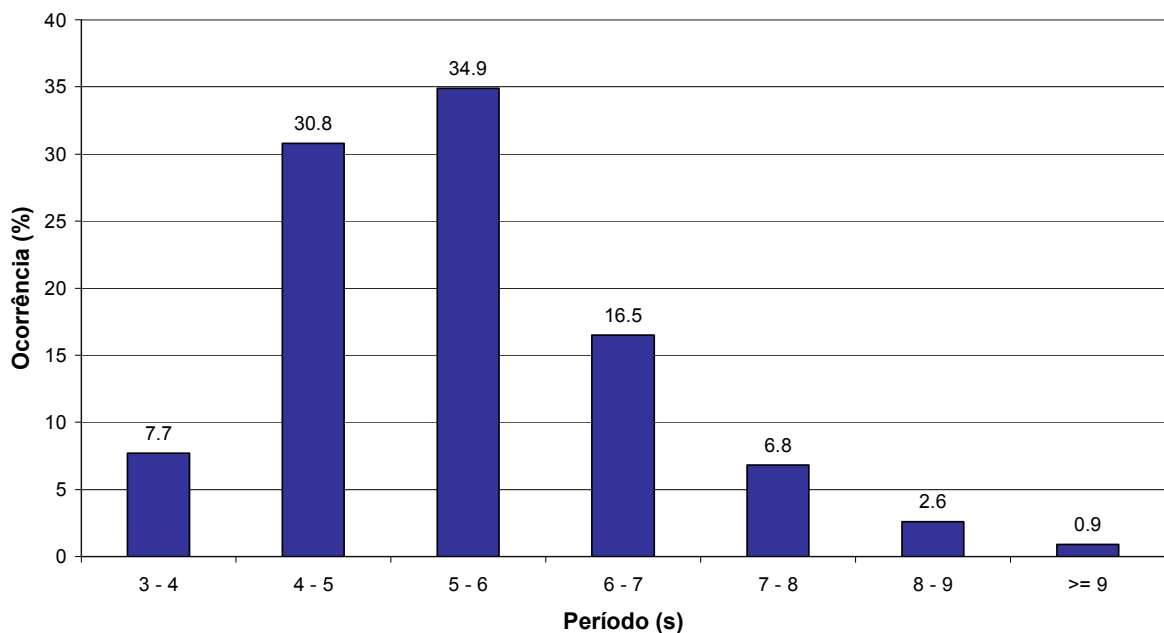


Figura 5.1.5-112 -Distribuição do Período Significativo - Inverno - Estação #506

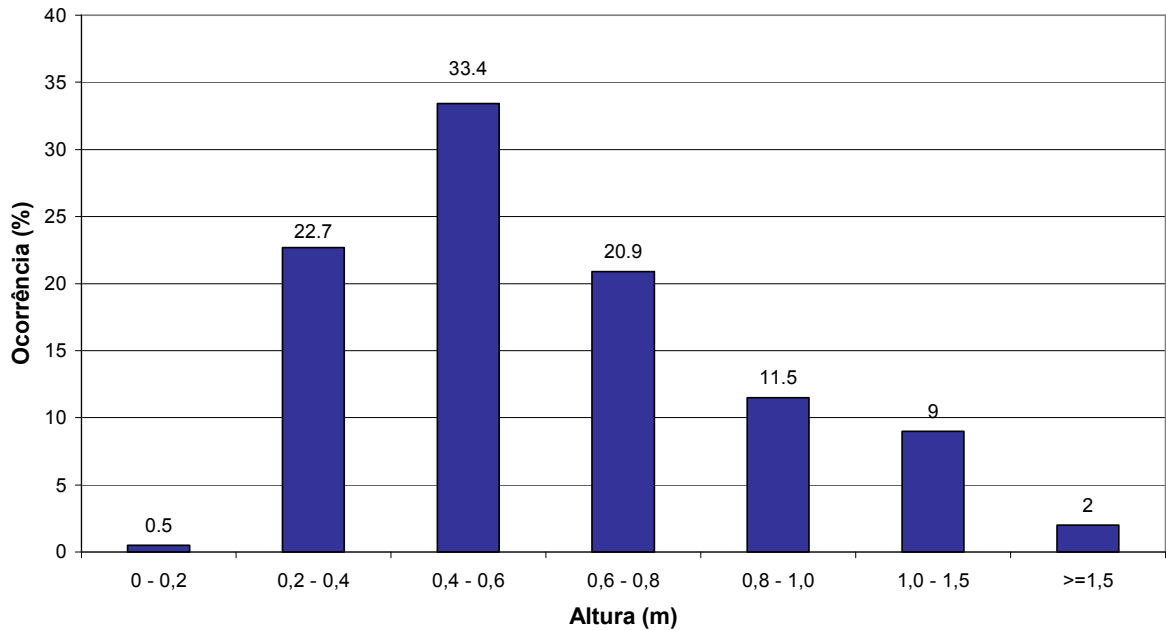


Figura 5.1.5-113 - Distribuição da Altura Significativa – Anual - Estação #506

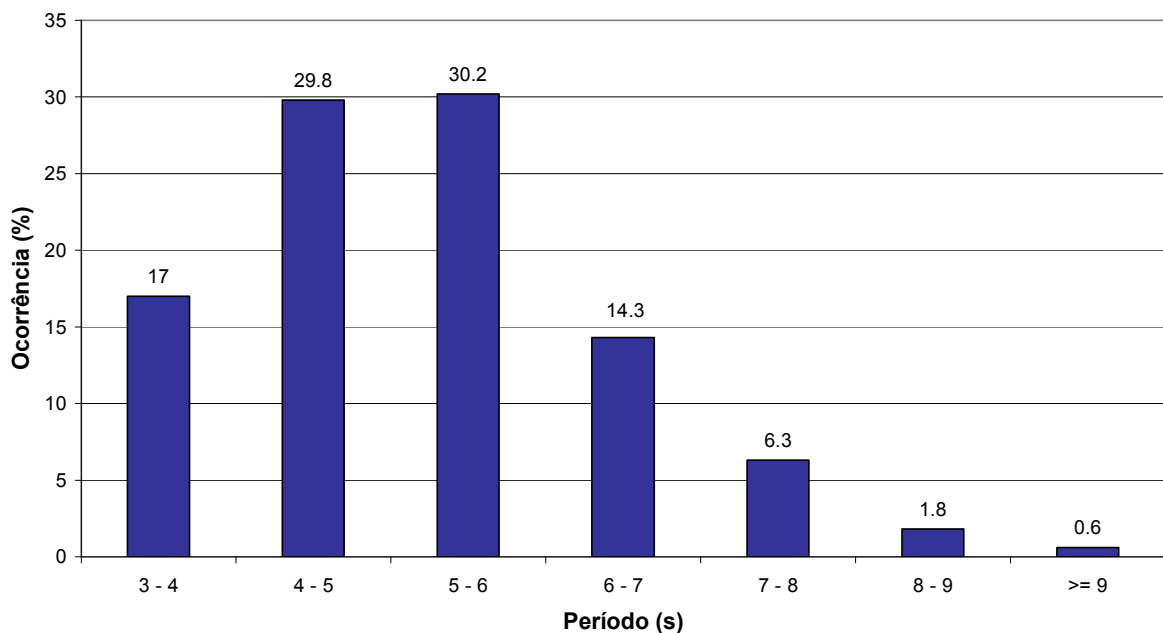


Figura 5.1.5-114 - Distribuição do Período Significativo - Anual - Estação #506

A Tabela 5.1.5-9 e a Tabela 5.1.5-10 apresentam os valores médios das alturas de ondas e períodos significativos para ambas as estações.

Tabela 5.1.5-9 - Valores médios de altura e período significativos do clima ondulatório na estação #106

Estação #106 – Estação do Ano	Altura Significativa (m)	Período Significativo (s)	Rumos predominantes (octantes)
Primavera	0,55	4,4	NE e SE
Verão	0,35	4,6	NE e SE
Outono	0,47	5,0	SE
Inverno	0,51	4,9	SE
Anual	0,47	4,7	NE e SE

Tabela 5.1.5-10 - Valores médios de altura e período significativos do clima ondulatório na estação #506

Estação #506 – Estação do Ano	Altura Significativa (m)	Período Médio (s)	Rumos predominantes (octantes)
Primavera	0,76	4,6	NE e SE
Verão	0,49	4,8	NE e SE
Outono	0,60	5,6	SE
Inverno	0,67	5,4	SE
Anual	0,63	5,1	SE

Os registros indicam que a estação #106 é menos exposta à ação das ondas do que a estação #506. Esta situação é oposta àquela observada nos dados de correntes, pois a maior proteção recifal gera uma canalização do fluxo existente para a estação #106, ocasionando maiores velocidades de corrente, ao mesmo tempo em que atenua e obstrui propagação das ondas.

A partir dos histogramas de distribuição dos valores de altura e período significativos e direção das ondas nas duas estações, observa-se que tanto a altura, como o período modal na estação #506 é maior que os correspondentes na estação #106, sendo 0,4-0,6 m e 5-6 s para a primeira e 0,2-0,4 m e 4-5 s para a segunda. As alturas máximas de onda registradas foram, no entanto, iguais em ambas as estações, tendo sido registradas no mesmo

momento (03/11/2003 15:00 horas) e associadas a uma direção de ondas de 180° na estação #106 e 145° na estação #506. Esta maior altura de onda individual, ocorrida em ambas as estações foi de 3,60 m.

Observa-se que a distribuição de frequência da altura de onda nas duas estações, torna-se similar após ondas de maior amplitude, indicando que eventos de alta energia tendem a agir com frequência e intensidade semelhantes em ambas as estações. Nestes eventos de maior energia, 66% do rumo de onda é SE-S, que é justamente a direção associada à menor proteção recifal.

A direção das ondas é preferencialmente de SE-SSE (entre 130° e 170°). Observa-se que a frequência da onda de N-NE só é significativa na primavera e parte do verão, entre os meses de outubro e janeiro, período este inferior àquele observado na circulação eólica característica de verão, que se estende de setembro a fevereiro. O rumo mais freqüente apresentado pode soar contraditório, pois as medições de ventos em Caravelas apresentam componentes de vento SE inferiores ao rumo NE. Entretanto deve-se considerar que as ondas são geradas mais ao largo e que sofrem efeitos de bloqueio, refração e difração na região de águas rasas dos bancos, que alteram seu rumo de propagação até a localização das estações #106 e #506. Ao largo, os rumos de ventos medidos em Abrolhos indicam que ventos do quadrante SE são bem mais freqüentes que em Caravelas.

De fato, o abrigo das ondas rumo NE e principalmente de rumo E promovido pelos bancos da região é sentido com intensidade na região de Caravelas, de forma que as ondas do octante SE predominam nos registros.

A análise espectral da série de dados mais longa na estação #506 (Figura 5.1.5-115) mostra concentração de energia em períodos de 12,4 horas, 24 horas e 137 (175) horas. O primeiro está associado à oscilação da maré, que promove a emersão e submersão dos recifes e desta forma altera o grau de proteção da área às ondas geradas fora dos parcéis. A Figura 5.1.5-116 mostra que a correlação entre a altura de onda e elevação do nível d'água (maré) tem um coeficiente de 0,9. O ciclo de 24 horas está associado ao regime de brisa, e o de mais longo período aparentemente à passagem de frentes frias.

Durante os anos de monitoramento, observou-se um ligeiro aumento da altura das ondas ao longo do período monitorado. Este aumento se associa ao aumento da frequência dos ventos de sul, e conseqüentemente às ondas provenientes desta direção. Entretanto, isto não pode ser tomado como uma tendência, uma vez que o período de medição considerado é pouco significativo.

Foram também verificadas variações horárias na altura das ondas em decorrência da elevação do nível d'água e ventos ao longo do dia. A Figura 5.1.5-117 mostra a oscilação da altura das ondas e maré durante 5 dias após um evento de alta energia. Observa-se que a

altura das ondas segue de modo muito próximo a variação da maré, com maiores alturas de onda na preamar e menores alturas na baixa-mar. Isto se explica pela, respectivamente, menor e maior exposição dos recifes nestes estágios da maré, os quais servem de barreira à propagação das ondas geradas do lado externo dos parais, conforme já comentado. O fato das ondas terem caráter local indica que as maiores alturas tenderão a ocorrer no momento do dia quando os ventos são mais fortes, ou seja, no período da tarde (e especialmente no verão). A Figura 5.1.5-118 mostra a variação da altura significativa e período significativo ao longo o dia. Observa-se que as menores alturas e maiores períodos ocorrem pela manhã. Com o início do período vespertino, a altura das ondas aumentam e o período diminui.

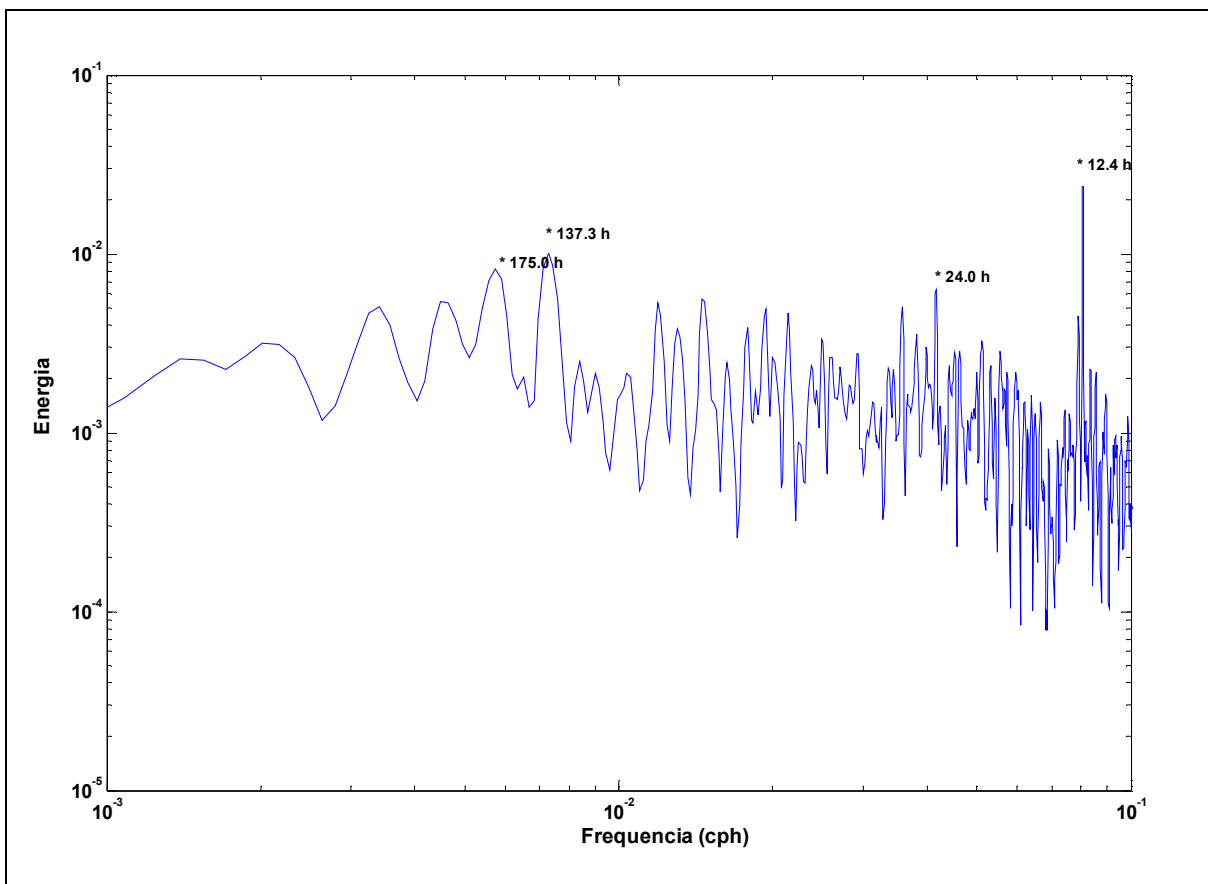


Figura 5.1.5-115 - Análise espectral da série de ondas na estação #506.

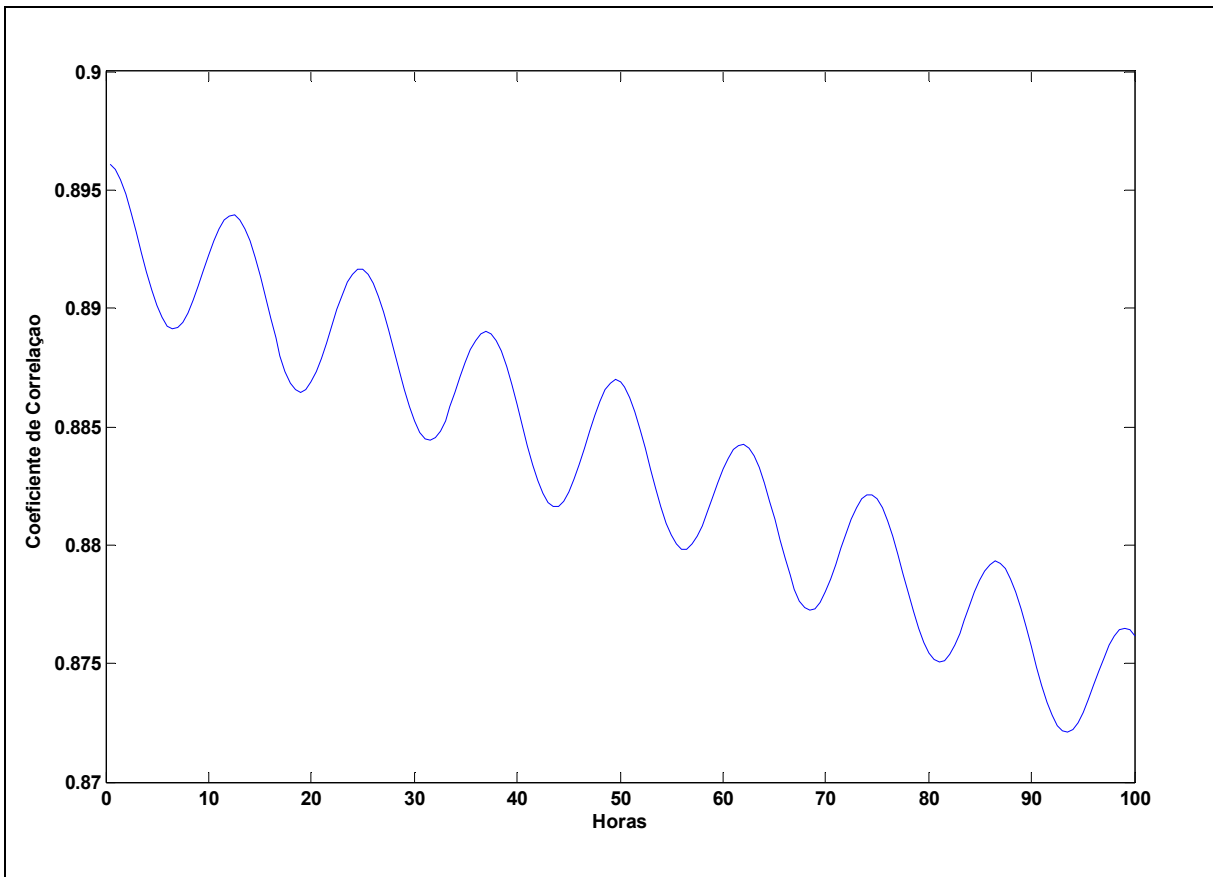


Figura 5.1.5-116 - Variação do coeficiente de correlação entre a altura de onda e maré.

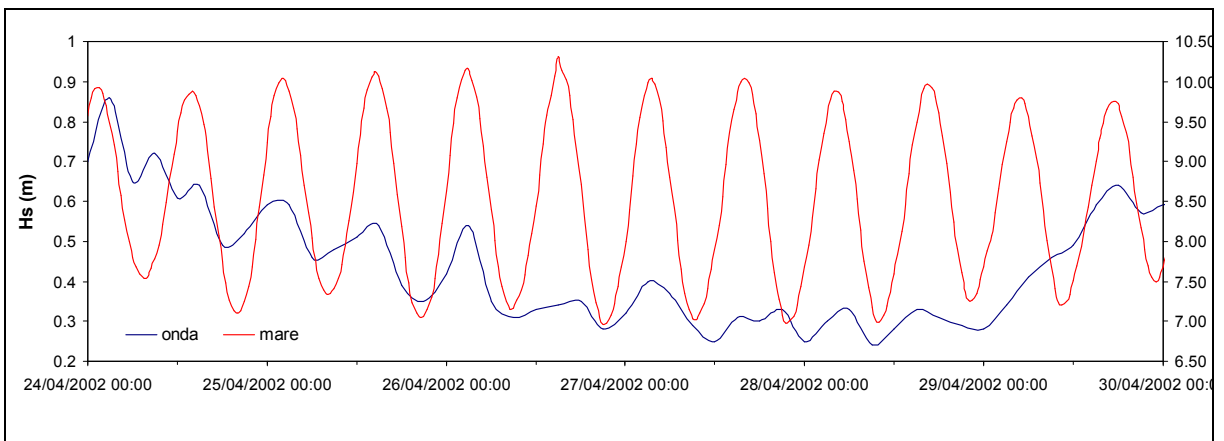


Figura 5.1.5-117 - Variação da altura das ondas e oscilação da maré na estação #506.

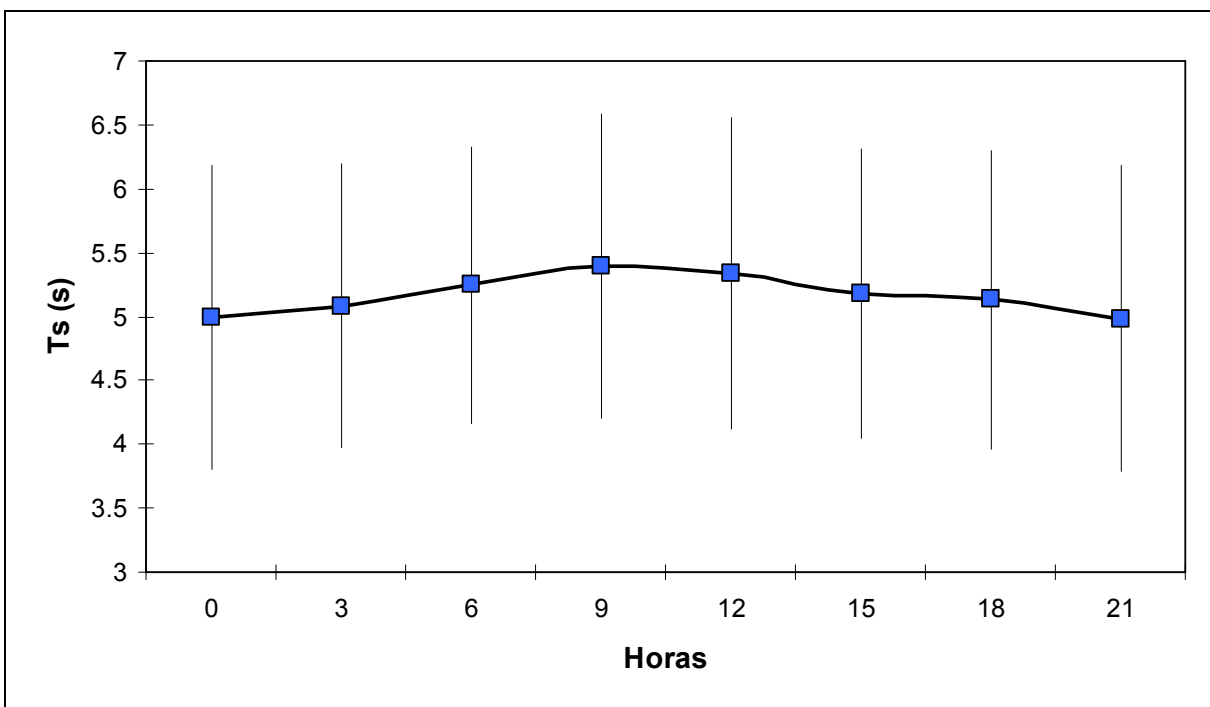
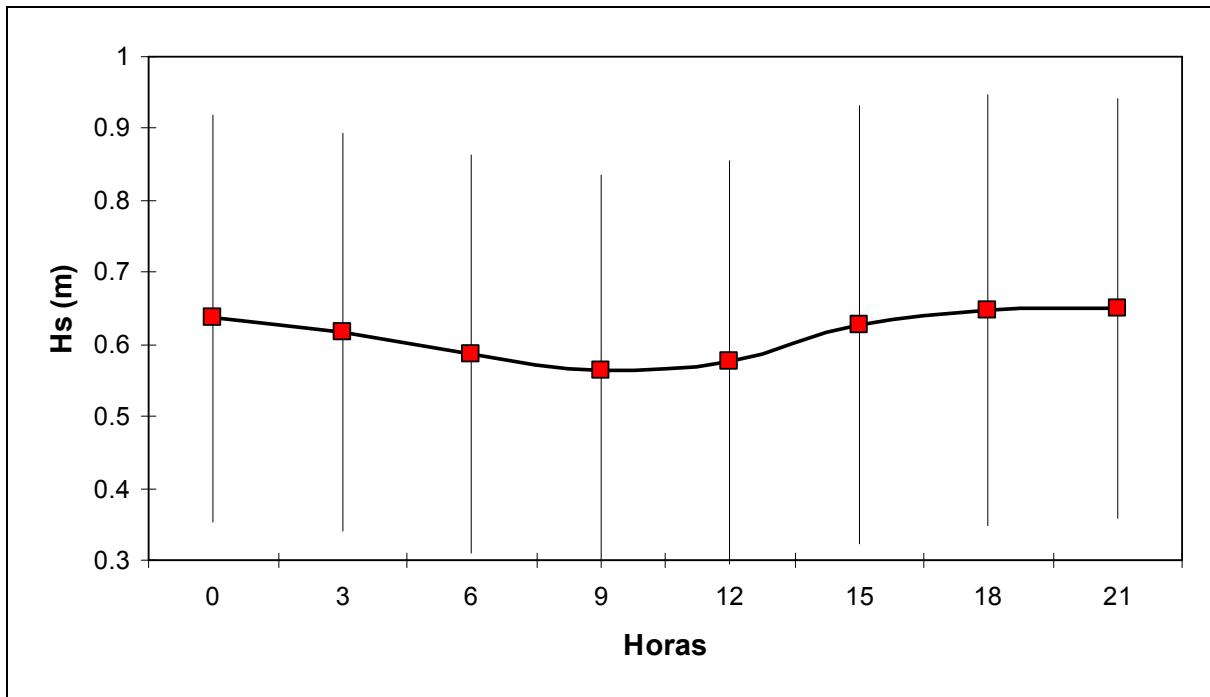


Figura 5.1.5-118 - Variação das médias horárias da altura e períodos significativos de onda na estação #506.

5.1.5.7 A Dinâmica da Concentração de Sólidos em Suspensão na Área de Influência do Empreendimento e sua relação com os agentes oceano-meteorológicos

5.1.5.7.1 Considerações Gerais

Tendo em vista a grande importância dos bancos de corais existentes ao largo da região do empreendimento, apresenta-se neste item uma complementação à descrição da Concentração de Sedimentos em Suspensão – CSS já apresentada no item 5.1.4, com ênfase em relacionar os agentes hidrodinâmicos com a variação da CSS observada na região.

5.1.5.7.2 Variação da CSS – Monitoramento dos Fundeios Oceanográficos – Estações #106 e #506

A Figura 5.1.5-119 apresenta a variação das médias mensais da concentração de sedimentos em suspensão nas estações #106 e #506 versus médias mensais da altura significativa das ondas na estação #506.

Pode-se observar a boa correlação da turbidez relativamente à altura da onda. Ainda, é possível notar que ambas as estações respondem em média com concentrações muito semelhantes.

Ao longo dos meses do ano de 2002, ano em que ocorreu o maior volume de sedimentos dragado em cisterna (1.146.649 m³), observa-se que a CSS manteve-se menor que a ocorrida durante 2004. Note ainda que em 2002 a dragagem foi encerrada em setembro e em 2004 em agosto. De fato, as altas CSS verificadas nos meses de setembro a dezembro (Figura 5.1.5-119) ocorrem naturalmente na região devido ao aumento de energia no ambiente (ventos, ondas e correntes), repetindo-se anualmente com alguma oscilação, ligada a aleatoriedade dos parâmetros climáticos.

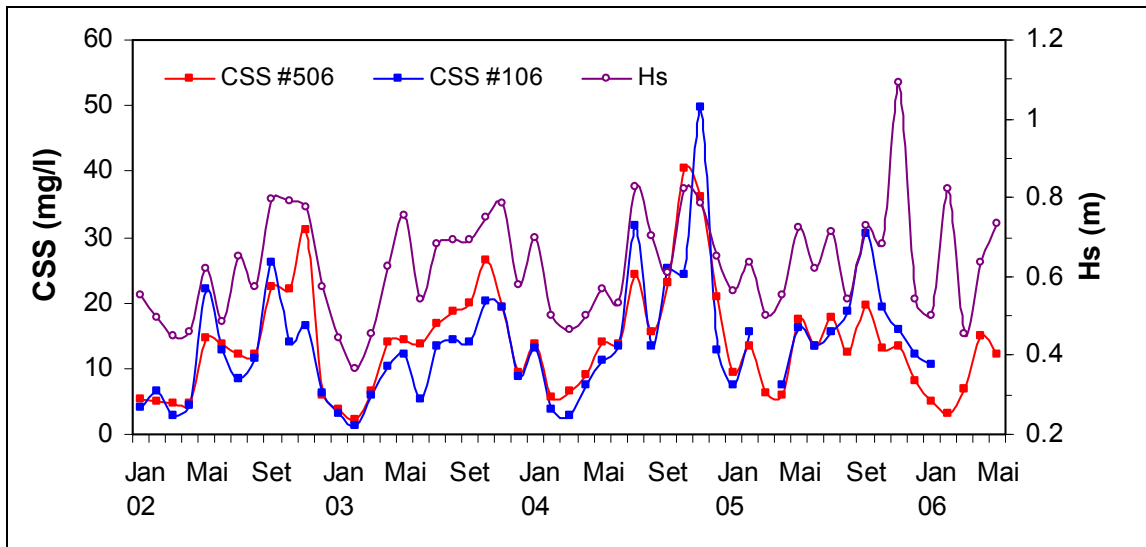


Figura 5.1.5-119 - Variação das médias mensais da concentração de sedimentos em suspensão nas estações #106 e #506 e as médias mensais da altura significativa das ondas na estação #506.

5.1.5.7.3 Variação da CSS – Monitoramento Espacial de 45 pontos

Com o objetivo de demonstrar a correlação da CSS com o hidrodinamismo local, a distribuição dos valores de CSS nos 45 pontos para cinco monitoramentos espaciais realizados em 2006 está exposta da Figura 5.1.5-120 a Figura 5.1.5-124

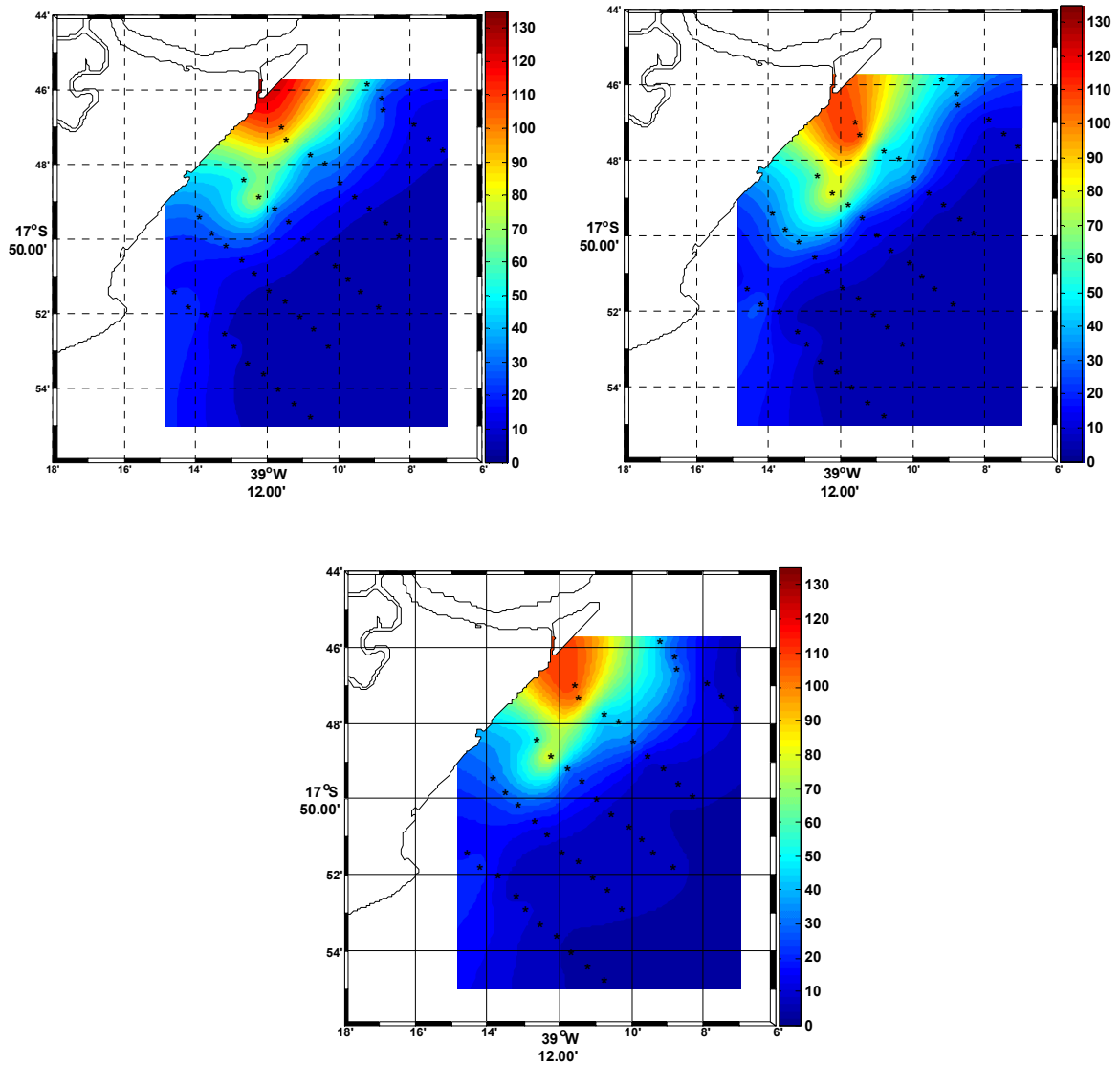


Figura 5.1.5-120 - Distribuição da concentração de sedimentos em suspensão (superfície, profundidade média amostrada e média da coluna de água) em 27/02/2006 (valores em mg/L)

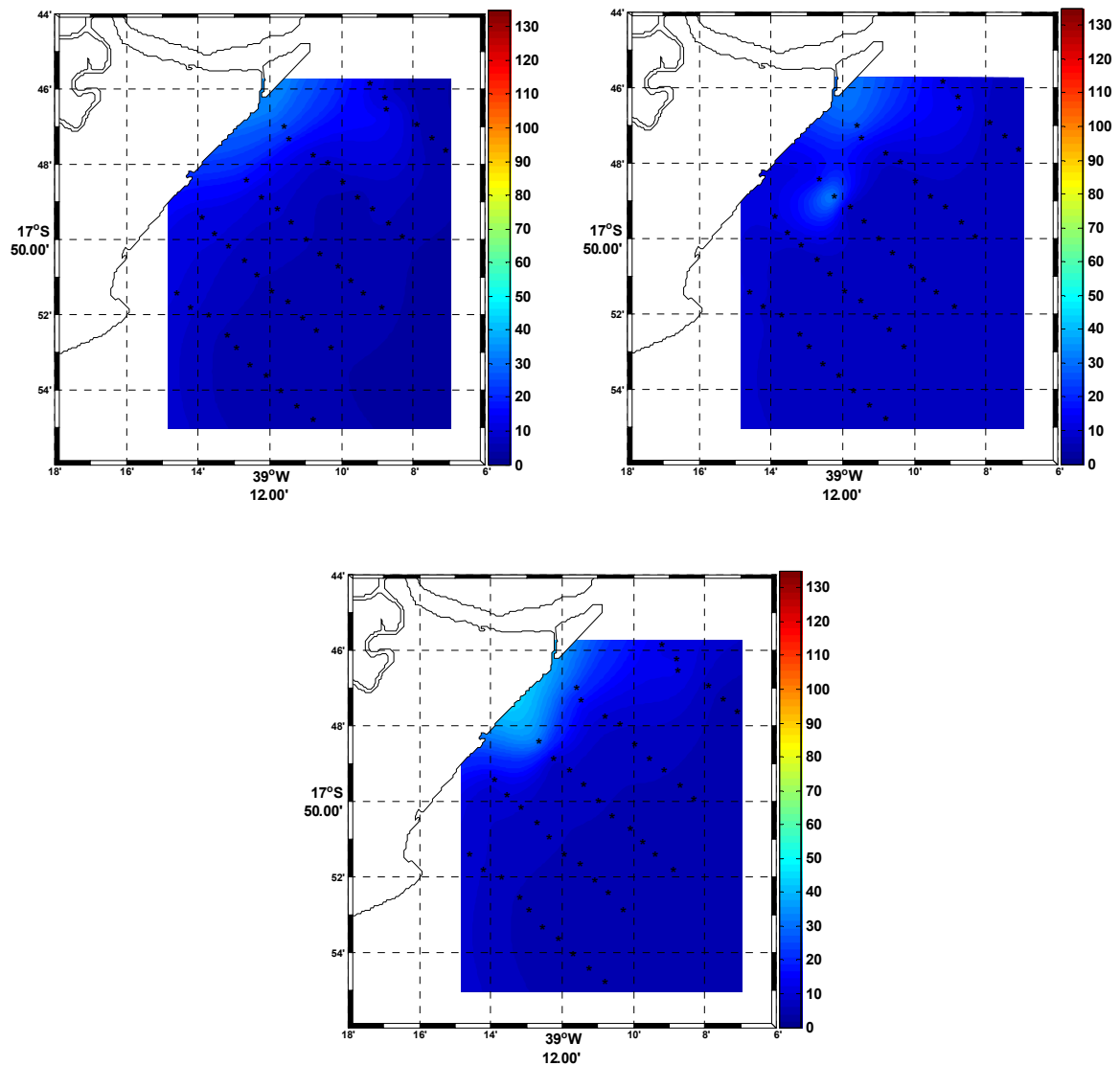


Figura 5.1.5-121 - Distribuição da concentração de sedimentos em suspensão (superfície, profundidade média amostrada e média da coluna de água) em 09/03/2006 (valores em mg/L)

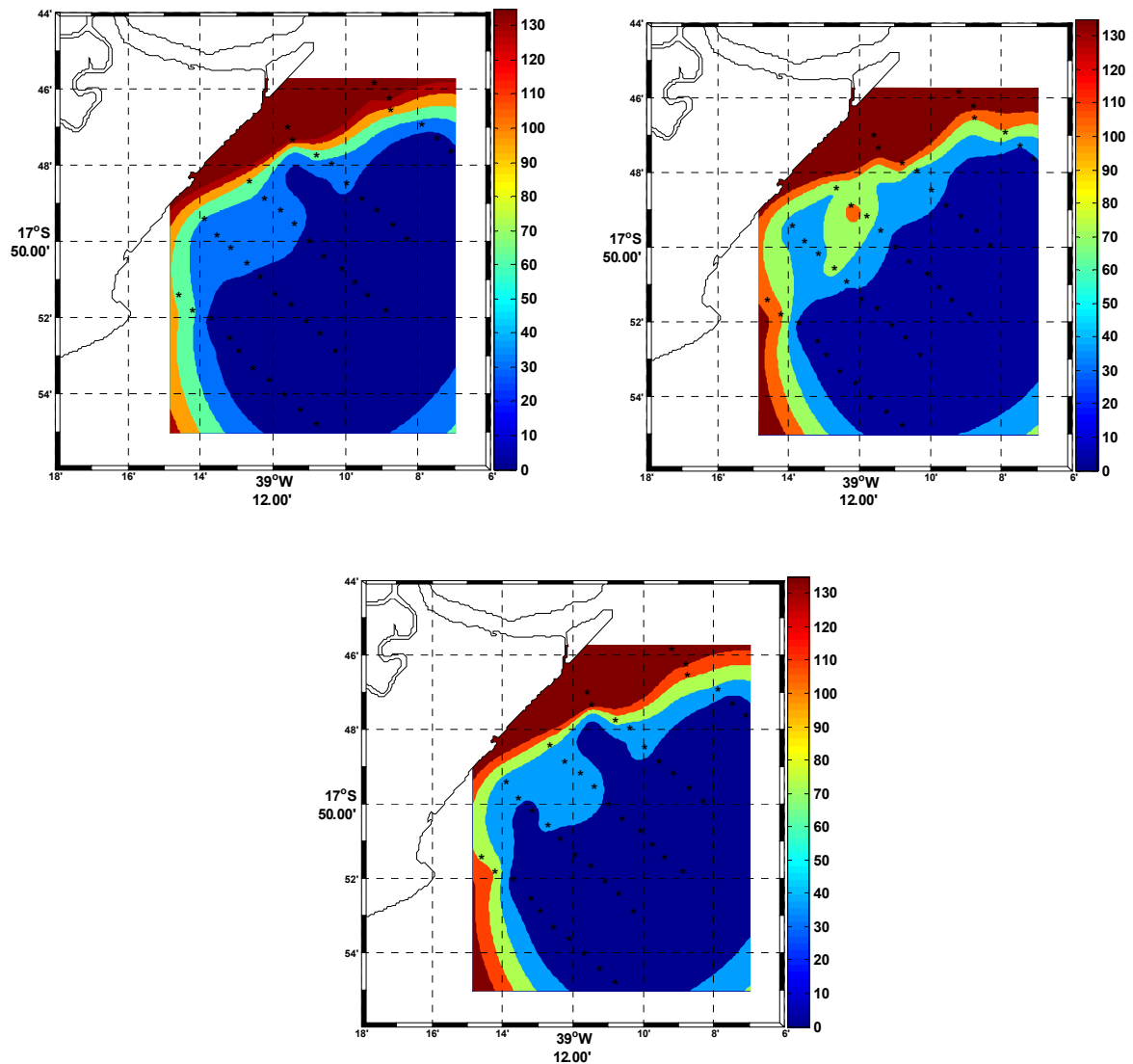


Figura 5.1.5-122 - Distribuição da concentração de sedimentos em suspensão (superfície, profundidade média amostrada e média da coluna de água) em 28/03/2006 (valores em mg/L)

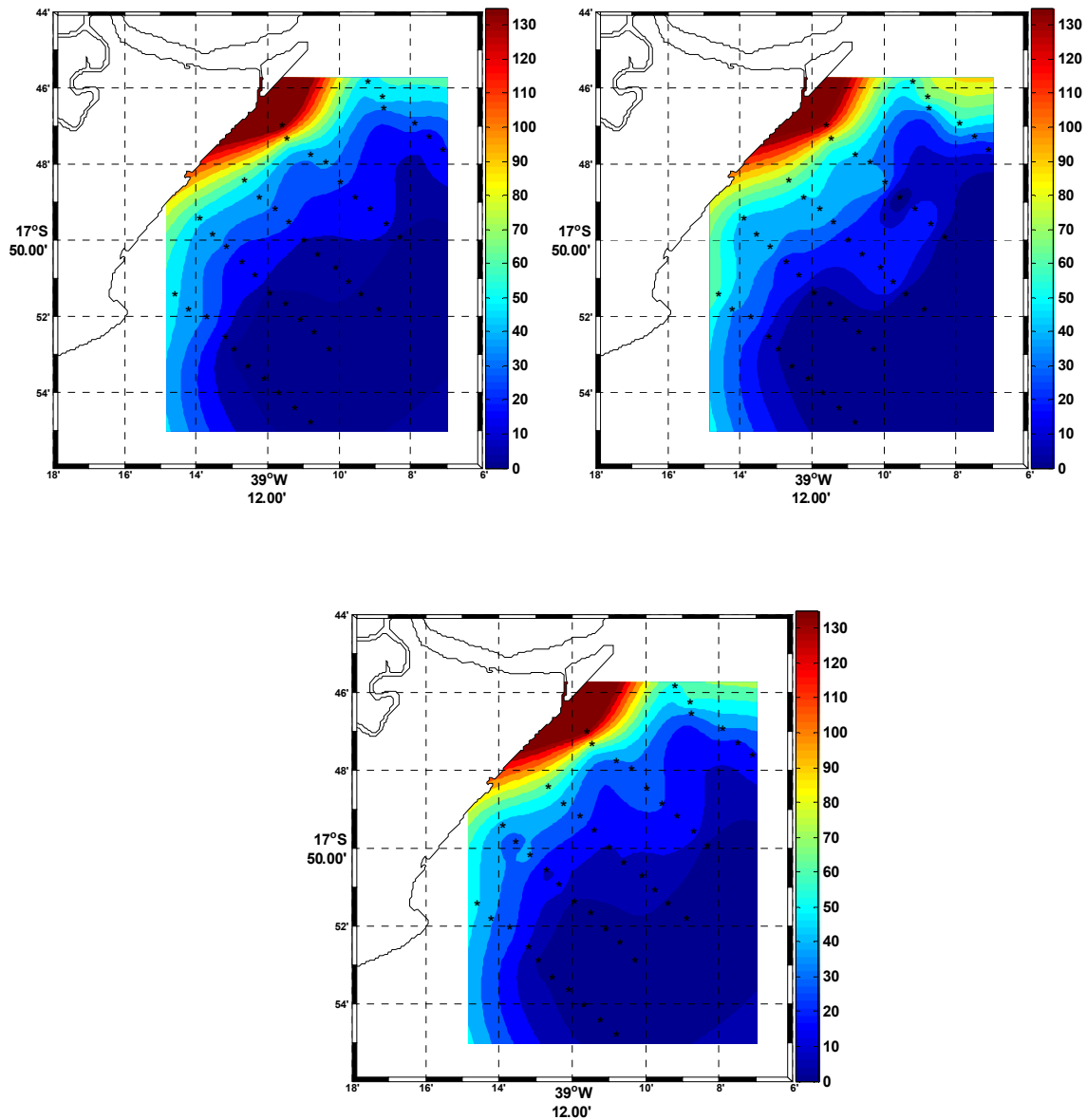


Figura 5.1.5-123 - Distribuição da concentração de sedimentos em suspensão (superfície, profundidade média amostrada e média da coluna de água) em 06/05/2006

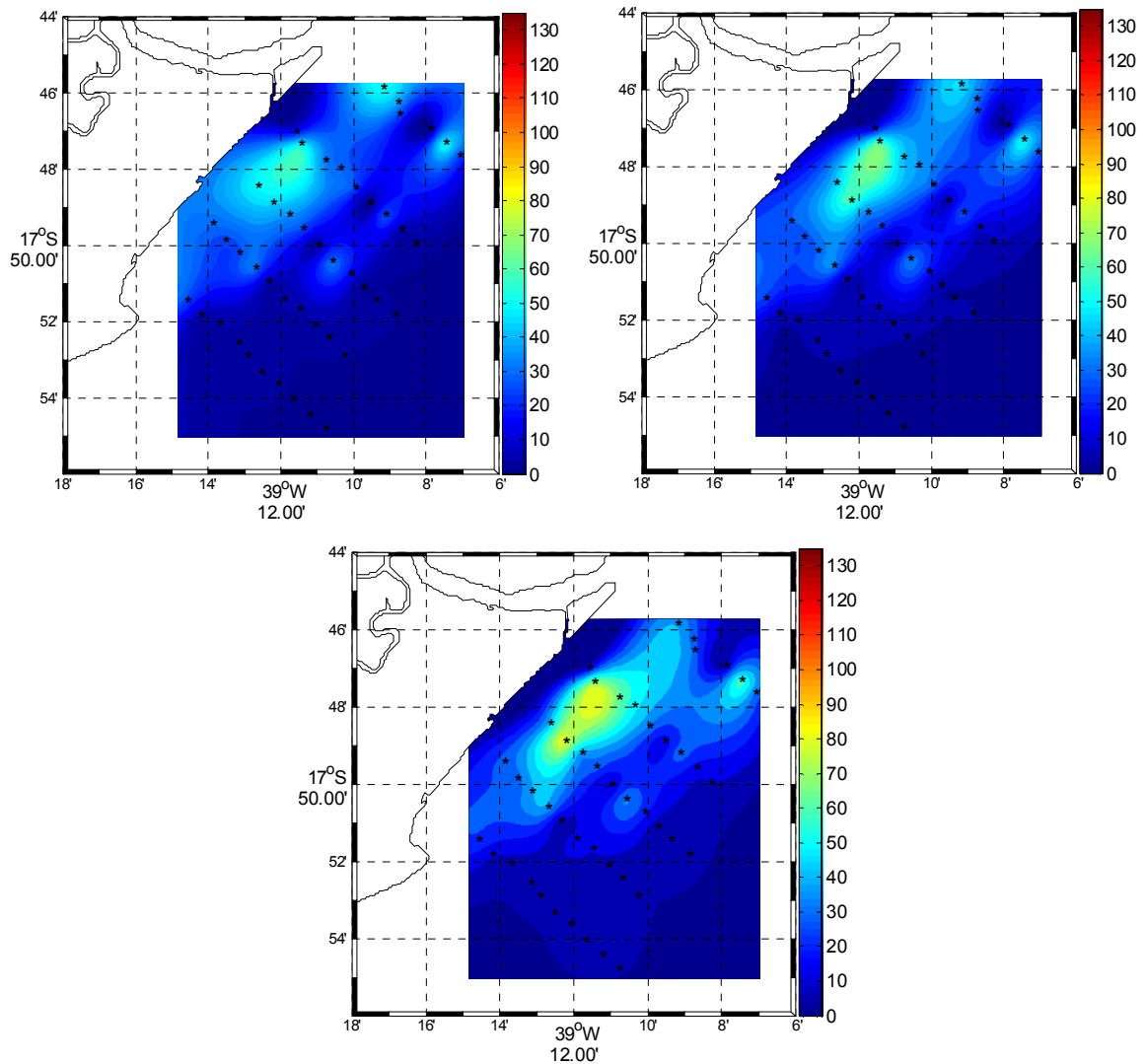


Figura 5.1.5-124 - Distribuição da concentração de sedimentos em suspensão (superfície, profundidade média amostrada e média da coluna de água) em 29/05/2006

Durante fevereiro e março de 2006 houve intensa dragagem do canal de acesso (produtividade média diária de aproximadamente 4.000 m³ "in situ"). Valores altos de concentrações durante este período poderiam indicar influência direta da dragagem. De fato, observa-se que a maior concentração de sedimentos em suspensão ocorre próximo à zona costeira, especialmente junto aos locais de dragagem e descarte (pontos #201, #202 e #302), entretanto, as maiores concentrações, valor máximo de 472 mg/L encontrado na estação #201, em 28/03/2006, também estiveram em consonância com a intensidade da agitação marítima, como pode ser observado na Tabela 5.1.5-11. Observa-se que a altura média da onda (1,21 m) para o dia 28/03/2006 foi a maior existente dentre os monitoramentos realizados em 2006.

No dia 09/03/2006, embora a dragagem estivesse ocorrendo (foi reportada dragagem e descarte de 5.049,00 m³ neste dia), os valores de CSS foram bastante baixos (média de 9,4 mg/L), o que está de acordo com a condição hidrodinâmica vigente: baixa altura de onda (0,33 m) e baixo período (4,6 s).

No dia 29/05/2006, após dois meses do término da dragagem daquele ano, a turbidez era maior que no dia 09/03/2006, porém de acordo com a hidrodinâmica: maior altura de onda (0,53 m) e maior período (7,04 s).

Ainda, na Tabela 5.1.5-11 observa-se a estreita correspondência entre os valores de turbidez medidos na estação fixa (S4) com aquele medido próximo ao fundo pelo monitoramento espacial de 45 pontos. A maior diferença, de 33% entre o valor obtido pelo monitoramento espacial com o valor do equipamento oceanográfico fundeado na estação #506, ocorreu no dia 28/3, em situação de maior turbidez.

Tabela 5.1.5-11 - Média das variáveis ambientais durante o monitoramento espacial

Data	Altura onda (m)	Período onda (s)	Vento (m/s)	Correntes Long. (m/s)	CSS #506 (mg/L)*	CSS S4 #506 mg/L)
27/02/2006	0,79	4,1	2,5	-0,06	9,1	7,3
09/03/2006	0,33	4,6	4,8	-0,13	6,8	6,5
28/03/2006	1,21	4,5	3,4	0,27	14,4	18,8
06/05/2006	0,94	4,8	3,0	0,27	5,3	-
29/05/2006	0,53	7,04	2,8	-0,06	9,5	11,7

* Valor de CSS obtido pelo monitoramento espacial dos 45 pontos;
Obs.: A estação #506 não estava operante no momento do monitoramento espacial dos 45 pontos de turbidez em 06/05/2006

Observa-se que a CSS registrada no dia 28/03/2006 (Figura 5.1.5-122) foi a maior até o momento, superando o máximo anteriormente registrado em novembro de 2001. No item 5.1.4 apresenta-se a distribuição espacial da CSS média entre 2001 e 2006 nos 45 pontos de monitoramento. Valores mais elevados, acima de 50 mg/L, ocorrem nas estações #201 e #202, sendo que a média junto ao fundo é superior a 80 mg/L na estação #202. A região de maior turbidez estende-se para o sul em direção à estação #301 e #302, onde os valores médios são superiores a 30 mg/L (>50 mg/L junto ao fundo).

5.1.5.7.4 Variação da CSS versus hidrodinâmica – Análise utilizando-se imagens de satélite e dados oceanográficos de ondas, correntes, turbidez e ventos

5.1.5.7.4.1 Considerações Gerais

O sensoriamento remoto da cor da água é realizado com o uso de sistemas sensores passivos, que operam durante o dia e sua fonte de energia é o próprio Sol, cujos fótons podem seguir caminhos diferentes antes de alcançarem o detector remoto. Estes sistemas empregam sensores com campo de visada estreito, capazes de monitorar o fluxo radiométrico que chega aos seus detectores em diferentes comprimentos de onda, nas faixas do visível e infravermelho próximo do espectro eletromagnético (Kampel & Novo, 2005).

Os diversos componentes encontrados na água, sejam eles dissolvidos ou particulados, possuem propriedades ópticas diferenciadas quando expostos à luz devido a sua natureza e concentração. Quando a luz incide sobre a água, tais componentes possuem propriedades que podem espalhar ou absorver essa luz, provocando uma modificação na cor da água.

Águas limpas com baixa concentração de partículas e substâncias dissolvidas, como por exemplo, as águas oceânicas, tendem a ter sua reflectância dominada pelas propriedades ópticas da água pura, ou seja, na região do azul. Um exemplo disso são as águas oceânicas que possuem uma cor azul escuro ou azul profundo (Kampel & Novo, 2005).

O presente estudo utilizou as imagens obtidas pelo sensor TM do satélite Landsat-5, que apresenta uma frequência de revisitas a cada 16 dias, uma resolução espacial de 30 m (multiespectral) e de 120 m (termal), com 8 bits de resolução radiométrica e atingindo as regiões do espectro visível, infravermelho próximo e infravermelho médio e termal (Gherardi & Carvalho, 2005).

As imagens de satélite selecionadas foram escolhidas de forma a caracterizar situações com e sem dragagem, como também eventos de alta e baixa energia hidrodinâmica na área. Foram priorizadas as imagens que apresentavam menor cobertura de nuvem sobre a região de interesse e aquelas onde existiam informações a respeito das ondas, correntes, turbidez e ventos na data da imagem.

Posteriormente foram tratadas e decompostas nas bandas 3, 2, 1 (RGB 321) a fim de que as plumas de sedimento em suspensão pudessem ser visualizadas.

Informações oceanográficas sobre ondas (altura significativa e direção), correntes (magnitude e direção) e turbidez (concentração de sólidos em suspensão) coletados por dois correntômetros (estações #106 e #506) fundeados na plataforma continental interna de Caravelas, assim como os dados de ventos (velocidade e direção) coletados pela estação meteorológica da ARCEL foram incorporados na análise das imagens. O período destes dados representa tanto os dados do momento da aquisição da imagem, como os sete dias que antecederam a data de registro de cada uma das imagens obtidas pelo satélite Landsat-5. Os dados relativos aos dias anteriores são importantes para verificação dos efeitos inerciais existentes na área relativamente às concentrações de sólidos em suspensão. Na Tabela 5.1.5-12 são apresentadas as datas das imagens e os períodos de dados oceano-meteorológicos considerados.

Tabela 5.1.5-12 – Datas e períodos relativos as imagens analisadas

Imagem	Data da imagem	Período considerado de dados oceano-meteorológicos
Imagem 1	03 de fevereiro de 1999	27/1/1999 a 3/2/99
Imagem 2	23 de janeiro de 2001	16/1/01 a 23/1/01
Imagem 3	22 de junho de 2003	15/6/2003 a 22/6/2003
Imagem 4	24 de julho de 2003	17/7/2003 a 24/7/2003
Imagem 5	4 de março de 2004	25/2/2004 a 4/3/2004
Imagem 6	23 de março de 2005	16/3/2005 a 23/3/2005
Imagem 7	13 de julho de 2005	6/7/2005 a 13/7/2005
Imagem 8	1 de outubro de 2005	24/9/2005 a 1/10/2005
Imagem 9	29 de março de 2007	22/3/2007 a 29/3/2007

São apresentados, a seguir, os dados de ondas, correntes, turbidez e ventos obtidos para os períodos de interesse, seguidos por uma análise individual da situação encontrada em cada uma das nove imagens. Na seqüência é apresentada uma análise integrando os dados oceanográficos, as épocas do ano e o status da dragagem.

5.1.5.7.4.2 Apresentação dos Resultados

Os resultados estão agrupados pela data da imagem de satélite e divididos em ondas, correntes, ventos e turbidez.

5.1.5.7.4.2.1 03 de fevereiro de 1999

Esta data é anterior à construção do Terminal de Barcaças de Caravelas e das atividades de dragagem do canal de acesso a Barra do Tomba. Os resultados abaixo correspondem apenas ao vento atuante na região, não havendo dados de ondas, correntes e turbidez, visto que estes começaram a ser registrado apenas a partir do ano de 2002.

Ventos

As velocidades do vento durante o período de até sete dias que antecederam a obtenção da imagem de satélite, apresentaram uma variação entre 0 e 10,9 m/s, com uma média de 4,6 m/s e um desvio padrão de 2,7. Os ventos mais freqüentes vieram das direções 0° a 90°, ou seja, entre N e L. (Figura 5.1.5-125 e Figura 5.1.5-126).

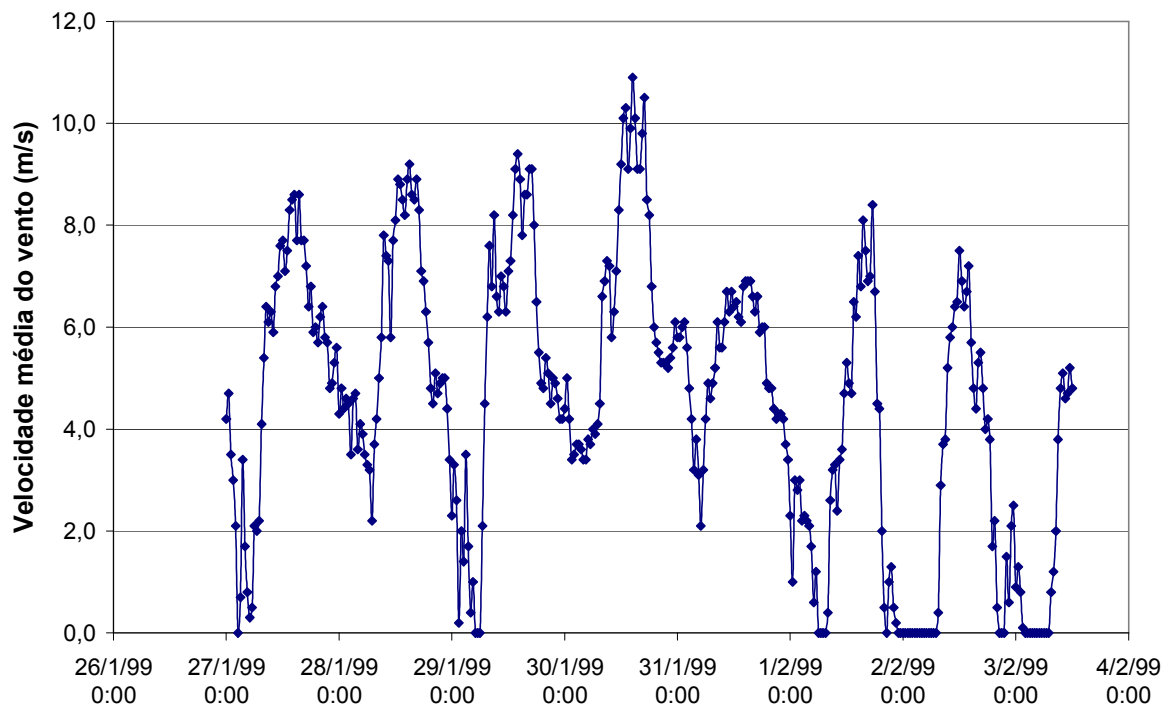


Figura 5.1.5-125 - Variação da velocidade média do vento no final de janeiro e início de fevereiro de 1999

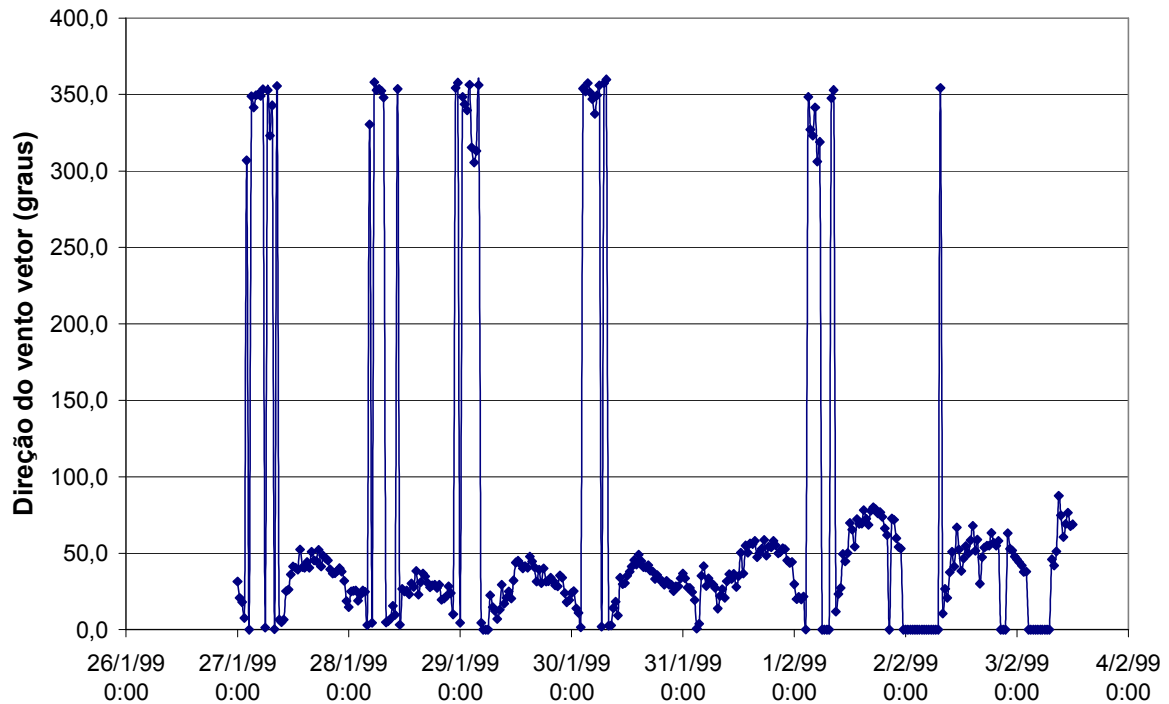


Figura 5.1.5-126 - Variação na direção do vento no fim de janeiro e início de fevereiro de 1999

Sabendo-se que nesta data as atividades de dragagem no canal de acesso a Barra do Tomba não tinham se iniciado, pode-se concluir que a pluma de sedimento presente na imagem de satélite corresponde a um evento natural. Observa-se que a pluma sedimentar possui duas faixas características, sendo a faixa mais escura ocorrendo nas localidades mais rasas (próximas da costa) atingindo cerca de 5 km (perpendicular à costa, partindo da Boca do Tomba) e outra faixa mais clara um pouco mais distante da costa, atingindo aproximadamente 15 km (perpendicular à costa, partindo da Boca do Tomba). No momento em que a imagem foi obtida, o vento apresentava uma velocidade de 4,8 m/s na direção 68,8° (NE/E) (Figura 5.1.5-127 – veja imagem ampliada no anexo P). Observa-se que o Canal Sueste apresenta no momento da imagem com uma concentração baixa de CSS (água cor azul escura), assim como o Canal de Abrolhos.

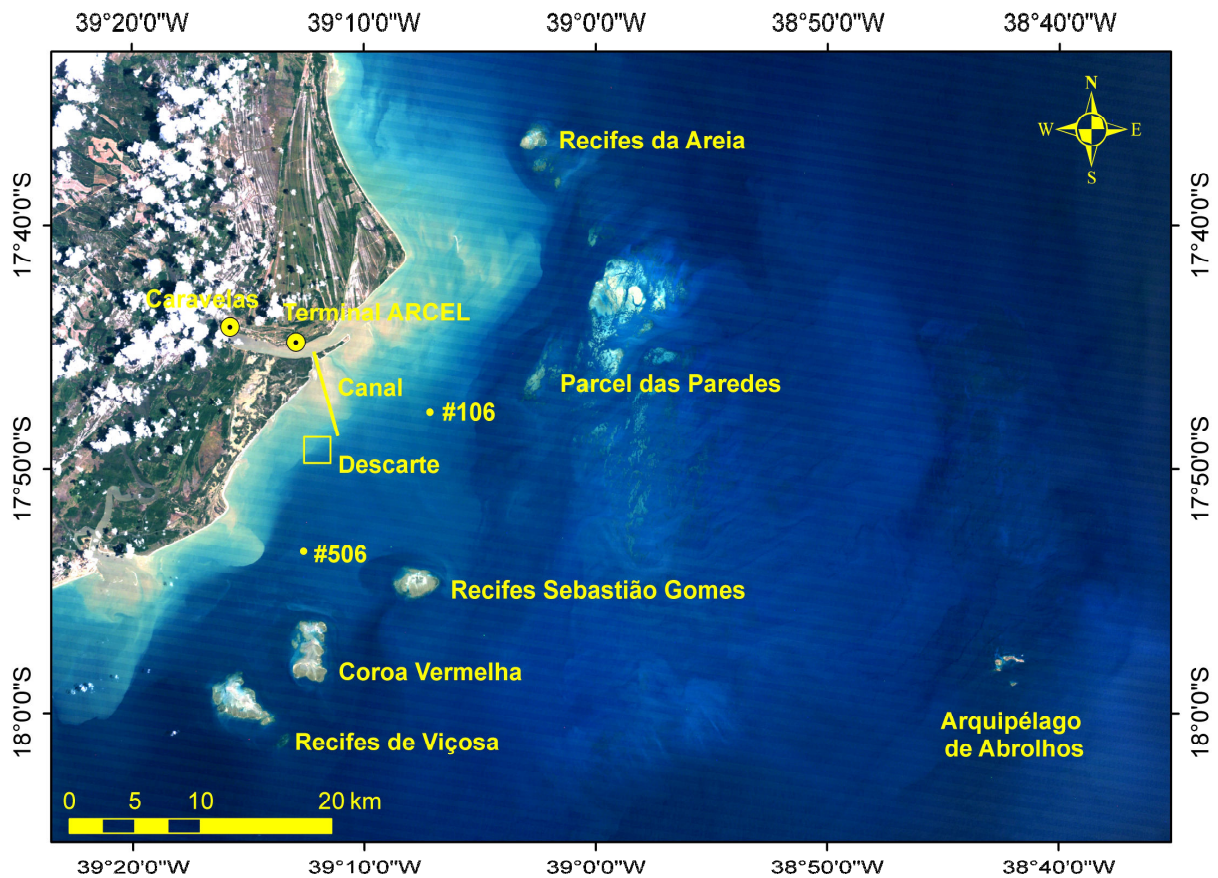


Figura 5.1.5-127 - Imagem Landsat TM5, para o dia 03 de fevereiro de 1999

5.1.5.7.4.2.2 23 de janeiro de 2001

Esta data também é anterior à construção do Terminal de Barcaças de Caravelas e das atividades de dragagem do canal de acesso a Barra do Tomba.

Ventos

As velocidades do vento durante a semana que antecedeu a obtenção da imagem de satélite, apresentaram uma variação entre 0 e 9,5 m/s, com uma média de 3,7 m/s e um desvio padrão de 2,0. Nos últimos três dias antes da imagem de satélite (20/03 a 23/03) a direção de maior frequência dos ventos oscilou de 0° a 60°, ou seja, entre N e NE/E (Figura 5.1.5-128 e Figura 5.1.5-129).

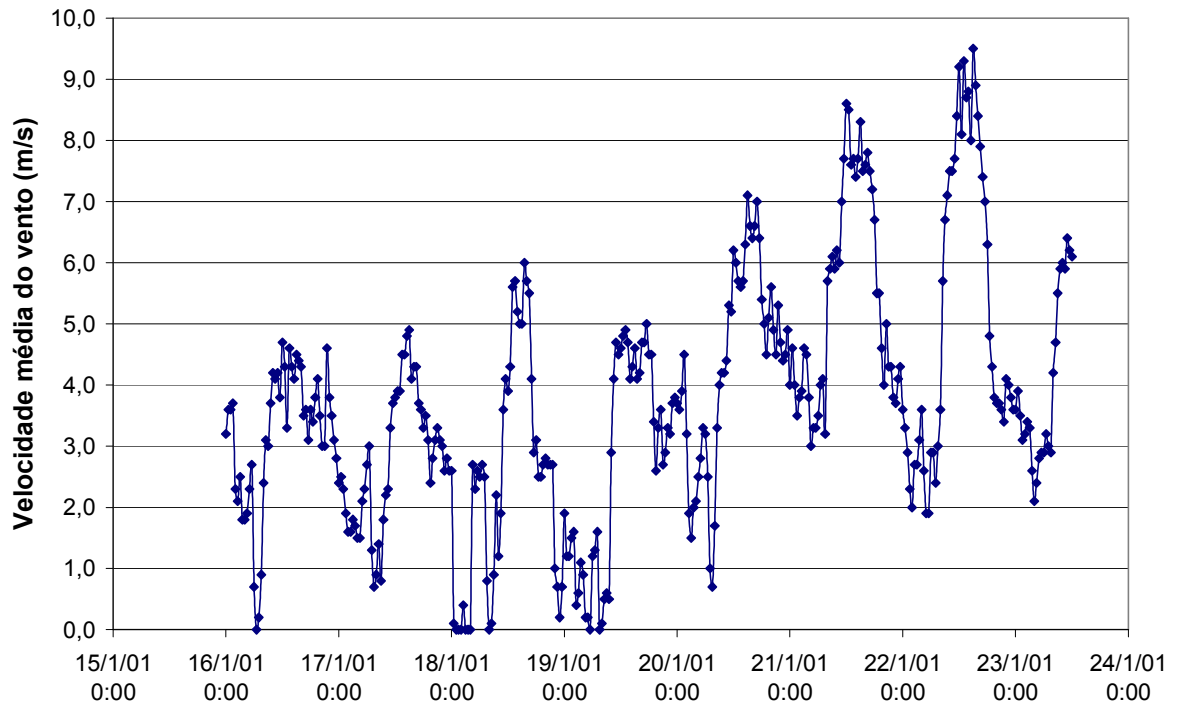


Figura 5.1.5-128 - Variação na velocidade média do vento em meados de janeiro de 2001

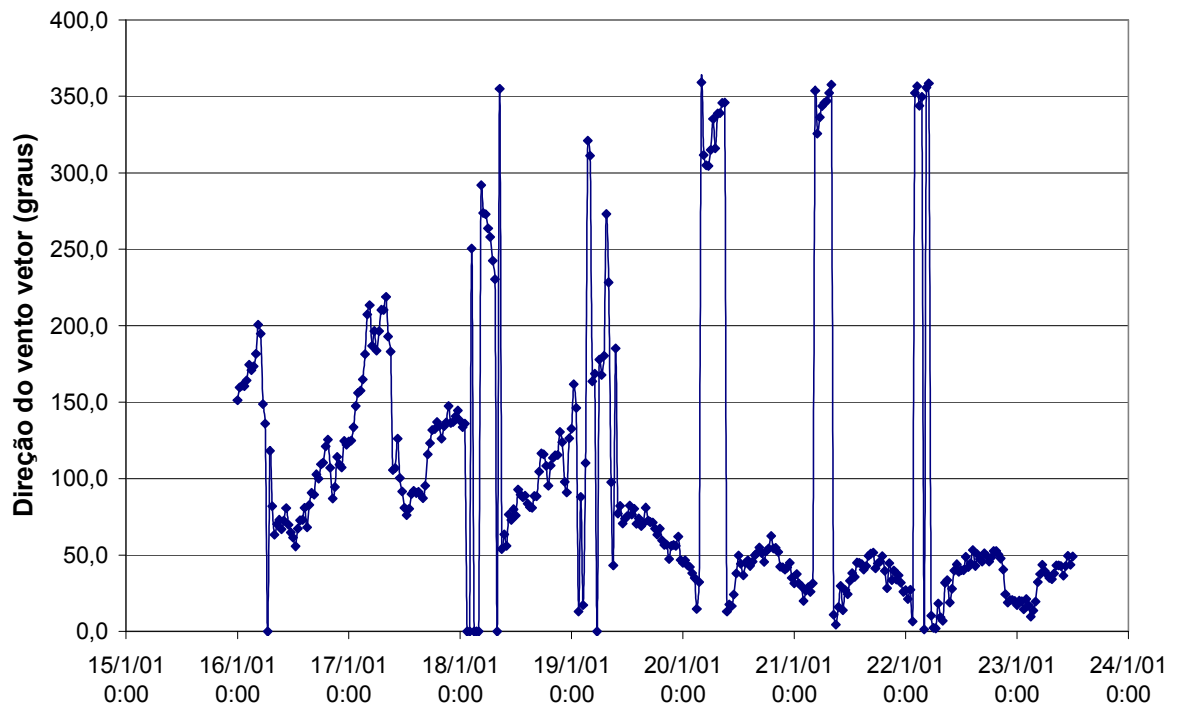


Figura 5.1.5-129 - Variação na direção do vento em meados de janeiro de 2001

A pluma de sedimento presente na imagem de satélite corresponde a uma condição natural, visto que nesta data ainda não havia atividades de dragagem. Observa-se que a pluma sedimentar em frente à localidade da Ponta da Baleia, também tende a se aproximar naturalmente dos recifes ao norte do Parcel das Paredes. Nota-se uma pluma distando da Ponta do Catoeiro até os Recifes Viçosa e Coroa Vermelha, com extensão de aproximadamente 8 km. No momento da obtenção da imagem, o vento apresentava uma velocidade de 6,1 m/s na direção 49° (NE) (Figura 5.1.5-130 – veja imagem ampliada no anexo P).

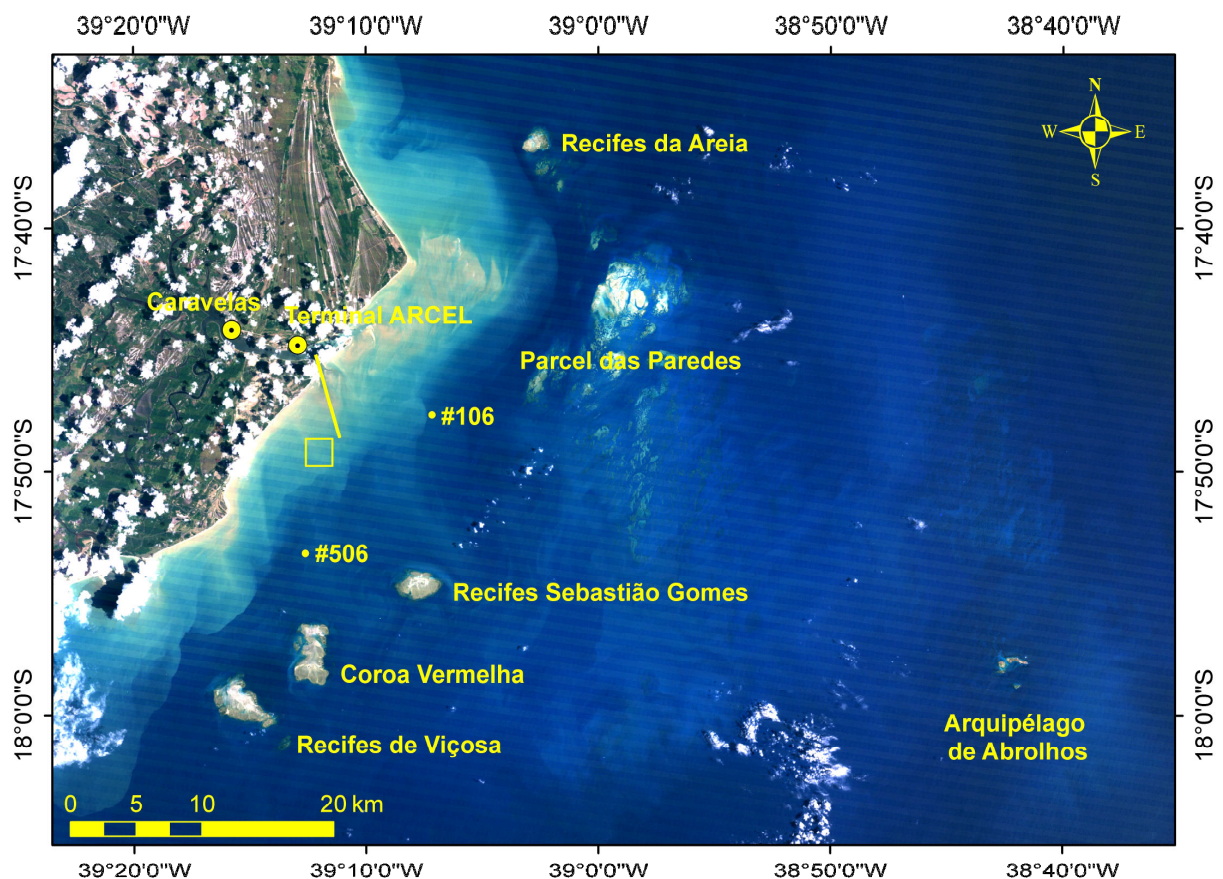


Figura 5.1.5-130 - Imagem Landsat TM5, para o dia 23 de janeiro de 2001

Da mesma forma que a imagem anterior de 03 de fevereiro de 1999, as imagens retratam uma condição típica de verão, em que podem ser encontradas na região águas de menor turbidez ao largo, embora a faixa de turbidez constante próxima a linha de costa seja mantida, conforme já foi caracterizado pelo monitoramento espacial de 45 pontos.

5.1.5.7.4.2.3 22 de junho de 2003

Nesta data o Terminal de Barcaças de Caravelas já estava implantado e as obras de dragagem no canal de acesso à Barra do Tomba haviam se iniciado. O status operacional

de dragagem no momento da aquisição da imagem tinha a classificação normal, isto é, a dragagem estava sendo permitida.

Ventos

Os dados de velocidade do vento variaram de 0 a 6 m/s, com uma média de 3,1 m/s (+1,4), enquanto sua direção média foi de 182° (S) (Figura 5.1.5-131 e Figura 5.1.5-132).

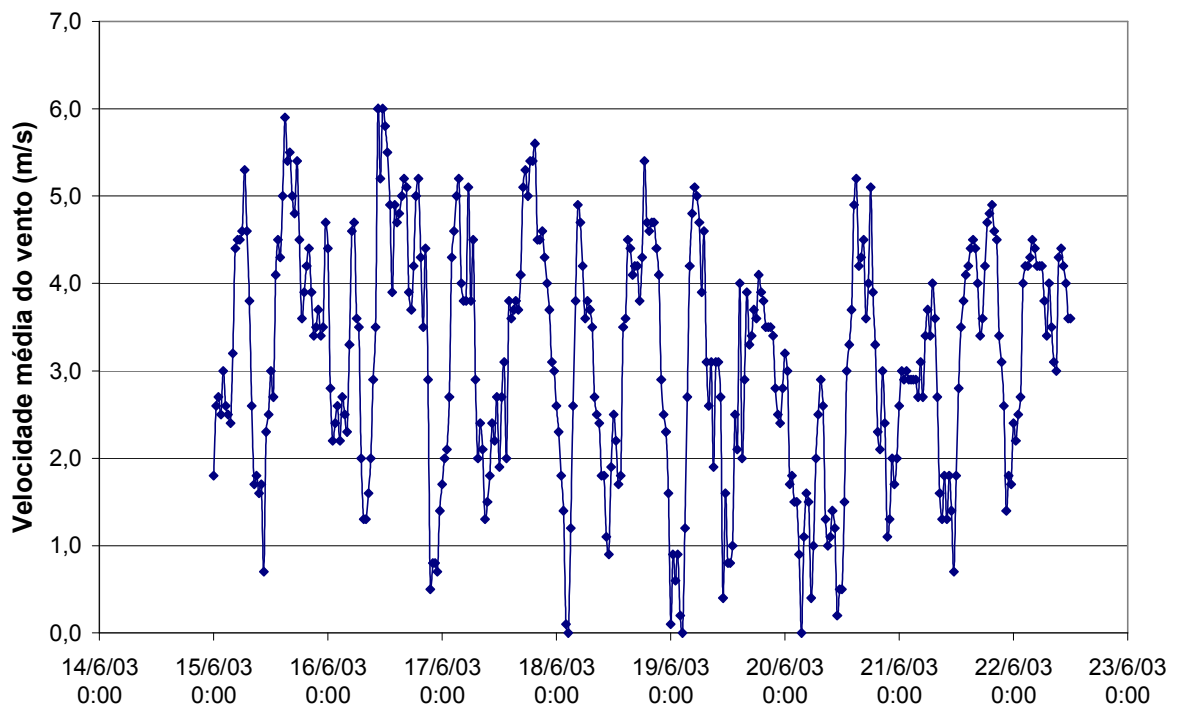


Figura 5.1.5-131 - Distribuição da velocidade média do vento em meados de junho de 2003

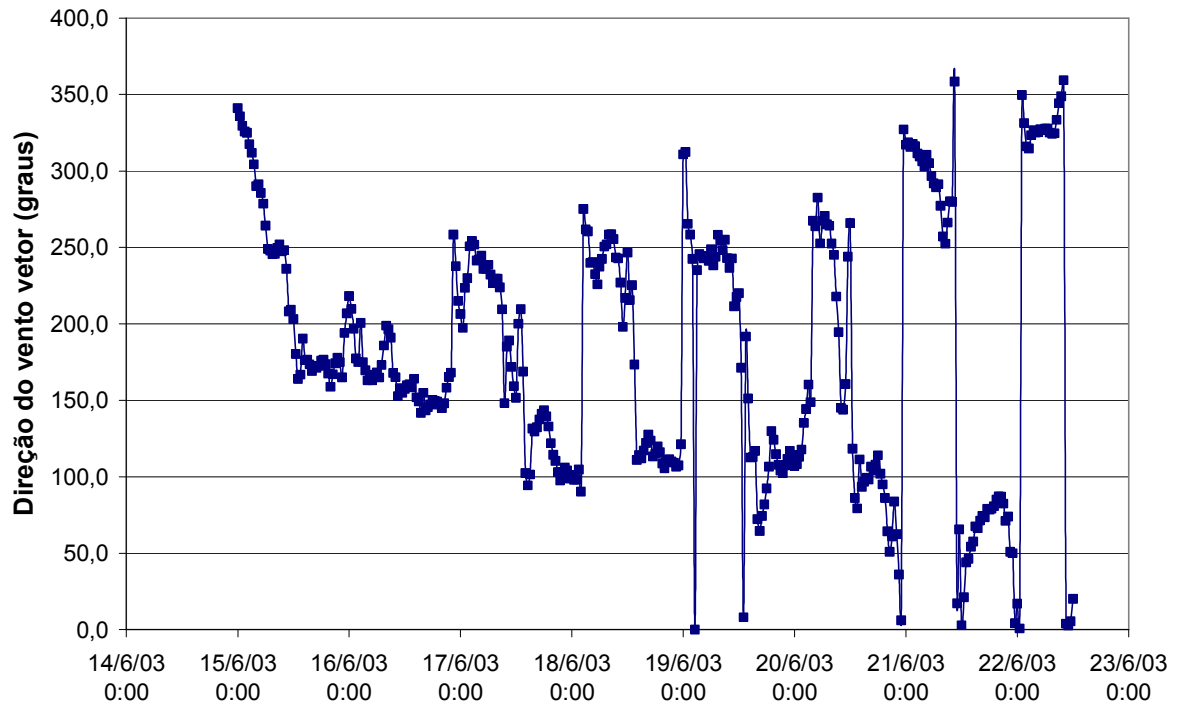


Figura 5.1.5-132 - Distribuição na direção do vento em meados de junho de 2003

Ondas

As alturas de onda durante o período de até sete dias que antecedeu a aquisição da imagem, variaram de 0,21 a 1,55 m de altura significativa (H_s), com um H_s médio na estação #106 de 0,43 m (+ 0,23) e na estação #506 de 0,70 m (+ 0,32). Nota-se na Figura 5.1.5-133 que as maiores H_s ocorreram no início da semana, principalmente na estação #506. A direção das ondas manteve-se com pouca variação, em ambas as estações, com médias de 152° (#106) e 151° (#506), ou seja, vindas de SE/S (Figura 5.1.5-133 e Figura 5.1.5-134).

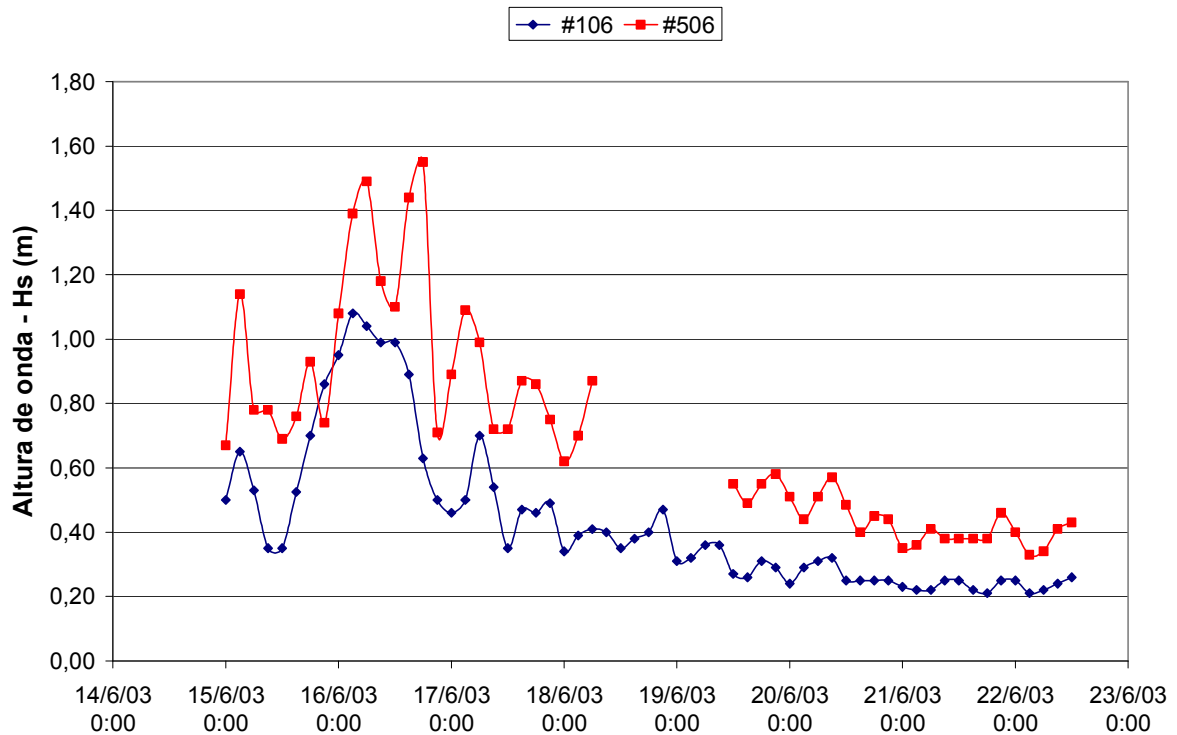


Figura 5.1.5-133 – Distribuição das ondas para ambos correntômetros (#106 e #506) em meados de junho de 2003

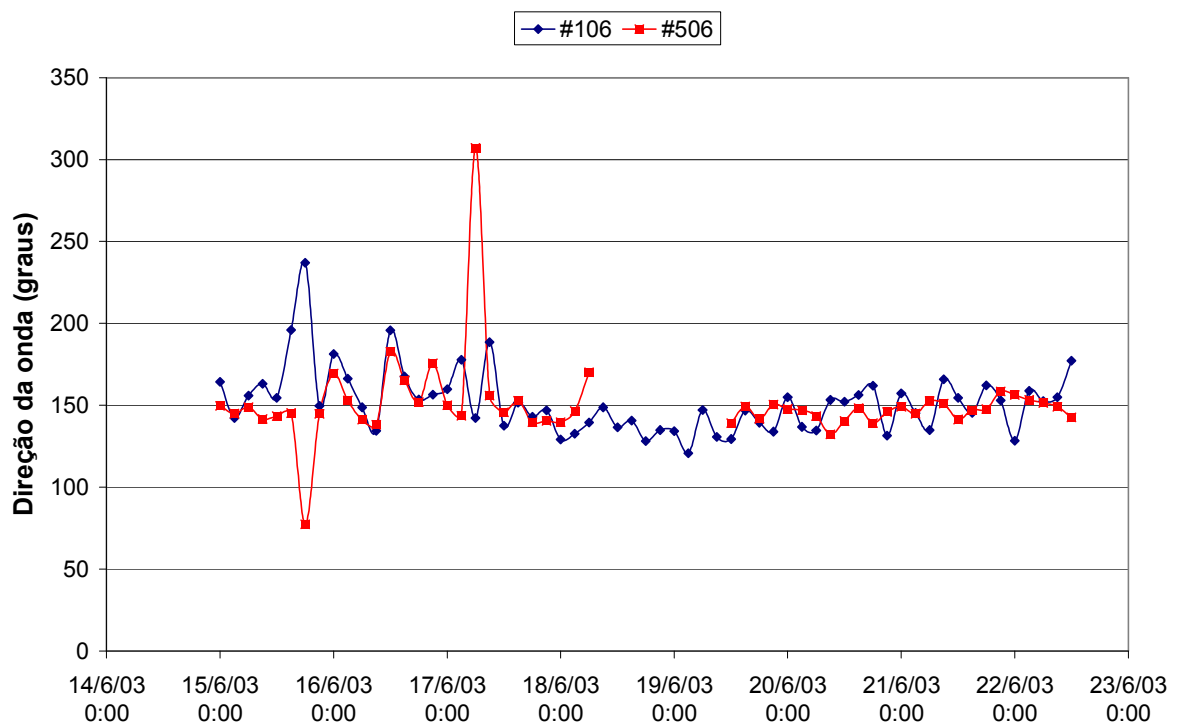


Figura 5.1.5-134 - Variação na direção das ondas segundo os correntômetros (#106 e #506)

Correntes

Em relação à magnitude da corrente durante este período, observou-se uma oscilação de 0,6 até 51,2 cm/s, sendo que a estação #106 apresentou uma maior intensidade do que a estação #506. A magnitude média da corrente na #506 foi de 19,8 cm/s (+-10) com uma direção média de 182°; enquanto na #106 foi de 13,9 cm/s (+-7,8) com direção de 168° (Figura 5.1.5-135 e Figura 5.1.5-136).

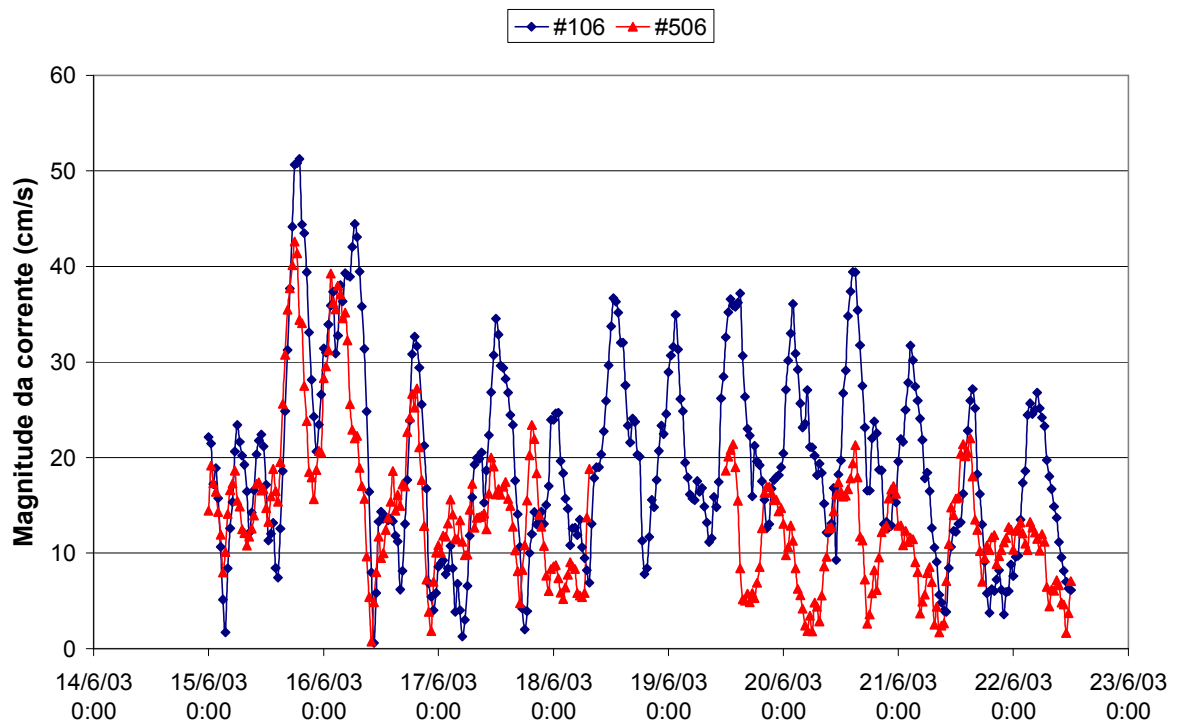


Figura 5.1.5-135 - Variação da magnitude da corrente atuante no período escolhido

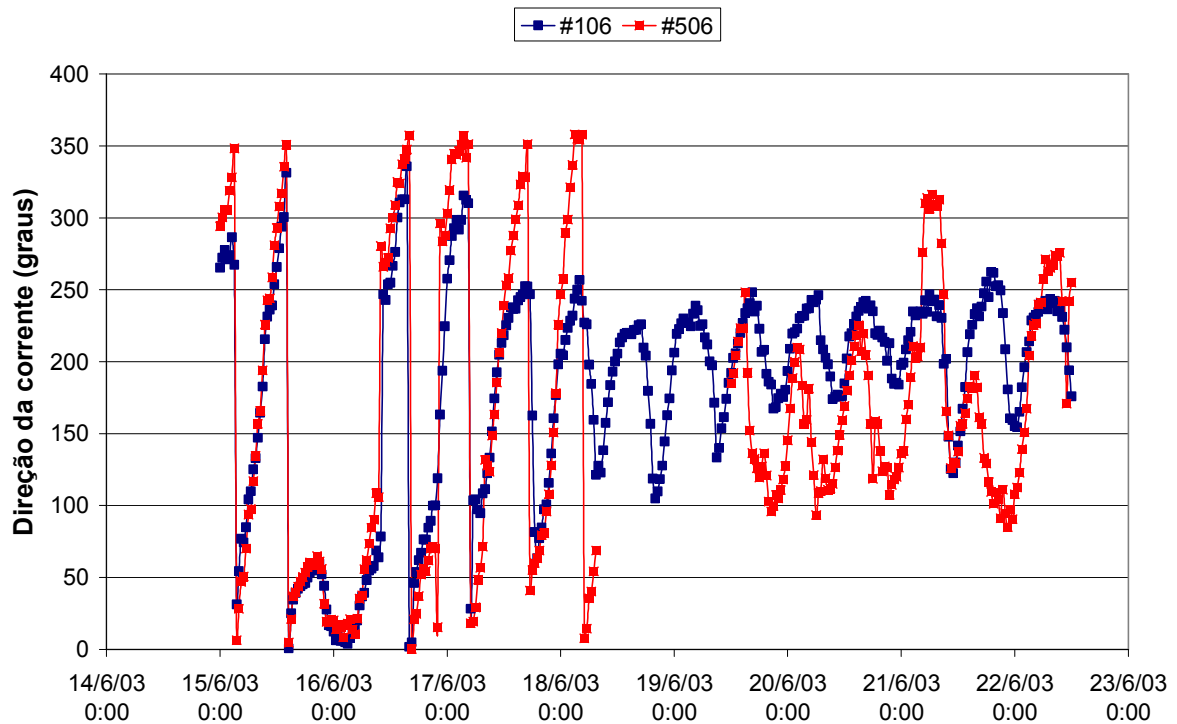


Figura 5.1.5-136 - Variação na direção da corrente segundo os correntômetros

Turbidez

A concentração de sólidos em suspensão na água durante este período oscilou entre 0,02 e 56,6 mg/L, cujas médias nas estações foram de 8,3 mg/L (+6,1) na #106 e de 17,8 mg/L (+10,2) na #506 (Figura 5.1.5-137).

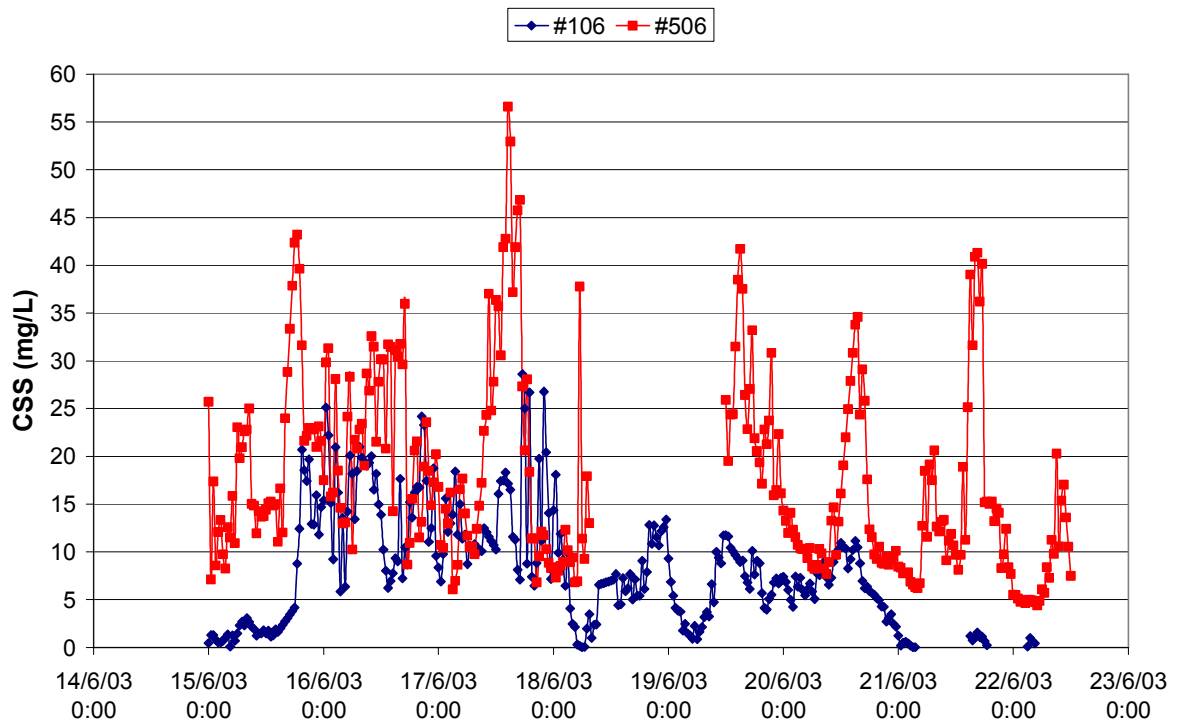


Figura 5.1.5-137 - Distribuição da concentração de sólidos em suspensão (mg/L).

A imagem de satélite apresenta uma ampla pluma sedimentar dispersa desde a costa até as proximidades do arco interno e plumas na região de Abrolhos. A imagem foi obtida na época de inverno, cuja incidência de frentes frias na região é maior nessa época do ano. Segundo Teixeira (2006), em junho de 2003 ocorreram em Caravelas entradas de duas frentes frias e com dois dias de duração.

O vento atingiu uma velocidade média de 3,1 m/s (+1,4), com direção média de 182° (Sul). As frentes frias intensificam as ondas de S/SE, como pode ser observado nas ondulações registradas que eram provenientes de SE e S e com alturas significativas altas (máxima de 1,55 m), que conseqüentemente propiciaram uma maior turbidez na área em estudo, onde se registrou um pico máximo de 56,6 mg/L na estação #506, no dia seguinte que essa maior ondulação chegou à região. Associado a isso, a velocidade e direção da corrente também pode ter contribuído para uma maior dispersão da pluma sedimentar. Vale dizer que neste período estava sendo realizada a dragagem no canal de acesso a Barra do Tomba. (Figura 5.1.5-138 – veja imagem ampliada no anexo P).

Na Tabela 5.1.5-13 e Tabela 5.1.5-14 estão demonstrados os dados de vento e das condições de onda, correntes e turbidez para ambas as estações (#106 e #506) no momento em que o satélite obteve a imagem.

A consequência desta maior energia hidrodinâmica ficou registrada na imagem de satélite (Figura 5.1.5-138 – veja imagem ampliada no anexo P).

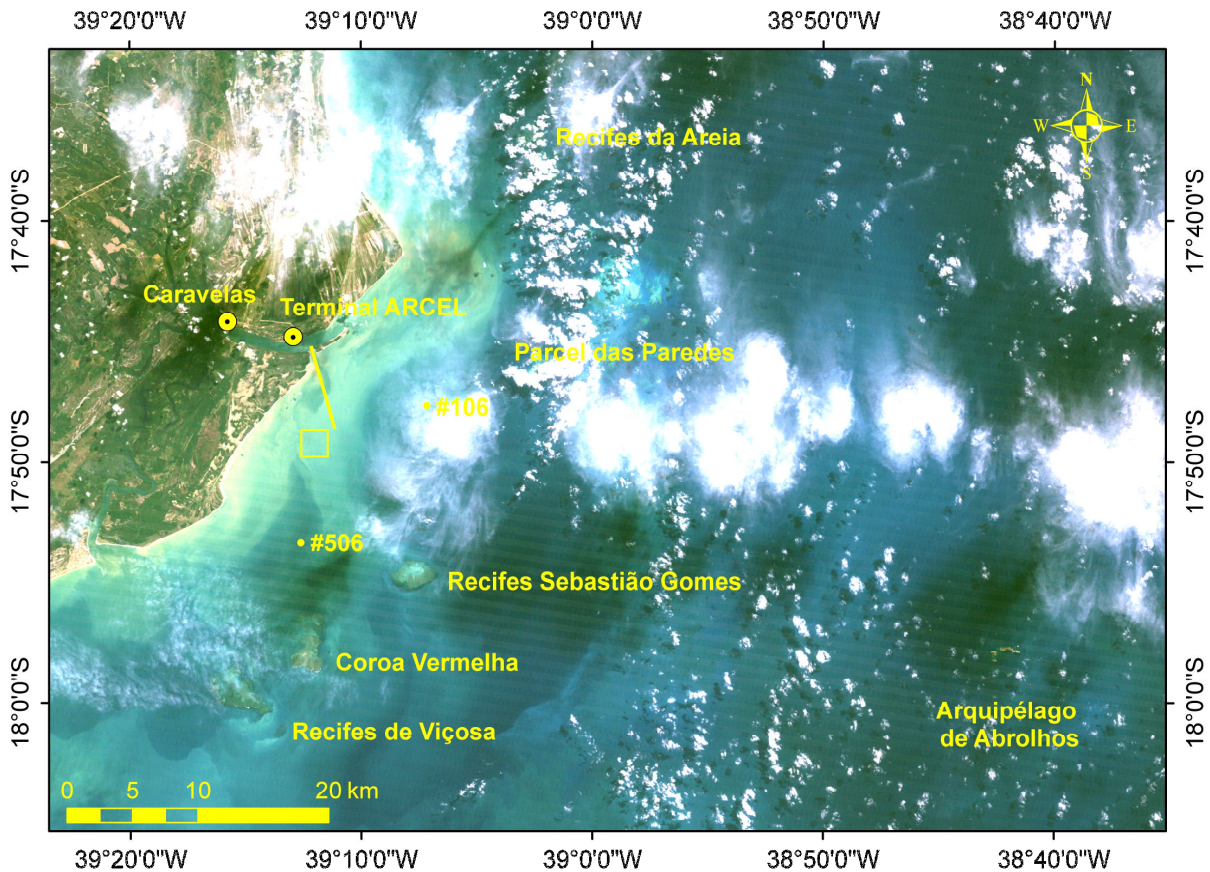


Figura 5.1.5-138 - Imagem Landsat TM5, para o dia 22 de junho de 2003

5.1.5.7.4.2.4 24 de julho de 2003

Nesta data o Terminal de Barcaças de Caravelas já estava implantado e as obras de dragagem no canal de acesso à Barra do Tomba haviam se iniciado. O status operacional de dragagem no momento da aquisição da imagem tinha a classificação normal, isto é, a dragagem estava sendo permitida.

Ventos

Os ventos registrados nesse período atingiram uma velocidade média de 3,4 m/s (+- 1,5), oscilando desde momentos de calmaria até uma velocidade máxima de 7,9 m/s. Os ventos apresentaram uma direção média de 143° (Figura 5.1.5-139 e Figura 5.1.5-140).

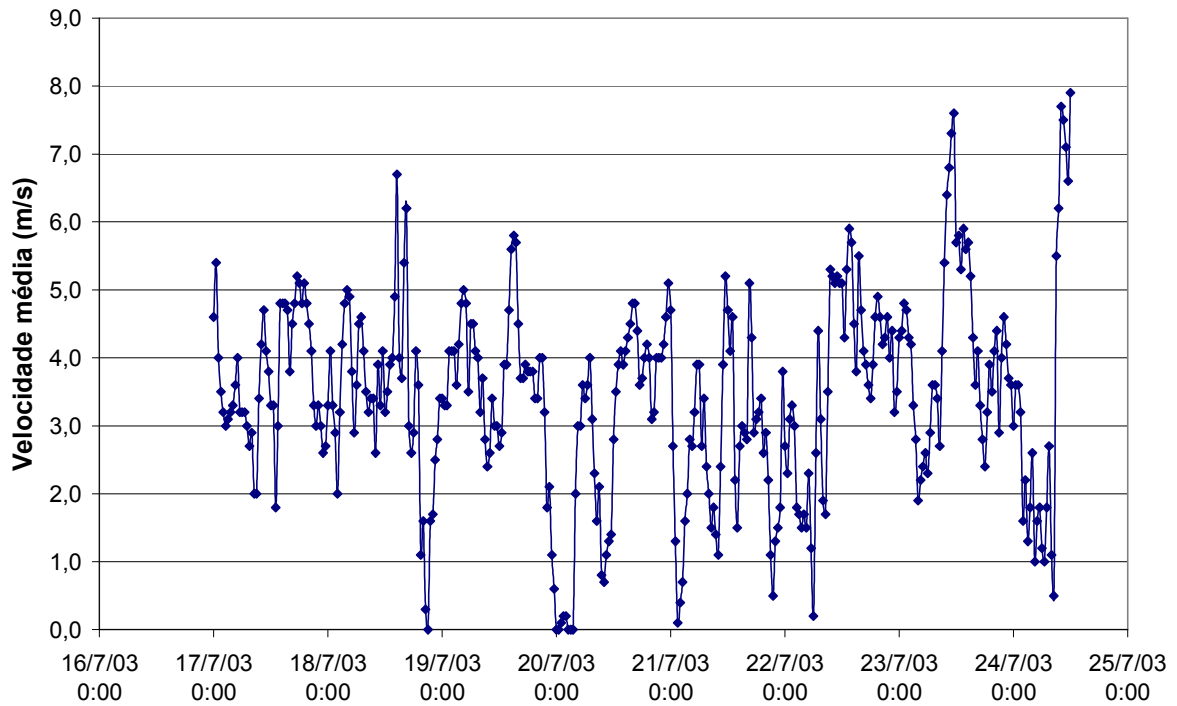


Figura 5.1.5-139 - Distribuição da velocidade média do vento em julho de 2003

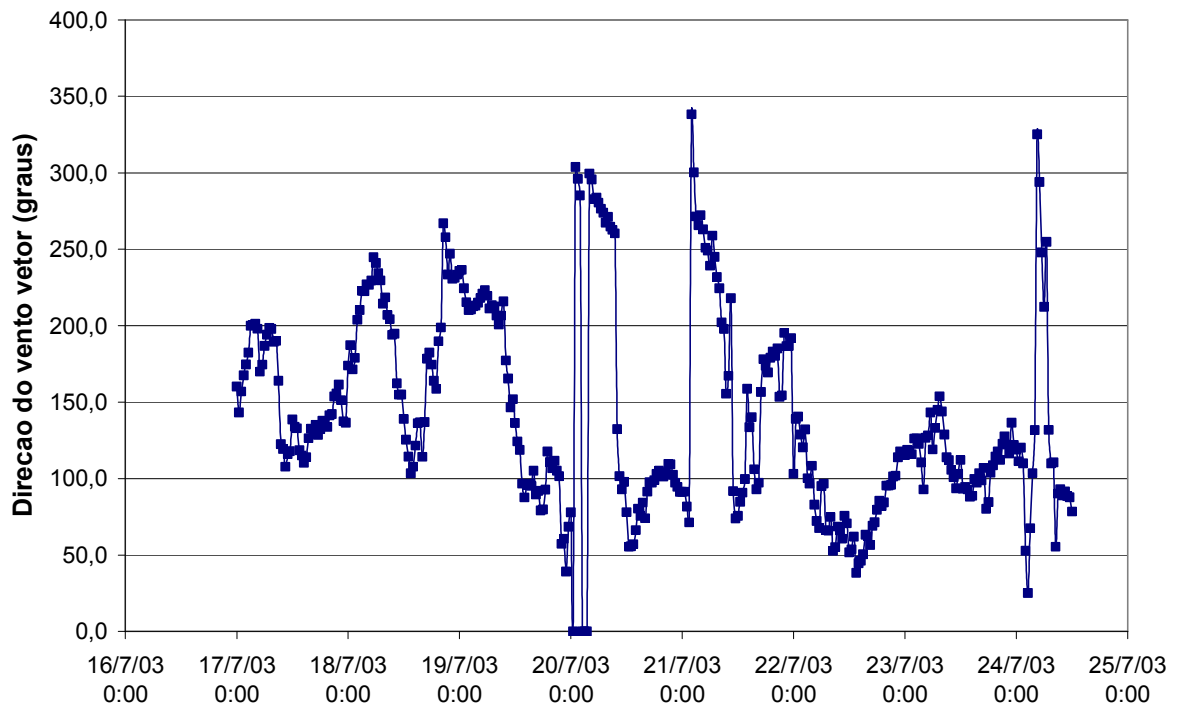


Figura 5.1.5-140 - Distribuição da direção do vento em julho de 2003.

Ondas

As alturas significativas de onda registradas nesse período oscilaram entre 0,26 m e 0,89 m, apresentando uma média de 0,39 m (+- 0,10) na estação #106 e de 0,60 m (+- 0,14) na #506. Nota-se que as Hs na #506 foram sempre superiores a #106. Quanto à direção, as ondas mantiveram-se com pouca variação, para ambas as estações, cujas médias foram de 143° para a #106 e de 133° para #506, ou seja, ondulações vindas entre SE e SE/S (Figura 5.1.5-141 e Figura 5.1.5-142).

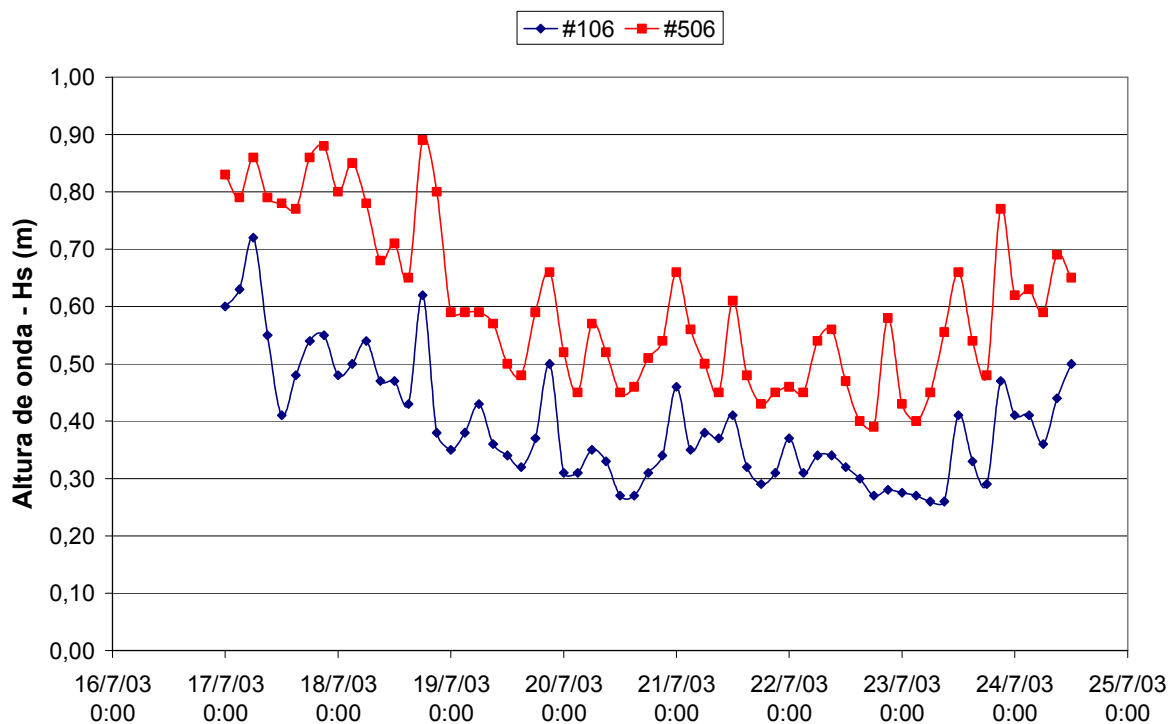


Figura 5.1.5-141 -Distribuição da altura das ondas (m) para uma semana de julho de 2003 com dragagem

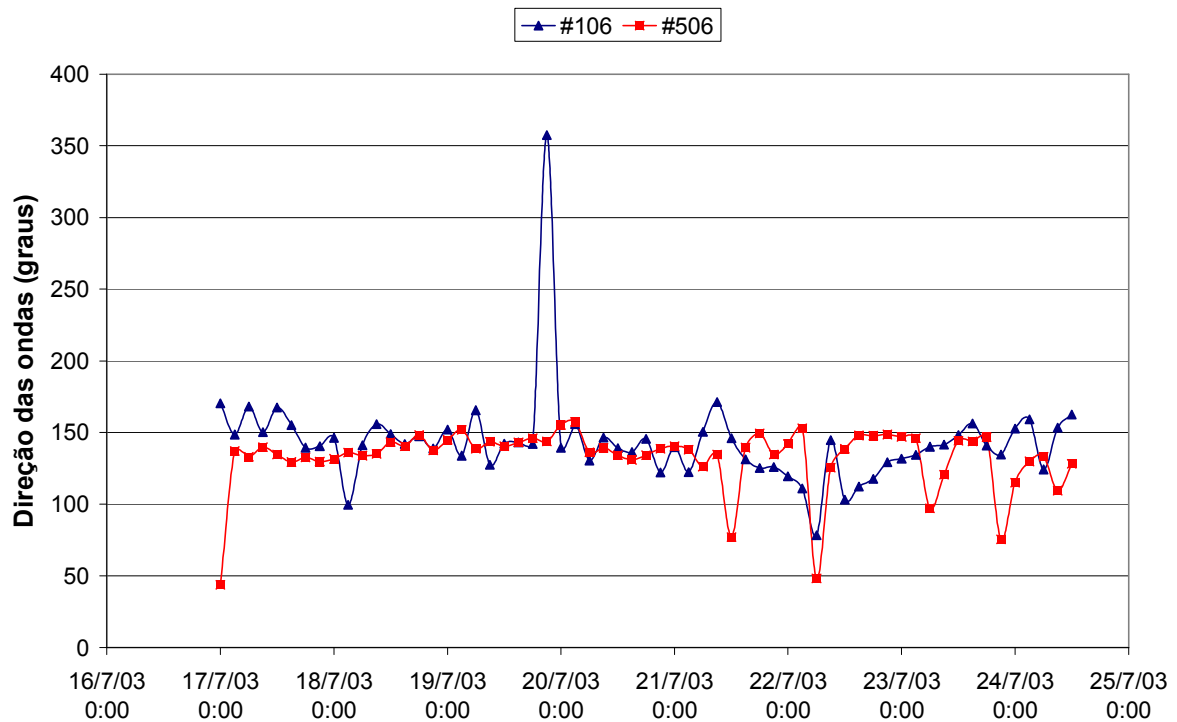


Figura 5.1.5-142 -Variação na direção das ondas durante o período amostrado

Correntes

As correntes apresentaram uma maior magnitude na estação #106 do que na #506, ao contrário do que aconteceu com as alturas significativas (H_s). As médias das magnitudes foram de 30 cm/s (+- 10,6) na #106 e de 13,7 cm/s (+-6,7) na #506. A direção da corrente na estação #106 manteve-se com menos oscilação do que na #506, no entanto suas médias foram próximas, sendo de 209° e 197°, respectivamente (Figura 5.1.5-143 e Figura 5.1.5-144).

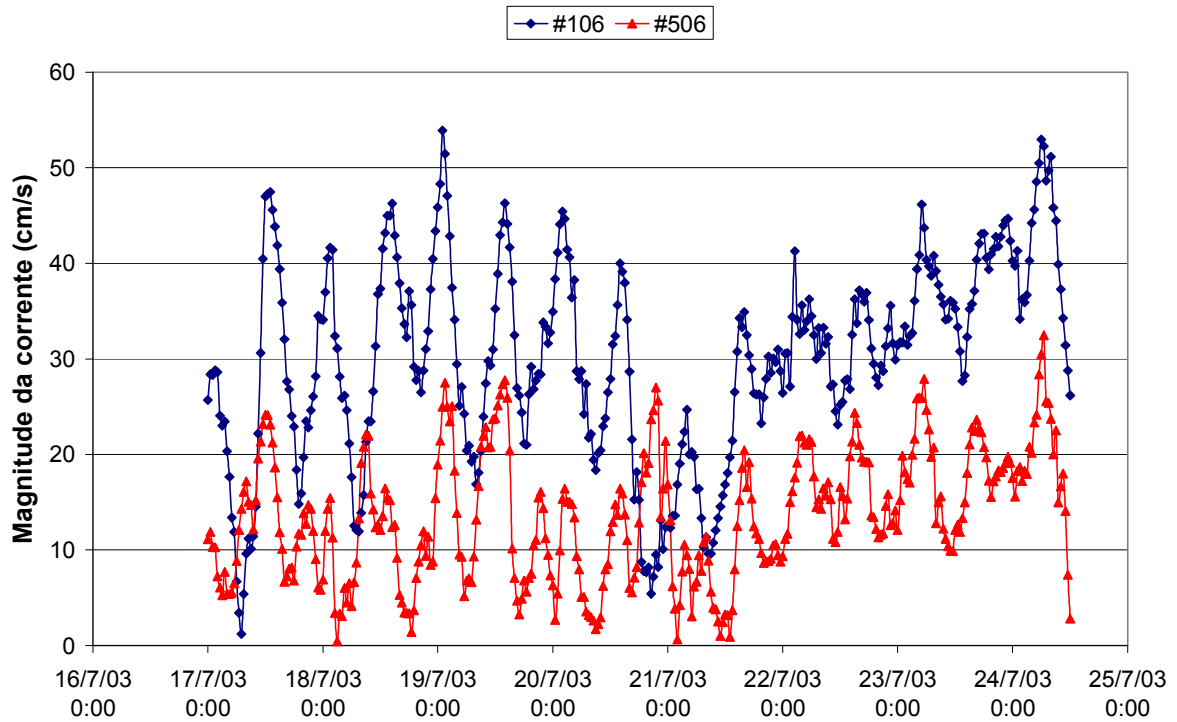


Figura 5.1.5-143 - Variação na magnitude da corrente registrada pelos correntômetros

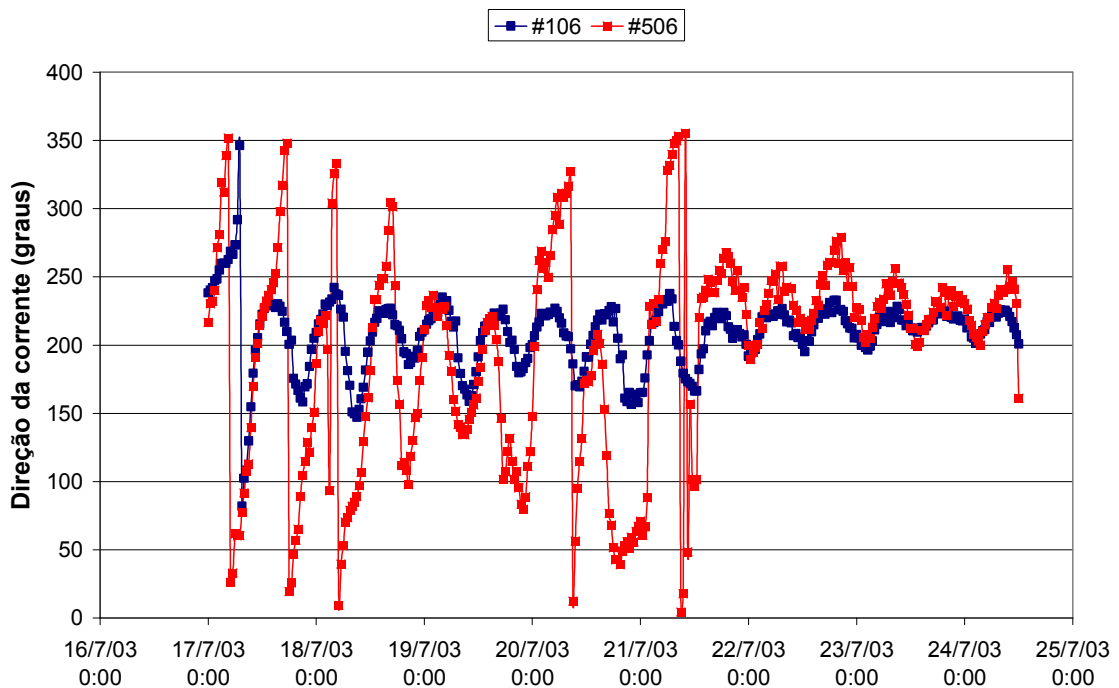


Figura 5.1.5-144 - Variação na direção da corrente registrada pelos correntômetros

Turbidez

A concentração de sólidos em suspensão apresentou uma similaridade dos valores registrados por ambas as estações, cujas médias foram de 13,1 mg/L (+- 10,5) na #106 e de 15,2 mg/L (+- 9,1) na #506. Assim como, mostraram uma ampla variação, variando de 0,5 mg/L a 63,5 mg/L (Figura 5.1.5-145).

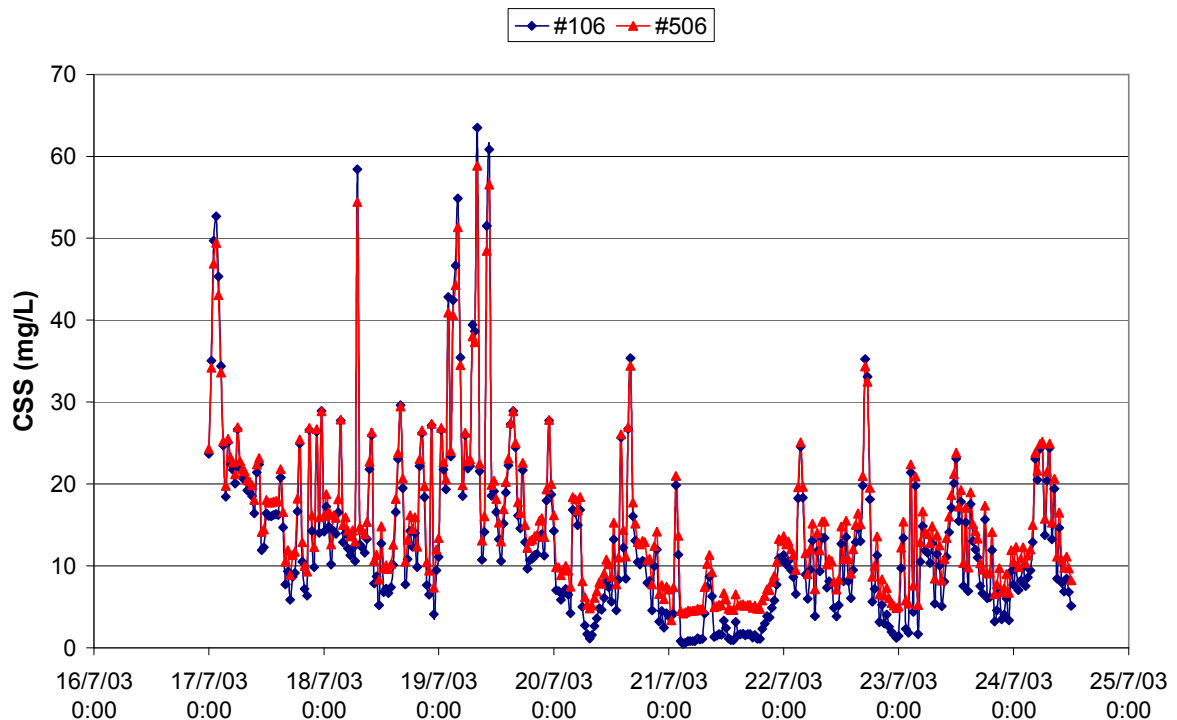


Figura 5.1.5-145 - Distribuição da concentração de sólidos em suspensão (mg/L)

Ressalta-se que durante a semana que antecedeu o registro da imagem pelo satélite, as atividades de dragagem estavam sendo realizadas no canal de acesso da Barra do Tomba.

A imagem (Figura 5.1.5-146 – veja imagem ampliada no anexo P) mostra uma ampla e intensa pluma sedimentar dispersa desde a costa até as proximidades dos Recifes de Viçosa, Coroa Vermelha, Sebastião Gomes e Parcel das Paredes. Assim como a imagem anterior (citada acima), ela também foi obtida na época de inverno, e de acordo com Teixeira (2006), neste mês de julho de 2003, ocorreu em Caravelas uma frente fria com um dia de duração.

As informações sobre o vento, ondas, correntes e turbidez registradas no momento da aquisição da imagem, estão apresentados na Tabela 5.1.5-13 e Tabela 5.1.5-14. A velocidade média do vento no período amostrado foi de 3,4 m/s (+-1,5), com direção média de 143°. As ondulações médias registradas por ambas as estações oscilavam entre SE e

SE/S, com alturas significativas variando de 0,26 m até 0,89 m. Na hora da imagem a velocidade da corrente na estação #106 era maior do que na #506, mas com direções diferenciadas, 201° e 161°, respectivamente. Em relação à turbidez, tem-se que foi relativamente alta, mas dentro da escala de risco existente nos monitoramentos ambientais (Figura 5.1.5-146 – veja imagem ampliada no anexo P). A imagem também permite observar o fluxo de vazante oriundo da Boca do Tomba, em que se nota a coloração bem diferenciada das águas provenientes do estuário, confirmando que a CSS das águas fluviais é normalmente menor que a existente na região costeira. Pode ser observado nas imagens de satélite do presente item, que as águas costeiras entre a linha de costa e o arco recifal interno apresentam maiores concentrações de material em suspensão que os canais de maré e os pequenos cursos d'água que deságuam na região.

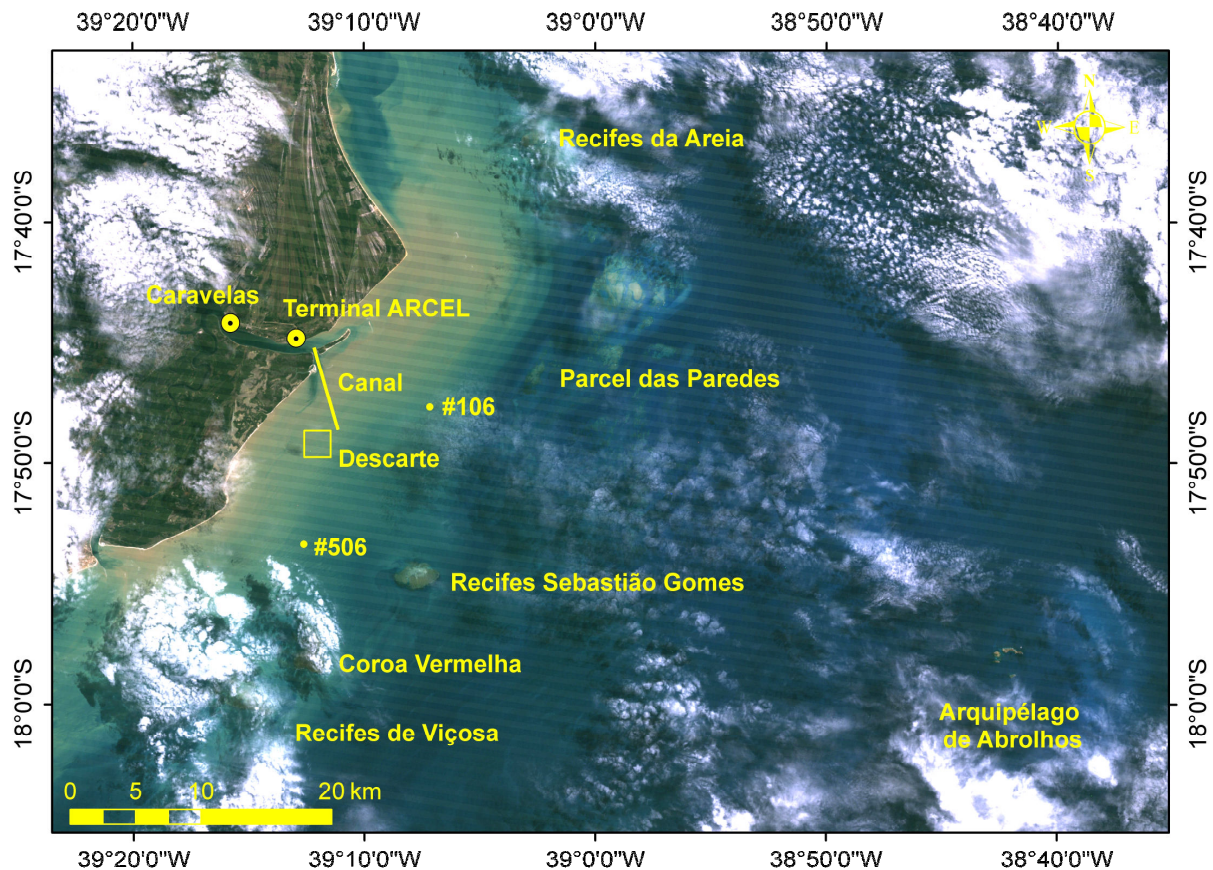


Figura 5.1.5-146 - Imagem Landsat TM5, para o dia 24 de julho de 2003

5.1.5.7.4.2.5 04 de março de 2004

Nesta data o Terminal de Barcaças de Caravelas já estava implantado e as obras de dragagem no canal de acesso à Barra do Tomba haviam se iniciado. O status operacional de dragagem no momento da aquisição da imagem tinha a classificação normal, isto é, a dragagem estava sendo permitida.

Ventos

Os ventos durante este período mostraram-se oscilando entre 0 e 9,3 m/s (Figura 5.1.5-147), com uma média de 4,3 m/s (+-1,8); a direção destas variou principalmente entre 0/360° e 80° (Figura 5.1.5-148).

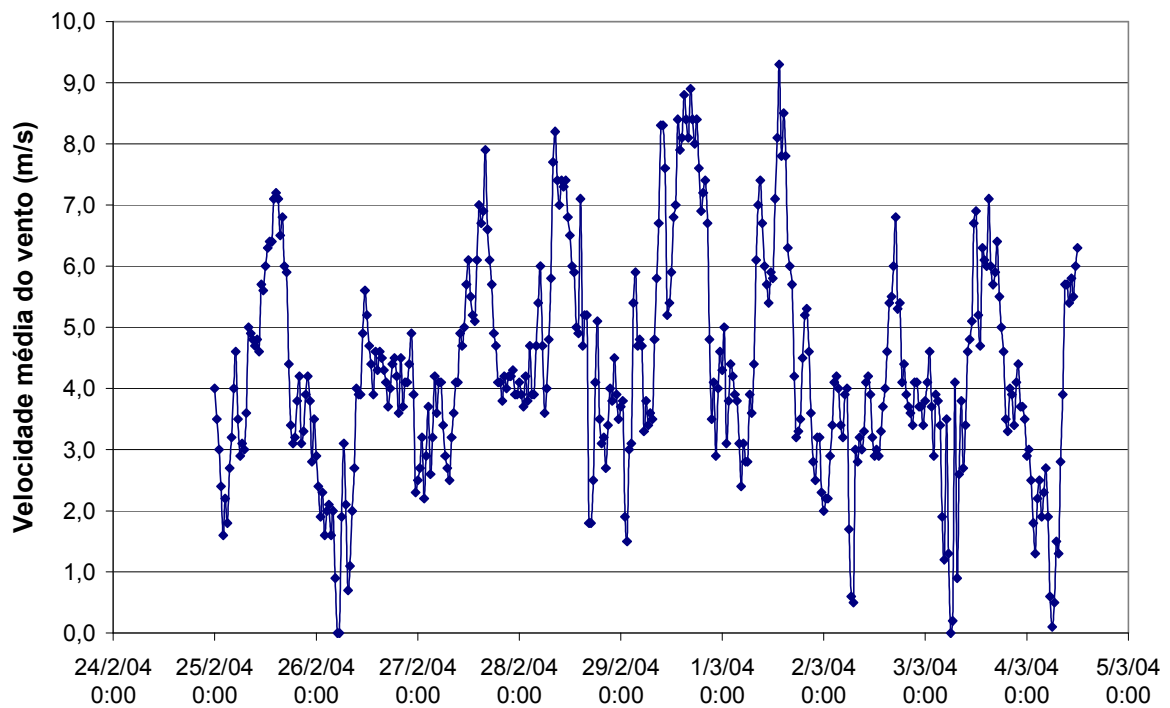


Figura 5.1.5-147 - Distribuição da velocidade média do vento no final de fevereiro e início de março de 2004

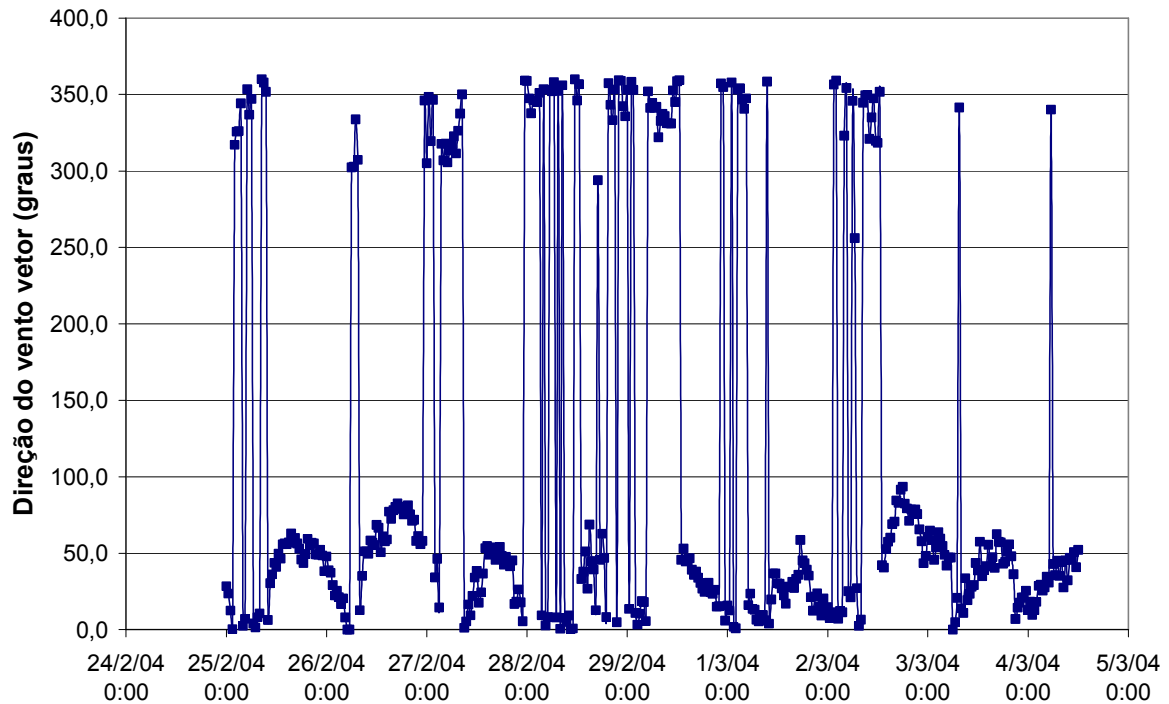


Figura 5.1.5-148 - Distribuição na direção do vento no período analisado (fev/mar de 2004)

Ondas

Dentre as características das ondas atuantes na semana que antecedeu a data de 04/03/2004, pode-se observar a direção das ondas e suas alturas significativas (H_s). As ondas significativas apresentaram uma variação ondulatória entre 0,16 m e 0,95 m, com uma média de 0,33 m (+- 0,17) na #106 e de 0,46 m (+- 0,21) na #506. A direção média destas ondas foi de 119° na #106 e de 141° na #506 (Figura 5.1.5-149 e Figura 5.1.5-150).

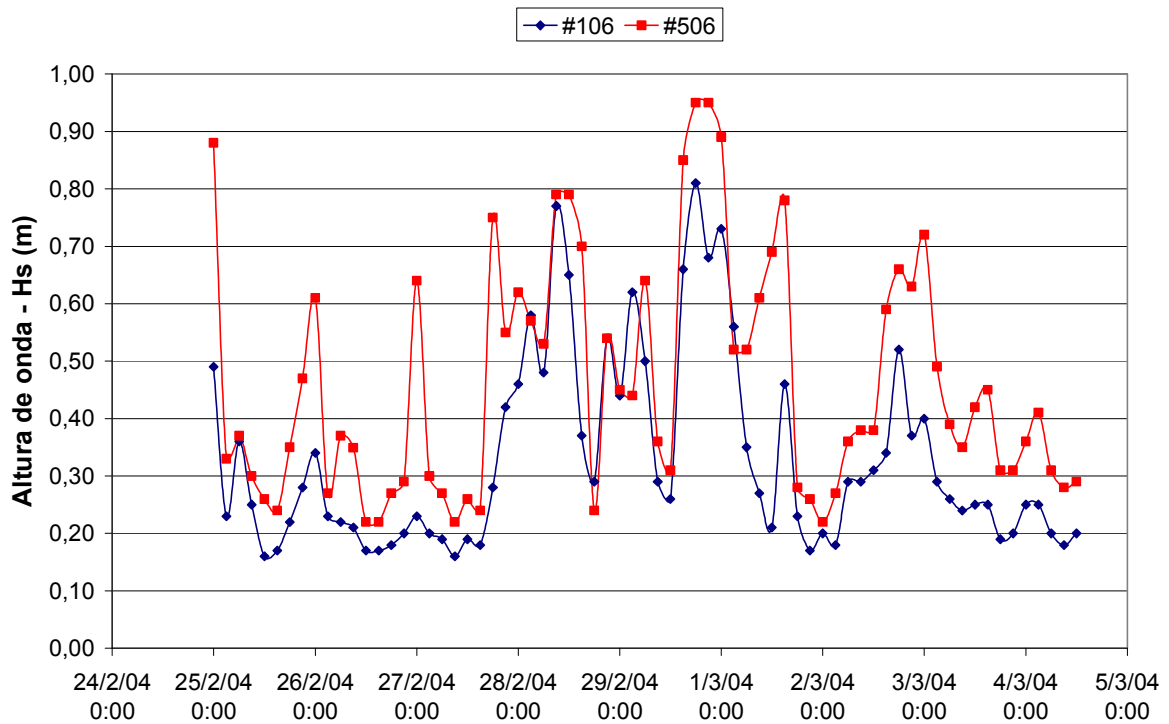


Figura 5.1.5-149 - Altura significativa das ondas em ambos correntômetros (#106 e #506)

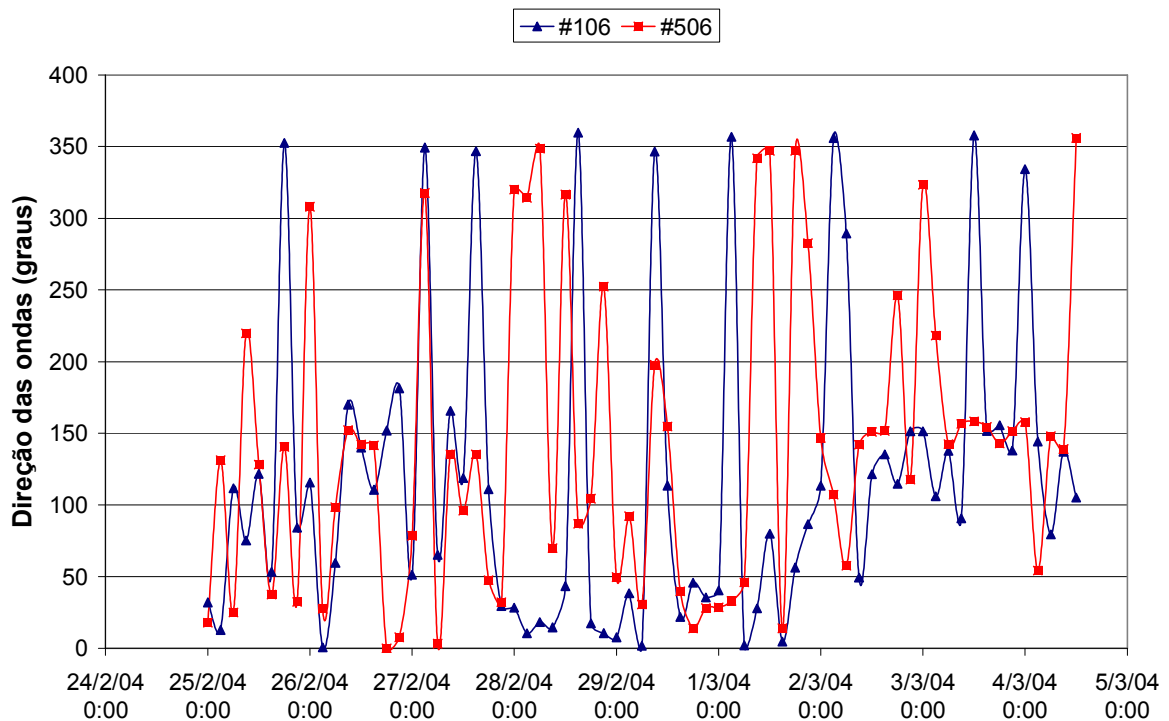


Figura 5.1.5-150 - Variação na direção das ondas segundo os correntômetros (#106 e #506)

Correntes

As correntes registradas nesse período mostraram-se mais intensas na estação # 106, atingindo um pico máximo de magnitude igual a 63,7 cm/s; a média para cada estação foi de 23,5 cm/s (+- 13,1) na #106 e de 16,4 cm/s (+- 7,3) na #506. Quanto à direção destas correntes, podemos notar que na maior parte do tempo estiveram entre 200° e 300°, sendo que a média de ambas as estações foram bem próximas, com 214° na #106 e 236° na #506 (Figura 5.1.5-151 e Figura 5.1.5-152).

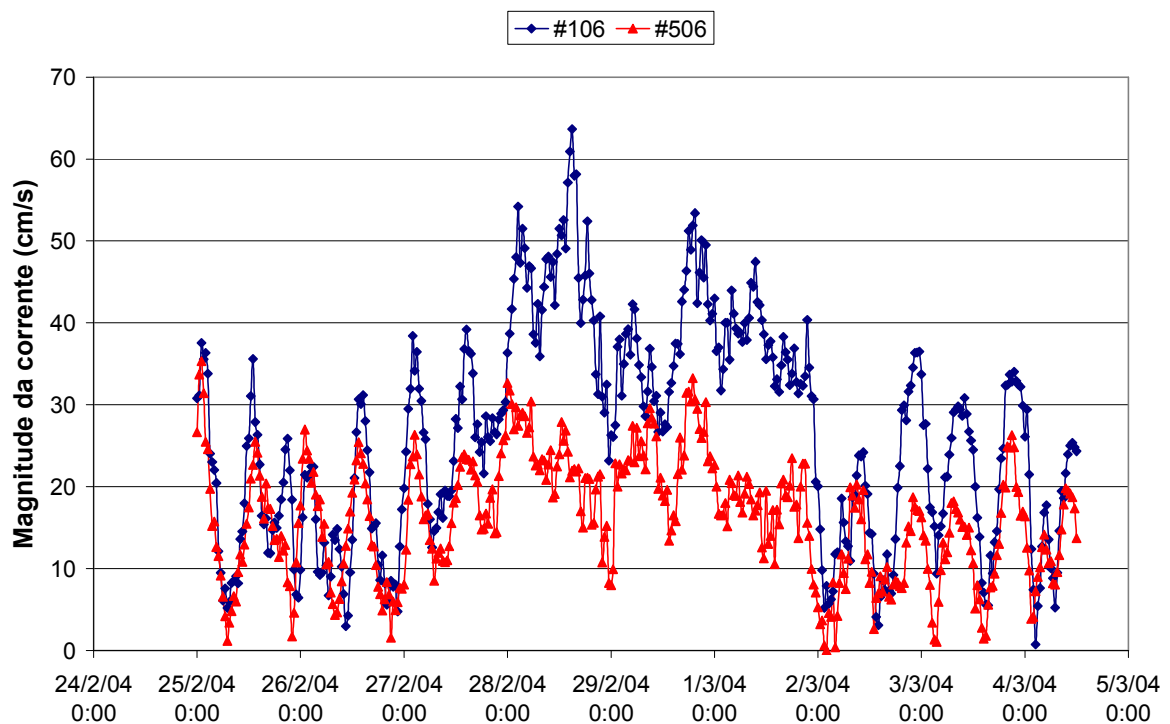


Figura 5.1.5-151 - Variação da magnitude da corrente no período escolhido

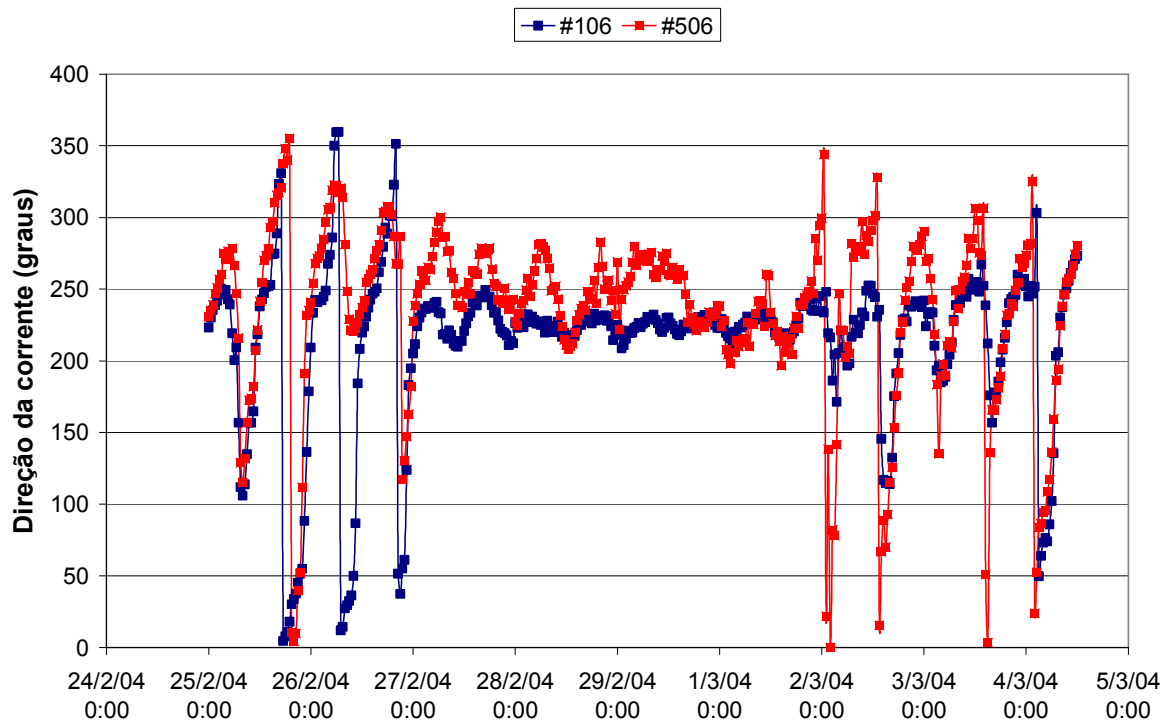


Figura 5.1.5-152 - Variação na direção da corrente de acordo com os correntômetros

Turbidez

A concentração de sólidos em suspensão (CSS) neste período oscilou desde 0,02 mg/L até 13,4 mg/L, sendo que na #506 esta se manteve com uma baixa variação, tendo uma média de 3,5 mg/L (+- 1,6); enquanto na #106 essa média foi menor ainda, 2,1 mg/L (+- 2,2). O pico máximo de CSS registrado na #506 no dia 29/02 pode ser explicado pelo pico máximo da Hs para o mesmo dia, uma vez que quanto maior a Hs da onda, maior a possibilidade de ressuspensão dos sedimentos do fundo (Figura 5.1.5-153).

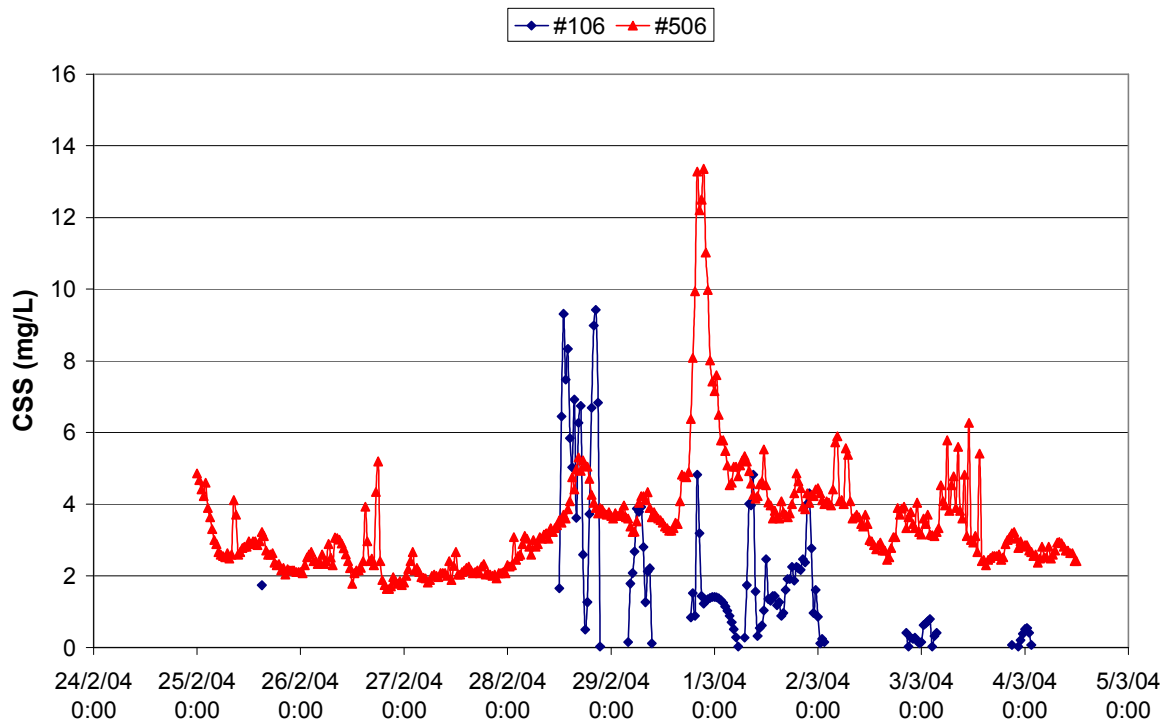


Figura 5.1.5-153 - Distribuição da concentração de sólidos em suspensão (mg/L).

A imagem refere-se à época do verão, cujas condições oceanográficas favorecem águas mais calmas, quentes e de boa visibilidade. As ondas registradas neste período amostral (sete dias) apresentaram um Hs na média de 0,33 m na #106 e 0,46 m na #506, mas com eventos onde esteve acima da média, cujo pico máximo foi de 0,95 m. Esta ondulação foi um dos fatores que contribuiu para o pico máximo da turbidez na #506 chegando essa a marcar 13,4 mg/L. No entanto, este valor logo abaixou e manteve-se como na maior parte do tempo, entre 2 e 6 mg/L. A direção das ondas variou bastante, não demonstrando nenhum padrão preferencial durante o período amostrado. Já a direção das correntes manteve-se com uma baixa variação e similar para ambas as estações, enquanto as magnitudes foram mais intensas na #106.

No momento da imagem as alturas significativas de onda, as magnitudes da corrente e a CSS estavam abaixo da média histórica calculada para cada parâmetro; apenas a velocidade do vento era superior a média (Figura 5.1.5-154 – veja imagem ampliada no anexo P).

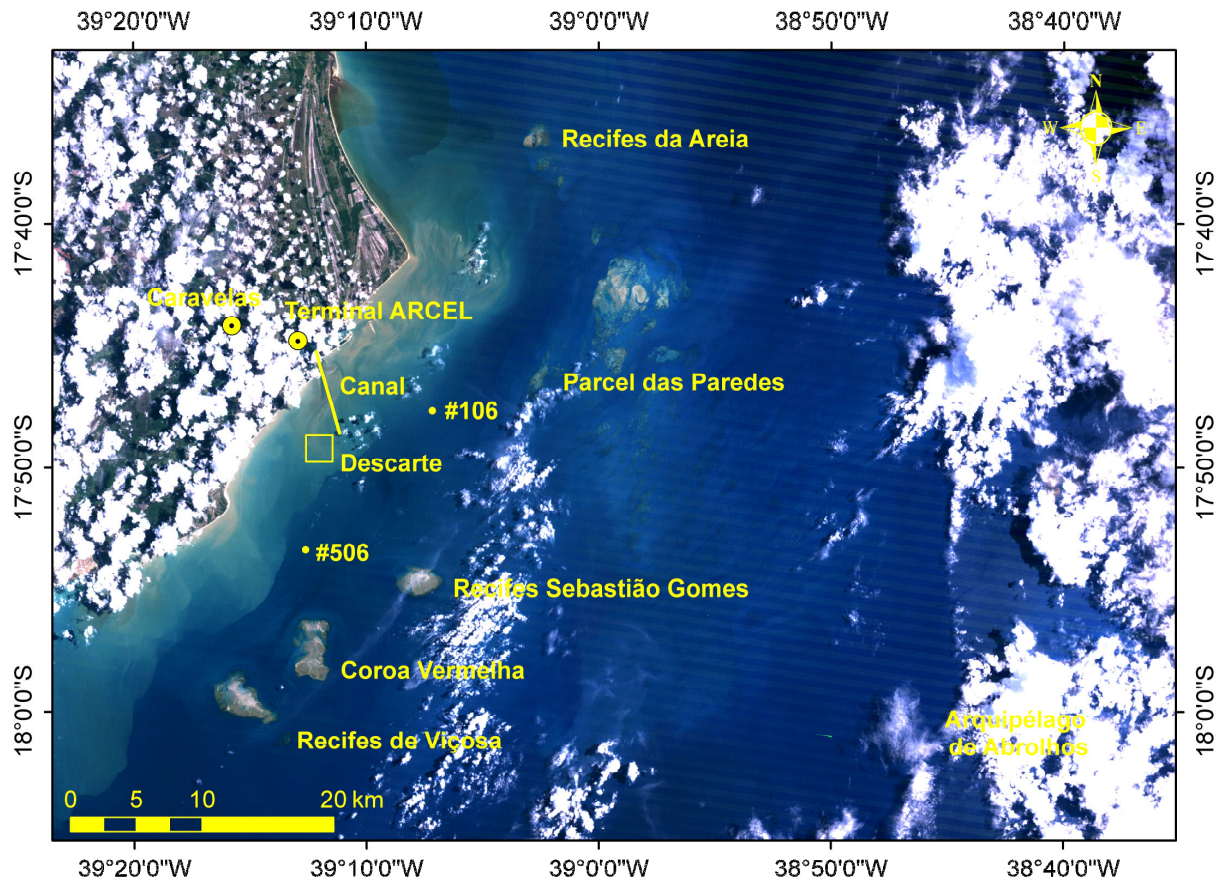


Figura 5.1.5-154 - Imagem Landsat TM5, para o dia 04 de março de 2004

Embora a dragagem estivesse ocorrendo, a pluma permaneceu restrita às proximidades da linha costa. Observe que a linha de alcance da pluma é mais avançada defronte à Ponta do Catoeiro que na área de descarte e do canal, onde ocorria a dragagem.

5.1.5.7.4.2.6 23 de março de 2005

Nesta data o Terminal de Barcaças de Caravelas já estava implantado e as obras de dragagem no canal de acesso à Barra do Tomba haviam se iniciado. O status operacional de dragagem no momento da aquisição da imagem tinha a classificação normal, isto é, a dragagem estava sendo permitida.

Ventos

Os ventos observados registraram uma variação desde momentos de calmaria até uma máxima de 7,1 m/s, cuja média foi de 3,5 m/s (+-1,6). A direção dos ventos mostrou-se variando freqüentemente de 0/360° a 100°, ou seja, de N a L (Figura 5.1.5-155 e Figura 5.1.5-156).

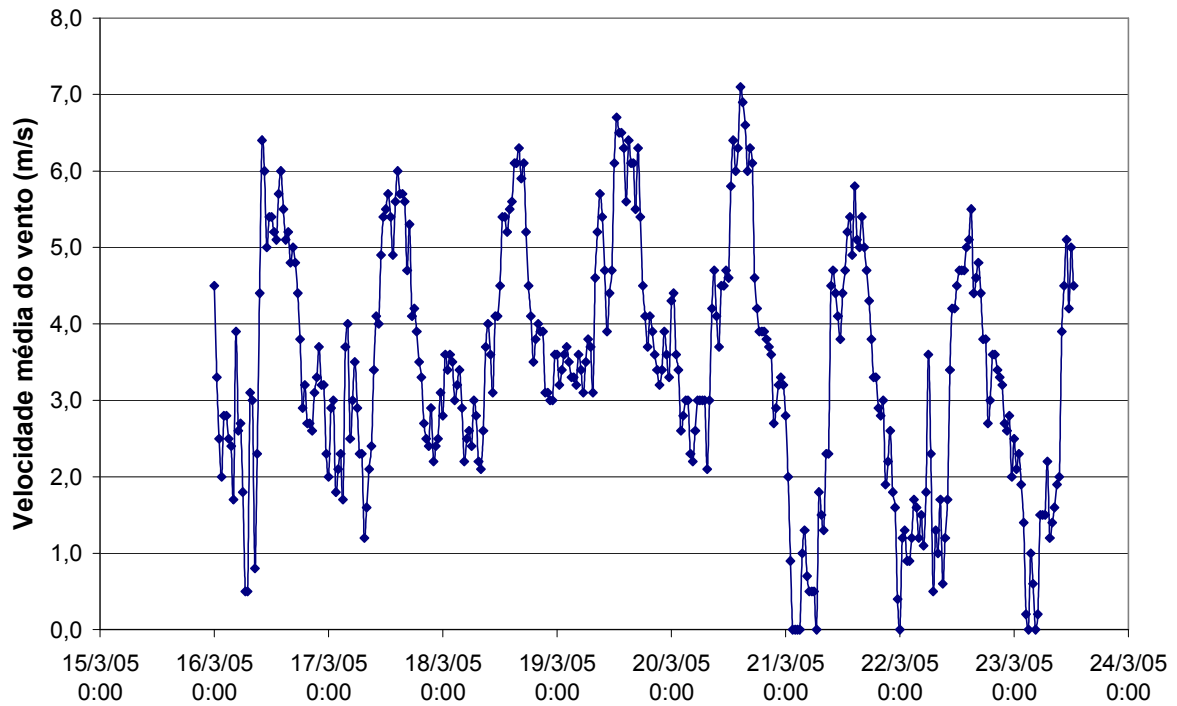


Figura 5.1.5-155 - Distribuição da velocidade média do vento em março de 2005

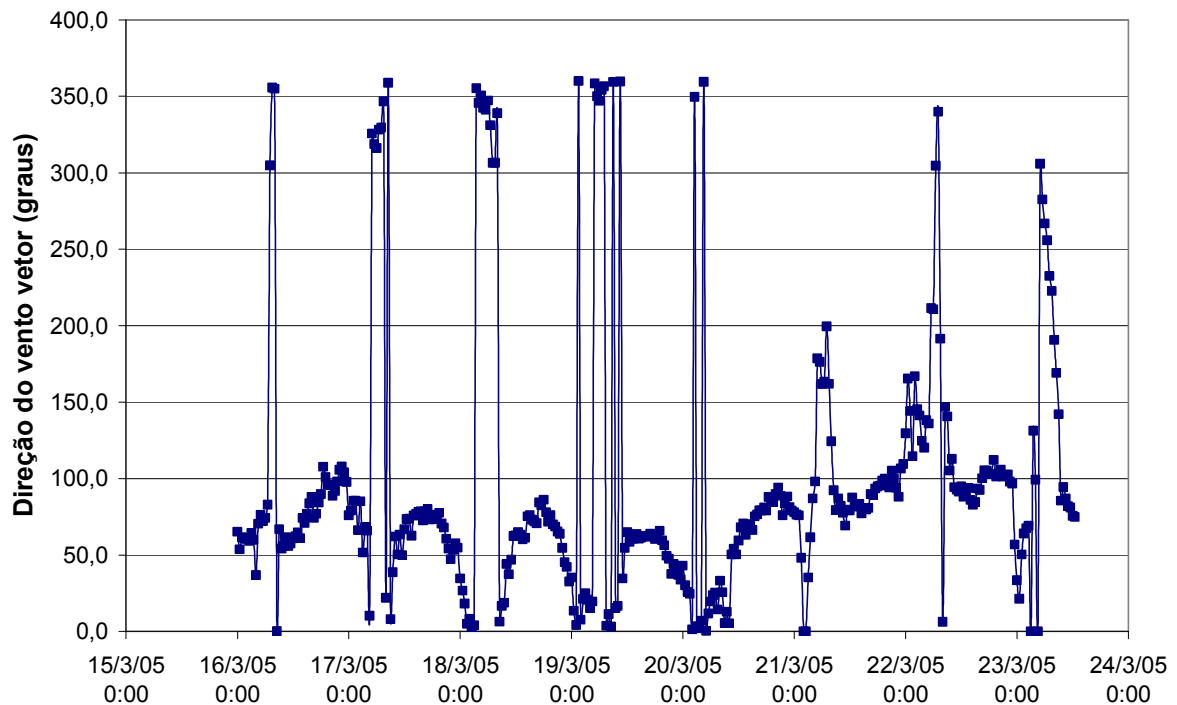


Figura 5.1.5-156 - Distribuição na direção do vento em março de 2005

Ondas

As ondas neste período apresentaram um intervalo de variação entre 0,19 m a 0,48 m na altura significativa; a média da Hs e da direção das ondas para as estações #106 e #506 foram: 0,25m / 142° e 0,39m / 149°, respectivamente (Figura 5.1.5-157 e Figura 5.1.5-158).

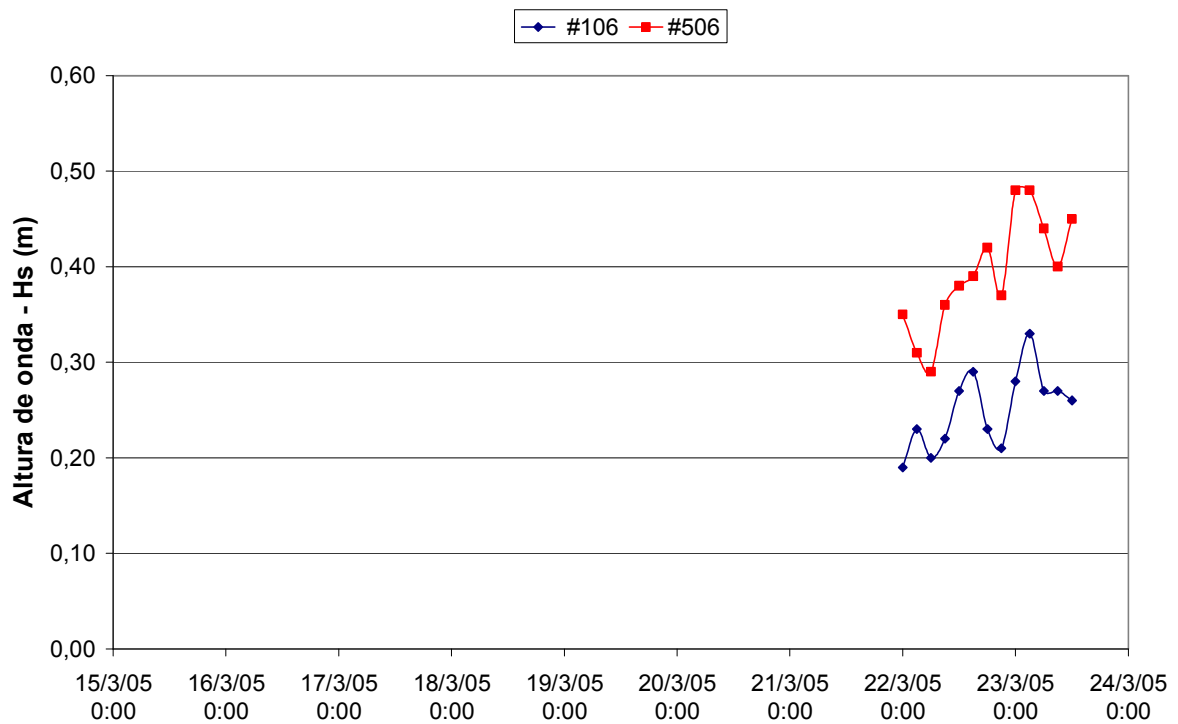


Figura 5.1.5-157 - Altura das ondas para ambos correntômetros (#106 e #506), dados disponíveis apenas no final de março de 2005.

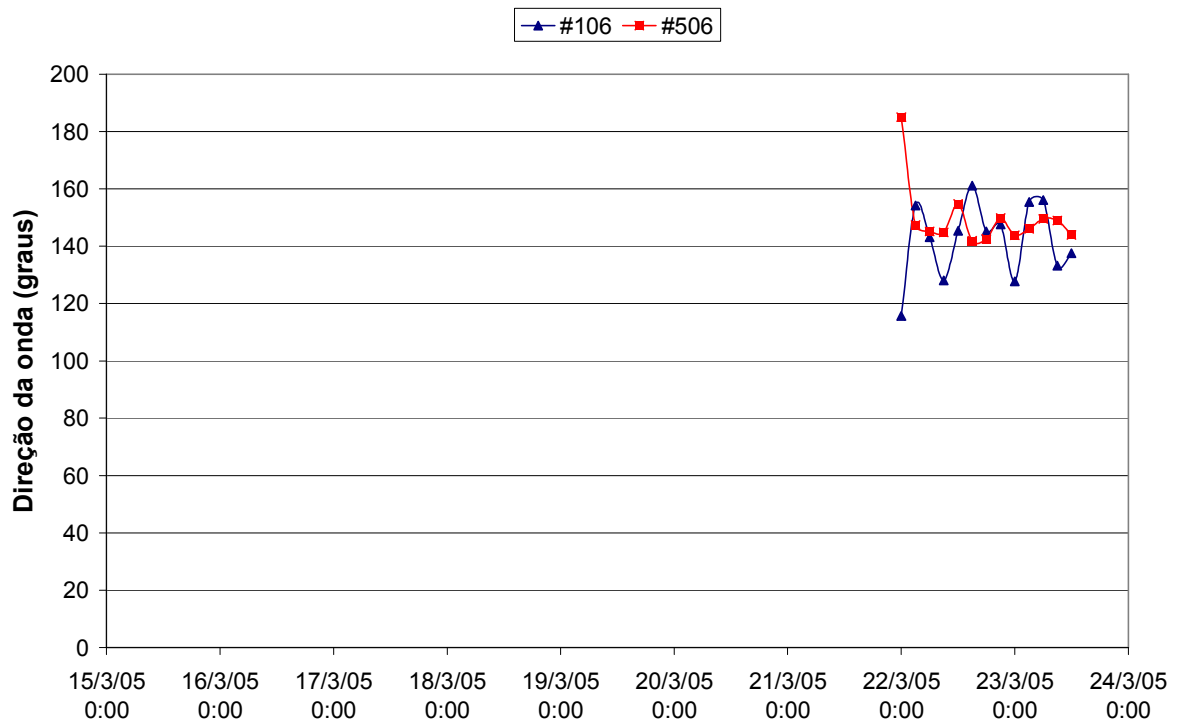


Figura 5.1.5-158 - Variação na direção das ondas segundo os correntômetros (#106 e #506)

Correntes

As correntes registradas apresentaram, algumas vezes, intensidades superiores a 30 cm/s; e com a direção oscilando preferencialmente entre 200° e 300° (Figura 5.1.5-159 e Figura 5.1.5-160). A magnitude da corrente apresentou uma variação de 0,6 cm/s a 39,6 cm/s, com uma média na #106 de 22,2 cm/s (+- 9,7) na direção 208° e na #506 de 15,1 cm/s (+- 7,3) na direção 233°.

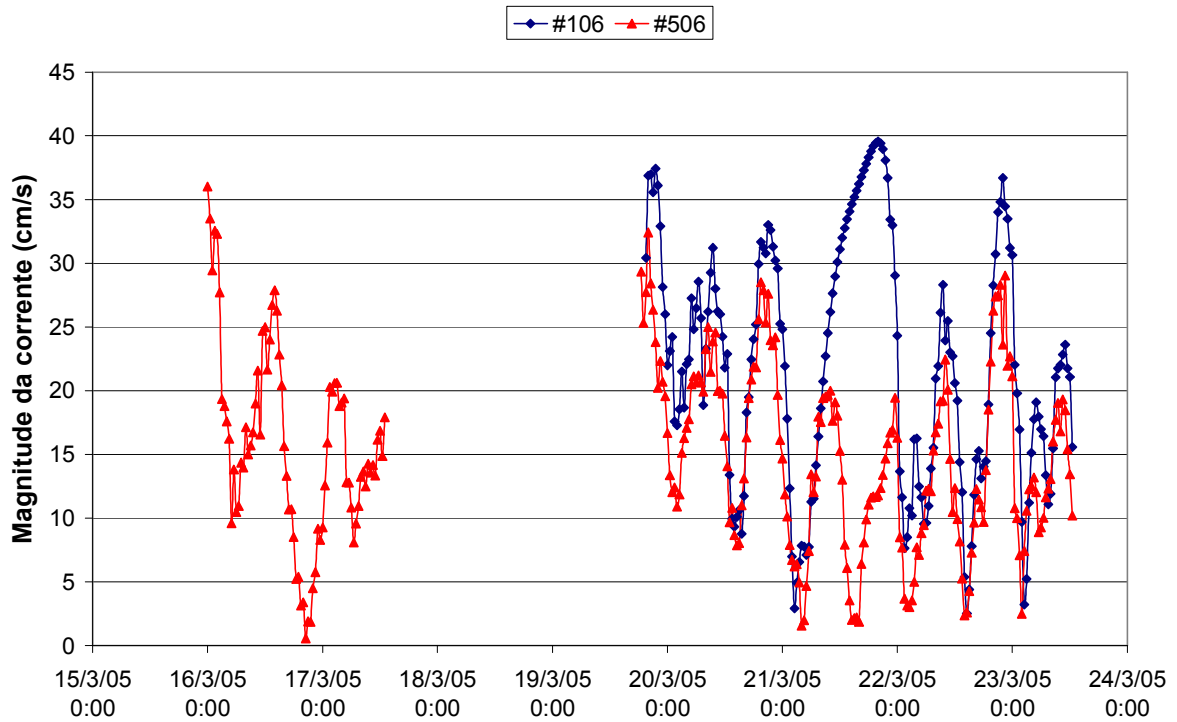


Figura 5.1.5-159 - Variação da magnitude da corrente atuante no período escolhido

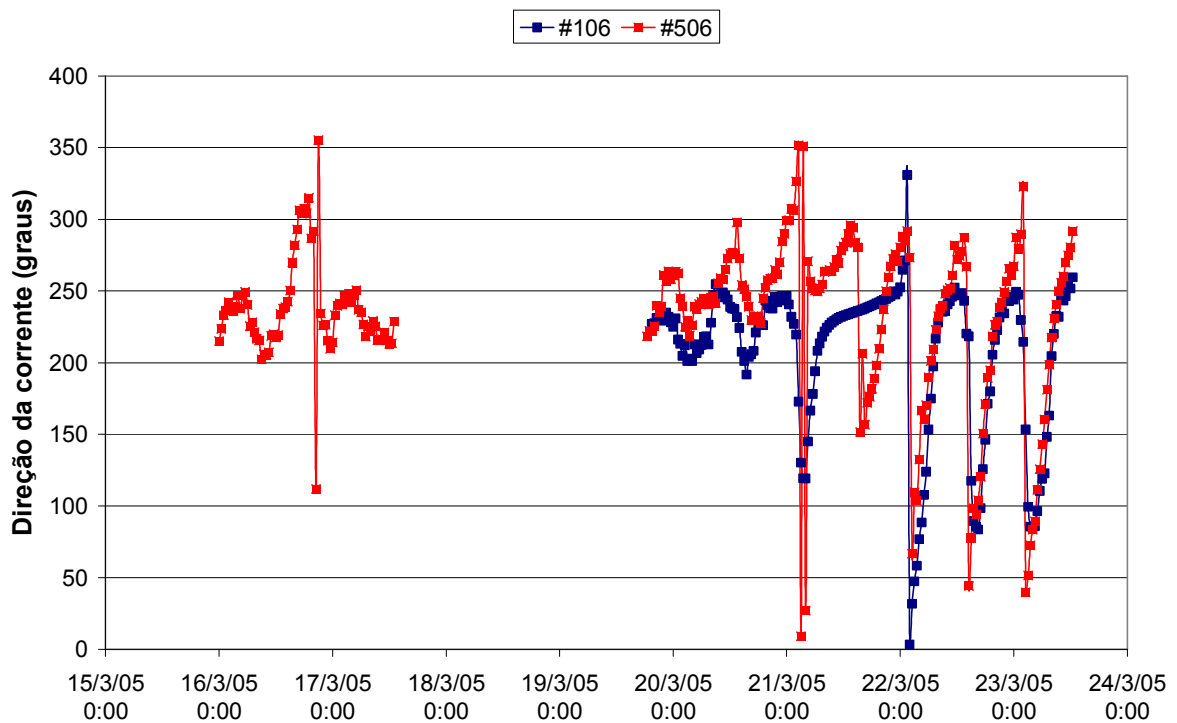


Figura 5.1.5-160 - Variação na direção da corrente segundo os correntômetros

Turbidez

Os valores da concentração de sólidos em suspensão apresentam 2 picos momentâneos onde a turbidez atingiu valores superiores a 20 mg/L, no entanto a maioria dos valores permaneceu abaixo de 5 mg/L. A CSS variou de 0,03 mg/L a 21,6 mg/L e sua média foi de 4,6 mg/L (+ 6,4) (Figura 5.1.5-161).

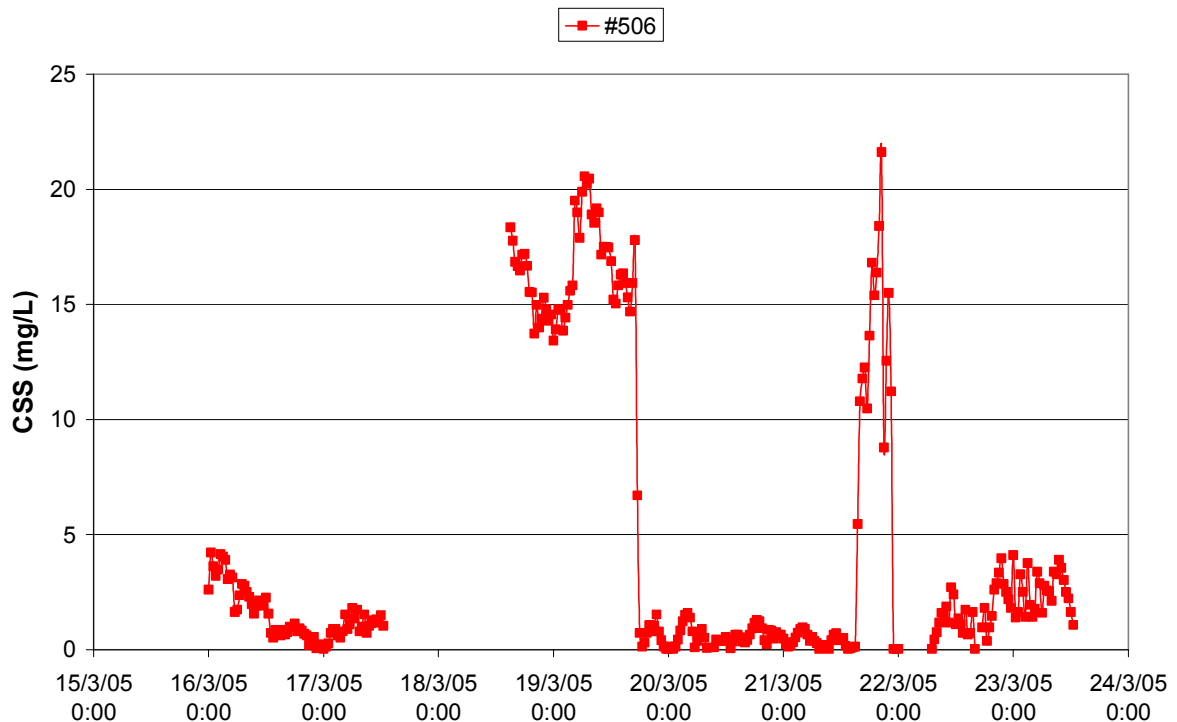


Figura 5.1.5-161 - Distribuição da concentração de sólidos em suspensão (mg/L) apenas para a estação 506

No momento em que essa imagem foi registrada pelo satélite a região em estudo apresentava um vento de 4,5 m/s com direção de 75°, enquanto as condições oceanográficas para cada uma das estações foram: #106 com uma altura significativa (Hs) de 0,26 m na direção 138° e magnitude da corrente de 15,6 cm/s na direção 259°; #506 com um Hs de 0,45 m na direção 144°; magnitude da corrente de 10,2 cm/s na direção 292°; e CSS de 1,1 mg/L (Figura 5.1.5-162 – veja imagem ampliada no anexo P).

Observa-se pela imagem que o deslocamento da pluma de sedimento ao longo da costa é pequeno e no sentido NE/E. Em alguns lugares mais rasos é possível notar os bancos de areias existentes ao redor da Boca do Tomba e da Ponta da Baleia. Vale destacar que neste período amostrado as obras de dragagem do acesso ao Canal do Tomba estavam ativas. Na região de Abrolhos, a imagem mostra uma turbidez praticamente nula, seguindo o padrão esperado para esta época do ano.

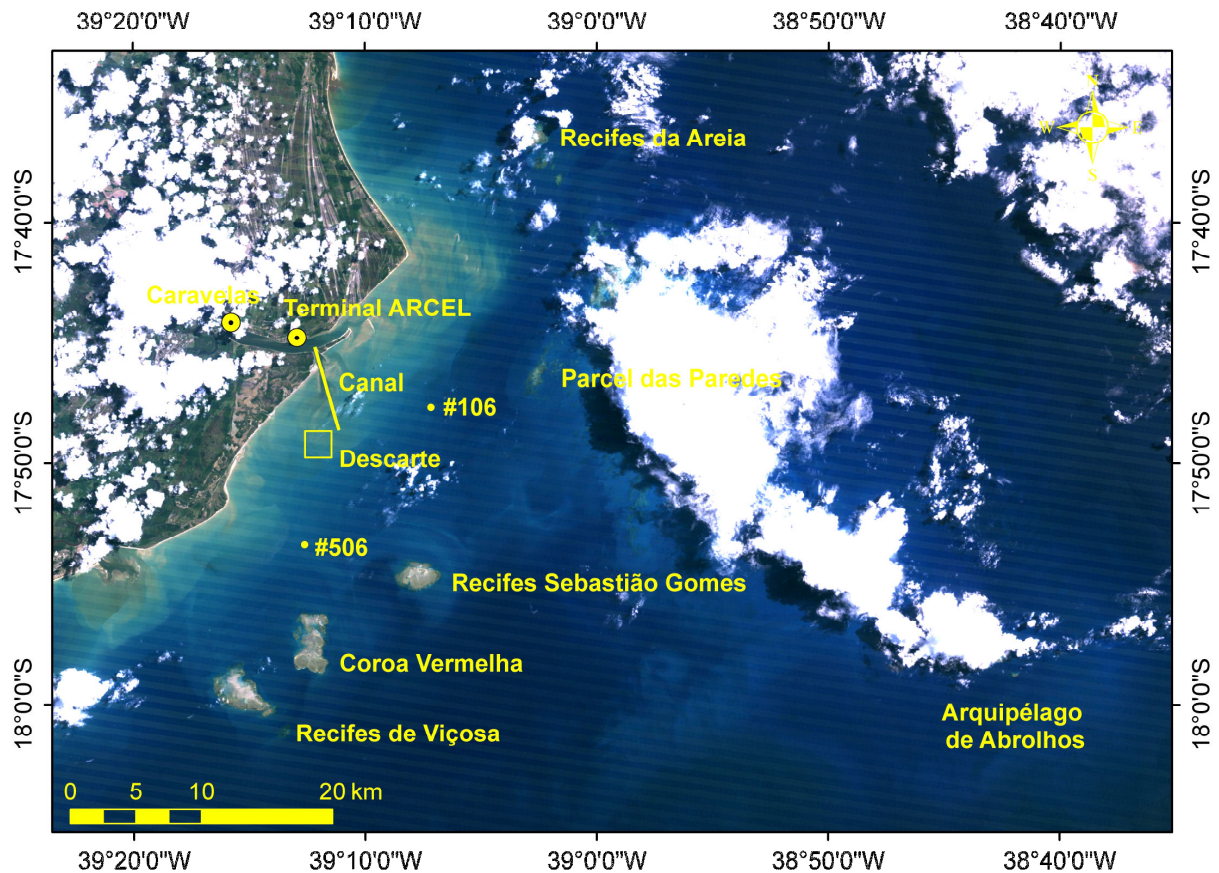


Figura 5.1.5-162 - Imagem Landsat TM5, para o dia 23 de março de 2005

5.1.5.7.4.2.7 13 de julho de 2005

Nesta data o Terminal de Barcaças de Caravelas já estava implantado e as obras de dragagem no canal de acesso à Barra do Tomba haviam se iniciado. Não estava ocorrendo dragagem no momento da aquisição da imagem. A dragagem no ano de 2005 foi pequena e executada entre os meses de fevereiro e março.

Ventos

Os ventos registrados apresentaram uma variação na velocidade de 0,2 m/s até 8,7 m/s, com média de 4,2 m/s na direção 198° (S/SW) (Figura 5.1.5-163 e Figura 5.1.5-164).

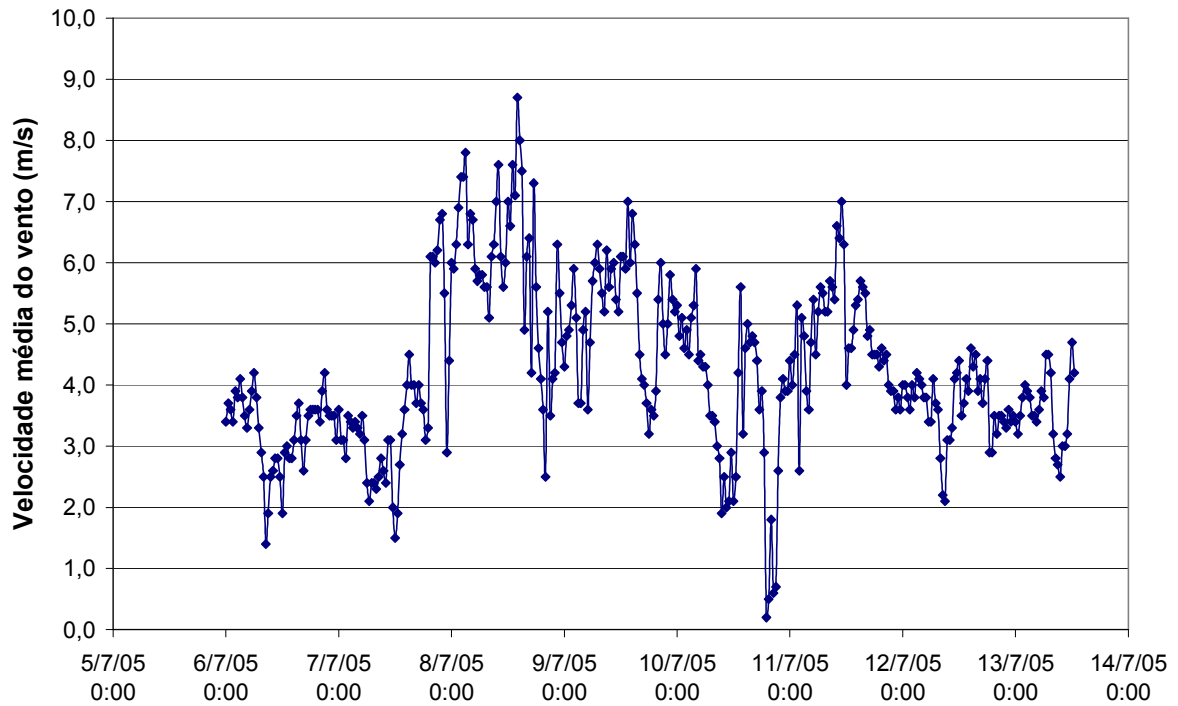


Figura 5.1.5-163 - Distribuição da velocidade média do vento em julho de 2005

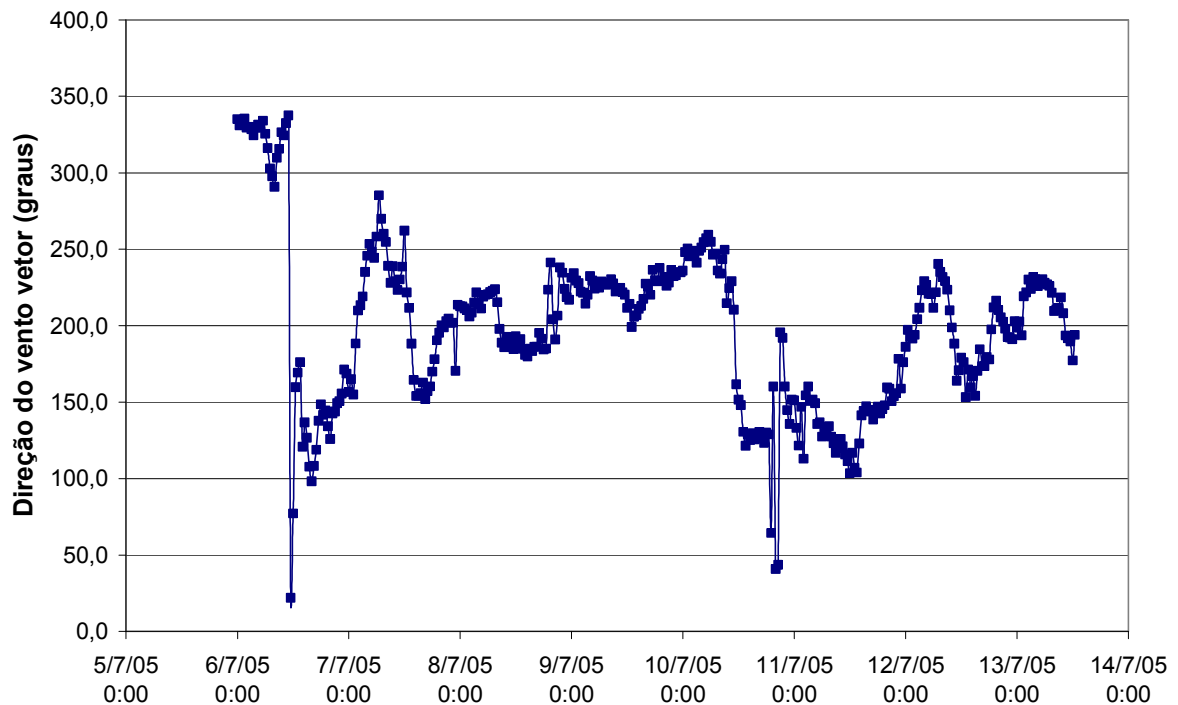


Figura 5.1.5-164 - Distribuição na direção do vento em julho de 2005.

Ondas

As ondulações neste período estão representadas com alturas significativas variando de 0,21 m a 2,13 m, com média de 0,61 m (+ 0,47) na direção 143° para #106 e de 0,79 m (+ 0,45) na direção 151° para #506. Observa-se que no dia 11/07 houve uma abrupta elevação na altura significativa das ondas atingindo um pico máximo de 2,13m (Figura 5.1.5-165 e Figura 5.1.5-166).

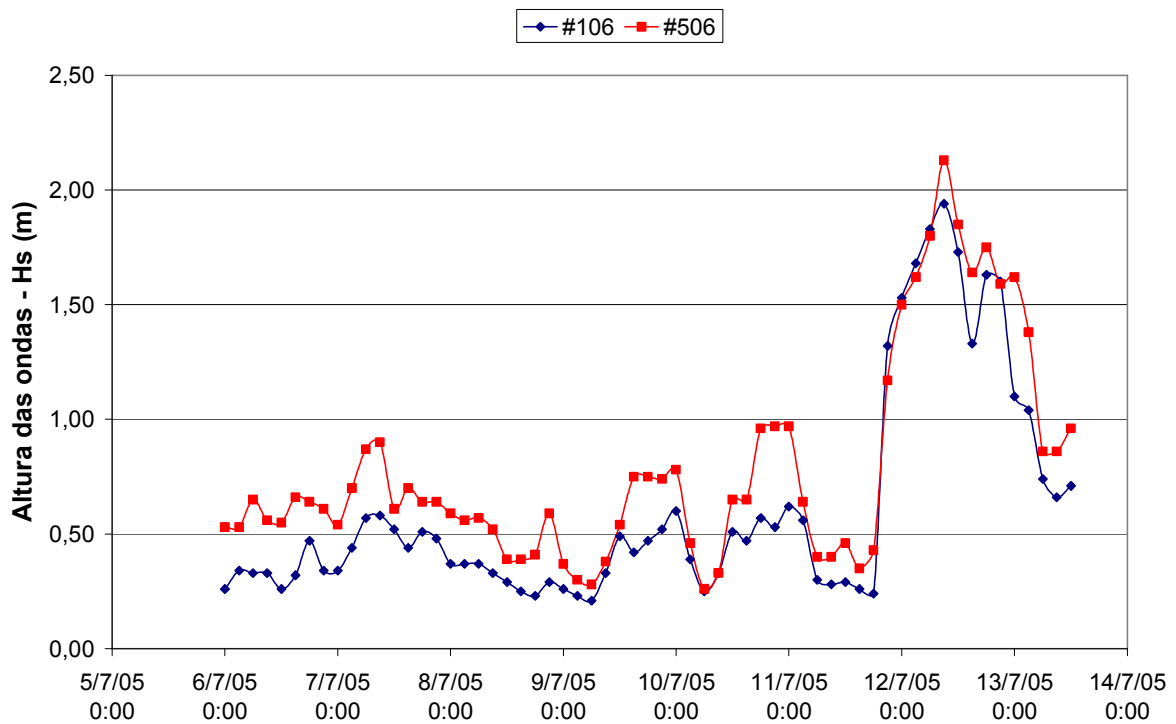


Figura 5.1.5-165 - Altura das ondas para ambos correntômetros em julho de 2005.

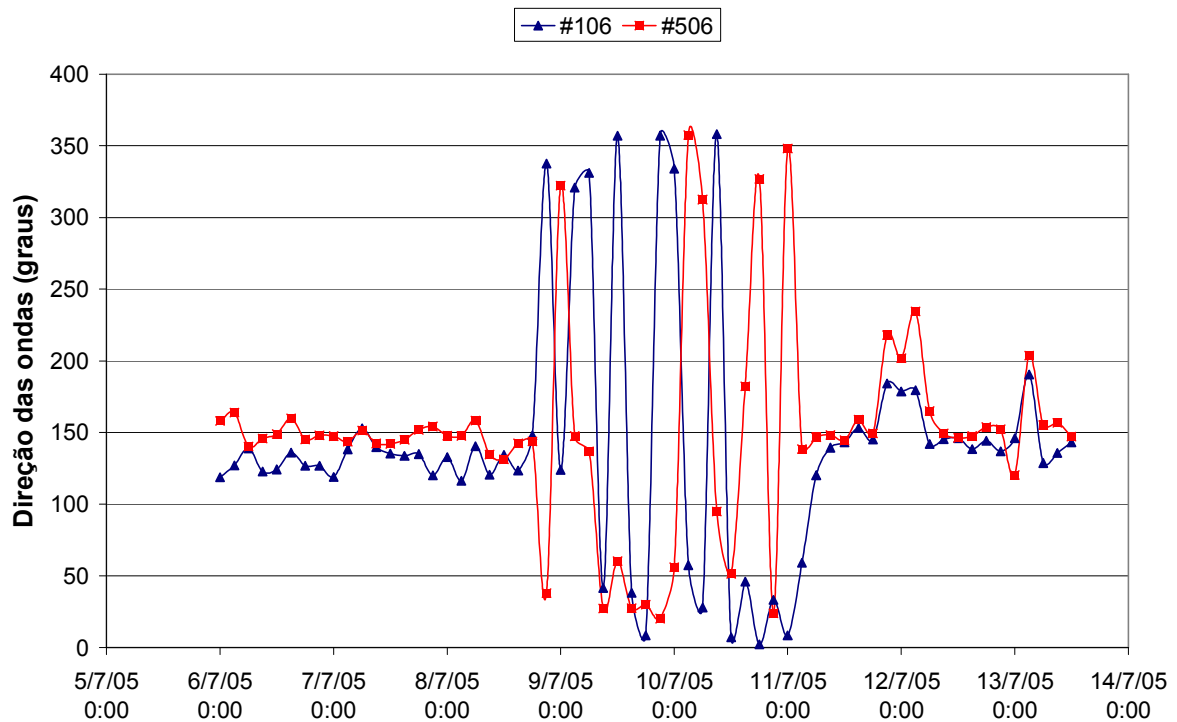


Figura 5.1.5-166 - Variação na direção das ondas de acordo com os correntômetros.

Correntes

As correntes apresentaram um padrão bem similar na magnitude e direção para ambas as estações, sendo que a magnitude diminuiu ao longo da semana amostrada. O intervalo de variação da magnitude foi amplo, com uma mínima de 0,2 cm/s, uma máxima de 78,6 cm/s e uma média de 27,8 cm/s (+/- 16) na #106 e 24,5 cm/s (+/- 15,8) na #506. A direção média foi de 139° (SE) para as duas estações (Figura 5.1.5-167 e Figura 5.1.5-168).

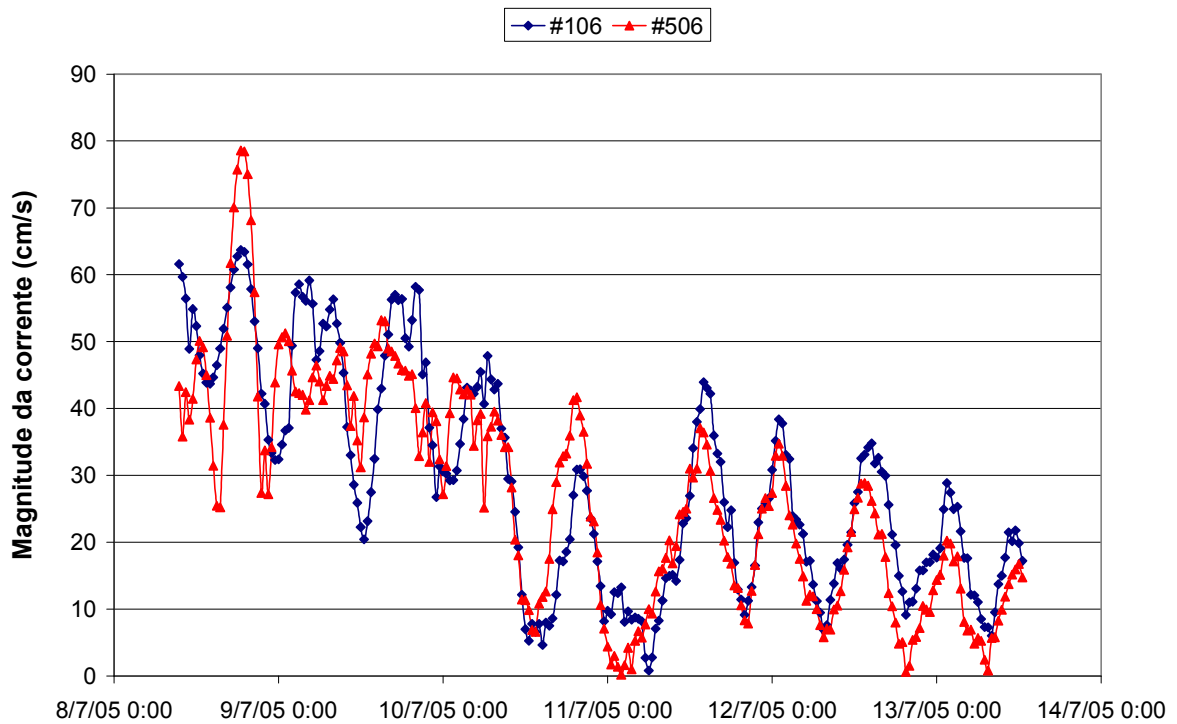


Figura 5.1.5-167 - Variação da magnitude da corrente atuante em um período de julho de 2005

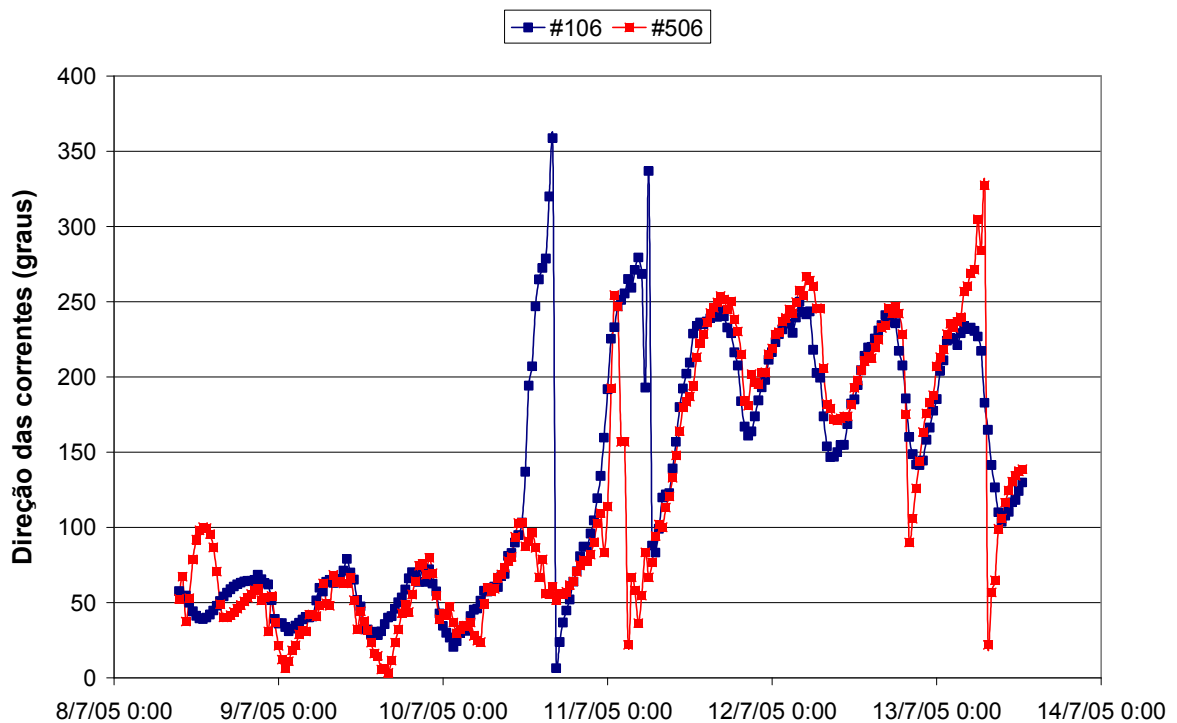


Figura 5.1.5-168 - Variação na direção da corrente de acordo com os correntômetros

Turbidez

Os valores de concentração de sólidos em suspensão nesse período foram altos e com uma ampla variação, sendo esta de 2,1 mg/L até 138,5 mg/L (Figura 5.1.5-169). Os valores acima de 50 mg/L permaneceram por cerca de três dias na região em estudo. A estação #106 apresentou uma média de 32 mg/L (+- 27,5) e a #506 de 36,5 mg/L (+- 33,5).

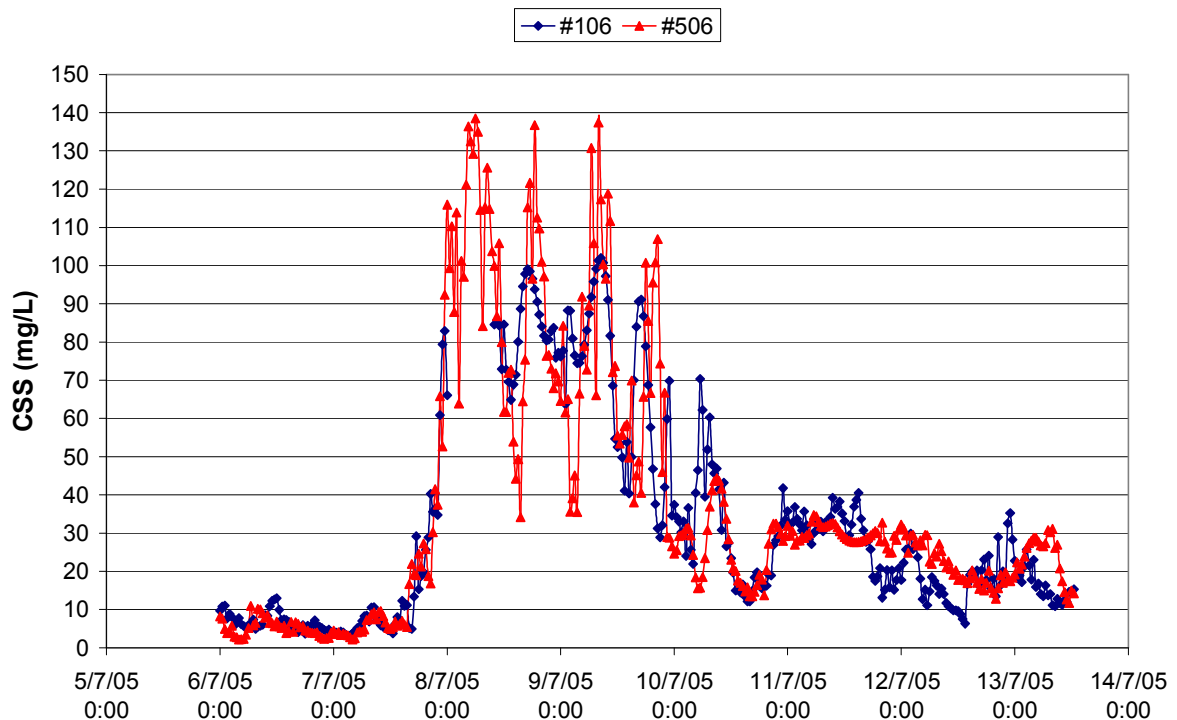


Figura 5.1.5-169 - Distribuição da concentração de sólidos em suspensão (mg/L)

Observa-se na imagem (Figura 5.1.5-170 – veja imagem ampliada no anexo P) uma grande pluma de sedimentos localizando-se desde a costa até o arco recifal interno. O Canal de Abrolhos apresenta-se sem turbidez visível, constituindo-se uma barreira para a dispersão da pluma vinda do continente. Entretanto, observa-se que na região de Abrolhos ocorre o surgimento de plumas, originadas dos sedimentos locais existentes no fundo da plataforma no banco de Abrolhos. Este padrão de turbidez está relacionado à época do inverno, na qual encontra-se uma maior agitação na coluna d'água em função das condições oceanográficas e climáticas que ocorrem na região durante esta estação do ano.

Os dados de ventos, ondas, correntes e turbidez atuantes na região em estudo no momento que o satélite captou a imagem estão na Tabela 5.1.5-13 e Tabela 5.1.5-14. A direção da deriva litorânea visivelmente ocorre no sentido de SW para NE, visto que existem algumas manchas de águas mais claras provenientes do Rio Caravelas que se mostram deslocadas para esse sentido.

Vale destacar que nessa data as obras de dragagem no canal de acesso a Barra do Tomba já haviam se encerrado há 4 meses.

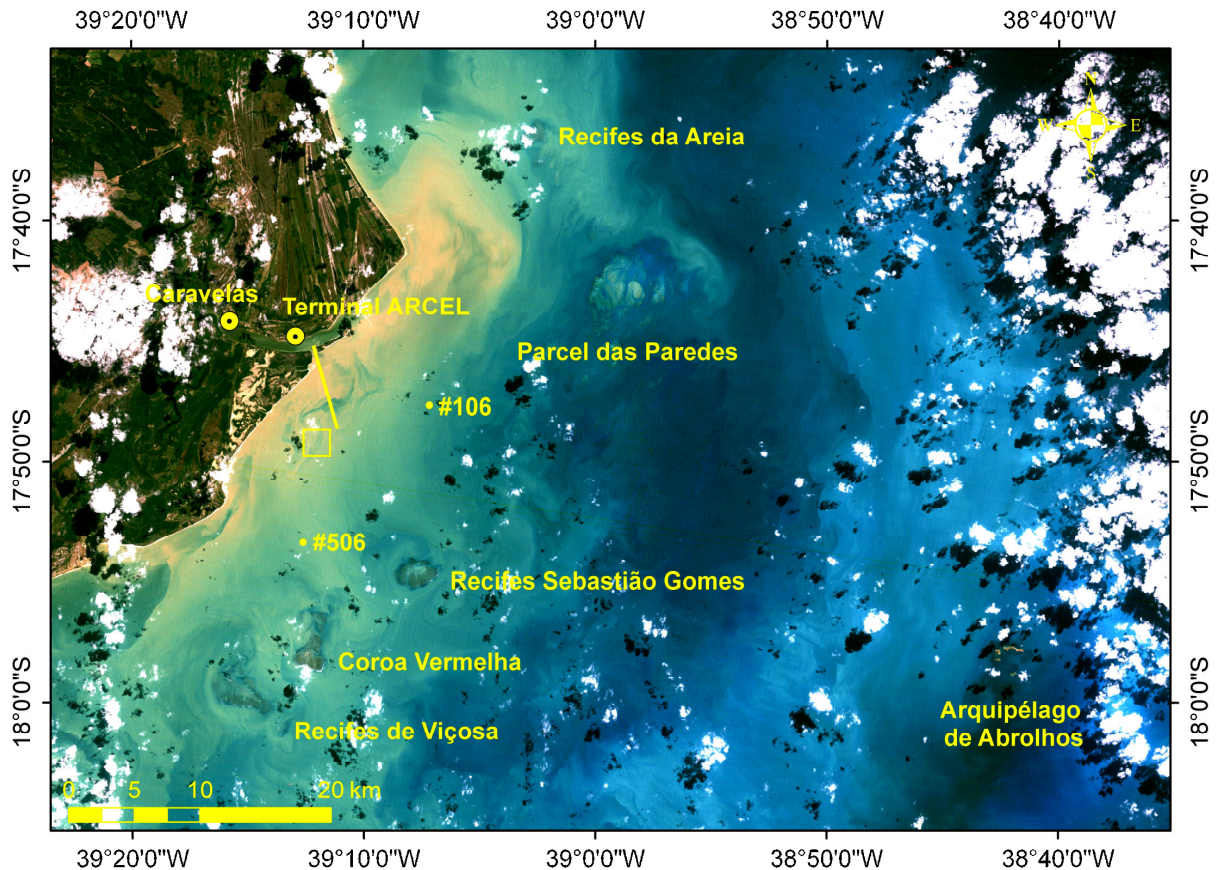


Figura 5.1.5-170 - Imagem Landsat TM5, para o dia 13 de julho de 2005

5.1.5.7.4.2.8 01 de outubro de 2005

Assim, como descrito para a data anterior, em outubro de 2005 o Terminal de Barcaças de Caravelas já estava implantado e as obras de dragagem no canal de acesso à Barra do Tomba haviam se iniciado. Não estava ocorrendo dragagem no momento da aquisição da imagem. A dragagem no ano de 2005 foi pequena e executada entre os meses de fevereiro e março.

Ventos

Os ventos apresentaram uma baixa velocidade não ultrapassando os 4 m/s, com média de 1,4 m/s (+- 0,9) na direção 141° (SE) (Figura 5.1.5-171 e Figura 5.1.5-172).

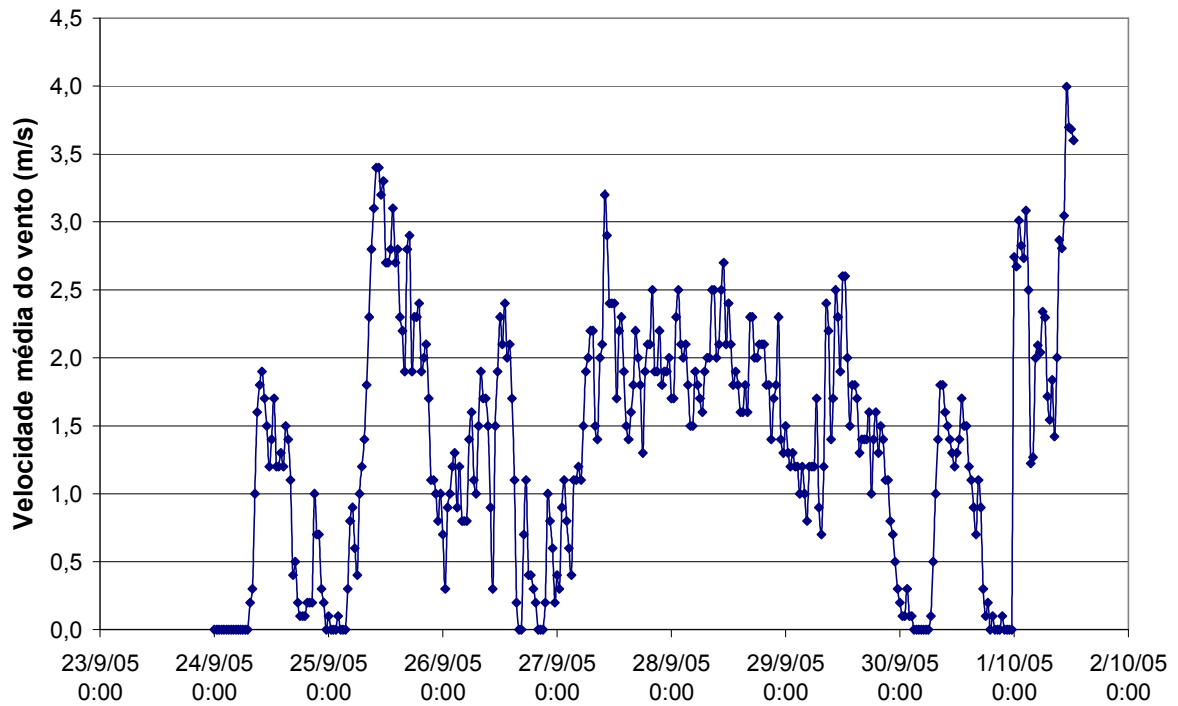


Figura 5.1.5-171 - Distribuição da velocidade média do vento no período analisado

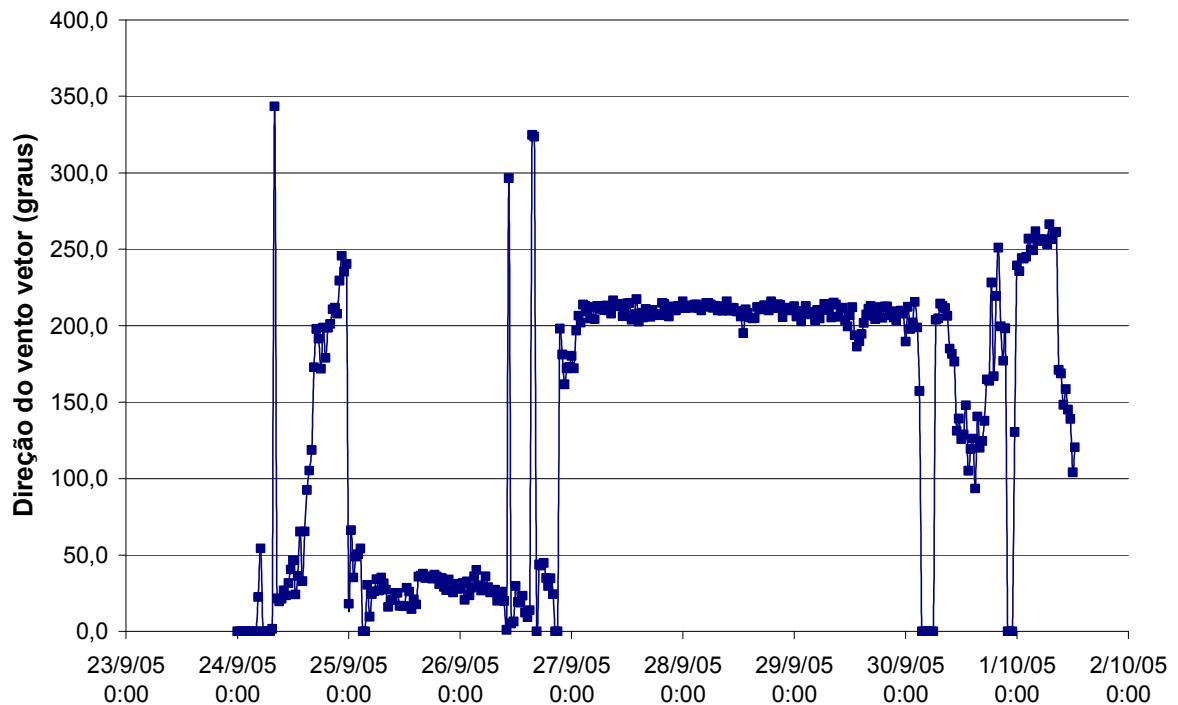


Figura 5.1.5-172 - Distribuição na direção do vento para o período de interesse

Ondas

As ondulações neste período estão representadas com alturas significativas variando de 0,28 m a 1,80 m, com média de 0,88 m (+- 0,46) na direção 127° para #106 e de 1,01 m (+- 0,34) na direção 145° para #506. Observa-se que nos primeiros 4 dias a maior Hs foi de 1,21 m, enquanto que nos outros três dias posteriores o maior valor foi de 1,80 m (Figura 5.1.5-173 e Figura 5.1.5-174).

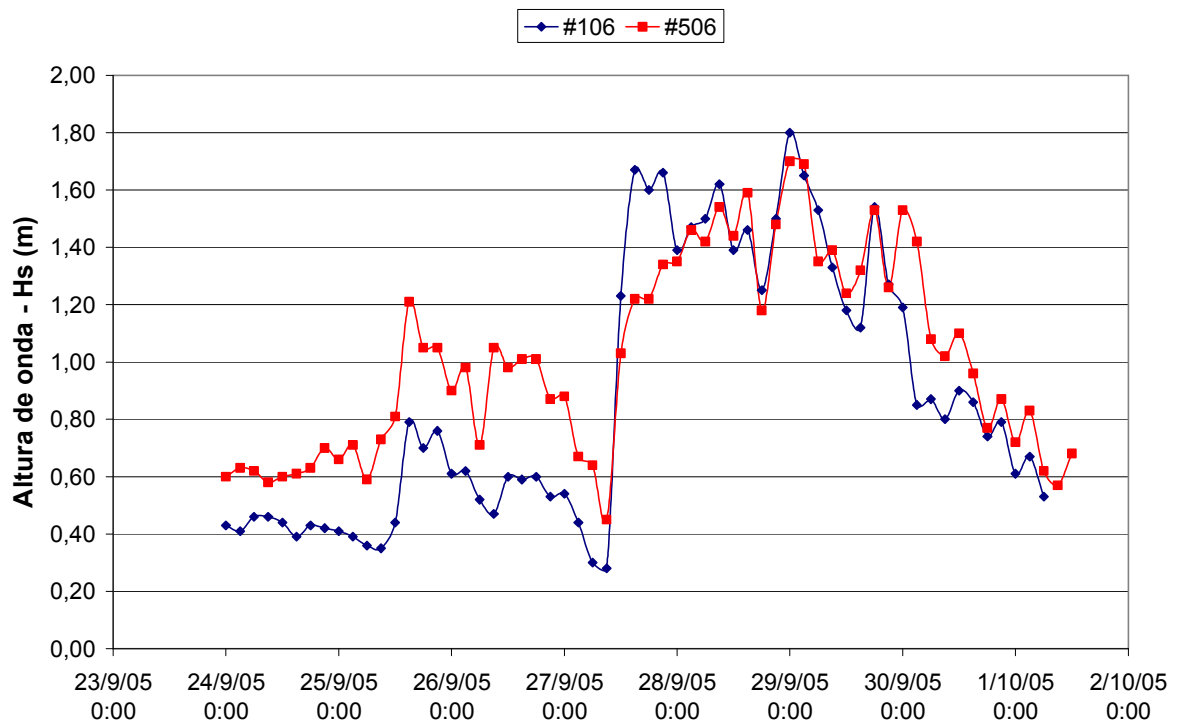


Figura 5.1.5-173 - Altura das ondas para ambos correntômetros em set/out de 2005

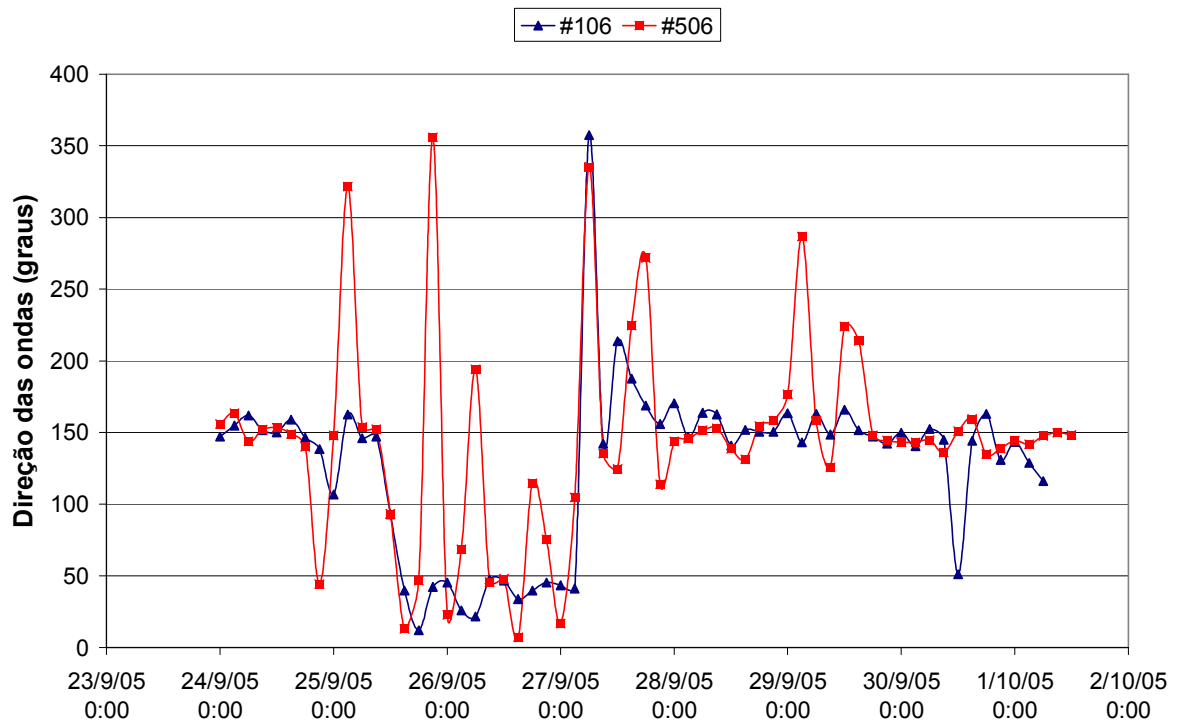


Figura 5.1.5-174 - Variação na direção das ondas segundo os correntômetros

Correntes

As correntes mais intensas foram registradas na #106, enquanto que as direções em ambas as estações mostraram-se similares. O intervalo de variação da magnitude apresentou uma mínima de 0,8 cm/s e uma máxima de 61,7 cm/s, com uma média de 36,4 cm/s (+- 13,6) na direção 146° para #106 e de 25,8 cm/s (+- 12,4) na direção 131° para #506 (Figura 5.1.5-175 e Figura 5.1.5-176).

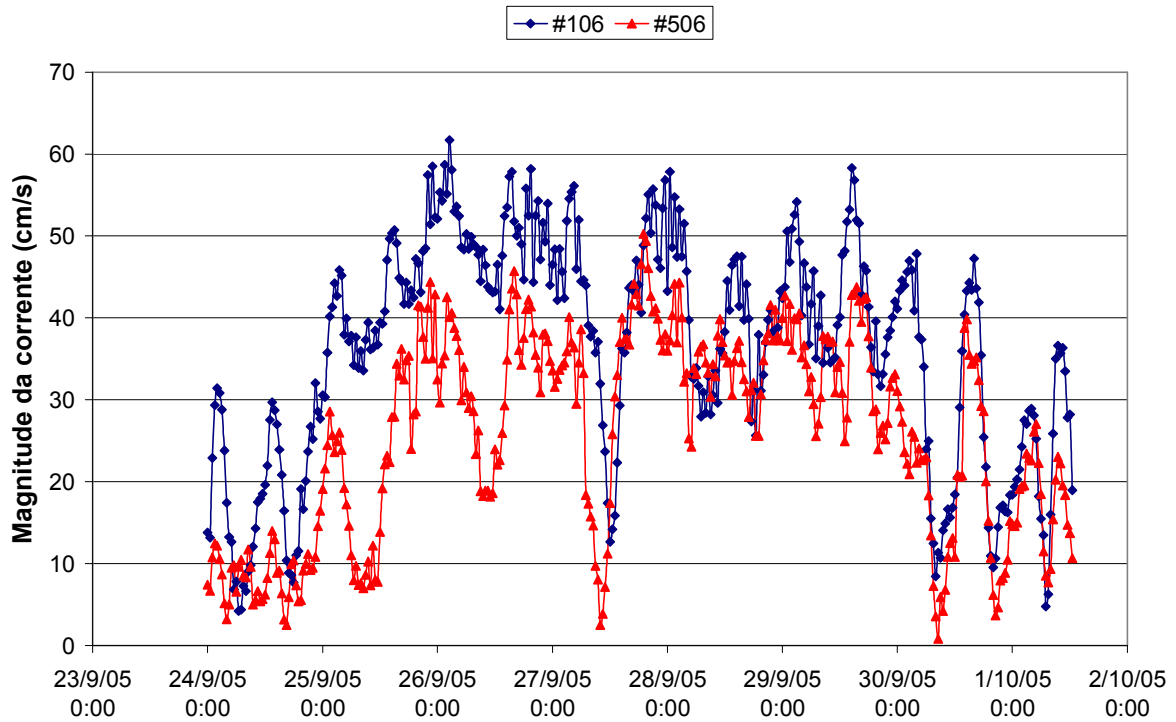


Figura 5.1.5-175 - Variação da magnitude da corrente atuante no período escolhido

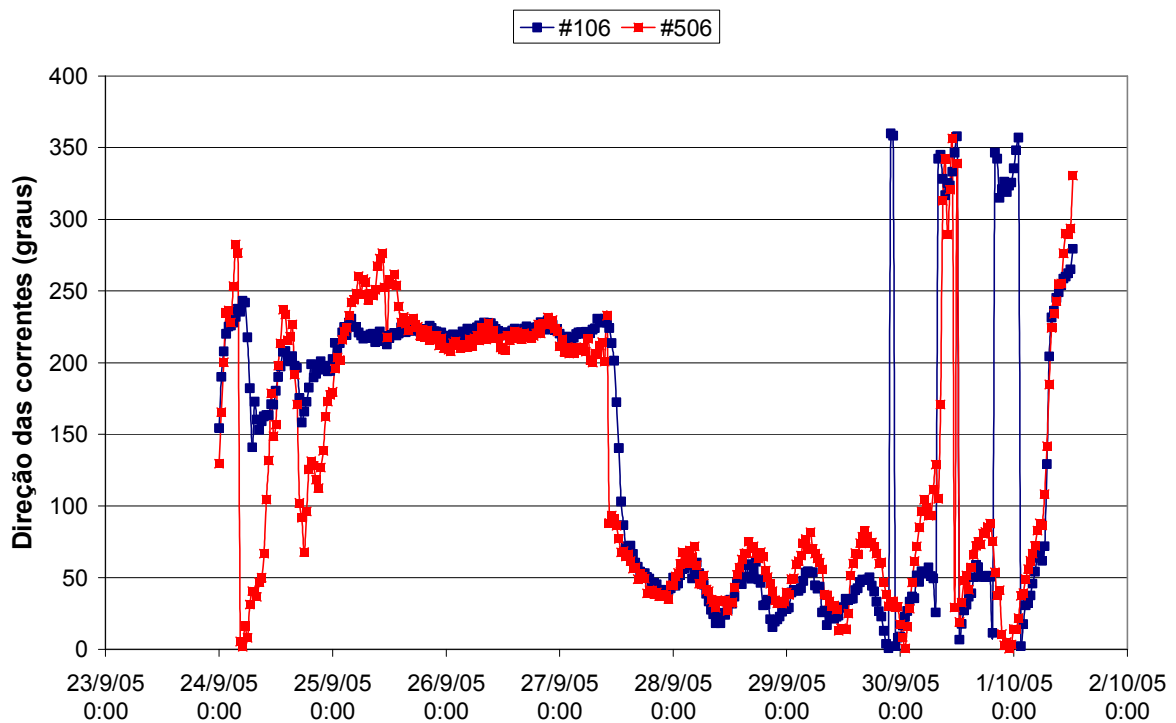


Figura 5.1.5-176 - Variação na direção da corrente segundo os correntômetros

Turbidez

Os valores de concentração de sólidos em suspensão nesse período foram altos e com uma ampla variação, sendo esta de 5,7 mg/L até 123 mg/L (Figura 5.1.5-177). A estação #106 apresentou uma média de 59,4 mg/L (+- 18,1) e a #506 de 40,2 mg/L (+- 27,7).

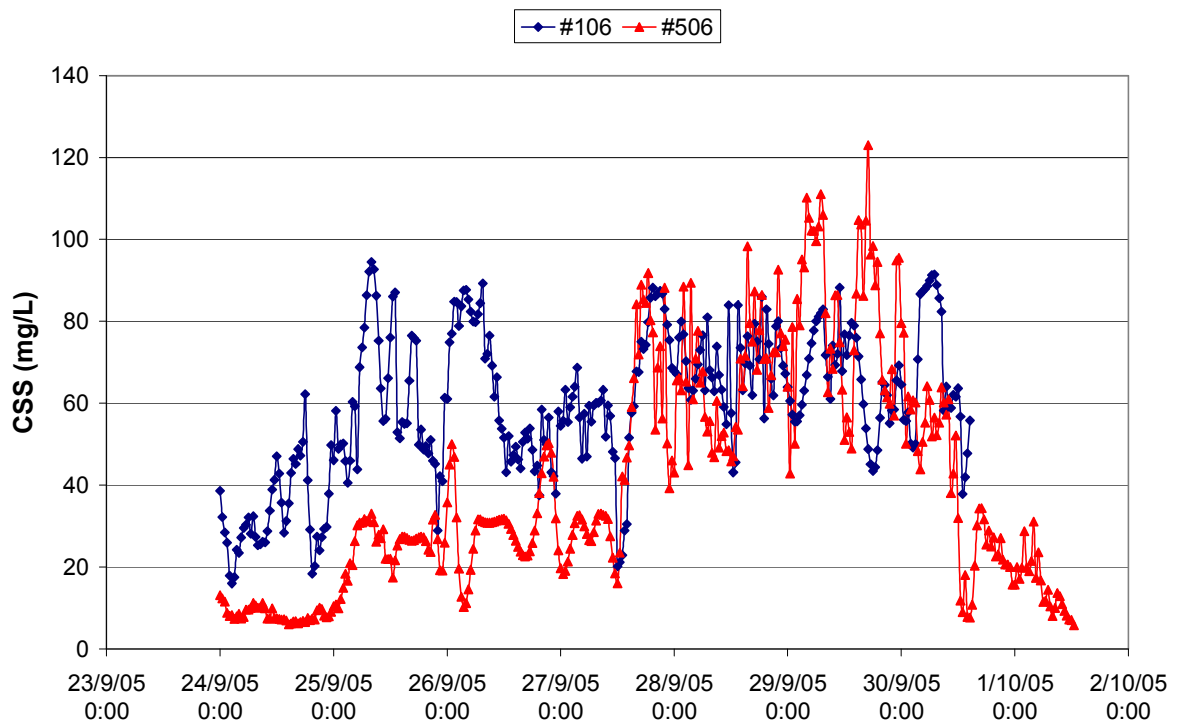


Figura 5.1.5-177 - Distribuição da concentração de sólidos em suspensão (mg/L)

A imagem (Figura 5.1.5-178 – veja imagem ampliada no anexo P) mostra uma pluma sedimentar mais clara chegando até o Parcel das Paredes e ultrapassando os Recifes de Viçosa, Coroa Vermelha e Sebastião Gomes. Tal fato está associado à alta ondulação que ocorreu durante a semana amostrada, assim como, em relação à magnitude da corrente que também apresentou altos valores.

No momento da imagem o vento era fraco, com uma altura significativa de onda de 0,68 m na direção de 148°, com uma turbidez de 5,7 mg/L, situação esta inferior à ocorrida alguns dias antes, que provocou as altas CSS na coluna d'água e sua dispersão costa a fora.

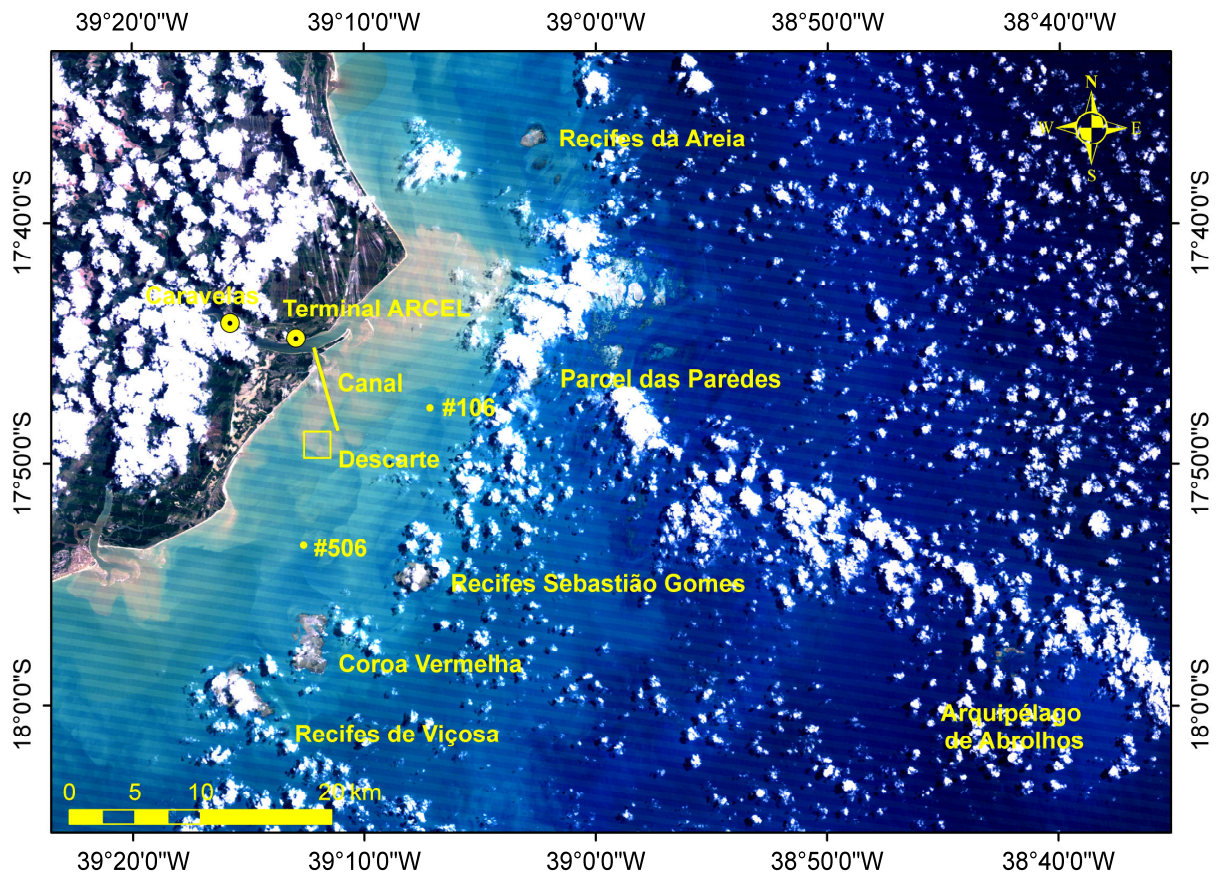


Figura 5.1.5-178 - Imagem Landsat TM5, para o dia 01 de outubro de 2005

5.1.5.7.4.2.9 29 de março de 2007

Nesta data o Terminal de Barcaças de Caravelas já estava implantado e as obras de dragagem no canal de acesso à Barra do Tomba haviam se iniciado. A dragagem realizada no ano de 2007 ocorreu de forma intensiva entre 15 de fevereiro e 31 de março. No dia 29 de março de 2007 foram dragados 15.554 m³ de sedimentos, sendo que na área mais externa do canal, a dragagem estava sendo realizada pela draga Volzee e na área do meio do canal pela draga Virgínia. Do total dragado neste dia, 9.087 m³ foram classificados como lama e 6.467 m³ por areia.

Ventos

Os ventos durante este período mostraram-se relativamente fracos, atingindo uma máxima de 5,5 m/s e uma média de 2,6 m/s (+-1,3); a direção destas variou principalmente entre 50° e 150° (Figura 5.1.5-179 e Figura 5.1.5-180).

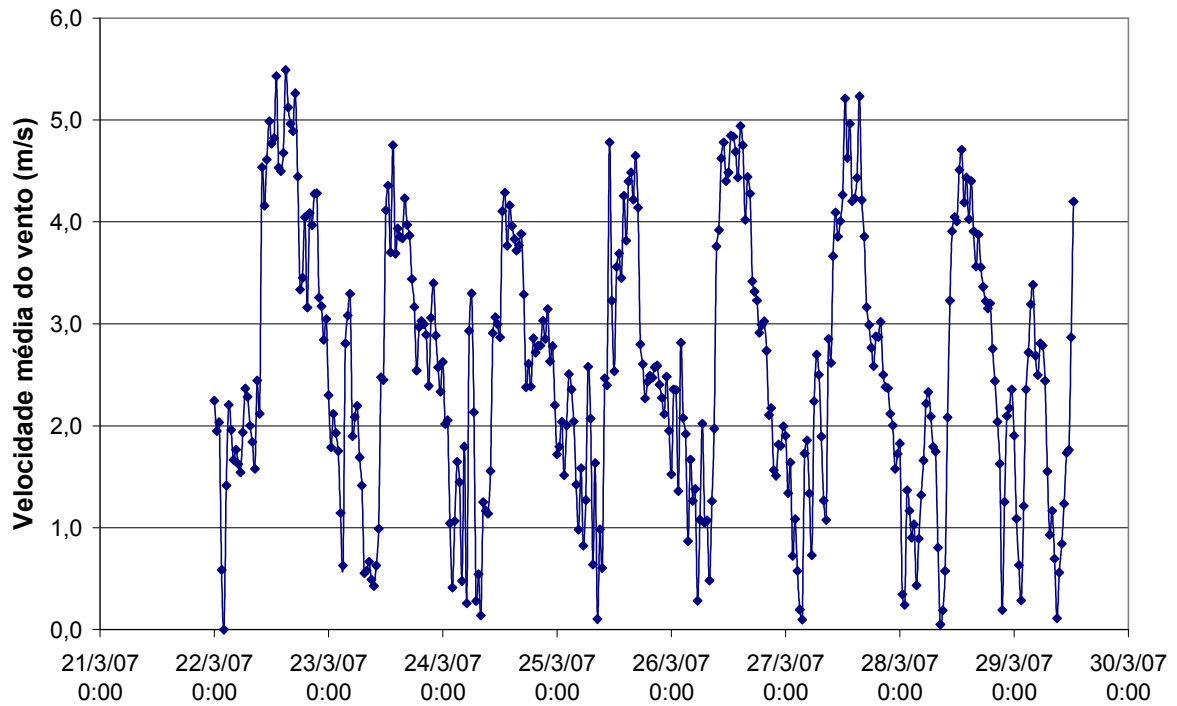


Figura 5.1.5-179 - Distribuição da velocidade média do vento no final de março de 2007

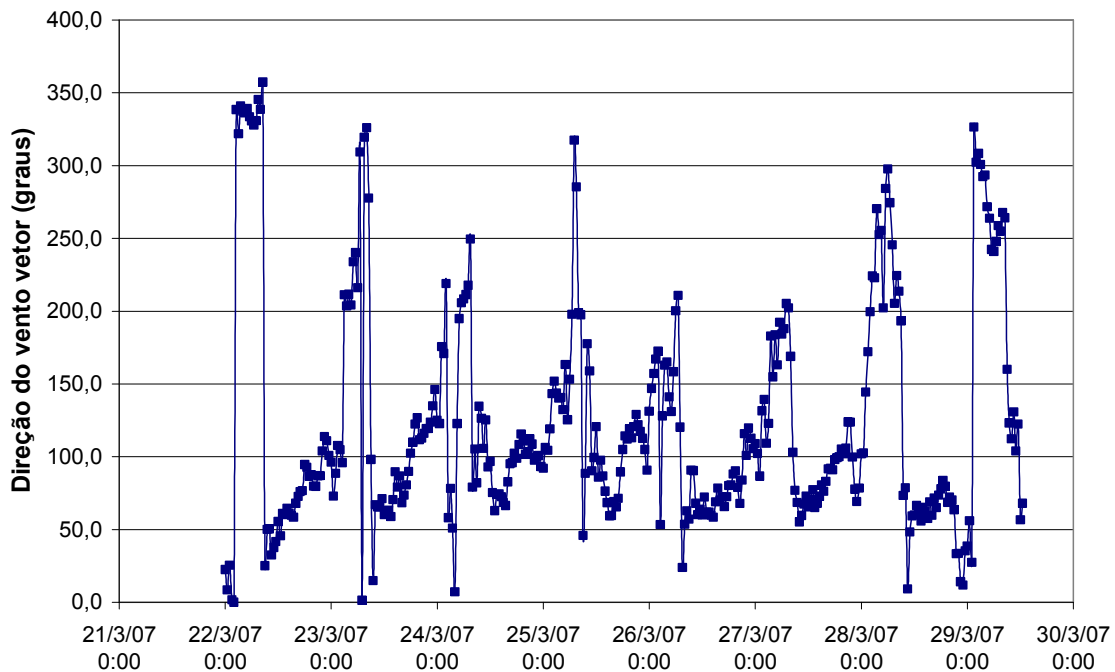


Figura 5.1.5-180 - Distribuição na direção do vento no período de interesse

Ondas

Dentre as características das ondas pudemos observar que as alturas significativas (Hs) mantiveram-se baixas, com pouca variação e com uma média de 0,22 m (+- 0,03) na #106 e de 0,30 m (+- 0,04) na #506. A direção das ondas foi mais homogênea na #506 com uma média de 156°, já na #106 as ondas variaram mais de direção, mas mesmo assim tiveram uma média de 151°, ou seja, similar a #506 (Figura 5.1.5-181 e Figura 5.1.5-182).

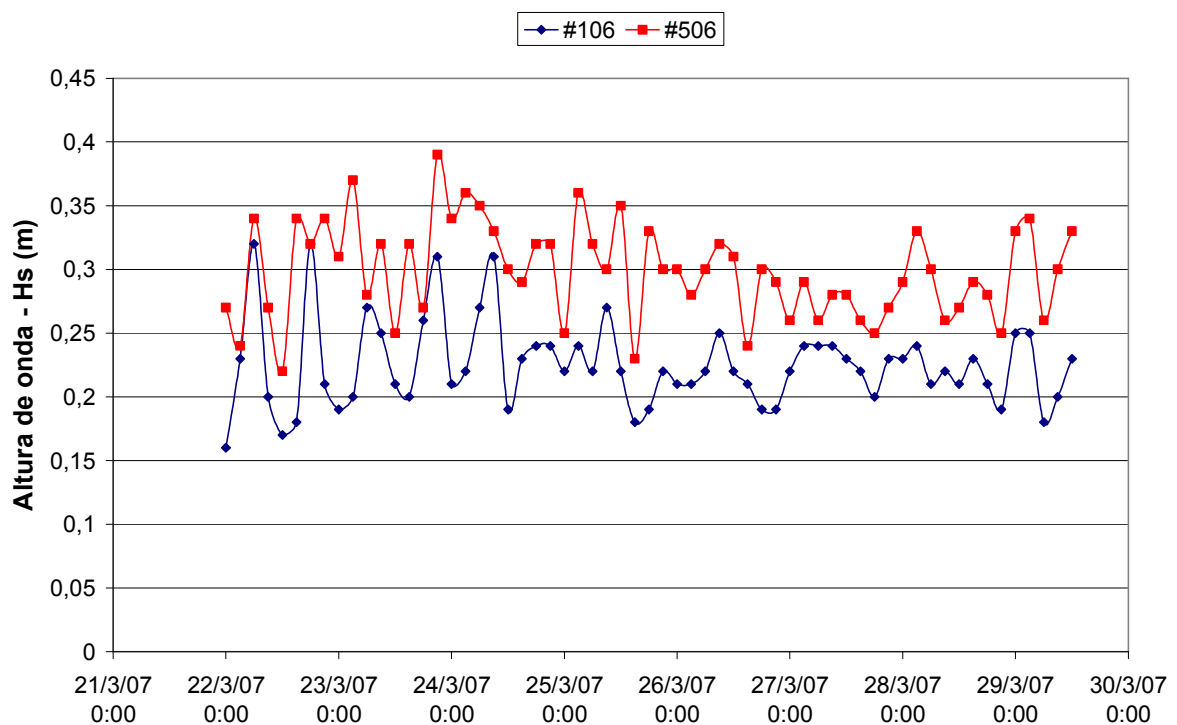


Figura 5.1.5-181 - Altura das ondas para ambos correntômetros para o final de março de 2007

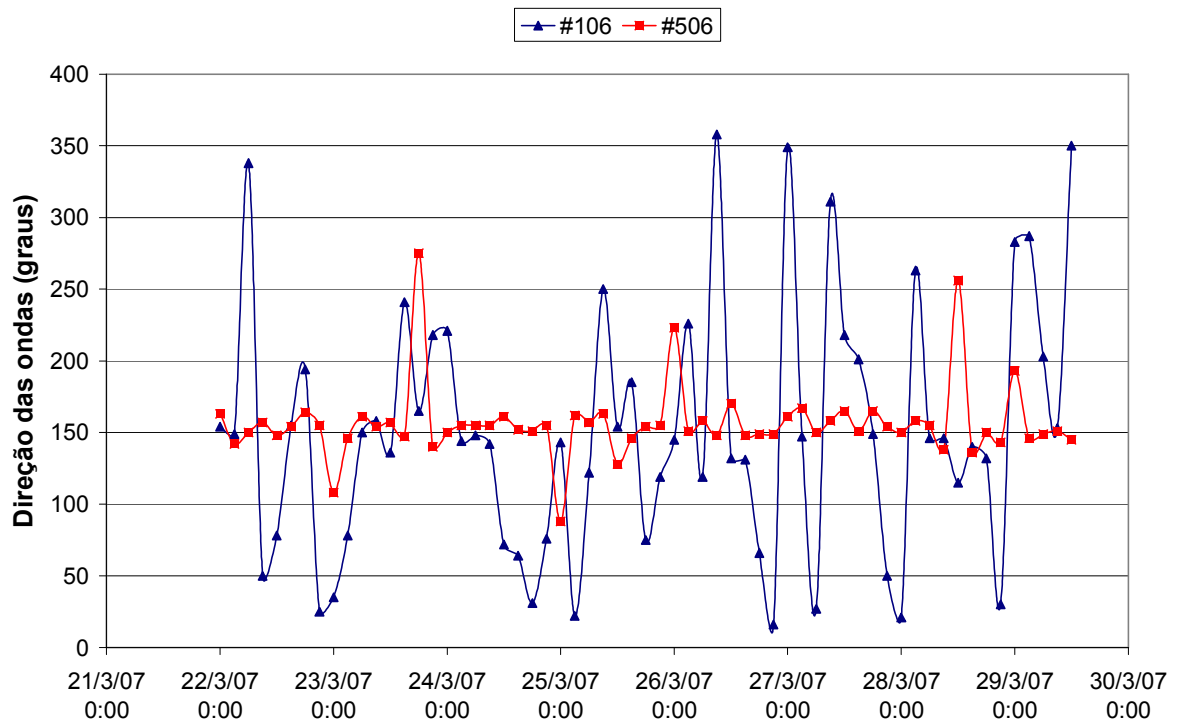


Figura 5.1.5-182 - Variação na direção das ondas segundo os correntômetros

Correntes

As correntes registradas nesse período apresentaram alguns picos de intensidade na estação # 106, atingindo uma magnitude máxima de 37,3 cm/s e uma mínima de 0,3 cm/s; a média para cada estação foi de 16 cm/s (+- 7,3) na #106 e de 11,7 cm/s (+- 5,8) na #506. Quanto à direção destas correntes nota-se que na maior parte do tempo estiveram entre 150° e 300°, sendo que a média de ambas as estações foram bem próximas, com 210° na #106 e 228° na #506 (Figura 5.1.5-183 e Figura 5.1.5-184).

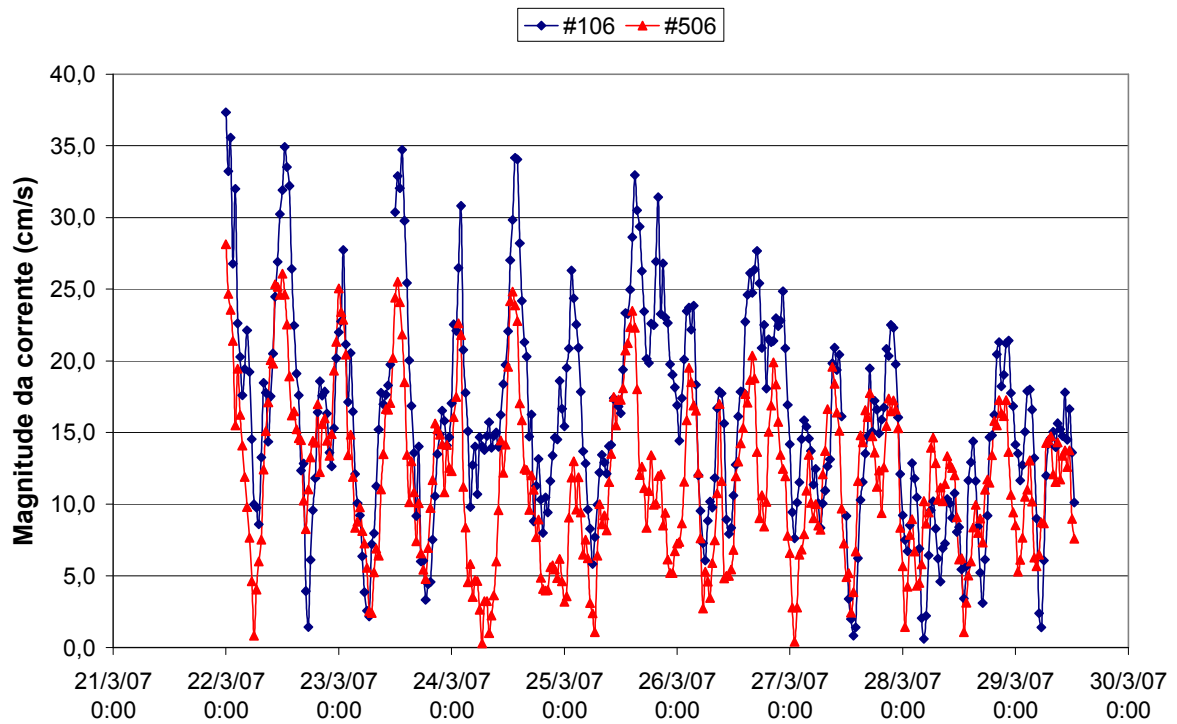


Figura 5.1.5-183 - Variação da magnitude da corrente atuante no período de interesse

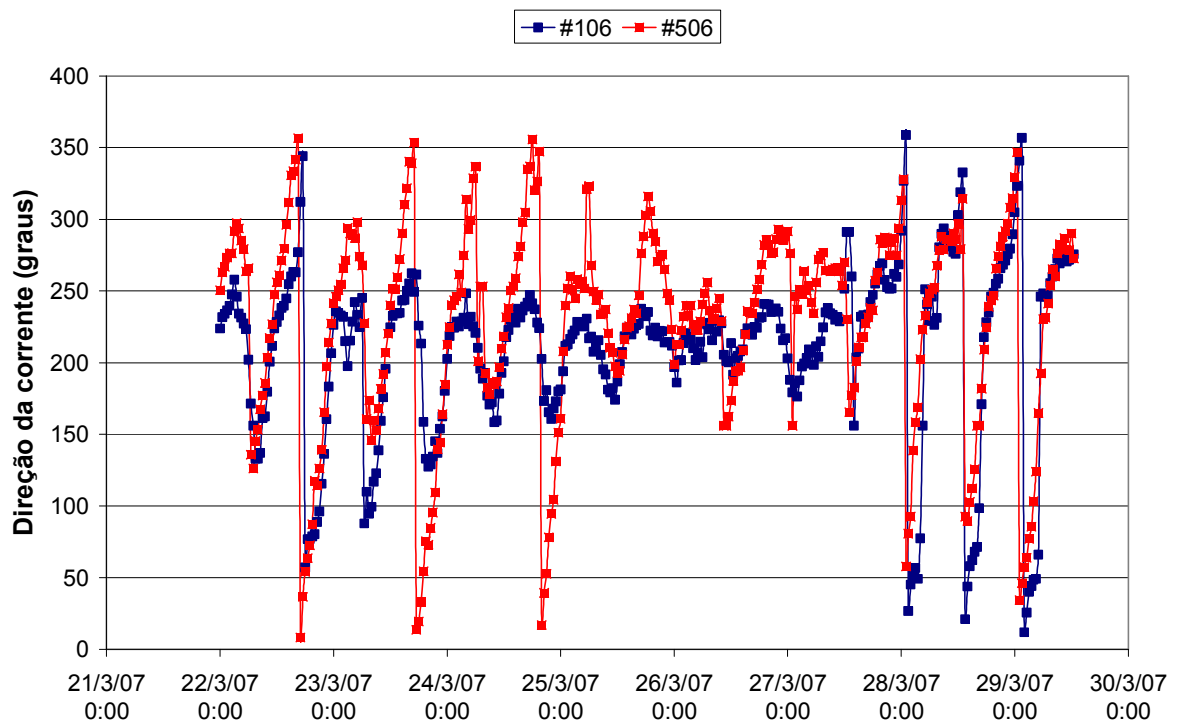


Figura 5.1.5-184 - Variação na direção da corrente segundo os correntômetros

Turbidez

A concentração de sólidos em suspensão (CSS) neste período foi similar para ambas as estações, oscilando de 2,5 mg/L até 37 mg/L, mas na maioria do tempo permaneceu abaixo de 15 mg/L (Figura 5.1.5-185). A média na #106 foi de 6,5 mg/L (+- 3) e na #506 de 7,2 mg/L (+- 4,2).

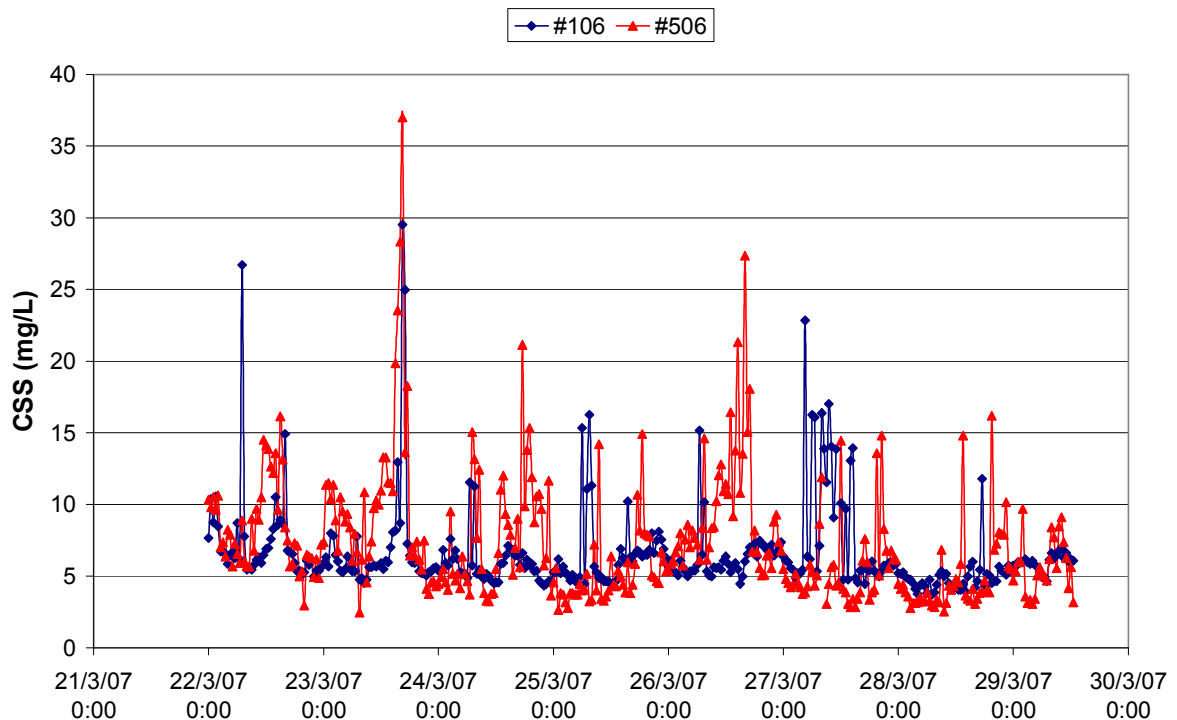


Figura 5.1.5-185 - Distribuição da concentração de sólidos em suspensão (mg/L).

A imagem (Figura 5.1.5-186 – veja imagem ampliada no anexo P) apresenta uma pluma sedimentar de fraca intensidade, restrita às proximidades da linha de costa. No momento em que a imagem foi registrada pelo satélite, o vento apresentava uma velocidade de 4,2 m/s na direção 68°, enquanto as estações #106 e #506 registravam os seguintes dados: #106 com altura significativa de 0,23 m na direção 350°, a magnitude da corrente com 10,1 cm/s na direção 276° e CSS de 6,1 mg/L; #506 com Hs de 0,33 na direção 145°, a magnitude da corrente com 7,3 cm/s na direção 273° e CSS de 3,17 mg/L. (Tabela 5.1.5-13 e Tabela 5.1.5-14). Embora a dragagem estivesse ocorrendo de forma intensa, a pluma continental teve um alcance muito restrito sem atingir o arco interno e o Canal de Sueste; compatível com o esperado para esta época do ano, e com a condição de energia hidrodinâmica vigente no período imediato e anterior à tomada da imagem de satélite.

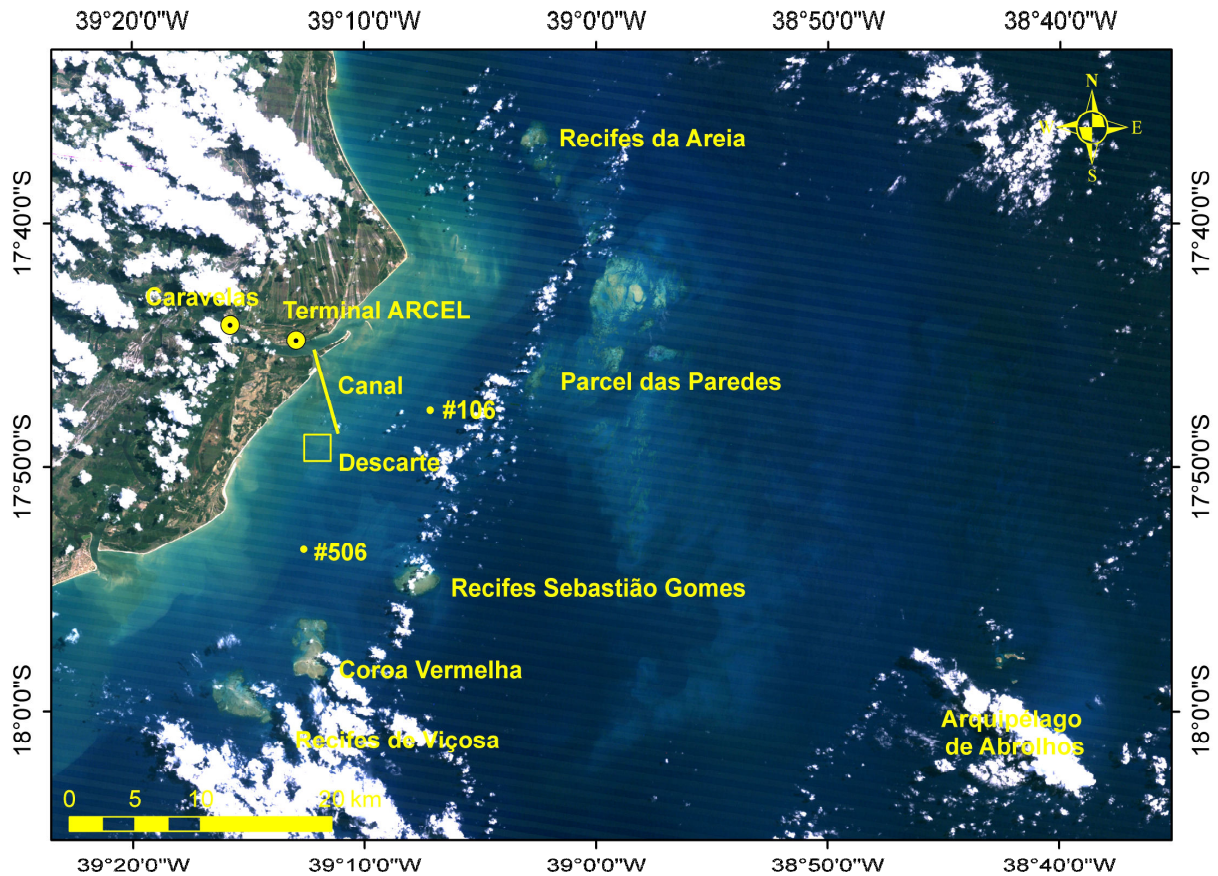


Figura 5.1.5-186 - Imagem Landsat TM5, para o dia 29 de março de 2007

5.1.5.7.4.3 Análise Integrada das Imagens com os Dados Oceanográficos, a Época do Ano e o Status da Dragagem

A Tabela 5.1.5-13 apresenta os valores médios e máximos de ondas, correntes, turbidez e ventos para a estação #106 no período de 7 dias que antecederam a data da imagem. Da mesma forma a Tabela 5.1.5-14 apresenta os dados hidrodinâmicos, ventos e turbidez para a estação #506.

Tabela 5.1.5-15 apresenta os valores de ondas e correntes para as estações #106 e #506 na mesma data e hora em que o satélite obteve a imagem e a Tabela 5.1.5-16 os valores de turbidez e ventos, nestas circunstâncias.

Tabela 5.1.5-13 - Valores médios e máximos de ondas, correntes, ventos e CSS para a estação #106 no período de 7 dias que antecederam a data da imagem

Data	Época	Status-dragagem	Ondas		Correntes		Ventos		Turbidez	
			Hs médio (m)	H máx. (m)	Magn. média (cm/s)	Magn. máx. (cm/s)	Vel. Méd. (m/s)	Direção	CSS méd. (mg/L)	CSS máx. (mg/L)
03/02/99	Verão	Sem	-	-	-	-	4,6	NE	-	-
23/01/01	Verão	Sem	-	-	-	-	3,7	L	-	-
22/06/03	Inverno	Com	0,43	1,08	19,8	51,2	3,1	S	8,3	28,6
24/07/03	Inverno	Com	0,39	0,72	30	53,9	3,4	SE	13,1	63,5
04/03/04	Verão	Com	0,33	0,81	26,5	63,7	4,3	NE	2,1	9,4
23/03/05	Verão	Com	0,25	0,33	22,2	39,6	3,5	NE	-	-
13/07/05	Inverno	Sem	0,61	1,94	27,8	63,7	4,2	S	32	102
01/10/05	Primavera	Sem	0,88	1,80	36,4	61,7	1,4	S e NE	59,4	94,5
29/03/07	Verão	Com	0,22	0,32	16	37,3	2,6	SE	6,5	29,5

Tabela 5.1.5-14 - Valores médios e máximos de ondas, correntes, ventos e CSS para a estação #506 no período de 7 dias que antecederam a data da imagem.

Data	Época	Status-dragagem	Ondas		Correntes		Ventos		Turbidez	
			Hs médio (m)	H máx. (m)	Magn. média (cm/s)	Magn. máx. (cm/s)	Vel. média (m/s)	Direção	CSS médio (mg/L)	CSS máx. (mg/L)
03/02/99	Verão	Sem	-	-	-	-	4,6	NE	-	-
23/01/01	Verão	Sem	-	-	-	-	3,7	L	-	-
22/06/03	Inverno	Com	0,70	1,55	13,9	42,6	3,1	S	17,8	56,6
24/07/03	Inverno	Com	0,60	0,89	13,7	32,5	3,4	SE	15,2	58,9
04/03/04	Verão	Com	0,46	0,95	16,4	35,3	4,3	NE	3,5	13,4
23/03/05	Verão	Com	0,39	0,48	15,1	36	3,5	NE	4,6	21,6
13/07/05	Inverno	Sem	0,79	2,13	24,5	78,6	4,2	S	36,5	138,5
01/10/05	Primavera	Sem	1,01	1,70	25,8	50,3	1,4	S e NE	40,2	123
29/03/07	Verão/Outono	com	0,30	0,39	11,7	28,1	2,6	SE	7,2	37

Tabela 5.1.5-15 - Valores de ondas e correntes para as estações #106 e #506 na mesma data e momento em que o satélite obteve a imagem.

Data	Hora*	Onda#106		Onda#506		Corrente#106		Corrente#506	
		Hs (m)	Dir. (graus)	Hs (m)	Dir. (graus)	Magn. (cm/s)	Dir. (graus)	Magn. (cm/s)	Dir. (graus)
03/02/99	12:17	-	-	-	-	-	-	-	-
23/01/01	12:17	-	-	-	-	-	-	-	-
22/06/03	12:14	0,26	177	0,43	143	6,1	176	7,1	255
24/07/03	12:14	0,50	163	0,65	128	26,2	201	2,8	161
04/03/04	12:17	0,20	105	0,29	356	24,3	273	13,7	281
23/03/05	12:25	0,26	138	0,45	144	15,6	259	10,2	292
13/07/05	12:25	0,71	143	0,96	147	17,2	130	14,7	139
01/10/05	12:26	-	-	0,68	148	19,0	279	10,7	330
29/03/07	12:32	0,23	350	0,33	145	10,1	276	7,6	273

Tabela 5.1.5-16 - Valores de CSS e ventos para as estações #106 e #506 na mesma data e momento em que o satélite obteve a imagem.

Data	Hora*	Turbidez#106	Turbidez#506	Ventos	
		CSS (mg/L)	CSS (mg/L)	Vel.(m/s)	Dir.(graus)
03/02/99	12:17	-	-	4,8	69
23/01/01	12:17	-	-	6,1	49
22/06/03	12:14	-	7,5	3,6	20
24/07/03	12:14	5,1	8,2	7,9	78
04/03/04	12:17	-	2,4	6,3	52
23/03/05	12:25	-	1,1	4,5	75
13/07/05	12:25	15,3	14,2	4,2	194
01/10/05	12:26	-	5,7	3,6	121
29/03/07	12:32	6,1	3,2	4,2	68

* o Horário das medições foi aproximado para as 12:00h

A análise das imagens indica o marcante efeito da sazonalidade relativamente às condições de CSS e turbidez associada na região do entorno do empreendimento. Claramente, pode-se observar que a estação do verão apresenta valores de CSS baixos, sendo clara a delimitação da área de maior turbidez junto à costa e de outra área de grande transparência mais ao largo. Tipicamente no verão, a zona de turbidez mantém-se junto à costa, não avançado para o Canal Sueste, que permanece com boas condições de turbidez.

Tal comportamento pôde ser comprovado na caracterização da turbidez da área, apresentado no item 5.1.4. De fato, no verão as condições climáticas e oceanográficas favorecem ao tempo bom e mar calmo, apresentando ventos preferenciais de N, NE e E, e ondas de rumo SE de menor intensidade. Observa-se que a turbidez na região está primeiramente ligada às condições ondulatórias que atingem a região, e secundariamente às correntes, que não conseguem normalmente ressuspender o material coesivo do fundo, e sim apenas transportá-lo após sua ressuspensão.

As duas imagens do verão sem dragagem (03/02/99 e 23/01/01) correspondem a momentos onde o Terminal de Barcaças ainda não havia sido implantado, assim como as obras de dragagem também não haviam começado. Estas imagens correspondem a eventos naturais

e apresentam a pluma de sedimentos pouco intensa e restrita às proximidades da linha de costa.

Comparando-se estas imagens com as outras também de verão, mas com dragagem (04/03/04 e 23/03/05), não se observa diferença entre a distância atingida pela pluma de sedimentos e sua intensidade. Conseqüentemente, as imagens mostram que nestes eventos não houve qualquer influência da dragagem na intensidade e extensão atingidas pelas plumas, bem como na distribuição do CSS na área.

Na situação de inverno, sem dragagem (13/07/05), é possível observar na imagem uma grande pluma de sedimentos localizando-se desde a costa até o arco recifal interno. O Canal de Abrolhos apresenta-se sem turbidez visível, constituindo-se junto com o arco interno em uma barreira para a pluma vinda do continente. Entretanto, observa-se que na região de Abrolhos ocorre o surgimento de plumas, as quais são originadas da ressuspensão dos sedimentos locais existentes no fundo da plataforma no banco de Abrolhos, sendo que em nenhuma das imagens pode-se verificar qualquer conexão da turbidez presente na costa de Caravelas com a turbidez observada em Abrolhos.

Este padrão de turbidez da área é típico do clima de inverno potencializado pela penetração de frentes frias polares. No inverno, a região sofre uma maior ação das ondas mais energéticas de rumo SE e dos ventos de quadrante S, que provocam uma maior agitação na coluna d'água, com conseqüente intensificação da ressuspensão de sedimentos do fundo. Dentre as imagens analisadas, vale ressaltar que esta (do dia 13/07/2005) foi a que apresentou os maiores valores das alturas significativas de ondas e as concentrações de sólidos em suspensão, em uma data 4 meses após o encerramento da dragagem executada naquele ano, em que se dragou baixo volume.

Analisando-se as outras duas imagens de inverno tomadas durante a atividade da dragagem (22/06/03 e 24/07/03), observa-se que também a existência de uma grande ressuspensão dos sedimentos para a coluna d'água. A imagem do dia 24/07/2003 mostra uma pluma intensa frente à costa de Caravelas.

Analisando-se em conjunto as imagens de inverno com e sem dragagem, observa-se o mesmo padrão, ressaltando-se a grande extensão em área da pluma de sedimentos ressuspensos. Note que para as condições de dragagem no verão, mesmo em época de dragagem, nenhuma pluma que pudesse estar relacionada com a dragagem foi notada. O mesmo ocorre para a imagem que retrata o final da última dragagem executada no canal, no início do outono de 2007. A imagem de 29/03/07 apresenta condições de CSS e turbidez excelentes ao largo da região do empreendimento, mesmo com intensa dragagem em andamento.

Assim, para as condições de inverno apresentadas em conjunto com as análises anteriores pode-se concluir que não ocorre nenhuma influência da dragagem no padrão de turbidez da região.

A análise das imagens indica que as plumas próximas dos recifes e do Arquipélago de Abrolhos ocorrem pela ressuspensão dos sedimentos existentes ao redor dos recifes, quando ondas de maior período e altura interagem com o sedimento fino presente nas zonas rasas no banco. Note na imagem de 13 de julho de 2005 (Figura 5.1.5-170), que as cores dos sedimentos em suspensão observados próximos à linha de costa de Caravelas possuem coloração distinta da pluma observada no arco recifal externo, indicando sedimentos ressuspensos com características diferentes. De fato, conforme comentado anteriormente, a contribuição relativamente pequena de sedimentos de origem continental para os recifes do arco externo é atestada pela natureza dos sedimentos em suspensão coletados na área. Do canal de Caravelas ao Parcel de Paredes, os minerais característicos da carga de sedimentos particulados em suspensão passa de caulinita com traços de óxido de ferro (características continentais) para calcita biogênica e carapaças de aragonita (características marinhas) (Leipe, *et al.* 1999).

O exame das imagens mostra que a origem dos sedimentos em suspensão presentes entre a linha de costa e o arco interno do complexo recifal de Abrolhos está associado essencialmente:

- ao material exportado dos estuários e manguezais;
- aos sedimentos finos resultantes da erosão da linha de costa principalmente no trecho compreendido entre a Ponta do Catoeiro e a Barra do Tomba;
- aos sedimentos finos ressuspensos pela ação de ondas, nos trechos mais rasos da região costeira ou seja, ao longo da linha de costa, no entorno dos bancos de corais e nas áreas rasas dos deltas de maré vazante dos rios da região.

O influxo de sedimentos fluviais é insignificante na região tendo em vista que nenhum curso d'água importante deságua neste trecho da linha de costa. As imagens também corroboram com as medidas de sedimento em suspensão já apresentadas. Estas medidas mostraram, o que pode ser claramente observado nas imagens, que as águas costeiras entre a linha de costa e o arco recifal interno apresentam maiores concentrações de material em suspensão que os canais de maré e os pequenos cursos d'água que deságuam na região.

Uma vez colocados em suspensão estes sedimentos são transportados pelas correntes dominantes no sentido costa afora (S-SW). Devido à direção dominante das correntes na região, estas plumas de material em suspensão alcançam eventualmente os recifes do arco interno de Abrolhos principalmente os recifes de Viçosa, Coroa Vermelha e Sebastião

Gomes (veja imagem de primavera em 01 de outubro de 2005). Estas observações de imagens de satélite confirmam conclusões dos estudos executados para a área de descarte e para o overflow, de que a pluma gerada pela dragagem é muito restrita espacialmente, uma vez que não puderam ser detectadas.

De fato, conclui-se que a operação de dragagem é insignificante quando comparada com as forças da natureza que turvam as águas da região periodicamente, em uma intensidade e extensão admiráveis.

5.1.5.7.4.4 Sobrevôo na região de Caravelas

Durante 20 a 24 de fevereiro de 2002 realizaram-se sobrevôos na região de Caravelas com o objetivo de acompanhar uma campanha intensiva de monitoramento da operação de despejo de sedimentos na área de descarte (veja item 3.6). Durante o período citado, os ventos estavam soprando de NE entre 8 a 10 m/s e as correntes mantiveram-se entre 0,28 e 0,47 m/s no canal de Sueste. Subitamente, nos dias 22 a 24 de fevereiro as ondas e correntes causaram ressuspensão de sedimentos por toda a área costeira. Isto foi claramente documentado nas fotos aéreas, mostrando águas claras e verdes no dia 20 de fevereiro e água de cor marrom com turbidez muito mais alta nos dias seguintes.

As imagens da Figura 5.1.5-187 até a Figura 5.1.5-195 mostram como as condições de turbidez da região se alteram rapidamente, e que na região do arco externo, condições excelentes de turbidez coexistem com condições péssimas na zona próxima da linha de costa de Caravelas.



Figura 5.1.5-187 - Condição de Turbidez na área de descarte em 20 de fevereiro de 2002



Figura 5.1.5-188 - Condição de Turbidez na área de descarte em 22 de fevereiro de 2002



**Figura 5.1.5-189 - Condição de Turbidez – na área do Canal do Tomba em
25 de fevereiro de 2002**

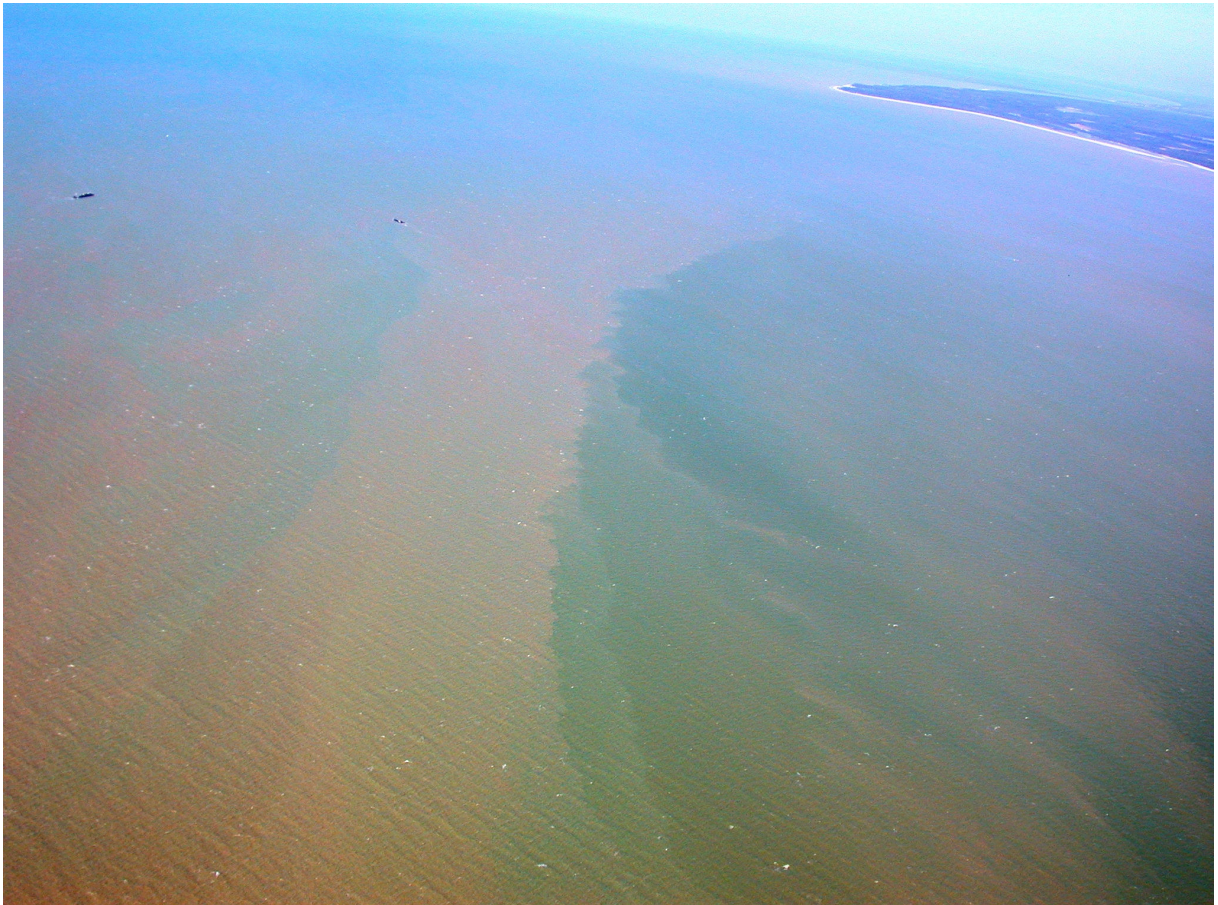


Figura 5.1.5-190 - Condição de Turbidez – Ponta do Catoeiro em 25 de fevereiro de 2002

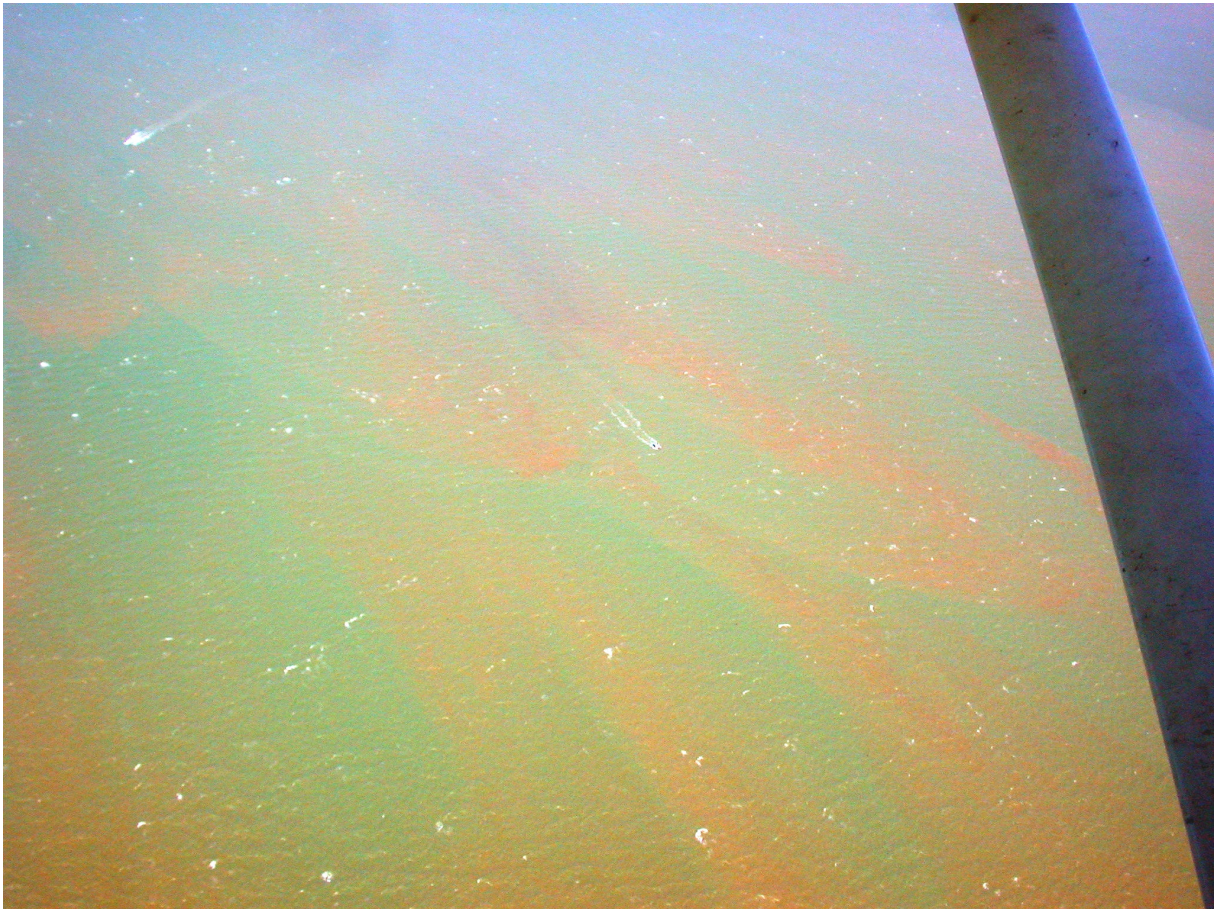


Figura 5.1.5-191 - Condição de Turbidez – na área próxima ao Canal do Tomba em 26 de fevereiro de 2002



Figura 5.1.5-192 - Condição de Turbidez – área do arco recifal externo em 26 de fevereiro de 2002



Figura 5.1.5-193 - Condição de Turbidez – área do arco recifal externo em 26 de fevereiro de 2002



Figura 5.1.5-194 - Condição de Turbidez – área do arco recifal externo em 26 de fevereiro de 2002

5.1.5.7.4.5 Massa de sedimento em suspensão disponibilizado e existente na região do empreendimento versus massa de material dragado

A fim de quantificar o quanto a natureza excede em magnitude a operação de dragagem, apresenta-se uma análise da proporção em massa de sedimento em suspensão que é disponibilizado e que transita na região relativamente à quantidade em massa de material dragado.

- o volume de sedimentos lamosos adicionados ao sistema pela erosão da linha de costa

Conforme ainda será detalhado no decorrer deste item, a região da Ilha do Cassurubá vem sendo submetida a uma taxa de erosão média de 5 metros por ano nos últimos 30 anos, com a erradicação de uma enorme área de manguezal. Se considerarmos que a erosão se processa com o recuo regular de toda a face da costa, que na região deve apresentar uma profundidade de 7 metros; e que a linha de costa sofrendo erosão, com 15 km de extensão (entre a Ponta do Catoeiro e a Barra

do Canal de Caravelas), é constituída por sedimentos lamosos, pode-se calcular que o prisma de sedimentos removidos é da ordem de 525.000 m^3 ou $9,9 \times 10^8 \text{ kg}$ por ano, ou seja, mais que duas vezes o volume total de material dragado do Tomba.

- a quantidade de sedimentos que se encontra naturalmente em suspensão no sistema na época de verão.

A quantidade de sedimentos naturalmente em suspensão na zona costeira entre o Parcel das Paredes e o continente (Figura 5.1.5-195), pode ser estimada conservativamente em uma concentração média homogênea de 20 mg/L na área de 200 km^2 ao redor do local de estudo. Tendo esta concentração como característica para o período de verão, quando as dragagens serão realizadas, a massa total de sedimentos contida na área delimitada (com 7 metros de profundidade média) em um determinado instante é de aproximadamente $28 \times 10^6 \text{ kg}$. Cada descarte individual (considerando-se um carregamento típico de 700 m^3) representará um total de $0,2 \times 10^6 \text{ kg}$ de sedimentos colocados em suspensão. Esse valor corresponde a $0,7 \%$ daquela que se encontra naturalmente no sistema.



Figura 5.1.5-195 - Delimitação da área costeira para cálculo da quantidade de sedimentos existente em suspensão

5.1.5.7.4.6 Conclusão

Conclui-se através do monitoramento espacial que existe uma constante zona de turbidez junto à costa, que se torna melhor definida em condição de tempo estável com ventos de NE de baixa intensidade. Na região costeira próxima ao empreendimento observa-se uma maior ressuspensão dos sedimentos de fundo na região do delta de maré vazante e na área de descarte. A maior suspensão no canal é uma feição característica e permanente do local. Já

a ressuspensão dos sedimentos na área de descarte indica que os mesmos continuam sendo mobilizado pelas ondas mesmo alguns meses após a finalização das operações de dragagem. Este processo deverá continuar até que a altitude do ressalto originado pelo material descartado seja nivelada em relação às áreas vizinhas. A falta de continuidade da pluma de sedimentos nos pontos de monitoramento vizinhos indica que a ressuspensão é espacialmente pequena com a deposição dos sedimentos levados em suspensão ocorrendo nas imediações da área de descarte, o que foi confirmado pelos estudos realizados para a área de descarte apresentados no item 3.6.

O monitoramento das estações fixas indicou estreita correlação entre a energia ondulatória e os valores de CSS, sendo observados meses em que ocorreu dragagem e que tiveram menor CSS que outros meses em que a obra não estava em operação.

Através da análise da CSS obtidas dos monitoramentos de turbidez, considerando-se a ocorrência ou não da dragagem e a energia do ambiente, pode-se confirmar que a obra de dragagem apresenta uma influência muito restrita em intensidade e extensão.

Observa-se que em condições de maior energia, a pluma de sedimentos de origem continental pode atingir os bancos de corais do arco interno, eventos estes normalmente usuais no inverno e ligados à penetração de frentes frias. Em nenhuma das imagens de satélites analisadas, pode-se verificar que sedimentos em suspensão de origem continental suplantaram o Canal de Abrolhos, atingindo o arco externo. Nas condições de maior energia, plumas foram detectadas no arco externo, entretanto totalmente desconexas das plumas de origem continental que atingem no máximo o arco interno. O canal de Abrolhos sempre se manteve como uma zona de menor turbidez bloqueando em conjunto com o arco interno a pluma continental. Isto pode ser facilmente observado na imagem de satélite de 13 de julho de 2005, em que o Canal de Abrolhos apresenta-se como um limitador entre as plumas da zona costeira e as plumas do Banco de Abrolhos. Note que na semana da imagem houve a ocorrência de onda significativa de 2,13 metros para a estação # 506 e 1,94 metros para a estação #106.

Os resultados e dados apresentados confirmam que a região de Caravelas é caracterizada por uma alta concentração de material em suspensão, naturalmente mais elevada na zona costeira do que dentro do estuário.

O volume de sedimentos em suspensão que é disponibilizado e transita normalmente na região do empreendimento é proporcionalmente muito maior que a ordem dos volumes de dragagem. Cada descarte individual representa aproximadamente 0,7 % da massa de sedimentos em suspensão que se encontra naturalmente no sistema, no momento de sua execução.

Assim, verifica-se que a turbidez natural da região é muito superior em proporção com a gerada pela operação de dragagem. A partir dos monitoramentos espacial e contínuo da turbidez e da análise das imagens de satélite conclui-se que os efeitos da dragagem relativamente à CSS e turbidez são extremamente localizados e restritos espacialmente, não impactando a CSS e a turbidez nos limites ao largo do canal de Sueste. O monitoramento das taxas de deposição nos corais da região, que não apresentou nenhuma alteração perceptível de condição de sedimentação ou vitalidade dos corais desde 2001, quando passaram a ser monitorados, confirma o diagnosticado no presente item.

5.1.5.8 Transporte de Sedimentos

5.1.5.8.1 Mobilização dos Sedimentos de Fundo na Plataforma ao Largo de Caravelas

A propagação das ondas em águas profundas não gera fisicamente qualquer interação da onda com o fundo podendo-se considerar que a mesma propaga-se sem qualquer alteração de seus parâmetros característicos. Somente quando a onda passa a propagar-se para águas mais rasas, começa a sofrer deformações devido à sua interação com o fundo. Nas aplicações em Engenharia, na maioria das vezes, pode-se considerar que o limite, para o qual os efeitos de interação da onda com fundo passam a ser significativos, a relação $\frac{\text{profundidade}}{\text{comprimento de onda}} = \frac{1}{4}$, visto que as deformações sofridas pela onda até esta profundidade relativa são bem pequenas, embora em teoria, a onda comece a interagir com o fundo quando esta relação é igual a 0,5.

A análise dos sedimentos de superfície de fundo na plataforma ao largo de Caravelas indica a predominância de um sedimento composto por siltes (fração principal) e areias muito finas.

Se considerarmos um diâmetro mediano da ordem de 0,032 mm pode-se estimar uma velocidade orbital crítica das ondas necessária para mobilizar os sedimentos junto ao fundo de 0,08 m/s.

O potencial de mobilização destes sedimentos pelas ondas pode ser estimado pelo método de Komar e Miller (1975), onde a velocidade orbital da onda junto fundo (U_o) é definida pela fórmula:

$$U_o = \frac{\pi H}{T \sinh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \quad [1]$$

onde H é a altura da onda, d é a profundidade, L é o comprimento da onda e T o período da onda. O comprimento de onda pode ser estimado a partir do período médio da onda da equação de comprimento de onda resultante da teoria linear de Airy em águas profundas:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (2)$$

Considerando a estatística de onda para as estações #106 e #506, pode-se calcular a profundidade a partir da qual os sedimentos presentes no fundo da plataforma começam a

sair do repouso, para as condições médias de ondas nessas estações (Tabela 5.1.5.8-1 e Tabela 5.1.5.8-2).

Tabela 5.1.5.8-1 – Profundidade limite de repouso - dados médios da Estação #106

Estação #106 – Estação do Ano	Altura Significativa (m)	Período Significativo (s)	Profundidade
Primavera	0,55	4,4	11.0
Verão	0,35	4,6	9.5
Outono	0,47	5,0	12.5
Inverno	0,51	4,9	12.6
Anual	0,47	4,7	11.3

Tabela 5.1.5.8-2 – Profundidade limite de repouso - dados médios da Estação #506

Estação #506 – Estação do Ano	Altura Significativa (m)	Período Médio (s)	Profundidade
Primavera	0,76	4,6	13.5
Verão	0,49	4,8	12.0
Outono	0,60	5,6	16.6
Inverno	0,67	5,4	16.5
Anual	0,63	5,1	14.7

Deve-se ressaltar que as formulações expostas não consideram a condição de consolidação do sedimento no fundo, sendo normalmente mais utilizadas para sedimentos não coesivos e inconsolidados. Entretanto a plataforma interna apresenta superficialmente uma camada de sedimento, característico de uma lama fluída e sem consolidação, de forma que esta abordagem matemática pode estimar aproximadamente o comportamento do sedimento do fundo frente à agitação ondulatória. Assim, dada à existência de uma homogeneidade textural na plataforma interna e de sua baixa declividade, os resultados indicam que fundo está propenso a ser agitado pelas ondas em uma grande extensão de área. No caso de ondas de tempestades, o sedimento pode iniciar seu movimento em profundidades muito maiores, em locais próximos ao início do talude continental.

Ainda deve-se considerar que o fato do material sedimentar no fundo poder ser agitado não significa que haja o efetivo transporte, ou erosão, do sedimento. O efeito das ondas nestas profundidades é de apenas romper a inércia de repouso do grão. Caso haja uma corrente unidirecional superimposta, aí então o sedimento terá condição de ser efetivamente deslocado.

A análise de depósitos sedimentares da face da costa permite investigar a profundidade a partir da qual os sedimentos podem ser efetivamente removidos pelas ondas, e não meramente movimentados com o rompimento da inércia de repouso. Seções estratigráficas obtidas em regiões costeiras caracterizadas por altura e período significativos superiores a 1,0 m e 8,0 s respectivamente, do Estado do Paraná, Golfo do México e nordeste da Austrália, sugerem que o retrabalhamento do perfil da face da costa ocorre em profundidades variando de 8 m a 13 m (Lessa, *et al.* 2000). Como a plataforma ao largo de Caravelas apresenta ondas bem menores, sugere-se que a profundidade a partir da qual o sedimento possa ser efetivamente transportado pelas ondas seja inferior a 7 m. De fato, a análise de testemunhos coletados na Ilha do Cassurubá (Andrade, 2000), indica uma superfície de erosão localizada a aproximadamente 7,0 m de profundidade.

Assim, em eventos de maior energia de ondas ocorre a ressuspensão do sedimento de fundo da região da plataforma ao largo de Caravelas. Quando isto ocorre as águas da região tornam-se turvas, e havendo a ocorrência de correntes ocorre transporte do sedimento em suspensão.

Embora as correntes geradas pelo vento e moduladas pela maré da região também tenham capacidade de transporte, as maiores verificações de concentração de sedimentos em suspensão estão relacionadas com o efeito de ressuspensão originado pela velocidade orbital da água junto ao fundo. Como será apresentado no item 5.1.5.4, as correntes assumem um papel secundário frente às ondas.

O efeito da ressuspensão dos sedimentos pode atingir amplamente as áreas mais rasas do banco de Abrolhos. A Figura 5.1.5-196 apresenta uma fotografia aérea da de um banco recifal do arco costeiro de Abrolhos, circundado por águas turvas após temporal, em época anterior à implantação do terminal.



Figura 5.1.5-196 - Vista aérea de um banco recifal do arco costeiro de Abrolhos, circundado por águas turvas após temporal (fonte Leão, Z.M.A.N. 1999)

5.1.5.8.2 Vazão fluvial, Aporte de Sedimentos Continentais, Concentração de Sedimentos em Suspensão e Taxa de Sedimentação

A descarga média de água doce dos cinco maiores rios que deságuam ao longo de 230 km de costa próximo à região (Buranhém, Jucuruçu, Itanhaém, Peruípe e Mucuri) é de aproximadamente 273 m³/s (Leipe, *et al.* 1999). Cerca de 42% desta descarga (113 m³/s) provém do rio Mucuri, localizado a 60 km ao sul de Caravelas. Uma vez que as correntes preferenciais têm rumo SW, a influência da descarga do rio Mucuri na oceanografia da área em estudo é minimizada. Como sugerem Ovalle, *et al.* (1999) com base na composição química de amostras de água coletadas na região, o impacto da descarga fluvial nas características da massa d'água na zona costeira restringe-se, no verão, às zonas mais rasas que a isóbata de 10 m.

A contribuição relativamente pequena de sedimentos de origem continental para os recifes do arco externo é atestada pela natureza dos sedimentos em suspensão coletados na área. Do canal de Caravelas ao Parcel de Paredes, os minerais característicos da carga de sedimentos particulados em suspensão passa de caolinita com traços de óxido de ferro

(características continentais) para calcita biogênica e carapaças de aragonita (características marinhas) (Leipe, *et al.*, 1999).

Leipe, *et al.* (1999) mediram a quantidade de sedimentos em suspensão (em profundidades de 2 e 4 m a partir da superfície) em um perfil longitudinal à costa, atestando um elevado gradiente normal que corrobora com as imagens de satélite analisadas no item 5.1.5.7. Para uma situação de tempo estável, sem pluviosidade mensurável durante a campanha e na semana antecedente, a maior concentração de sedimentos em suspensão, em um perfil normal à costa (veja localização das estações na Figura 5.1.5-197), foi encontrada na zona costeira rasa (profundidade inferior a 5 m), com um valor de 50 mg/L (Figura 5.1.5-198). Os valores de concentração de sedimentos em suspensão encontrados no Canal de Caravelas, 3 vezes inferiores ao da zona costeira (Figura 5.1.5-198), indicam que, durante o período considerado, o estuário poderia estar funcionando como receptor, e não como exportador, de sedimentos.

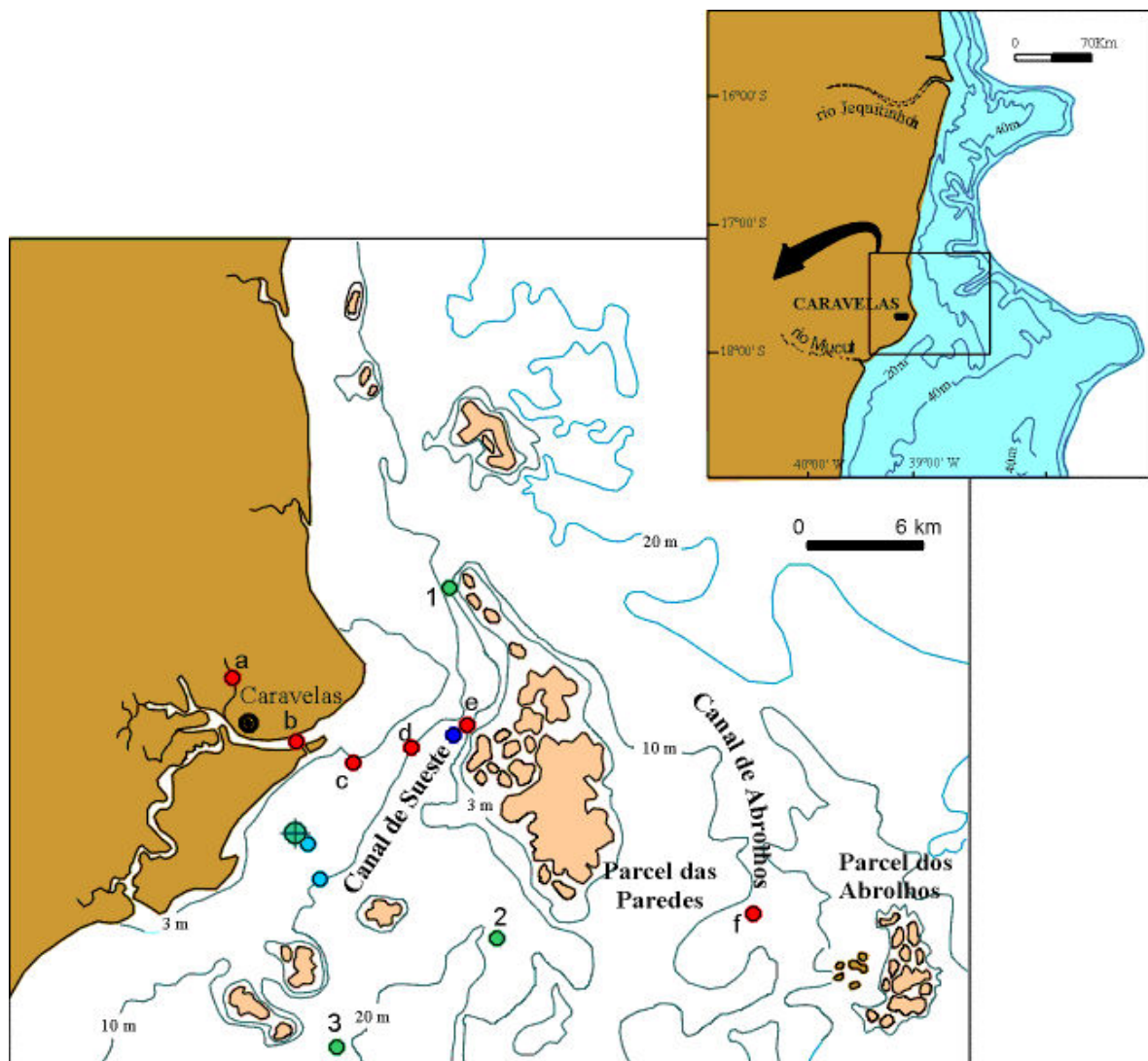


Figura 5.1.5-197 – Perfil normal à costa (pontos de “a” até “f”)

As fotografias mostradas da Figura 5.1.5-199 à Figura 5.1.5-203 ilustram bem a menor turbidez das águas estuarinas, em situações de maré de enchente e vazante. Os altos valores de sedimentos em suspensão são creditados principalmente pela ressuspensão dos sedimentos de fundo pelas ondas e correntes (Leipe, *et al.*, 1999).

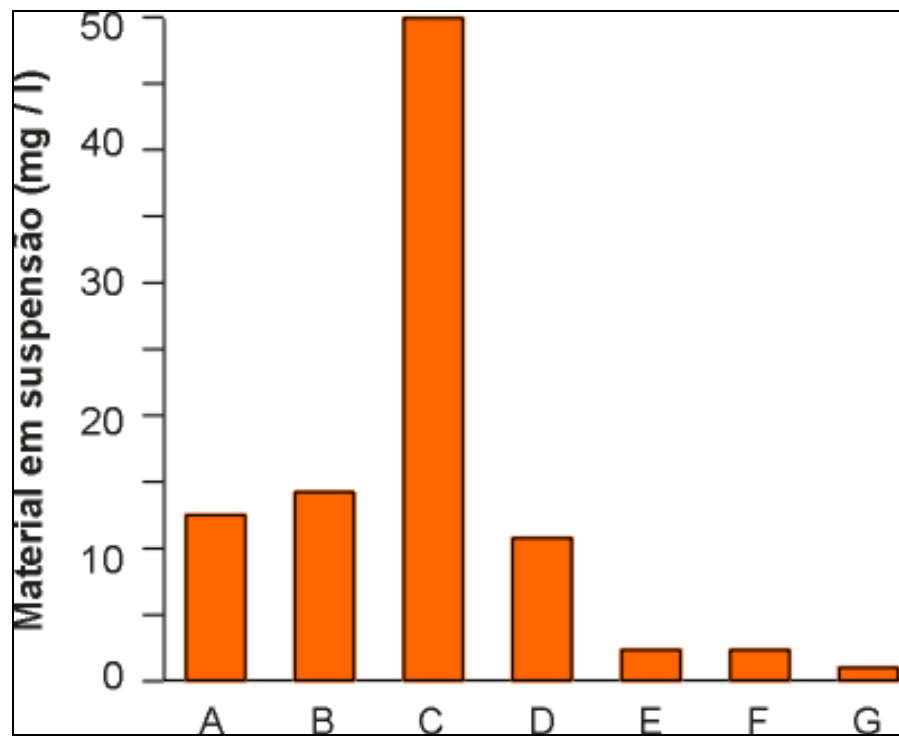


Figura 5.1.5-198 – Distribuição dos valores de concentração de sedimento em suspensão em um perfil transversal à costa em janeiro de 1995 (modificado de Leipe, *et al.* 1999)



Figura 5.1.5-199 – Fotografia aérea mostrando a Boca do Tomba em um momento de maré de enchente, e a nítida diferença de turbidez entre as água costeira adentrando o canal (amarronzada) e a água estuarina (esverdeada) – Foto de 22 de maio de 2001 – antes da implantação do Terminal



Figura 5.1.5-200 – Fotografia aérea mostrando a Boca do Tomba em um momento de maré de enchente, e a nítida diferença de turbidez entre as água costeira e estuarinas – Foto de 22 de maio de 2001



Figura 5.1.5-201 – Fotografia aérea mostrando a Boca do Tomba em um momento de maré de enchente, e a nítida diferença de turbidez entre as água costeira e estuarinas – Foto de 22 de maio de 2001



Figura 5.1.5-202 – Fotografia aérea mostrando a desembocadura do canal do Tomba em um momento de maré vazante, e a nítida diferença de turbidez entre as água estuarina deixando o canal (esverdeada) e a água costeira amarronzada – Foto de 22 de fevereiro de 2002



Figura 5.1.5-203 – Fotografia aérea mostrando a saída do canal do Tomba em um momento de maré vazante, e a nítida diferença de turbidez entre as água estuarina e a água costeira - Foto de 22 de fevereiro de 2002

Durante o período de monitoramento das correntes em abril de 2001 (localização e outras informações no item 5.1.5.5), a turbidez da água foi determinada em intervalos de meia hora, a cada meio metro de profundidade, com a utilização de um turbidímetro SeaPoint. Em intervalos de 1 hora, coincidentes com as medidas de turbidez, amostras de água foram coletadas próximo à superfície e ao fundo para a determinação da concentração de sedimentos em suspensão. As medidas de turbidez foram então convertidas para concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) através de uma equação de regressão. Os resultados encontram-se expostos na Figura 5.1.5-204, para a estação mais rasa (6,0 m), e na Figura 5.1.5-205 para a estação mais profunda (12,0 m).

Observa-se que os valores de concentração são menores que aqueles relatados por Leipe *et al.* (1999) em janeiro de 1995, com valor máximo observado de 17,0 mg/L. Na estação mais rasa os valores variaram de um mínimo de 4,0 mg/L na preamar a um máximo de 17,0 mg/L na baixa-mar. Esta variação pode ser explicada pela maior ação das ondas junto ao fundo na baixa-mar e pelos maiores valores de corrente observados neste estágio da maré,

que acabam por promover uma maior ressuspensão dos sedimentos. Comportamento semelhante, mas menos óbvio, é também notado na estação mais profunda, onde a concentração variou de um mínimo de 4 mg/L a um máximo de 5,7 mg/L, que correspondeu a uma profundidade secchi, ou visibilidade, de aproximadamente 6 m. Em ambas as estações a concentração de sedimentos em suspensão aumenta em direção ao fundo.

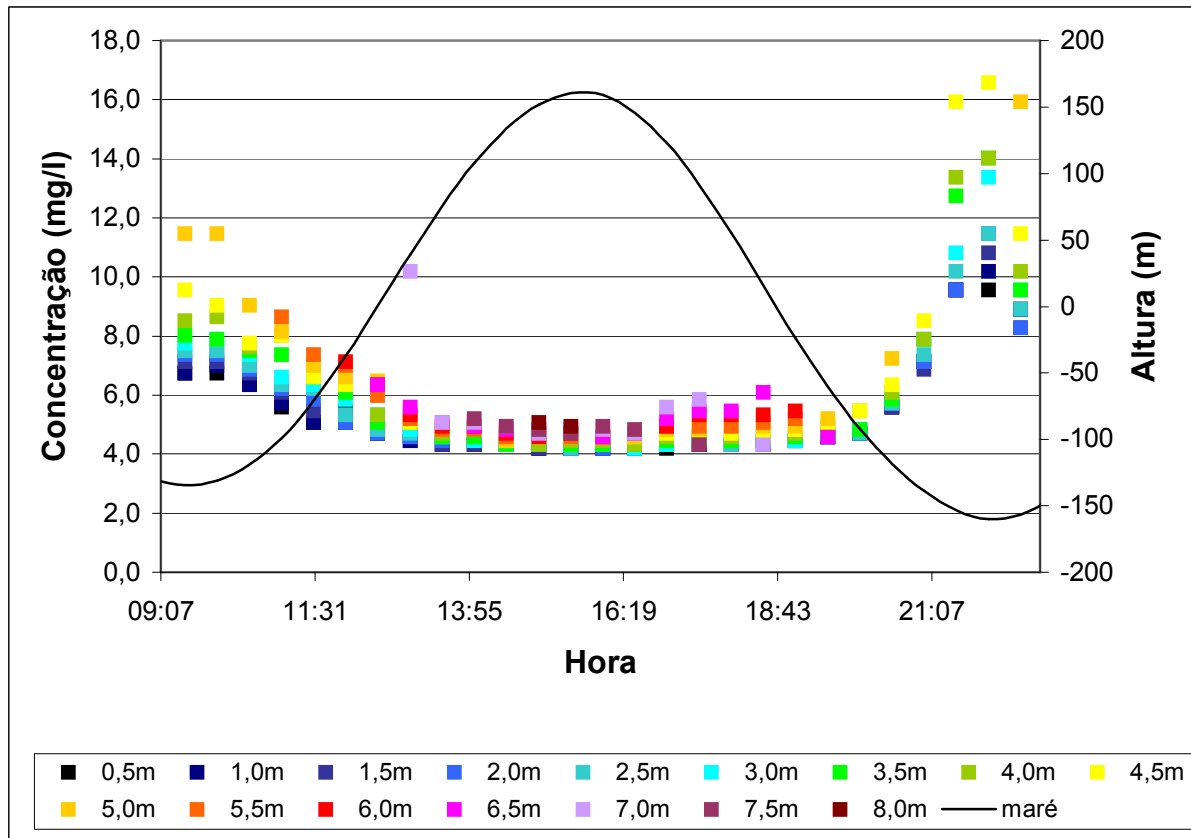


Figura 5.1.5-204 – Distribuição dos valores de concentração de sedimentos em suspensão durante o período de monitoramento na estação mais rasa

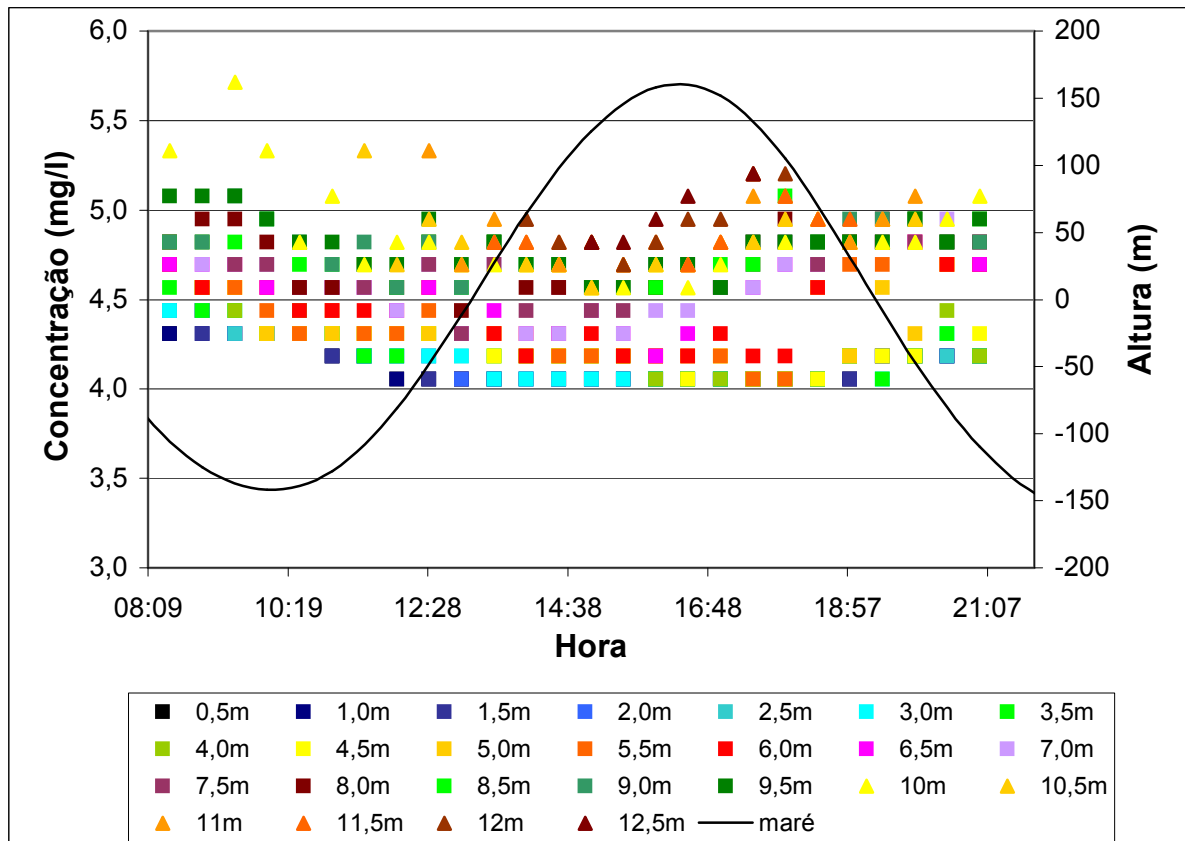


Figura 5.1.5-205 – Distribuição dos valores de concentração de sedimentos em suspensão durante o período de monitoramento na estação mais profunda

A massa de sedimentos transportada nas duas estações durante o período de monitoramento foi calculada para intervalos de 0,5 m de profundidade da coluna d'água, considerando-se uma seção com 1 m de largura. Para contornar o problema da ausência de medições nos últimos 2 m de profundidade na estação 2, a velocidade média foi estimada com base na média das velocidades médias das últimas quatro células de medição (entre 9 e 10 m de profundidade).

A variação temporal da massa total de sedimentos transportados é indicada na Figura 5.1.5-206, com taxas máximas de transporte de aproximadamente 4 g/s (transporte em direção ao norte) e - 8 g/s (em direção ao sul). Integrando-se estes valores no tempo obtém-se um transporte residual de -128 kg na estação 2 e -15 kg na estação 1.

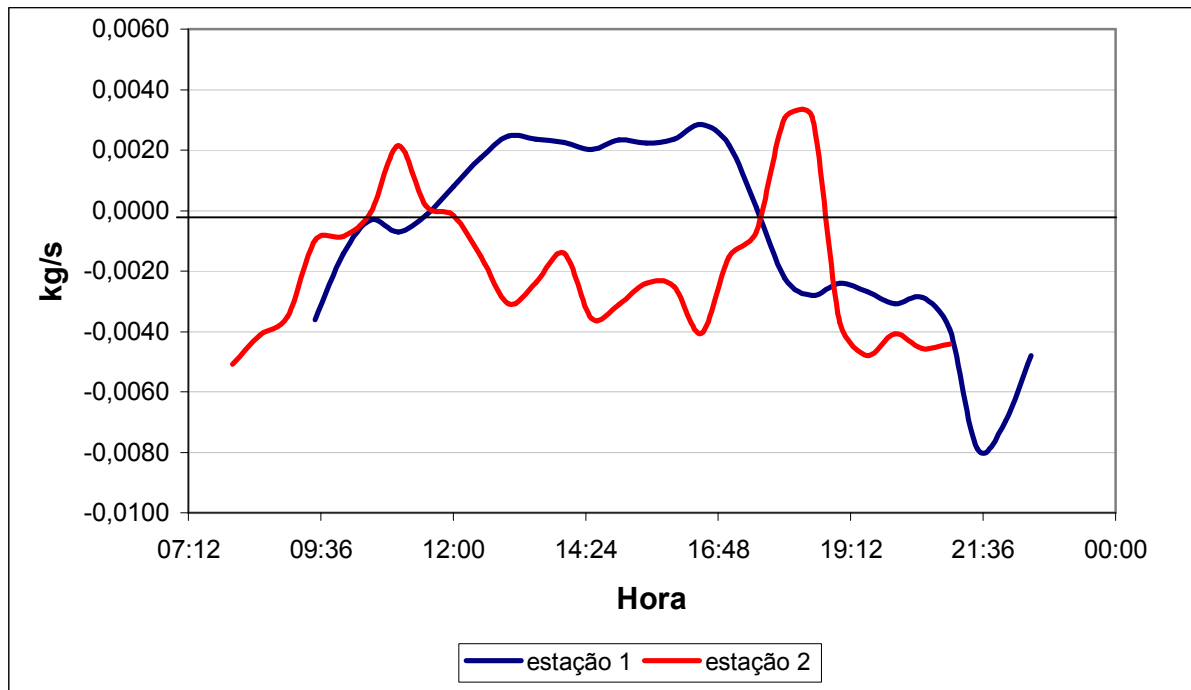


Figura 5.1.5-206 – Variação temporal da massa de sedimentos em suspensão transportada na coluna d'água nas duas estações de monitoramento. Valores positivos indicam transporte para o quadrante norte e negativos para o quadrante sul. As horas referem-se ao dia 07/04/2001 para a estação mais rasa e ao dia 08/04/2001 para a estação mais profunda

Os resultados obtidos diferem-se bastante da condição aparentemente dominante no período de verão. De acordo com os dados de Leipe, *et al.* (1999), de janeiro de 1995, e de outras 8 medições da concentração de sedimentos em suspensão efetuadas em outubro de 2000, já apresentadas, as concentrações de material em suspensão na plataforma interna podem ser até dez vezes superiores às observadas acima, variando entre 38 mg/L e 50 mg/L. De modo a estimar a ordem de grandeza do transporte de sedimentos em suspensão no período de verão, foi feito um cálculo da vazão sólida em suspensão com os dados de correntometria no canal Sueste, assumindo-se uma concentração média de sedimentos de 40 mg/L em uma coluna d'água de 10 m de profundidade com largura de 1 metro. O resultado mostra um total de 223×10^3 kg de sedimentos sendo transportado em direção ao sul, ou seja, 3 a 4 ordens de grandeza superior aos valores calculados acima.

As taxas de sedimentação na plataforma interna da região de Caravelas (0,81 cm/ano) são altas quando comparadas a áreas similares próximas à desembocadura de rios como o Doce (0,23 cm/ano), Jequitinhonha (0,42 cm/ano) e Pardo (0,31 cm/ano) (Patchineelam e Smoak 1999). Esta característica, associada às elevadas concentrações de material em suspensão na plataforma interna à frente de Caravelas, sugerem que a área seja caracteristicamente deposicional. Este comportamento parece vigorar há alguns milhares de

anos, como sugere a história evolutiva da área identificada em testemunhos obtidos na Ilha do Cassurubá e regiões vizinhas (Dominguez *et al.*, 1992 e Andrade, 2000).

Ainda do ponto de vista de evolução, é importante mencionar que os recifes existentes na região (bancos e Abrolhos, Paredes, Nova Viçosa, Coroa Vermelha, entre outros), também se desenvolveram, nos últimos milhares de anos, sob condições de turbidez da água singulares, mais elevada que a média mundial, como pode ser observado em testemunhos que mostram sedimentos siliciclásticos preenchendo as porosidades existentes na construção recifal (Leão e Ginsburg, 1997).

5.1.5.8.3 Transporte de Sedimentos de Fundo na Barra do Tomba

A morfologia da desembocadura da Barra do Tomba, com um sistema de delta de maré enchente, é caracterizada por um canal de vazante mais profundo ao centro cercado por barras sedimentares frontais e marginais. A existência destas barras deve-se à redução rápida da velocidade do fluxo na zona costeira após este se expandir além da constrição do canal delimitado pela linha de costa. A presença de um canal profundo central do delta de vazante é indício claro que esta área é caracterizada pela erosão e/ou transporte de sedimentos, e ausência de sedimentação.

As velocidades de cisalhamento junto ao fundo, no local de monitoramento das correntes na Barra do Tomba, foram estimadas através da equação (van Rijn 1994):

$$\bar{u}_z = \frac{u_*}{0,4} \ln\left(\frac{Z}{z_o}\right)$$

onde u^* é a velocidade de cisalhamento. A Figura 5.1.5-207 mostra a variação da velocidade de cisalhamento no intervalo de tempo considerado junto à velocidade de cisalhamento limite, ou seja, o valor necessário para que o sedimento de fundo no local de fundeio do correntógrafo ($D_{50} = 0,2$ mm) comece a se mover. Observa-se que as velocidades de cisalhamento são maiores durante a vazante e que estas se mantêm acima da velocidade de cisalhamento limite durante muito mais tempo que aquelas associadas à maré enchente. Sendo assim, o transporte de sedimentos na maré vazante é privilegiado. O mesmo comportamento é esperado no Canal de Caravelas - Barra Antiga, visto que as correntes de vazante são também preponderantes e existe um delta de maré vazante na zona costeira ao largo.

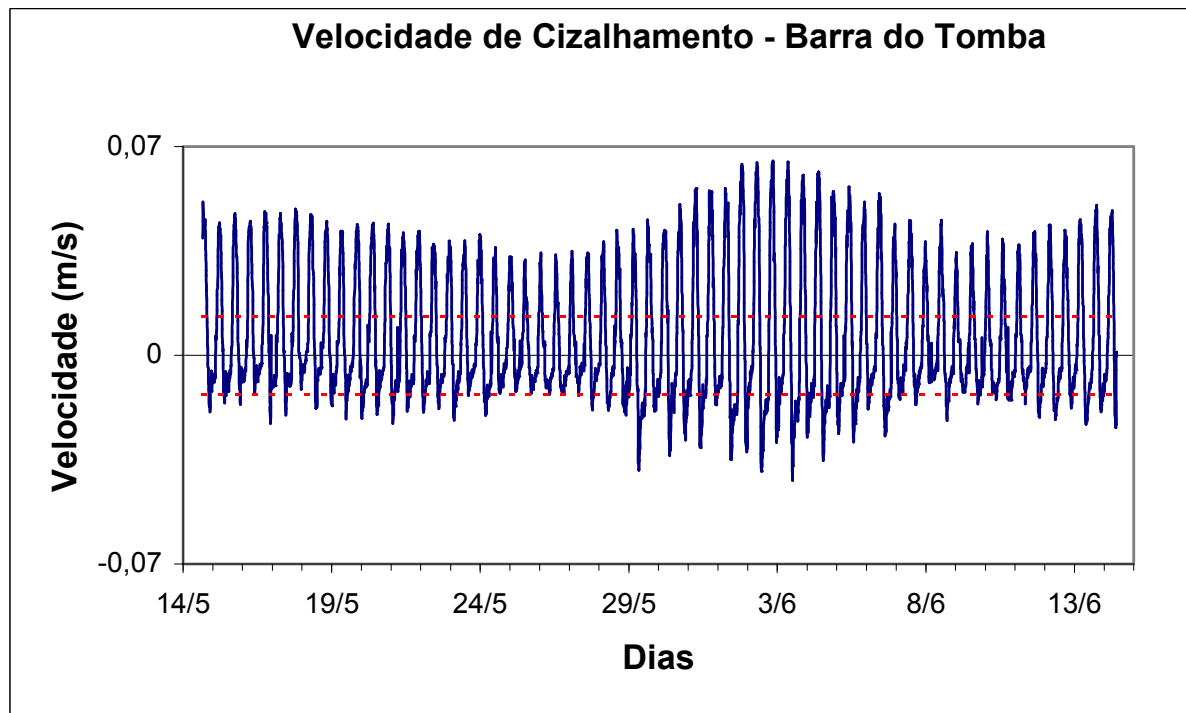


Figura 5.1.5-207 – Variação de velocidade de cisalhamento no canal principal da Barra do Tomba durante o período de maio a junho de 2000. Velocidades negativas correspondem à maré enchente e velocidades positivas à maré vazante. As linhas vermelhas indicam o limite para a movimentação do sedimento junto ao fundo

5.1.5.8.4 Transporte de Sedimentos em Suspensão

5.1.5.8.4.1 Material em Suspensão

Maio de 2000 – amostras d'água foram coletadas com auxílio de uma garrafa de Ninsky em uma profundidade (meio da coluna d'água) em seis locais da área estudada, dois no canal de Caravelas, três ao longo do canal principal da Barra do Tomba, na zona externa ao estuário, e uma na área proposta para descarte do material dragado (Figura 5.1.5-208). Devido às falhas laboratoriais no processamento das amostras coletadas em maio de 2000, uma nova coleta em 30/09/2000 foi executada. Novas amostras foram coletadas em quatro instantes durante um ciclo de maré de sizígia (Tabela 5.1.5.8-3), correspondentes à meia enchente, meia vazante, preamar e baixa-mar.

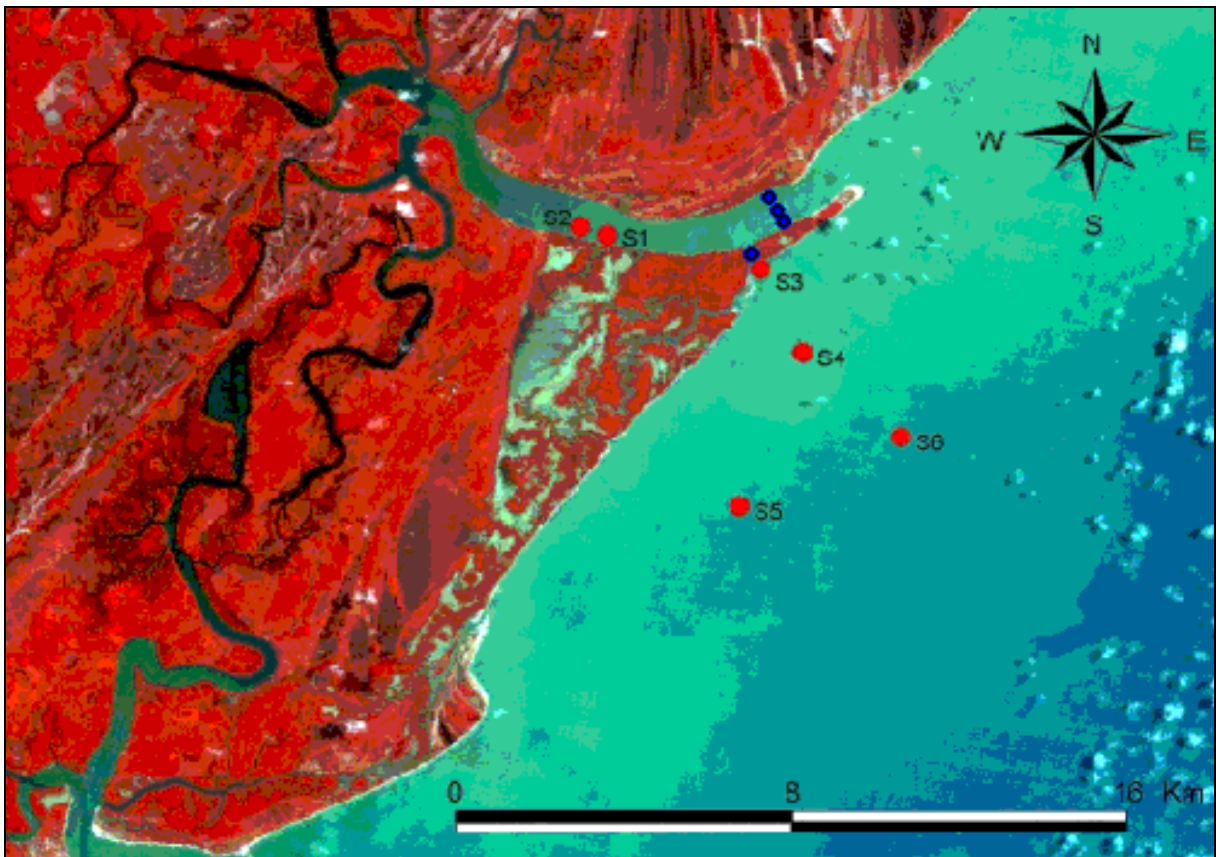


Figura 5.1.5-208 – Imagem de satélite da desembocadura do canal de Caravelas, com a localização das estações de coleta de material em suspensão em setembro de 2000 (círculos vermelhos) e em abril de 2001 (círculos azuis)

Tabela 5.1.5.8-3 – Resultado das análises da concentração de sólidos em suspensão no canal de Caravelas e zona estuarina (Setembro/00).

ESTAÇÃO	COORDENADAS	HORA	MARÉ	CSS (mg/L)
S1	474963 E 8037030 N	13:39	ME	42,40
		18:05	E	38,20
		19:20	MV	40,30
		00:08	V	36,70
S2	474295 E 8037215 N	13:58	ME	38,20
		17:55	E	44,30
		19:38	MV	46,10
		23:48	V	45,80
S3	478798 E 8036147 N	14:20	ME	48,00
		17:40	E	44,30
		19:53	MV	42,10
		23:32	V	37,40
S4	479861 E 8034041 N	14:48	ME	41,00
		17:26	E	42,50
		20:15	MV	45,30
		23:05	V	40,50
S5	478275 E 8030191 N	15:15	ME	38,10
		17:04	E	40,30
		20:49	MV	42,00
		22:33	V	44,70
S6	482336 E 8031909 N	15:50	ME	44,30
		16:30	E	42,50
		21:30	MV	41,00
		22:00	V	39,10

Obs.: ME - meia enchente, E - enchente(preamar), MV - meia vazante, V - vazante (baixa-mar)

Abril de 2001 – medidas de turbidez foram feitas no dia 9 de abril com turbidímetro SeaPoint no talvegue do canal do Tomba e em três posições no Canal de Caravelas - Barra Antiga (ver localização na Figura 5.1.5-208 e Figura 5.1.5-209). As medidas foram tomadas em intervalos verticais de 0,5 m no Canal de Caravelas - Barra Antiga e em intervalos de 1,0 m na Barra do Tomba, com intervalos de uma hora. Em intervalos de 1 hora, coincidentes com

as medidas de turbidez, amostras de água foram coletadas próximo à superfície e ao fundo para a determinação da concentração de sedimentos em suspensão.

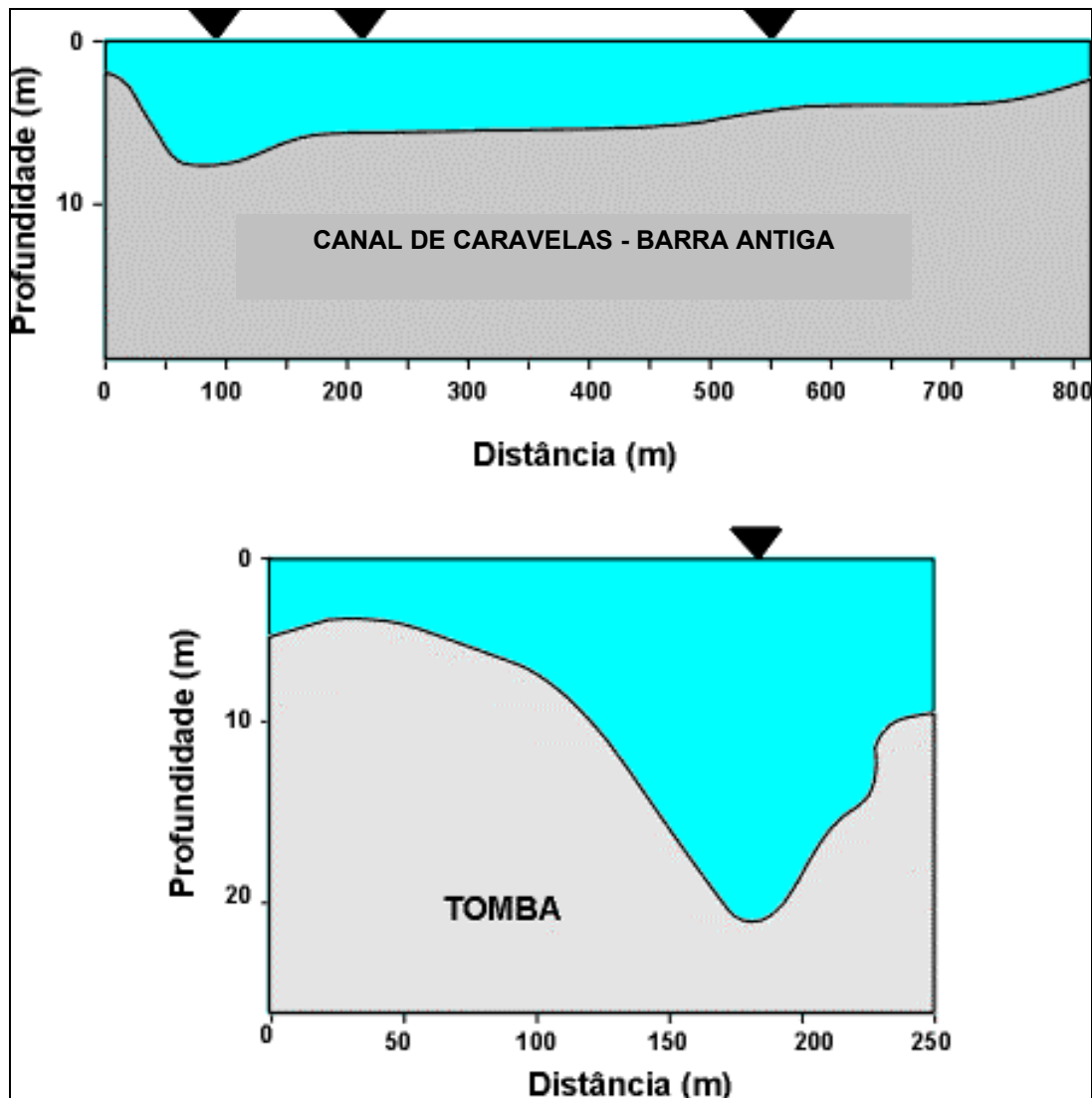


Figura 5.1.5-209 – Posição das estações de perfilagem de turbidez nos canais da Barra Antiga e Tomba. Perfil produzido pelo perfilador dopler, próximo à preamar. Os perfis se iniciaram na margem do Canal de Caravelas - Barra Antiga e na margem sudoeste do canal do Tomba

Resultado do Período de Maio a Junho de 2000

As concentrações médias de sedimentos em suspensão a meia coluna de água (Tabela 5.1.5.8-3) encontram-se expostas em forma gráfica nas Figura 5.1.5-210 e Figura 5.1.5-211. Os valores médios são de cerca de 42 mg/L, e não são observadas variações importantes ao longo do ciclo de maré, isto é, os valores médios entre as estações são muito próximos (Figura 5.1.5-210).

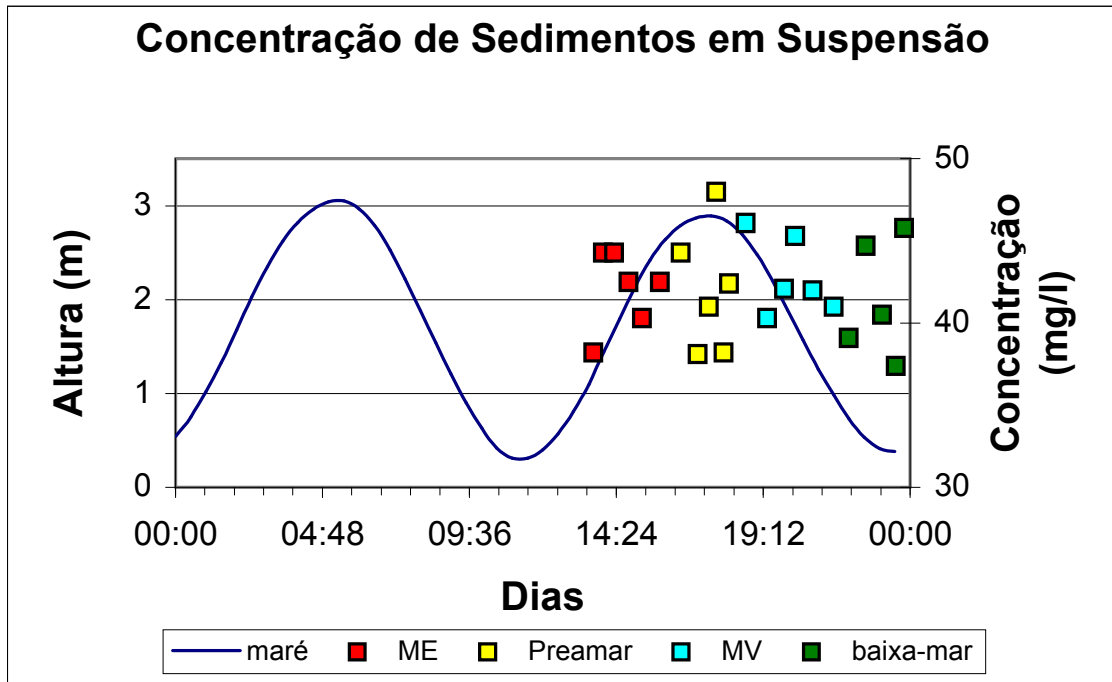


Figura 5.1.5-210 – Valores da concentração de sedimentos em suspensão nos diversos pontos do estuário durante as marés de sizígia

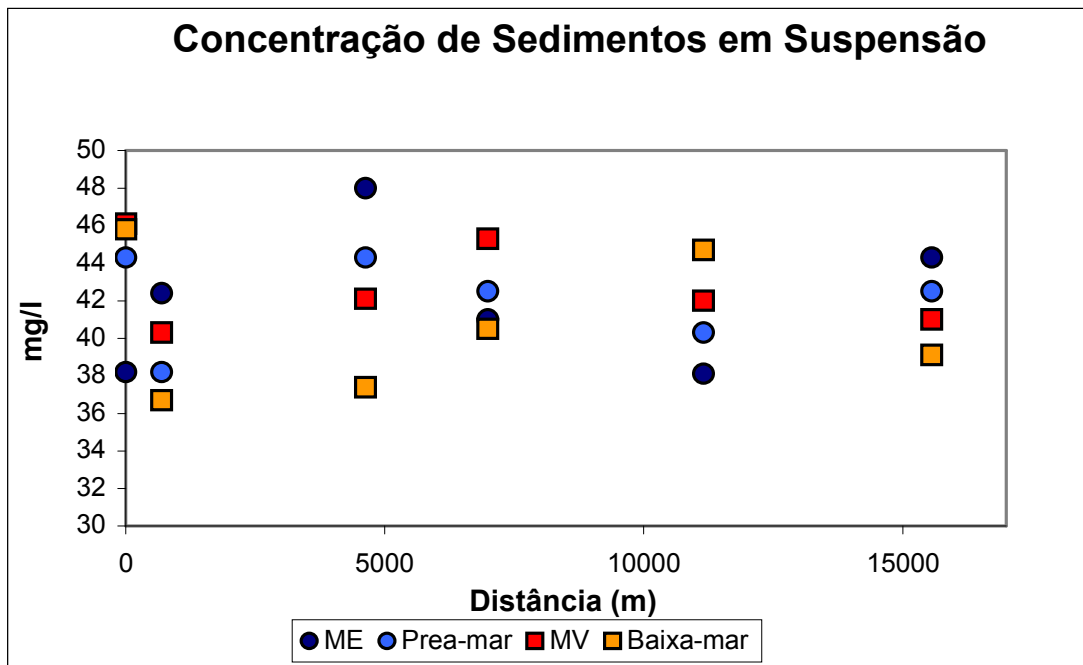


Figura 5.1.5-211 – Concentração de material em suspensão nas amostras de água coletadas a meia profundidade ao longo do canal de Caravelas e na região costeira próxima, em 30/09/2000. A origem do perfil é a estação 2.

Analisando-se os dados espacialmente, observa-se a existência de gradientes inversos de concentração de sedimentos em suspensão de dentro para fora do estuário: as concentrações aumentam de dentro do estuário até aproximadamente a zona central do delta de vazante e diminuem novamente daí em diante. Esta distribuição é causada pela conjugação das fortes velocidades de corrente de maré na região do delta e ação das ondas sobre os bancos sedimentares, que criam um alto nível de turbulência e adicionam sedimentos ressuspensos do fundo à carga sedimentar já em suspensão.

Resultados do Período de Abril de 2000

Os resultados das medidas de concentração de sedimentos em suspensão encontram-se na Figura 5.1.5-212 e Figura 5.1.5-213, para os canais do Tomba e Barra Antiga respectivamente. Os valores máximos observados foram de 37 mg/L no canal do Tomba e 92 mg/L no Canal de Caravelas - Barra Antiga. As maiores concentrações são comumente observadas com o aumento da profundidade, sugerindo ressuspensão de sedimentos de fundo. A variação temporal mostra o aumento da concentração de sedimentos ao final da maré vazante e, principalmente, na primeira metade do período de enchente, quando as concentrações chegam a ser 4 vezes superiores àquelas da preamar. Estes períodos de maior turbidez coincidem com a pequena espessura da lâmina de água e a provável associação da ressuspensão dos sedimentos de fundo pelas correntes de maré e pela ação das ondas sobre o delta de maré vazante.

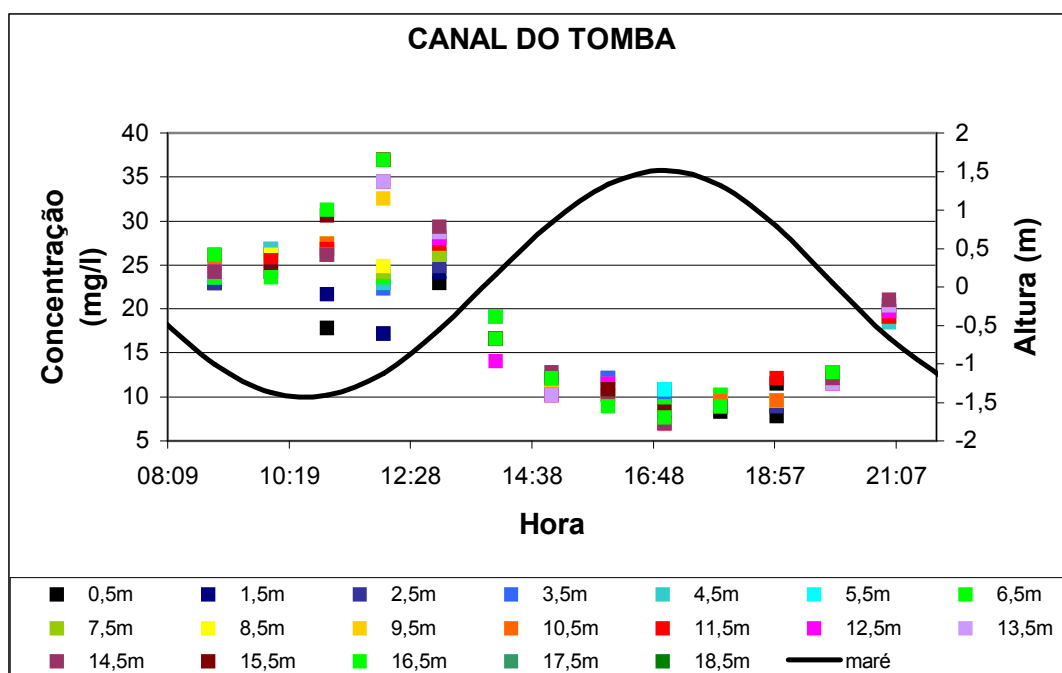


Figura 5.1.5-212 – Distribuição espaço-temporal da concentração de sedimentos em suspensão no canal do Tomba, e variação da maré

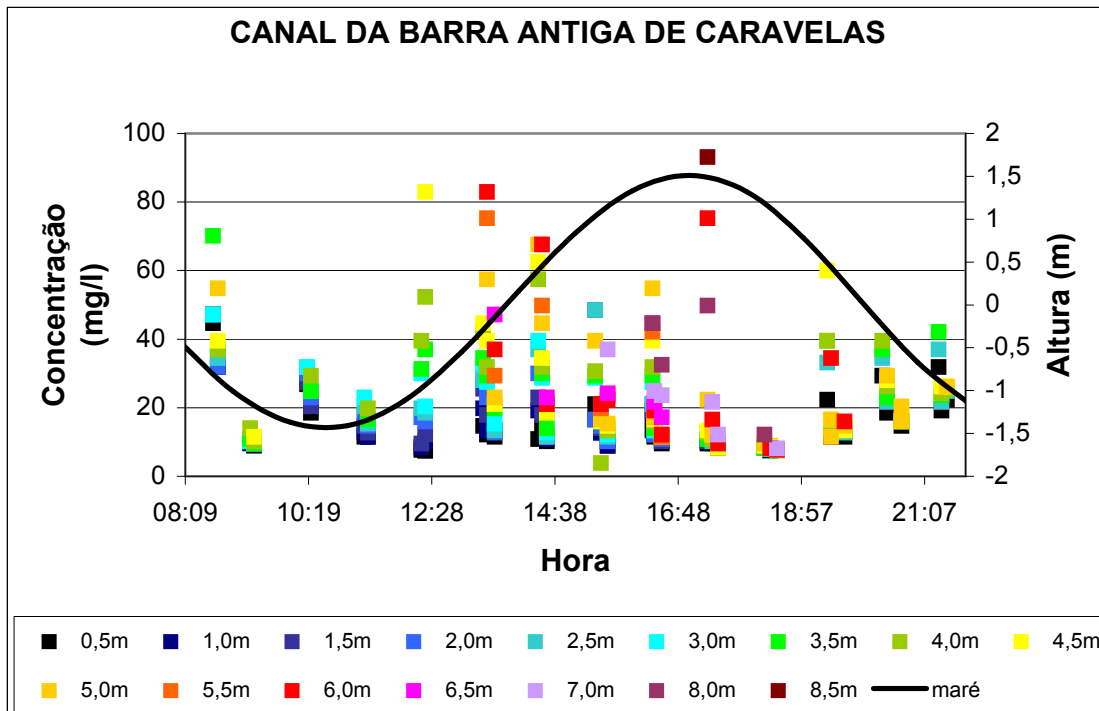


Figura 5.1.5-213 – Distribuição espaço-temporal da concentração de sedimentos em suspensão no canal de Caravelas - Barra Antiga, e variação da maré. Os valores são médias, por intervalo de profundidade, entre as três estações monitoradas (Figura 5.1.5-209).

A execução quase simultânea de perfis verticais de concentração de sedimentos em suspensão e velocidade do fluxo permitiram o cálculo do volume de sedimentos em suspensão em circulação nas desembocaduras do estuário. As taxas de transporte, em kg/s, foram calculadas, para o Canal de Caravelas - Barra Antiga, assumindo-se a homogeneidade dos valores de concentração de sedimentos em suspensão, por intervalo elevacional, dentro das três sub-áreas (Figura 5.1.5-209). No canal do Tomba, o valor de concentração observado em cada nível elevacional específico, foi extrapolado para toda a seção. Em ambos os casos, as velocidades médias para intervalos elevacionais de 0,5 m (Barra Antiga) e 1,0 m (Tomba) foram multiplicadas pela área e concentrações dos níveis elevacionais correspondentes.

O resultado, exposto na Figura 5.1.5-214 e Figura 5.1.5-215, mostra taxas de transporte máximas de 140 kg/s no Canal de Caravelas - Barra Antiga. Neste canal, a taxa de sedimentos transportados na margem esquerda (norte) é de uma ordem de grandeza superior àquela transportada no talvegue, que dado o fraco hidrodinamismo frente ao restante da seção, parece ser uma feição reliquiar.

Comparando-se as seções dos dois canais, observa-se que a maior taxa de transporte ocorre pela Barra Antiga, tanto na enchente como na vazante. O transporte mais ativo tende a ocorrer ao final do período de vazante e primeira metade do período de enchente.

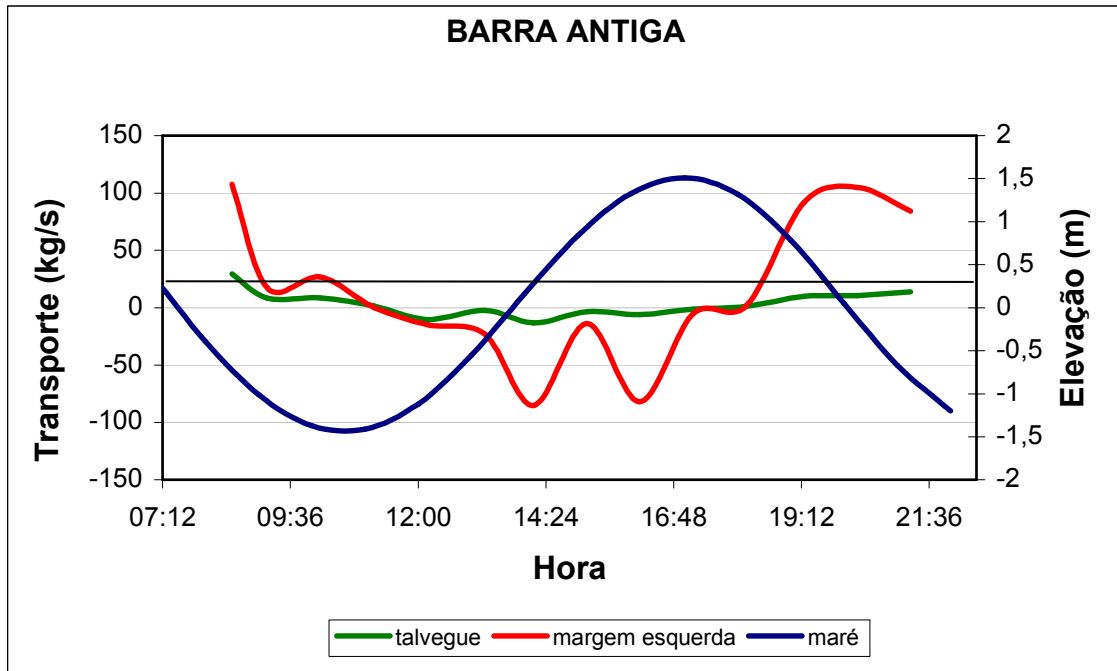


Figura 5.1.5-214 – Variação da maré e da taxa de transporte de sedimentos em suspensão nas duas sub-seções do Canal de Caravelas - Barra Antiga

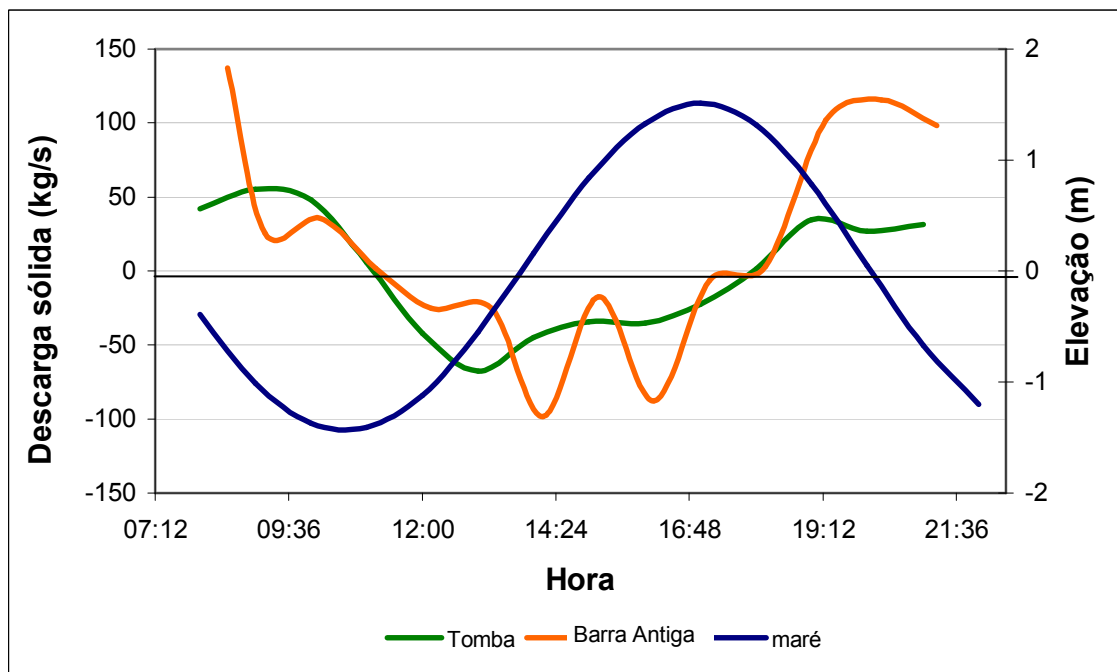


Figura 5.1.5-215 – Variação da maré e da taxa de transporte de sedimentos em suspensão nos canais do Tomba e Barra Antiga

O volume total de sedimento transportado durante o período de enchente e vazante foram de $7,4 \times 10^5$ kg e $-9,5 \times 10^5$ kg no canal do Tomba, e de 13×10^5 kg e $9,4 \times 10^5$ kg no Canal

de Caravelas - Barra Antiga. Considerando-se entrada e saída, o canal do Tomba importou $2,1 \times 10^5$ kg de sedimentos neste ciclo de maré, enquanto que o Canal de Caravelas - Barra Antiga exportou $3,5 \times 10^5$ kg.

5.1.5.9 Deriva Litorânea

Deriva Litorânea é a tradução para o português do termo "Longshore Drift" (Suguio, 1998), podendo também ser chamada de transporte de sedimentos litorâneo longitudinal. A deriva litorânea é definida como a movimentação de areias, cascalhos e outros materiais componentes das praias ao longo da costa. Este movimento ou transporte de sedimentos é causado pela Corrente Longitudinal ou Corrente de Deriva Litorânea (Longshore Drift Current) que consiste em uma corrente paralela à costa gerada pela arrebentação de ondas que incidem obliquamente à linha de costa. O transporte de sedimentos gerado ocorre essencialmente entre a zona de arrebentação das ondas e a linha de costa. Normalmente, as direções resultantes do transporte de sedimento associado à deriva litorânea são estáveis na escala de tempo de décadas.

Relativamente à deriva litorânea, a grande frequência de ondas de SSE e SE promove uma resultante de sul para norte na região de influência direta do empreendimento. As modelações numéricas realizadas puderam refinar os quantitativos de transporte de sedimentos, através da utilização de dados oceano-meteorológicos dos monitoramentos e confirmar o sentido resultante da deriva, que já fora corretamente apresentado em DHI (2000a), DHI (2004), CPE (2004) e CEPEMAR (2006b). Os quantitativos de transporte de sedimentos litorâneos e taxas de assoreamento esperadas especificamente para o canal dragado de navegação são apresentados em detalhes do item 5.1.6.

De uma forma geral, o crescimento de pontais arenosos na planície de Caravelas indica um transporte preferencial para SE no setor compreendido entre a cidade de Alcobaça e a ponta da Baleia e, para NE, no setor compreendido entre a ponta da Baleia e a cidade de Nova Viçosa (Figura 5.1.5-216). Segundo Martin, *et al.* (1987) e Silva (1999), na planície costeira de Caravelas, ocorre uma convergência nos sentidos da deriva litorânea efetiva de sedimentos devido à influência do complexo recifal de Abrolhos.

No trecho particular entre a ponta do Catoeiro e a barra do Tomba a análise dos indicadores geomórficos, assim como a reconstrução da história evolutiva da área, indicam que a deriva litorânea dominante é dirigida de SW para NE.



Figura 5.1.5-216 – Imagem de satélite da planície costeira de Caravelas mostrando os sentidos preferenciais da deriva litorânea de sedimentos deduzida a partir de indicadores geomórficos presentes na planície (modificado de Andrade, 2000)

5.1.5.10 Geomorfologia da linha de costa da região

Em zonas costeiras retilíneas e abertas, a movimentação de sedimentos é um processo usualmente mais simples que os encontrados em linhas de costas recortadas. Entretanto, mesmo em costas retilíneas, a presença de desembocaduras fluviais, mudanças na orientação geral da linha de costa, obstáculos situados costa afora e a ocorrência de cabos e promontórios podem formar complexos sistemas de transporte de sedimentos.

Os cabos e promontórios afetam a movimentação dos sedimentos, criando localmente armadilhas onde os mesmos tendem a se acumular. A presença destas armadilhas tem como repercussão imediata a geração de déficits de sedimento nas porções da linha de costa situadas imediatamente a sotamar, que desta forma se caracterizarão por tendências à erosão ou à não acumulação.

As grandes formas de acumulação costeira associadas a estas armadilhas raramente são estacionárias e exibem tendência à migração lateral em resposta a mudanças nas variáveis ambientais (ondas, correntes, ventos). Esta migração lateral via de regra também origina processos erosivos de natureza severa. Um exemplo deste tipo de formas de acumulação que funcionam como armadilhas são os cabos inconsolidados.

Entende-se por cabos inconsolidados formas de acumulação costeira que se projetam mar adentro, as quais ocasionam uma mudança na orientação da linha de costa (Figura 5.1.5-217). Estes cabos seriam semelhantes às acumulações assimétricas com alimentação unidirecional de Zenkovitch (1967). Os cabos inconsolidados estão presentes em diferentes escalas variando em área de poucos a alguns milhares de quilômetros quadrados. Cabos inconsolidados podem se formar tanto sob condições de deriva litorânea unidirecional quanto sob condições de convergência de deriva litorânea. Estes cabos formam-se normalmente como resultado da presença de obstáculos posicionados costa afora ou de mudanças na orientação da linha de costa condicionadas, via de regra, pelo arcabouço estrutural pretérito da zona costeira.

Uma vez formados, os cabos inconsolidados tendem a persistir por intervalos prolongados de tempo. Estes cabos inconsolidados dificilmente se mantêm fixos no espaço e tendem a migrar ou se estender longitudinalmente segundo o sentido dominante da deriva litorânea. Esta migração longitudinal se assemelha, do ponto de vista geométrico, à translação experimentada por formas de leito do tipo “dunas” sob condições de fluxo unidirecional (Figura 5.1.5-217). O trecho da linha de costa situado à barlamar do ápice do cabo é uma região de transporte (“bypass”) e/ou erosão, enquanto o trecho situado a sotamar do ápice do cabo é uma região de deposição. O cabo inconsolidado funciona também como uma armadilha capturando sedimentos e gerando deste modo um déficit sedimentar na linha de

costa situada imediatamente a sotamar desta forma de acumulação costeira (Figura 5.1.5-217).

Na porção sul da planície costeira de Caravelas a existência de obstáculos costa afora representados pelos recifes do Arco Interno dos Abrolhos deu origem a um cabo arenoso denominado de ponta do Catoeiro (Figura 5.1.5-218). Esta é uma feição que ilustra o fenômeno descrito anteriormente. Depois de formado, o cabo começou a crescer em tamanho e migrar no sentido de sotamar. Esta migração foi acompanhada de erosão da linha de costa a barlamar do ápice da ponta do Catoeiro e acumulação de sedimentos a sotamar deste ápice. Os sedimentos capturados na ponta do Catoeiro geraram um déficit sedimentar no trecho de linha de costa situado entre o cabo e a barra do Tomba. Este trecho da linha de costa experimenta atualmente erosão acelerada, a qual provavelmente foi exacerbada em função da inexistência de cursos de água aí desaguardo. Estimativas apresentadas por Andrade (1994) para o período entre 1955-1988 mostram que a linha de costa neste trecho recuou a uma taxa de 5,45 metros por ano. Durante o mesmo período a face de sotamar do cabo avançou lateralmente a uma taxa de 29,4 metros por ano. A Figura 5.1.5-219 mostra um mosaico de fotos aéreas para este trecho da zona costeira ilustrando o fenômeno acima descrito.

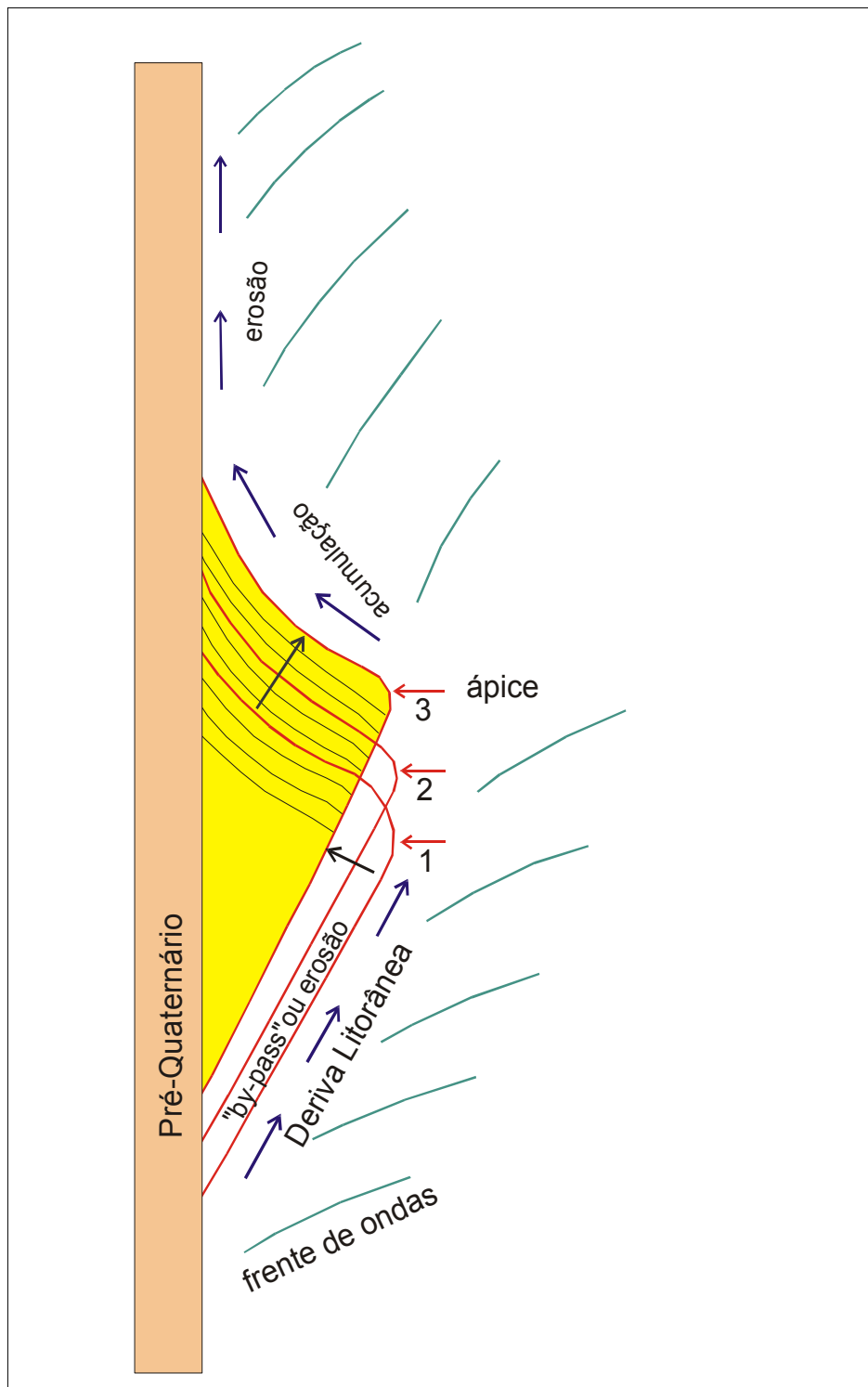


Figura 5.1.5-217 - Modelo esquemático de dispersão de sedimentos em cabos inconsolidados (segundo Dominguez, 1999)



Figura 5.1.5-218 - Imagem de satélite Landsat TM5 da planície quaternária de Caravelas mostrando a localização do cabo inconsolidado da Ponta do Catoeiro (segundo Dominguez, 1999)

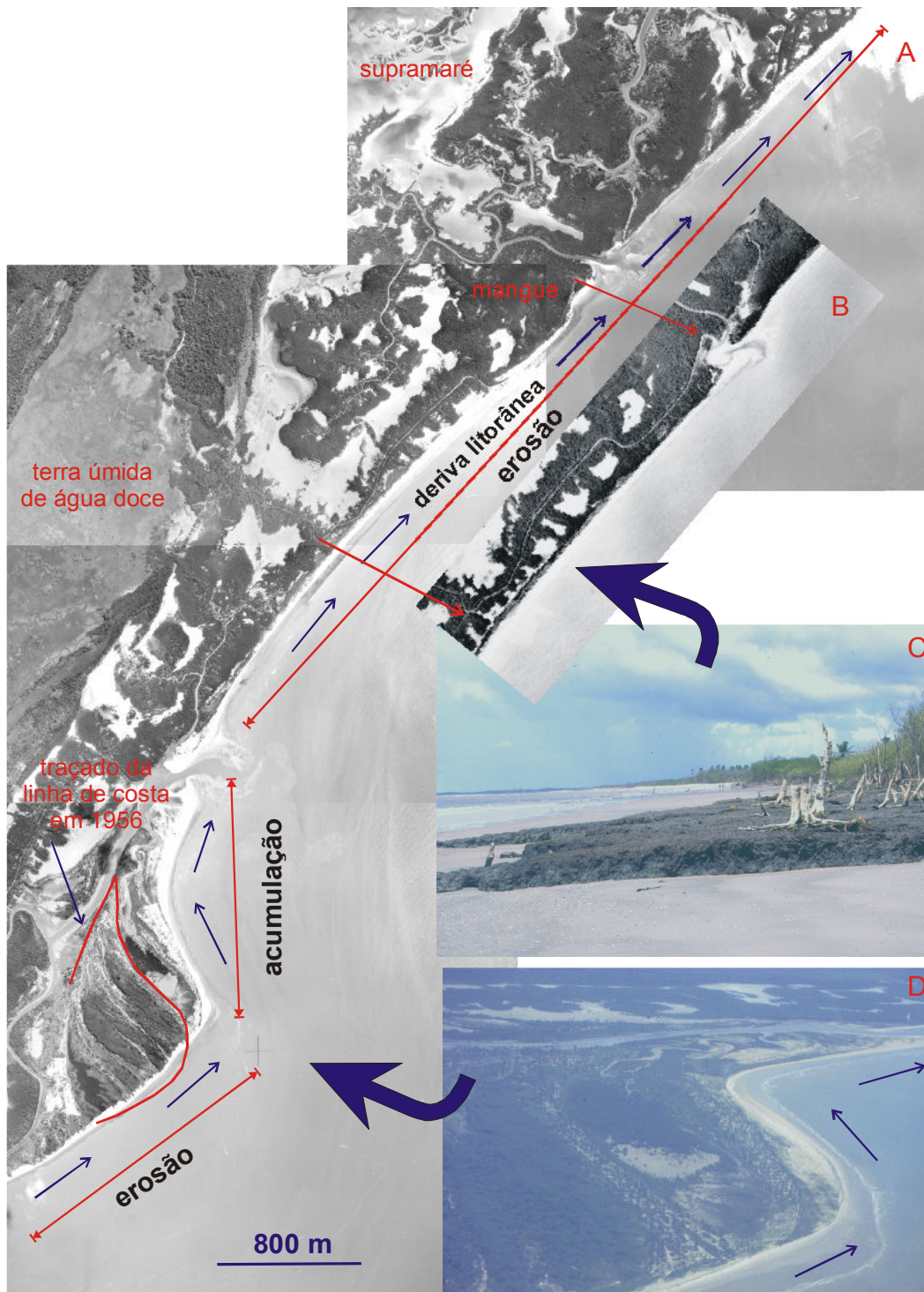


Figura 5.1.5-219 - A: mosaico de Fotos aéreas verticais da Ponta do Catoeiro e trecho da linha de costa a sotamar (ano 1988). B: trecho da linha de costa no ano de 1956. Notar que o recuo erosivo no período 1956-1988 resultou no desaparecimento do pequeno canal de mar

Conforme demonstrado anteriormente ficou caracterizado que a Ponta do Catoeiro se comporta como um cabo inconsolidado. Este tipo de feição se forma toda vez que se verifica uma mudança na orientação da linha de costa ou existe um obstáculo posicionado costa afora. No caso particular da Ponta do Catoeiro a presença dos recifes de corais de Viçosa, Coroa Vermelha e Sebastião Gomes constituíram o obstáculo posicionado costa afora que possibilitou a formação deste cabo inconsolidado. Uma vez formados os "Cabos Inconsolidados" migram no sentido preferencial da deriva litorânea. Para o trecho mencionado acima o sentido da deriva litorânea é de SW para NE. Esta conclusão foi baseada em estudos realizados anteriormente na área por Andrade (1994, 2000) com base na análise do clima de ondas para a região e no exame dos indicadores geomorfológicos presentes ao longo da linha de costa. Como será discutido mais adiante o exame das imagens de satélite comprovam este sentido inferido para a deriva litorânea. Deve-se chamar atenção para o fato de que o sentido dominante da deriva litorânea pode ser completamente diferente daquele apresentado por outras correntes que atuam nas águas costeiras. Este fato é efetivamente observado na região estudada, onde as correntes dominantes nas águas costeiras geradas pelo efeito combinado dos ventos e das marés são de NE para SE-S-SW.

A Figura 5.1.5-220 mostra uma comparação entre duas imagens de satélite através do método do "write function memory insertion", (Jensen, 1996). Nesta comparação a imagem mais antiga (04/06/1985) foi carregada no canal verde e a mais recente (11/10/1991) no canal vermelho. As áreas não coincidentes vão, portanto, aparecer em vermelho ou verde e as coincidentes em tons de amarelo (combinação de verde e vermelho).

A análise da Figura 5.1.5-220 mostra claramente que a linha de costa na Ponta do Catoeiro não coincide para as duas datas, indicando a migração do cabo no período observado. A migração do cabo causa erosão no trecho a barlar (ápice) da Ponta do Catoeiro fazendo a linha de costa recuar em direção ao continente. O material erodido neste trecho em associação com outros sedimentos oriundos de regiões situadas mais a montante se acumulam no pontal arenoso situado a sotamar do ápice da Ponta do Catoeiro fazendo o mesmo crescer longitudinalmente. Esta observação confirma indubitavelmente que a deriva litorânea dominante de sedimentos nesta região é de SW para NE.

Uma consequência da captura de material arenoso imediatamente a sotamar do ápice da Ponta do Catoeiro é a erosão generalizada da linha de costa entre a Ponta do Catoeiro propriamente dita e a Barra do Tomba, processo este já documentado anteriormente por Andrade (1994), muito antes da implantação da obra de dragagem do canal do Tomba.

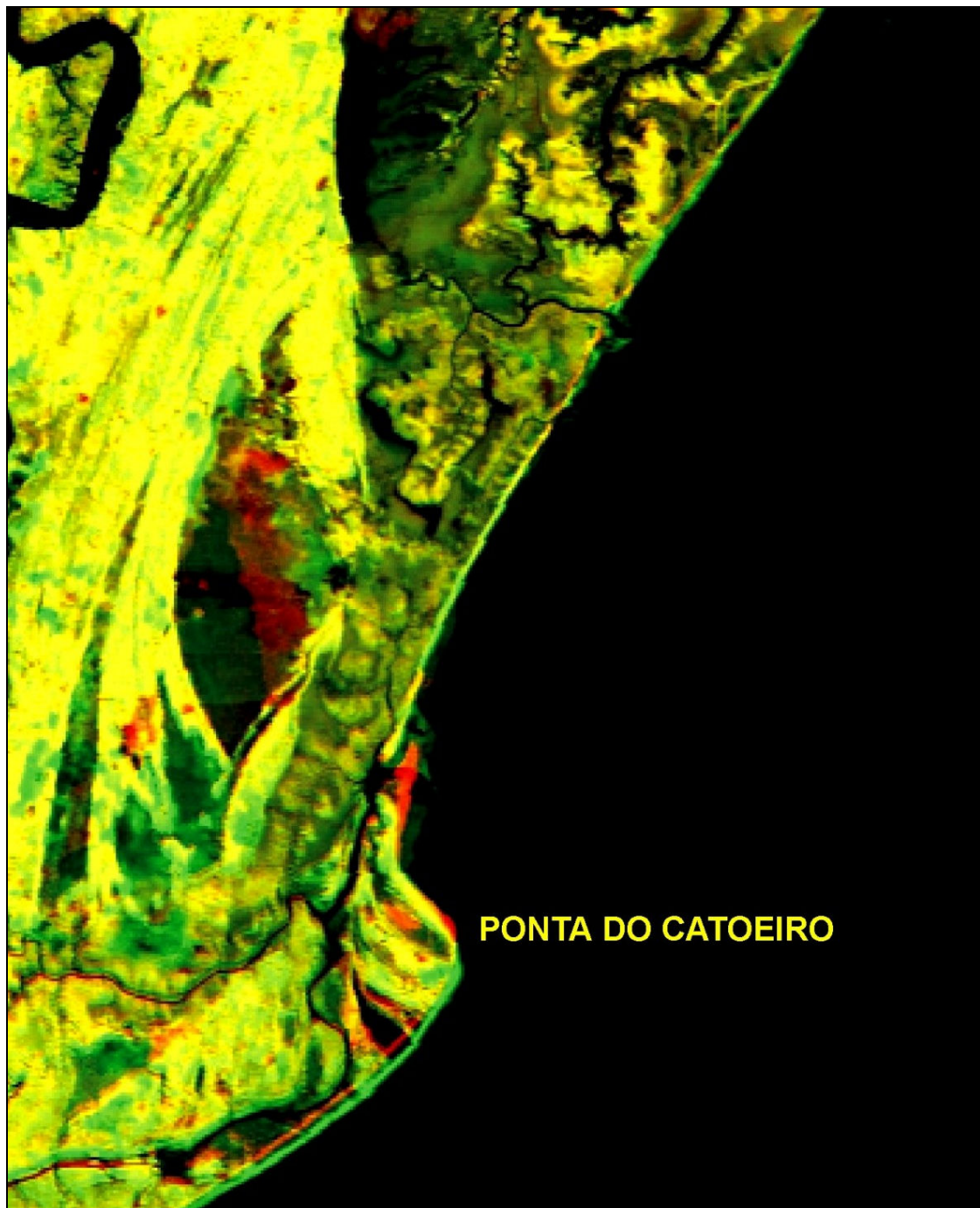


Figura 5.1.5-220 - Comparação de duas imagens de satélite para as datas 04/06/1985 (canal verde) e 11/10/1991 (canal vermelho)

5.1.5.11 Processos Litorâneos na Área de Influência Direta

5.1.5.11.1 Considerações Gerais

O presente item integra os fatores oceanográficos detalhados anteriormente, apresentando os processos litorâneos existentes na área de influência direta do estudo.

5.1.5.11.2 Processo de abertura da barra do tomba

Para facilitar o entendimento dos processos marítimos vigentes no Canal do Tomba, faz-se necessário entender sua gênese. No passado, havia apenas uma única desembocadura para as águas do rio Caravelas, como se pode observar na Figura 5.1.5-221 (colorida por computador).



Figura 5.1.5-221 – Desembocadura do Rio Caravelas – 1957

A abertura da Boca da Tomba aconteceu no início da década de 1960 devido ao recuo natural da linha de costa provavelmente com intervenção antrópica. Segundo pescadores locais, a abertura foi aberta artificialmente, para possibilitar a passagem de pequenos barcos

de pesca para as comunidades de Ponta da Areia e Caravelas, encurtando a distância para o mar. Antes disto, o canal da boca do Tomba consistia de um canal de maré separado do Oceano Atlântico por uma estreita faixa de praia.

Assim, surgiu a desembocadura do Canal do Tomba que é um caminho preferencial para o escoamento das águas, pois reduz o percurso necessário para o rio encontrar o mar. Tão logo o canal foi aberto artificialmente, o mesmo progradativamente foi se alargando, se aprofundando e capturando cada vez mais volume de prisma de maré, erodindo as margens e formando um delta de vazante ao largo da desembocadura.

Como apresentado na Figura 5.1.5-222, antes da abertura do canal do Tomba a linha de costa era retilínea. Esta linha de costa já experimentava erosão como pode ser evidenciado por feições existentes nas fotografias aéreas de 1957, como pequenos canais de maré truncados e vegetação de mangue de grande porte presente diretamente na linha de costa. Estas fotografias ainda mostram que a extremidade NE da linha de costa já exibia tendência para crescer no sentido SW-NE.

Após a abertura houve uma erosão dramática no trecho de linha de costa situado a NE do canal, que agora se transformou na ilha Pontal do Sul. Neste trecho a intensidade da erosão diminui no sentido de NE, sendo que na extremidade NE da ilha ocorre um trecho de progradação com deposição de material arenoso. Após a abertura também ocorreu um acentuamento da erosão da linha de costa a SW da barra do Tomba. Neste trecho a intensidade do recuo da linha de costa aumenta no sentido de SW em direção à Ponta do Catoeiro, localizada mais a sul.

A Figura 5.1.5-222 mostra a condição da área em 1988/1989 e a Figura 5.1.5-223 em 2003. Note que entre 1989 e 2003 houve contínuo aumento da largura do canal, como também estreitamento da Ilha Pontal do Sul em sua extremidade SW.



Figura 5.1.5-222 – Desembocadura do Rio Caravelas – 1988/1989



Figura 5.1.5-223 – Desembocadura do Rio Caravelas – 2003

Conforme já comentado, atualmente o canal do Tomba aproxima-se de uma estabilidade geométrica e é a desembocadura dominante para o rio Caravelas, enquanto que para a desembocadura antiga observa-se um processo de assoreamento em andamento.

Embora o canal do Tomba esteja próximo da estabilidade segundo os cálculos, pode-se esperar que naturalmente ainda sofra com as seguintes evoluções naturais:

- Aumento das vazões de enchente e vazante;
- Aumento na magnitude das correntes;
- Aumento das profundidades;
- Aumento da largura do canal, com erosão das margens;
- Aumento do aporte sólido de sedimentos.

Deve-se considerar que as transformações vindas da abertura de desembocadura desta forma são normalmente muito intensas e rápidas no início. Atualmente estes processos ainda acontecem no Canal do Tomba, porém em uma velocidade muito menor que no passado.

5.1.5.11.3 Processos litorâneos na desembocadura

A tendência histórica erosiva da área (Anderson, 1994) e fotografias aéreas mostram que a desembocadura da Canal do Tomba provavelmente teria sido aberta mesmo sem a ajuda da comunidade local, porém a abertura artificial acelerou, portanto, o processo. Quando uma desembocadura se abre em uma linha de costa retilínea, um significativo realinhamento e erosão adjacente à nova desembocadura são comumente observados, como uma resposta da desembocadura às forçantes físicas presentes, como por exemplo, as correntes de maré e as ondas. Os componentes morfológicos típicos da maioria das desembocaduras são apresentados diagramaticamente na Figura 5.1.5-224, na qual se pode observar os bancos de maré de enchente e vazante, as barras marginais ao canal e o delta de maré vazante, gerado pelo acúmulo de sedimentos arenosos ao largo da seção crítica (garganta) da desembocadura. Esta feição arenosa é formada principalmente pelas correntes de vazante que depositam o sedimento no oceano. A corrente de vazante tem altas velocidades na garganta da desembocadura, mas diminui drasticamente sua velocidade tão logo o canal perde seus limites de margem e encontra uma área hidráulica muito superior, conseqüentemente perdendo a capacidade de transporte de sedimentos e ocasionando sua deposição. As ondas e as correntes longitudinais modificam a forma dos bancos, imprimindo-lhes características de barras semicirculares.

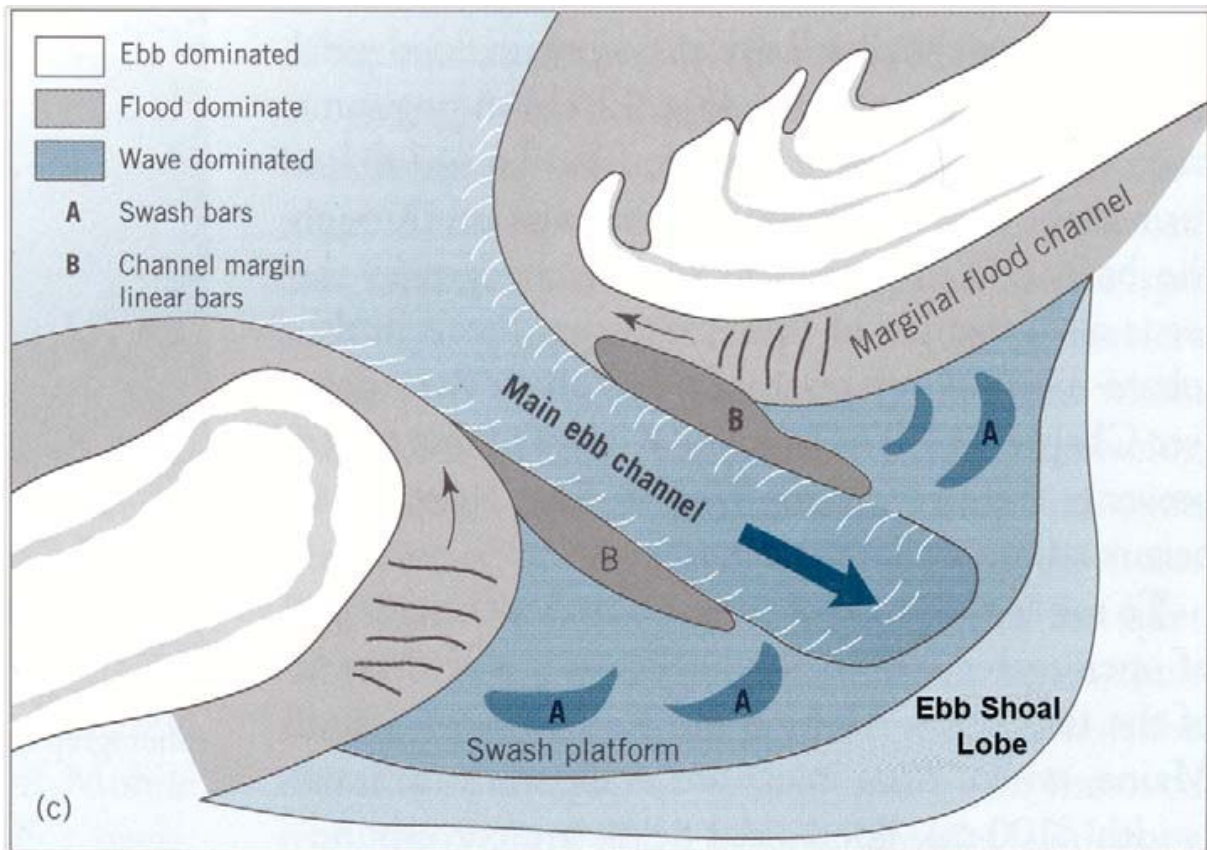


Figura 5.1.5-224 – Componentes morfológicos típicos de uma desembocadura de maré (adaptado de Davis e Fitzgerald, 2004)

Vários modelos morfológicos e esquemas de classificações têm sido propostos para desembocaduras (Walton e Adams, 1976; Hayes 1980; Fitzgerald, 1996; Hicks e Hume, 1996). Estes modelos fundamentam-se principalmente nas características das marés e ondas do local, a partir das quais fornecem uma indicação de equilíbrio de dimensões e distribuição das características morfológicas da desembocadura em questão. Assim, os deltas oceânicos são classificados considerando-se essencialmente sua capacidade de fornecimento de sedimentos e descargas fluviais, a energia das ondas e das marés. Podem ser dominados pelas forças fluviais, como acontece com a desembocadura do rio Mississipi (EUA) (Figura 5.1.5-226), ou dominados pela maré como, por exemplo, o Ganges-Brahmaputra (Índia) (Figura 5.1.5-225), ou dominados pelas ondas, caso da foz do rio São Francisco (Figura 5.1.5-227).

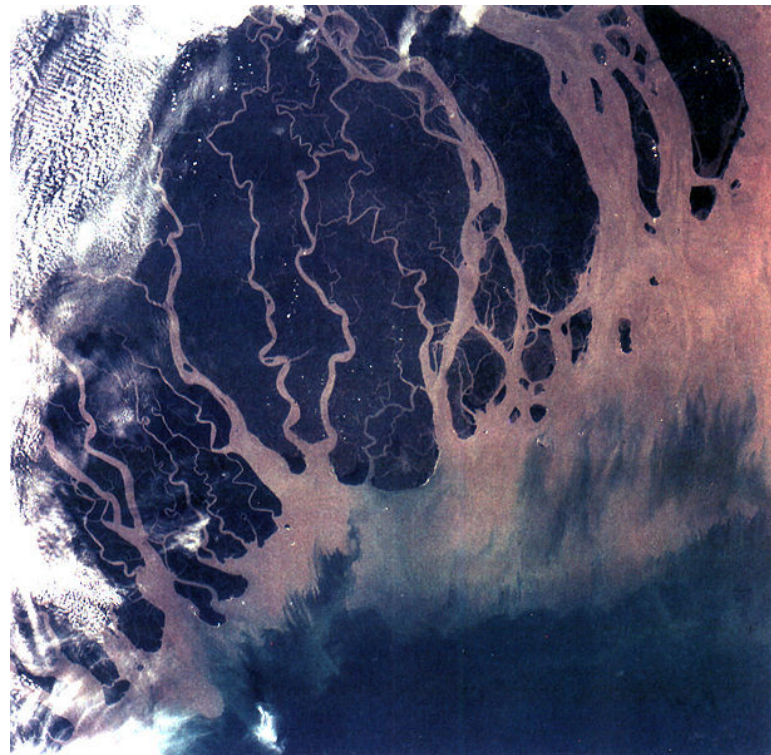


Figura 5.1.5-225 – desembocadura do Rio Ganges-Brahmaputra



Figura 5.1.5-226 – Desembocadura do Rio Mississippi



Figura 5.1.5-227 – Desembocadura do Rio São Francisco

Bancos de enchente são bem desenvolvidos ao longo de costas dominadas por ondas, porém ausentes ou pouco significantes em ambientes dominados pela maré tais como a Boca do Tomba. Os bancos de vazante ocorrem próximos da boca do canal (entre 200 a 800 m) quando os efeitos da deriva litorânea excedem os efeitos das correntes de maré (desembocaduras dominadas por ondas), mas podem ocorrer muito mais ao largo (por exemplo, até 5 km) quando os efeitos das correntes de maré de vazante excedem os efeitos das ondas (desembocaduras dominadas pelas marés - Figura 5.1.5-228). Desembocaduras dominadas pela maré tipicamente têm um profundo canal central (dominado pela vazante) flanqueado por extensos canais marginais limitados por bancos, morfologia similar à observada na boca do Tomba.

A barra ou delta de maré vazante da Boca do Tomba se estende aproximadamente 3.5 km ao largo, e exibe um formato de leque com longas barras formando canais marginais, uma barra externa semi-circular, e cicatrizes de antigos talvegues do canal.

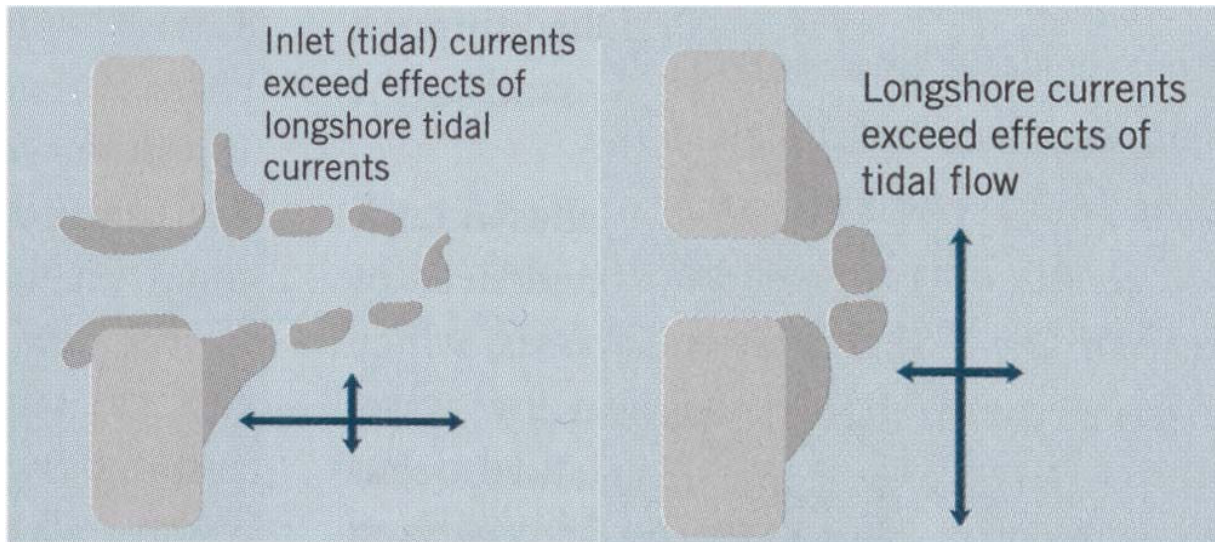


Figura 5.1.5-228 – Diagrama esquemático apresentando as diferenças morfológicas entre um delta dominado pela maré (a) e um dominado pelas ondas (b). A desembocadura da Boca do Tomba apresenta uma morfologia compatível com a dominância da maré. Problemas de navegação nestas desembocaduras normalmente ocorrem mais ao largo em contraste com as desembocaduras dominadas por ondas que apresentam barras interrompendo o canal, bem mais próximas da linha de costa.

Nas desembocaduras dominadas por maré, os problemas de navegação devido aos bancos ocorrem onde a barra de vazante transpassa o sedimento do canal e transfere os sedimentos na forma de barras de transpasse. Sedimentos que formaram os bancos de vazante da boca do Tomba se originaram em sua maioria da linha de costa adjacente. Após a abertura da desembocadura, a Ilha Pontal do Sul, a sotamar, erodiu mais de 500 m em direção à costa. As linhas de costa a barlamar erodiram na taxa de aproximadamente 5,45 m/anos (Anderson, 1994). A erosão dos sedimentos das linhas de costa adjacentes somada com a erosão do alargamento da desembocadura e contribuições episódicas de fontes fluviais contribuíram para a formação do delta principal de maré vazante da boca do Tomba (Figura 5.1.5-229). O delta de vazante apresentado na Figura 5.1.5-229 atualmente armazena aproximadamente 14 milhões de metros cúbicos de sedimentos arenosos.

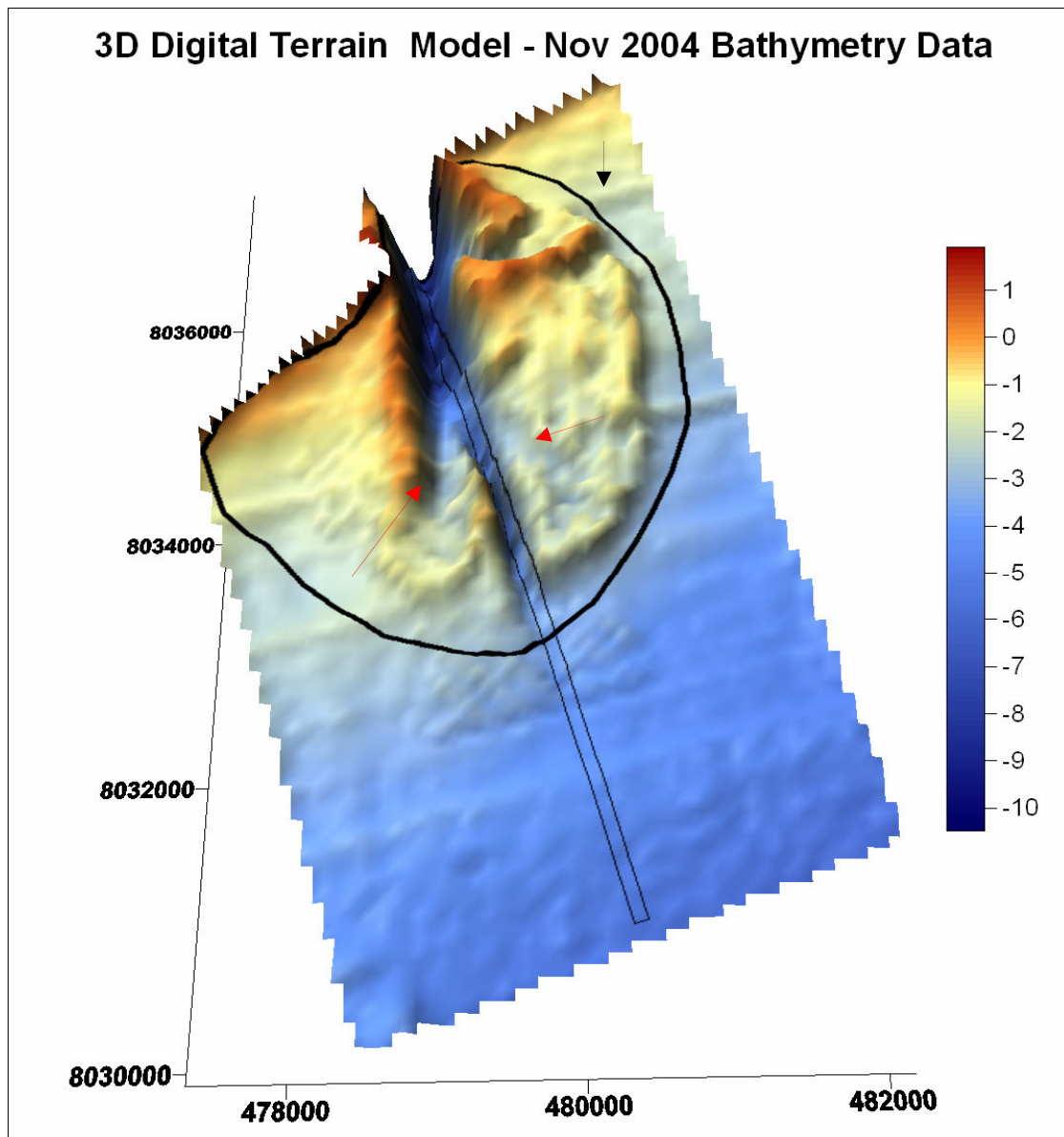


Figura 5.1.5-229 – Modelo Digital de Terreno da desembocadura da Boca do Tomba e do delta de maré vazante (delimitado em preto). Note que o canal de navegação tem uma largura mínima próximo da margem mais externa da barra, onde os sedimentos historicamente transpassam o canal. As setas vermelhas apontam talvegues remanescentes de migração antigas do canal

Considerando-se o balanço entre as ondas e as correntes de maré na área, a costa de Caravelas pode ser classificada como uma costa de energia mista na escala de Davis e Hayes (Davis & Hayes, 1983). Em costas de meso-maré com moderada energia de ondas (costas de energia mista) tais como a Boca do Tomba, os deltas de maré vazante são consideravelmente mais desenvolvidos que os deltas de maré de enchente. As velocidade de correntes medidas durante maio e junho de 2000 apresentam magnitudes de 1,0 m/s (sizígia) e 0,5 m/s (quadratura) para o canal da Boca do Tomba. Durante abril de 2001, foi

medida uma corrente máxima de sizígia de 1,5 m/s na boca do tomba, enquanto que velocidades de 0.8 m/s foram medidas no canal antigo, correntes significativamente maiores foram medidas durante o fluxo de vazante.

5.1.5.11.4 Problemas de Sedimentação em Canais de Navegação

Relações analíticas e empíricas têm sido desenvolvidas para prever o assoreamento de canais (Vicent e Uva, 1984). O assoreamento de um canal é o resultado de um balanço dos processos fluviais e da maré, suprimento de sedimentos e dos processos litorâneos. Para cada zona da desembocadura, as interações entre os diferentes processos de transporte de sedimentos convergem para produzir tendências de assoreamento que são similares na maioria das desembocaduras. Migração de canal e do delta de vazante, transpasse natural de areias, desbarrancamento de taludes, sedimentação fluvial, etc., são problemas comuns em desembocaduras. A dragagem destes canais é tipicamente maior nas proximidades na entrada do canal ou na parte mais externa do delta.

Quando se executa uma dragagem, na qual se aprofunda, alarga ou se estende um canal, ocorre um desequilíbrio do sistema original. Após a dragagem do canal, o mesmo tende a retornar às suas dimensões originais que se mantinham anteriormente em equilíbrio dinâmico, com conseqüente processo de assoreamento da área dragada.

Pope (2000) discutiu e classificou os problemas mais comuns de assoreamento em desembocaduras. Os mecanismos de assoreamento em canais incluem a migração do canal, alterações morfológicas do delta de vazante e barras, perda do gradiente hidráulico, conformações de fundo, assoreamento de finos localizados e falhas geotécnicas (Figura 5.1.5-230).

A migração do canal corresponde à movimentação lateral do canal devido aos regimes naturais de fluxo ou desenvolvimento de bancos nos deltas ou bancos alongados alinhados com a desembocadura. A migração do canal é evidenciada pelo assoreamento de um dos lados do talvegue enquanto que no outro lado do canal ocorre erosão.

O desenvolvimento e migração do delta de maré vazante ocorre à medida que a areia transpassa o canal de navegação para alimentar as linhas de costa adjacentes. À medida que a areia se move ao longo da costa, parte do material deposita-se na depressão do canal de acesso em altas taxas, causando uma localizada e particular morfologia, que freqüentemente reaparece depois da remoção. Este tipo de assoreamento é localizado próximo do limite ao largo da barra de vazante, que ocorre entre as isóbatas de -2 m e -3 m ao largo da boca do Tomba.

A perda do gradiente hidráulico também contribui para o assoreamento próximo do fim da barra de vazante. Nesta zona, as correntes que transportam o sedimento diminuem e o

sedimento é depositado. Isto freqüentemente ocorre onde o canal ou bancos confinados se alargam ou quando o campo de corrente encontra alguma força dissipativa de energia, como por exemplo, as ondas. O resultado é usualmente uma área localizada de rápida deposição onde reconhecidamente o assoreamento se desenvolve. Este é o mecanismo primário por detrás do crescimento de deltas (veja Figura 5.1.5-230).

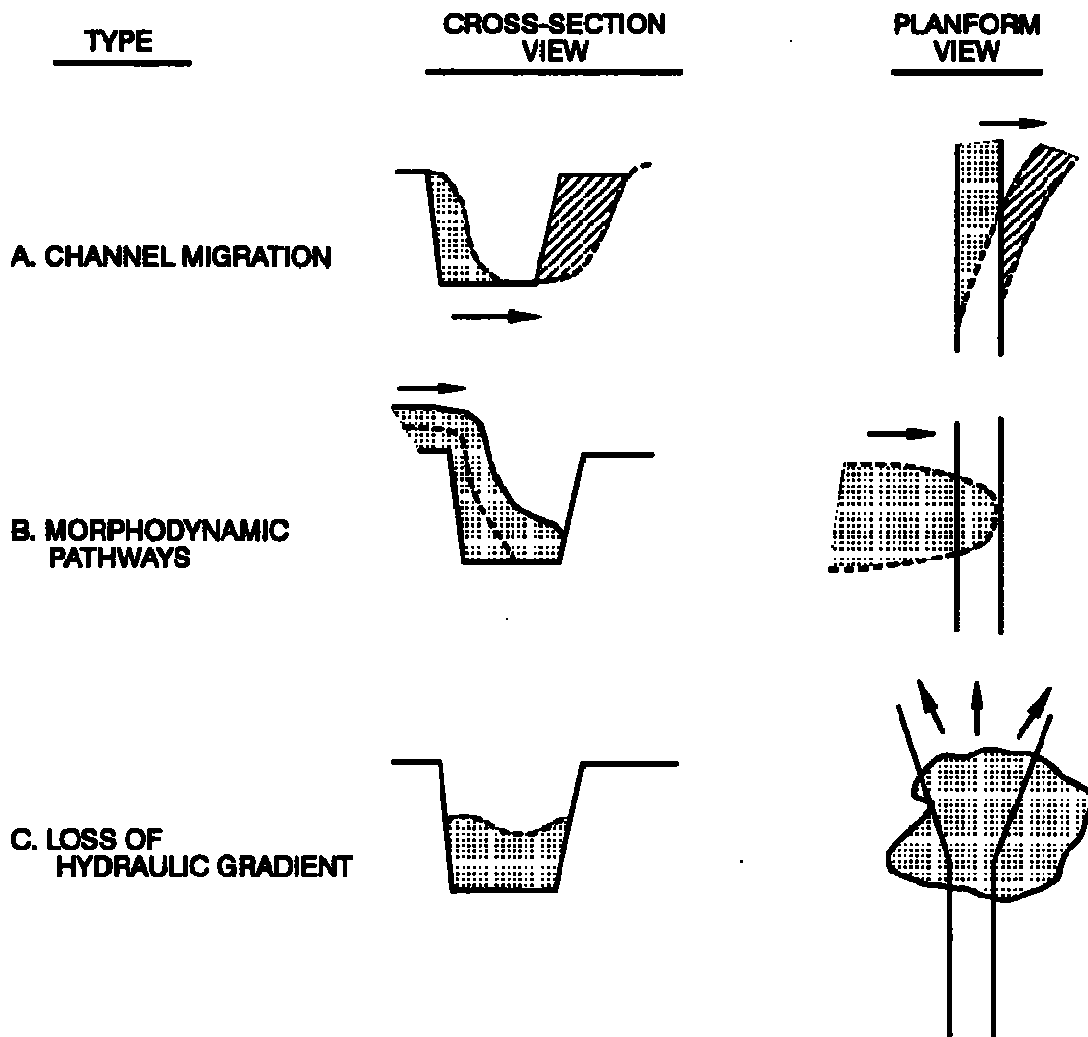


Figura 5.1.5-230 – Mecanismos do processo de assoreamento observados na Boca do Tomba

Desembocaduras típicas tem quatro regiões principais: uma ao largo, próxima à linha de costa, a boca e um trecho no interior do estuário. Estas regiões estão definidas para a Boca do Tomba na Figura 5.1.5-231. Os problemas de navegação podem ocorrer em qualquer uma destas regiões, entretanto, para a Boca do Tomba eles se concentram na região próxima à linha de costa.

Correntes de maré na boca e no trecho interior do estuário próximo à mesma (de terra para a estação 2.000 m) são fortes o bastante para continuamente não permitirem a deposição

de sedimentos e manter profundidades naturais elevadas. Episodicamente, falhas geotécnicas como desbarrancamentos de taludes podem ocorrer na garganta da desembocadura, mas as fortes correntes prontamente têm competência para remover esses sedimentos para fora desta zona. Adicionalmente, as correntes da deriva litorânea causadas pelas ondas e ventos locais podem transportar sedimentos para dentro da desembocadura.

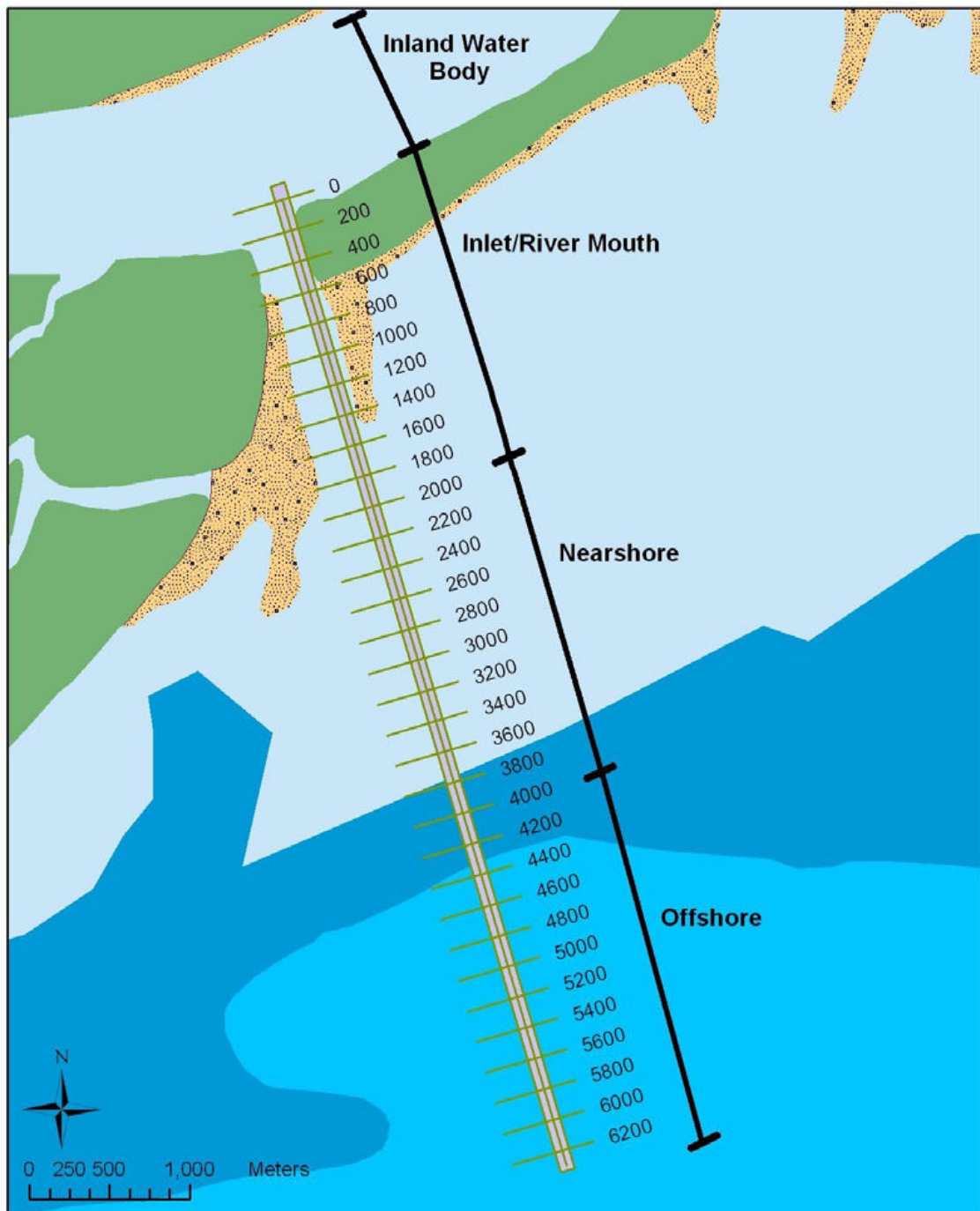


Figura 5.1.5-231 – Zonas típicas do Canal do Tomba. Os números indicam as estações do canal medidas em metros das águas interiores para o largo

Na área próxima a linha de costa (entre as estações 2.000 m até 4.000 m) e zonas ao largo (ao largo da estação 4.000 m), os problemas de navegação são principalmente relacionados com a migração do canal e os movimentos dos bancos (transporte de sedimentos ao longo dos bancos), perda de gradiente hidráulico, e assoreamento localizados de finos. O assoreamento é mais pronunciado na região próxima à linha de costa. Assim como descrito por Pope (2000), o assoreamento associado com a perda do gradiente hidráulico ocorre nas áreas do canal em que o fluxo antes concentrado espalha-se em uma grande área hidráulica não confinando o canal assim como acontece na seção da boca. A migração do canal e dos bancos, assim como a formação de um novo talvegue com o abandono do antigo, são características de áreas que experimentam flutuações do balanço dos processos estuarinos e do transporte de sedimentos costeiros que ocorrem próximo à linha de costa. Deposição de sedimentos finos ocorre majoritariamente nas zonas ao largo do delta de maré.

A quantificação das magnitudes, taxas, e variações nos padrões da geomorfologia é indispensável para os cálculos de transporte de sedimentos, estimativas de dragagens e avaliações se as mudanças na desembocadura tem efeito nas praias adjacentes. Antes da modificação ou implantação de canais, a evolução histórica e as tendências devem ser entendidas.

5.1.5.11.5 Condição atual das praias e da desembocadura

As praias do entorno, tanto a barlar quanto a sotamar do canal vêm sofrendo erosão (imagens das praias e a erosão podem ser vistas no item 5.1.5.11.11). Indicadores geológicos incluem a presença de pequenos blocos de lama e afloramento de sedimento siltoso na face da praia, além da degradação e erosão de manguezais expostos. A berma de praia geralmente avança por cima da vegetação de manguezal. Na faixa de praia mais próxima da costa (durante a maré baixa), nota-se uma transição de material arenoso ao largo para sedimentos lamosos. Até aproximadamente 2 km ao sul da desembocadura, a praia é composta por uma fina camada de areia que cobre lamas plásticas (Figura 5.1.5-232).



Figura 5.1.5-232 – Escavação a 2 km ao Sul da desembocadura na face da praia mostrando uma fina camada de areia cobrindo uma lama plástica

Ao lado da desembocadura, a espessura de areia aumenta e se estende mais ao largo na forma de barras laterais ao canal. As praias são geralmente compostas de areia média ou fina, com material mais grosso sendo achado do lado norte do canal.

Para a desembocadura, verifica-se que o canal é relativamente muito raso em alguns segmentos e que os problemas de navegação ocorrem em torno de 3 km ao largo. Os bancos se estendem até longas distâncias perpendiculares ao canal (até 2 km) na forma de bancos marginais, veja Figura 5.1.5-233 e Figura 5.1.5-234.

O padrão de arrebentação das ondas indica que os bancos de vazante atingem até 3.5 km ao largo. O banco marginal situado no lado norte do canal é composto de areia grossa. A área no interior do estuário próximo à Boca do Tomba é coberta por uma mistura de areia e silte e argila. Os sedimentos arenosos são dominantes da boca do Tomba até à zona próxima a linha de costa, após o desaparecimento da barra de vazante, enquanto a zona mais ao largo é coberta predominantemente por sedimentos lamosos.



Figura 5.1.5-233 – Vista Sul apresentando os bancos na forma de barras marginais contornando a margem sul do canal.



Figura 5.1.5-234 – Arrebentação de ondas indicando a presença de extensos bancos de vazante

5.1.5.11.6 Sedimentos de Praia e na Desembocadura

A Figura 5.1.5-235 indica que as áreas de fundo próximas da desembocadura e na zona próxima à linha de costa são predominantemente cobertas por sedimentos arenosos, enquanto que a zona mais ao largo é coberta predominantemente por lama. A região próxima do estuário no setor estuarino é composta por uma mistura de areia/silte e argila. A areia predomina na zona próxima à linha de costa (onde ocorre o delta de maré vazante) e onde são encontrados os maiores problemas com a navegação. Há uma acentuada transição entre a composição de fundo delimitada pela estação 4.000 m, entre a areia da zona próxima à linha de costa com a lama encontrada ao largo.

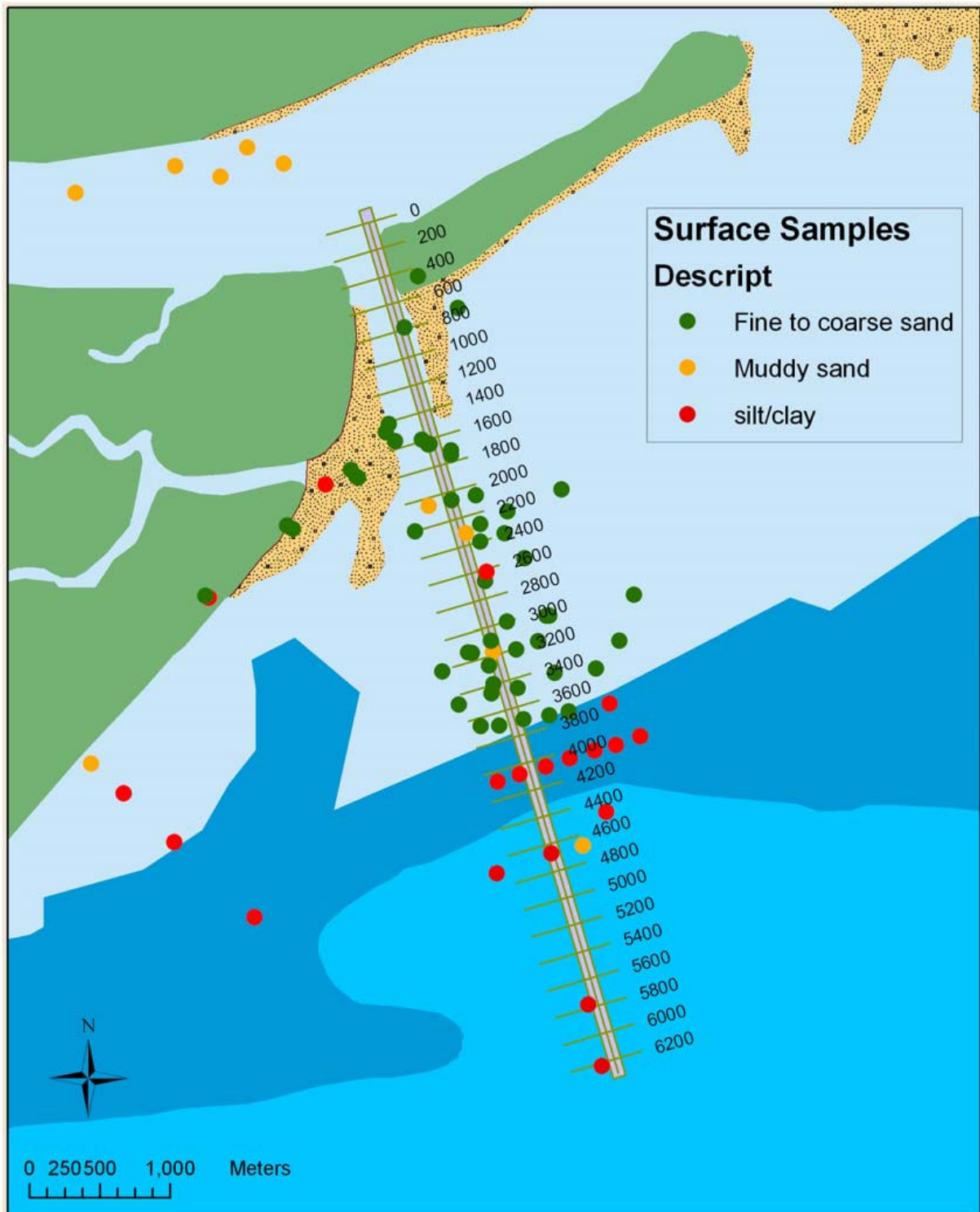


Figura 5.1.5-235 – Sedimentos superficiais de fundo da região na área de influência do empreendimento

A fim de verificar qual a distribuição de sedimentos arenosos/lamosos na sedimentação do canal, foi realizada em outubro de 2003 uma batimetria com ecobatímetro de dupla frequência (24 kHz e 200 kHz). A frequência mais alta tem um sinal de resposta bem

distinguível em superfícies de sedimentos não consolidados, enquanto que a frequência mais baixa (24 kHz) tende a penetrar por dentro de sedimentos lamosos inconsolidados, e somente retorna um sinal quando encontra uma superfície com sedimentos mais consolidados, isto é não considera a camada superficial de lama não consolidada, se esta existir. Se uma sedimentação de lamas predomina no canal, uma significativa diferença de elevação entre os dados obtidos pelo sensor de alta frequência seria esperada (profundidades menores seriam obtidas pelo sensor de alta frequência e profundidades maiores pelo sensor de baixa frequência). Para avaliar isto, os dados de 200 kHz e 24 kHz foram subtraídos em uma grade numérica (200 kHz – 24 kHz), veja a Figura 5.1.5-236.

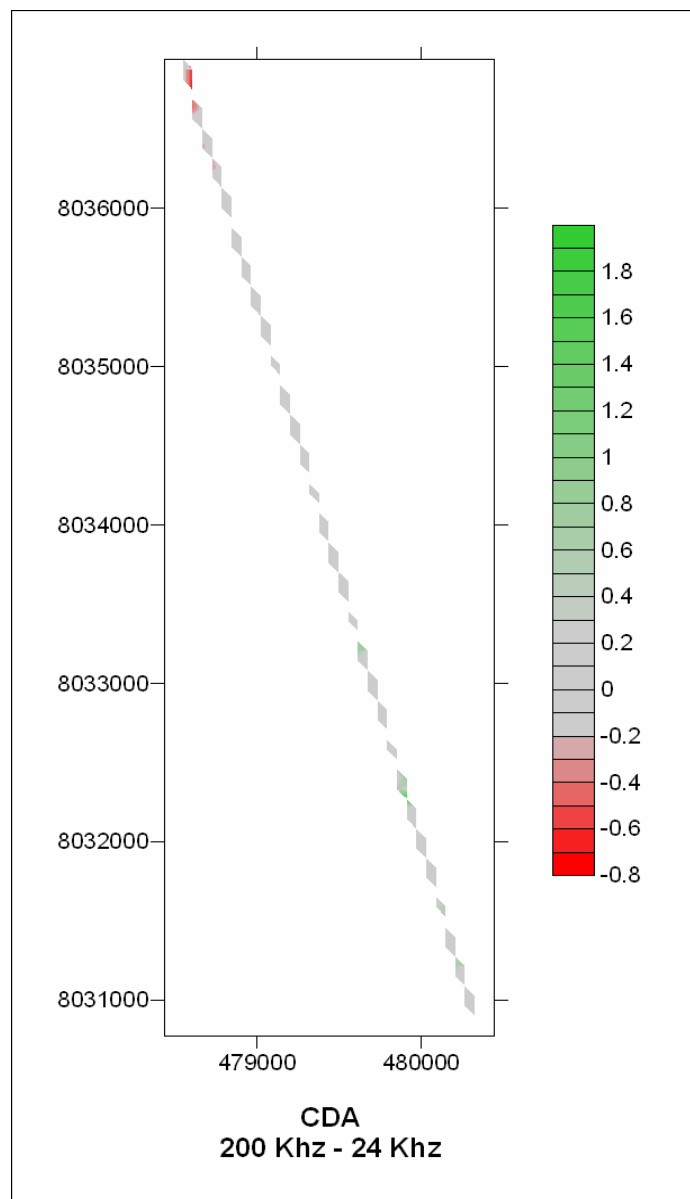


Figura 5.1.5-236 –Sondagem de 200 kHz subtraída da sondagem de 24 kHz indicando nenhuma diferença significativa

A Figura 5.1.5-236 indica que não há nenhuma diferença significativa de profundidades entre as duas sondagens, e que na maioria do canal apresenta uma variação de profundidade inferior a 0,20 m, como indicado pelas cores em cinza. Se a sedimentação por lama fosse predominante no canal, a maioria do canal estaria apresentando tons de verde (mudança positiva de profundidade). As áreas que apresentam a presença de sedimentos lamosos estão localizadas na zona mais ao largo (ao largo da estação 4.000 m), como evidenciado pelas poucas áreas localizadas em verde. Esta evidencia combinada com a caracterização dos sedimentos de fundo através de coletas e análises granulométricas (em detalhe no item 5.1.6) permitem concluir que a sedimentação por lamas ocorre exclusivamente nas áreas mais ao largo do canal, onde os problemas de assoreamento são menores. A área em que os problemas de navegação são encontrados situa-se na região próxima da linha de costa, especificamente entre as estações 2.000 m e 4.000 m. Os sedimentos que predominam nesta região são areias que principalmente se originam de três fontes:

- Praias adjacentes;
- Delta de maré vazante;
- Contribuições episódicas do estuário e erosão de margens do rio.

Uma caracterização detalhada dos sedimentos presentes no canal do tomba é apresentada no item 5.1.6.

5.1.5.11.7 Equilíbrio da desembocadura

Qualquer desembocadura em uma costa aberta é controlada pelo balanço entre as forças das correntes, ondas e transporte de sedimentos. Pode-se dizer que uma desembocadura mantém-se em constante equilíbrio dinâmico. A estabilidade e capacidade de captura de sedimentos por desembocaduras de maré têm sido discutidas por diversos autores, por exemplo, Brune *et. al.*, (1978), Walton e Adams, (1976); Hicks e Hume, (1996), O' Brien, (1969) e Jarret, (1976).

A estabilidade de uma desembocadura de maré pode ser abordada relativamente à sua localização geográfica e área transversal da seção estrangulada (garganta). A estabilidade de localização concerne na migração lateral do canal em resposta a correntes costeiras. A migração pode ser detectada pela análise de dados históricos e sondagens batimétricas do canal. Geralmente, um canal migratório apresenta sedimentação de um lado e erosão do outro lado oposto. Os canais podem migrar por inteiro ou em segmentos. No canal da boca do tomba, aparentemente há uma migração sazonal para o norte e para o sul (de acordo com a variação do clima de ondas). A migração do canal não proíbe a navegação no canal na seção da garganta, onde as correntes de vazante são fortes o bastante para manter uma

profundidade além da necessária para a navegação. Entretanto, a migração é problemática na zona próxima à linha de costa, onde o fluxo das correntes não é suficiente para remover os sedimentos arenosos que migram para dentro do canal.

No item 5.1.5.5 já foi investigada a estabilidade da boca do Tomba utilizando-se a área transversal da garganta e o prisma de maré com as relações dadas por O'Brien e Jarret. Fundamentalmente essas relações relacionam a área transversal com o prisma (o volume de água entrado e saindo pela desembocadura durante uma maré de enchente e vazante).

As relações são dadas por:

$$A_c = (6.6 \times 10^{-5}) P \quad (\text{O'Brien, 1969})$$

$$A_c = (3.78 \times 10^{-5}) P^{1.03} \quad (\text{Jarret, 1976})$$

Onde A_c é a área de equilíbrio da seção transversal (m^2) e P é o volume de prisma (m^3). Os resultados do item 5.1.5.5 são apresentados na Tabela 5.1.5.11-1, em conjunto com resultados mais recentes calculados por DHI (2000a). Os resultados indicam que a Boca do Tomba está próxima de sua dimensão de equilíbrio, enquanto que a área transversal do canal antigo (antiga Barra de Caravelas) está significativamente maior que sua dimensão de equilíbrio. Usualmente, se a área de equilíbrio é maior que a área existente, a boca tende a se alargar e/ou aprofundar. Por outro lado, se a área de equilíbrio é menor, a boca tende a se fechar, por assoreamento. Na boca do Tomba, a área de equilíbrio é ligeiramente maior que a área existente, indicando que a boca deverá aumentar sua seção transversal crítica. Portanto, a seção da garganta do canal pode ser classificada como praticamente estável. Na barra antiga, a área de equilíbrio é significativamente menor que a área existente indicando que a garganta é instável, sendo esperado seu estreitamento e redução de profundidade.

**Tabela 5.1.5.11-1 - Áreas de equilíbrio da seção transversal crítica
CEPEMAR (2001) e DHI (2000a).**

	Boca do Tomba	Barra Antiga
O'Brien (Cepemar, 2001)	3.459 m ²	3.822 m ²
Jarret (Cepemar, 2001)	3.724 m ²	4.128 m ²
Existente (Cepemar, 2001)	3.345 m ²	5.328 m ²
Razão de Estabilidade	1.1	0.7
O'Brien (DHI, 2000a)*	4.585 m ²	1.825 m ²
Jarret (DHI, 2000a)*	4.514 m ²	1.748 m ²
Existente (DHI, 2000a)*	3.770 m ²	4.317 m ²
Razão de Estabilidade	1.2	0.4

*foram utilizados valores do prima de maré vazante

Uma área de seção transversal estável indica que a capacidade de fluxo da embocadura, na boca, é suficiente para remover os sedimentos transportados para a garganta do canal. Entretanto, não indica que o mesmo ocorrerá mais ao largo. Portanto, um canal pode ter sua seção da garganta expandindo, mas ao mesmo tempo sofrer um ativo processo de assoreamento na zona próxima à linha de costa, onde as velocidades de correntes não são tão fortes para remover os sedimentos do canal.

Muitos estudos têm sido apresentados mostrando que embocaduras de maré são armadilhas ou sumidouros efetivos de sedimentos, isto é particularmente verdade relativamente ao armazenamento de areia em deltas de maré vazante, assim como apresentado por Walton e Adams (1976) e Hicks e Hume (1996). Analogamente à relação empírica entre a área da seção transversal da embocadura e seu prisma de maré, estes pesquisadores foram capazes de estabelecer uma relação empírica entre o prisma de maré, ação de ondas e o volume de equilíbrio do delta de maré vazante. As equações de equilíbrio da dimensão do delta de maré vazante são dadas por:

$$V=6.08 \times 10^{-3} P^{1.23}$$

Walton e Adams (1976)

$$V=1.37 \times 10^{-3} P^{1.32} (\sin \alpha)^{1.33}$$

Hicks e Hume (1996)

Onde V é o volume do delta de maré vazante, P é o prisma de maré e α é o ângulo entre o canal da desembocadura e a linha de costa adjacente. Para o canal do Tomba, foi estimado um prisma de maré vazante em sizígia de $53,9 \times 10^6 \text{ m}^3$. Isto indica um volume de equilíbrio para o delta de maré vazante de 19.660.000 segundo Walton e Adams (1976) e de $18.170,100 \text{ m}^3$ segundo Hicks e Hume (1996). As medições de volume do delta de maré vazante da boca do Tomba estimam volumes na faixa de $14.100,000 \text{ m}^3$ a $16.000.000 \text{ m}^3$ que serão explicados mais a frente. Assim, quando se compara os volumes, conclui-se que mais sedimentos serão capturados pelo sistema do delta até que se atinja seu volume de equilíbrio.

5.1.5.11.8 Volumes erodidos associados com variações históricas da linha de costa

Cabos que captam sedimentos, canais fluviais e bancos são barreiras litorâneas notáveis para o transporte longitudinal de sedimentos. Nessas zonas onde os bancos e protuberâncias ocorrem, mudanças na batimetria ao largo e na orientações da linha de costa geram reversões locais da deriva que afetam os padrões de erosão e assoreamento. Desembocaduras fluviais são consideráveis armadilhas de sedimentos devido às correntes transversais à costa e à presença da cava com maiores profundidades. Na área de estudo, houve uma série de mudanças geomorfológicas após a abertura da Boca do Tomba, conforme já comentado. Neste subitem descrevem-se cálculos de erosões e assoreamentos realizados para a desembocadura, o delta de maré vazante e as praias adjacentes.

Um mapeamento histórico conduzido por Andrade (1994) demonstrou que a Ponta do Catoeiro foi formada como uma resposta da linha de costa aos recifes existentes ao largo de Coroa Vermelha, Nova Viçosa e Sebastião Gomes. Esta feição está sofrendo acréscimo em taxas elevadas (média de $24,9 \text{ m/ano}$ entre 1955 e 1988) e portando tem atuado como uma armadilha de sedimentos para o transporte litorâneo longitudinal. A praia entre a Ponta do Catoeiro e a Boca do Tomba está erodindo. As tendências de erosão e deposição da área de estudo estão apresentadas na Figura 5.1.5-237.

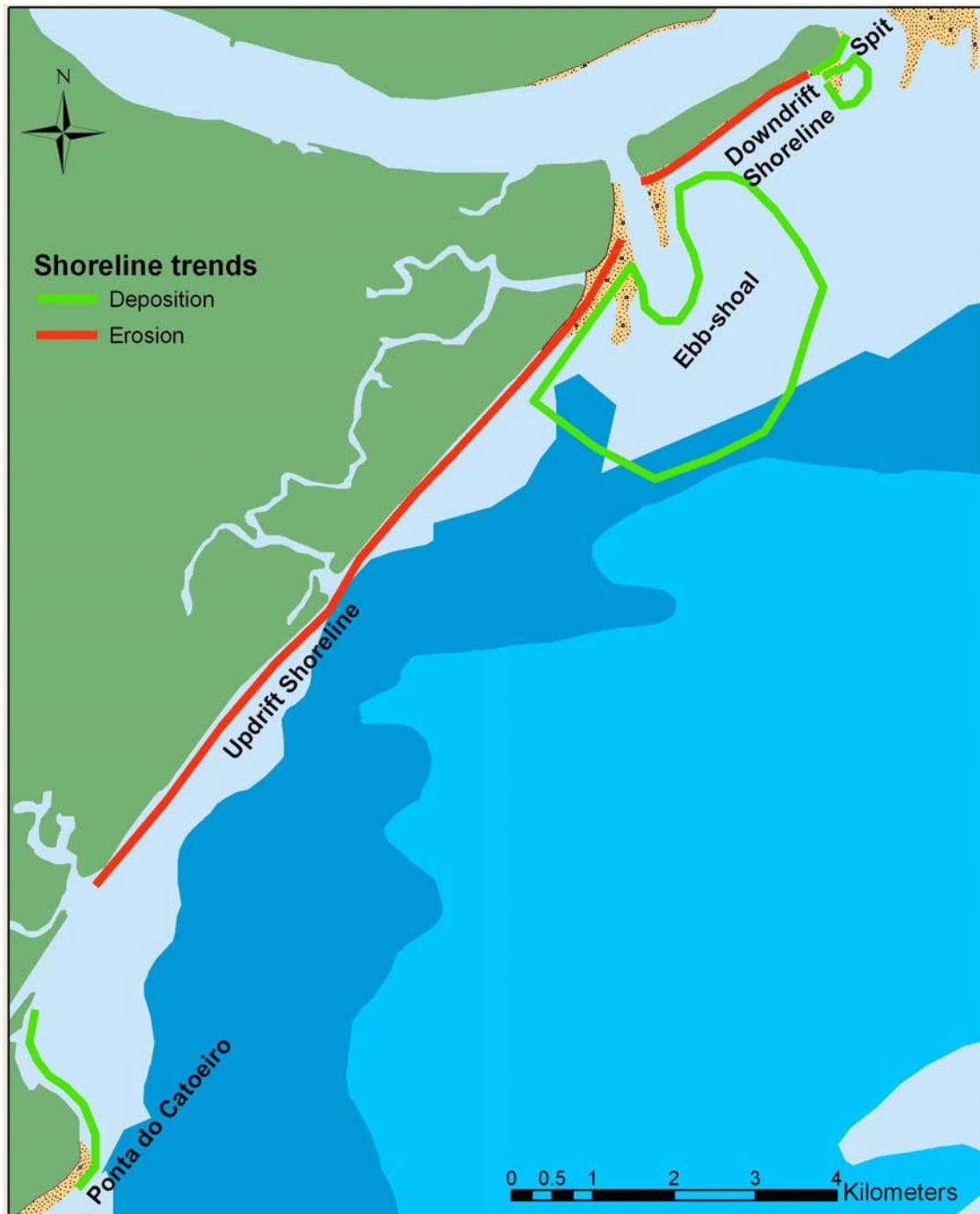


Figura 5.1.5-237 - Tendências de Erosão e Deposição no entorno da boca do Tomba

As mudanças na linha de costa ao sul da boca do Tomba foram convertidas em volume de acordo com a metodologia proposta por Rosati e Kraus (1999). A alteração na posição da linha de costa “y” é estimada para uma distância ao longo da linha de costa de “x” e foi convertida em um volume, assumindo-se que o perfil de praia se trasladou paralelamente a ele mesmo até uma profundidade ativa D_A , dada por:

$$D_A = B + D_C$$

Em que B é a elevação da berma mais ativa em relação ao nível de referência vertical, e D_C é o contorno para ao largo que limita o transporte de areias. A variação de volumes é dada por:

$$\Delta V = \Delta y \Delta x D_A / \Delta t$$

Em que Δy é a medida da variação transversal medida da linha de costa e Δx é a distância ao longo da costa. A altura ativa de perfil praiar usada para os cálculos foi de 2,5 m para as praias de montante em relação à deriva (praias ao sul da desembocadura) e 3,5 m para as praias ao norte da boca do Tomba. Um D_A reduzido foi usado para a parte sul da boca do Tomba porque a praia nesta região é composta por uma fina camada de areia disposta sobre lamas marinhas em profundidades muito rasas. Os resultados volumétricos obtidos entre a boca do Tomba e a Ponta do Catoeiro são apresentados na Tabela 5.1.5.11-2.

Tabela 5.1.5.11-2 – Variações volumétricas históricas para a linha de costa ao sul da Boca do Tomba até a Ponta do Catoeiro durante o período de 1955 to 1988

	Varição da Linha de Costa (m/ano)	Distância (m)	Varição de Volume (m ³ /ano)
Boca do Tomba até a Ponta do Catoeiro	-5.45	11,250	-150,000
Ponta do Catoeiro	24.9	2,000	124,500

A Tabela 5.1.5.11-2 indica que, historicamente a Ponta do Catoeiro cresceu em uma taxa de aproximadamente 124.500 m³/ano, enquanto que a praia entre a Ponta e a Boca do Tomba erodiu em uma taxa de 150.000 m³/ano.

A direção predominante do transporte entre a Ponta do Catoeiro e a Boca da Tomba é de SW para NE. Antes da abertura da Boca do Tomba, os sedimentos erodidos acresciam a flecha a NE da Ilha Pontal do Sul e alimentavam os bancos da barra antiga de Caravelas. Depois da abertura da Boca do Tomba os volumes erodidos das praias ao Sul da Boca do Tomba (cerca de 150.000 m³/ano) foram depositados no delta de vazante da Boca do Tomba. Considerando que a desembocadura foi aberta no início dos anos 1960 (a carta náutica da DHN de 1966 já mostra a presença da desembocadura na área) estima-se que as praias do sul contribuíram com cerca de 5.800.000 m³ de sedimentos para o desenvolvimento do delta de maré vazante. A magnitude de retenção dos sedimentos pela

ponta do Catoeiro é similar à magnitude da erosão das praias entre a Ponta do Catoeiro e a Boca do Tomba, indicando que a taxa histórica de transporte litorâneo pode ser estimada entre 125.000 e 150.000 m³/ano.

O volume de sedimento erodido a sotamar da barra do Tomba (Ilha Pontal do Sul) foi calculado com base da digitalização da linha de costa das Cartas Náuticas da DHN datadas de 1966 e 1992. Desde 1966 uma grande área a sotamar da ilha adjacente à Boca do Tomba foi erodida. Enquanto que ao mesmo tempo, uma flecha arenosa foi formada na extremidade NE da ilha, como mostrado na Figura 5.1.5-238.

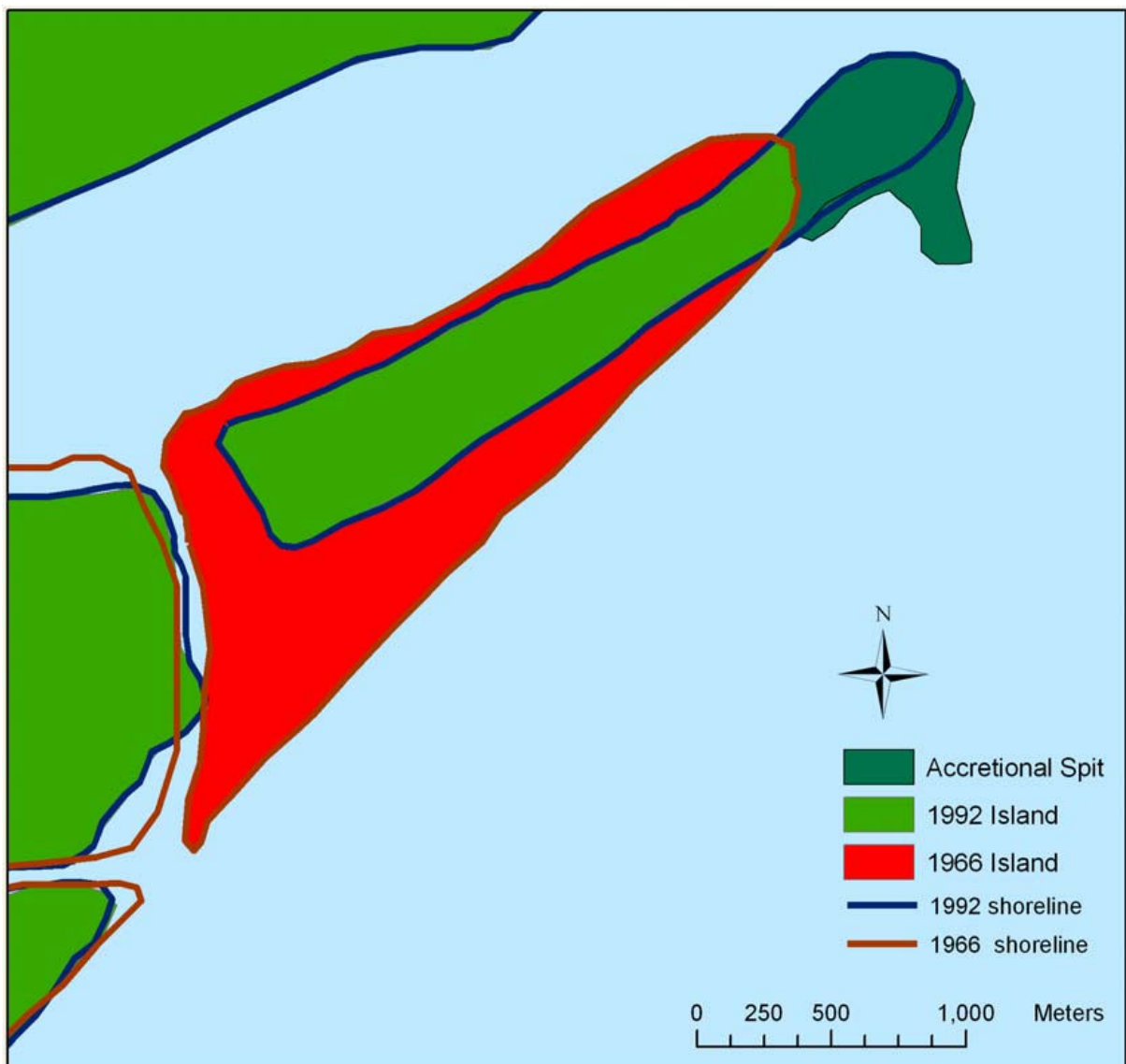


Figura 5.1.5-238 – Variação da área entre 1992 e 1966 a sotamar da Boca do Tomba – Ilha Pontal do Sul

Uma grande área foi perdida a sotamar na ilha (apresentada em vermelho na Figura 5.1.5-238), adjacente à desembocadura. Esta área perdida pode ser dividida em dois componentes (numerados na Figura 5.1.5-238): (1) erosão devida falta de suprimento de areia, barradas pela abertura do novo canal que bloqueou o transporte litorâneo longitudinal e (2) a formação da desembocadura com conseqüente erosão (a desembocadura se expandiu para atingir o equilíbrio da seção transversal). Pode-se notar na Figura 5.1.5-238 que as perdas de área sofridas pela Ilha excedem o acréscimo de sedimentos da flecha de NE (área em verde escuro). Os sedimentos que erodiram a barlar da Ilha que não acresceram a flecha foram transportados para o delta de maré vazante da Boca do Tomba. Portanto, historicamente, a Ilha Pontal do Sul contribui com sedimentos que formaram o delta de maré vazante e os bancos ao longo da desembocadura.

Da conversão das variações de áreas (erosão da área 1) para variação de volumes (Tabela 5.1.5.11-3), pode-se observar que, historicamente, houve uma contribuição de aproximadamente 47.000 m³/ano de sedimentos da ilha para o sistema do delta de maré vazante.

Tabela 5.1.5.11-3 – Taxas de variação de área e volumes para a ilha situada ao norte da Boca do Tomba

	Área		
	m ²	Volume (m ³)	Vol. Anual (m ³)
1992 (sem flecha)	885.600	2.656.900	N/A
1992 (com flecha)	387.100	1.161.200	N/A
1966	1.680.842	5.042.526	N/A
Erosão*	-795.242	-2.385.726	-91.759
Assoreamento*	387.100	1.161,300	44.600
Resultado líquido	-408.142	-1.224.426	-47.000

*Erosão foi calculada como a diferença entre o volume da ilha em 1992 sem a flecha e o volume da ilha em 1966. O assoreamento é igual ao volume armazenado na flecha. Uma altura de perfil ativo de 3 m foi usada para a conversão de áreas em volumes

5.1.5.11.9 Desenvolvimento do delta de Maré vazante da Boca do Tomba

Os volumes armazenados no delta de maré vazante da boca do Tomba foram calculados usando dois métodos independentes: (1) da subtração da batimetria histórica (digitalizada a partir da carta náutica de 1966) e da batimetria de novembro de 2004 e (2) pela soma das camadas de areia existentes na região do delta, que foram depositadas após a abertura da desembocadura. A identificação destas camadas utilizou-se de dados de jet-probe realizados na área e da interpretação da geomorfologia que a área apresenta.

A comparação da batimetria de 1966 com a batimetria de Novembro de 2004 é apresentada na Figura 5.1.5-239. Pode-se observar na Figura 5.1.5-239 que a área do delta de maré vazante sofreu extensa deposição, com alguns lugares apresentando acréscimo de mais de 5 m durante este período, enquanto que a garganta do canal apresentou grande erosão. A área que era ocupada pela ilha em 1966 apresentou erosão de até 12 metros de profundidade, conforme mostrado pelas tonalidades vermelhas na área próxima de terra da Figura 5.1.5-239. As variações de volume são apresentadas na Tabela 5.1.5.11-4.

Tabela 5.1.5.11-4 – Variações de Volume delta de maré Vazante de 1966 a 2004

	Volume (m ³)	Volume Anual (m ³ /ano)
Assoreamento	14.169.000	363.000
Erosão	5.567.000	147.000
Variação	8.602.000	226.000

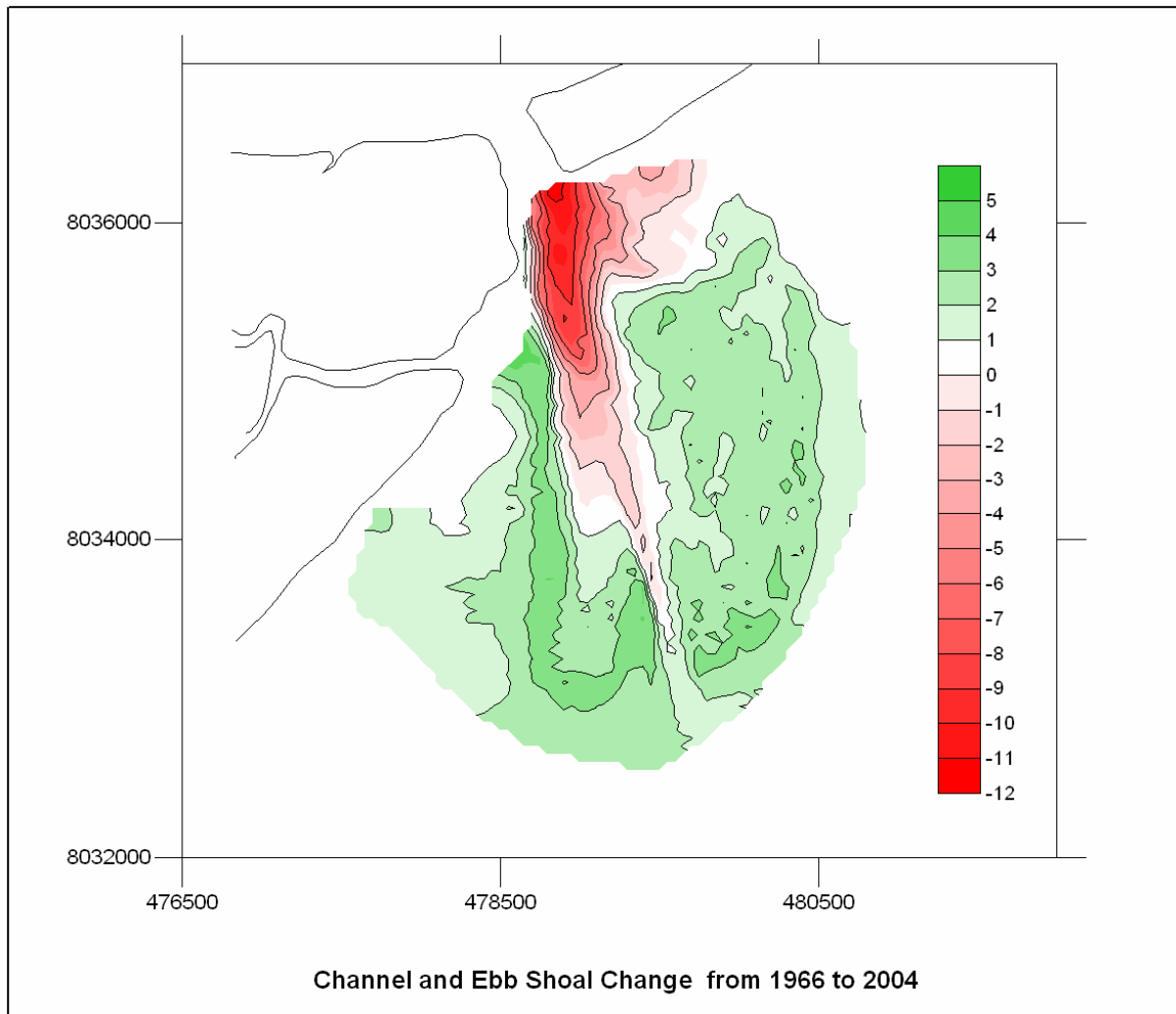


Figura 5.1.5-239 – Mapa dos contornos apresentando as variações de elevação do Canal e do delta de maré vazante entre 1966 e 2004

A Tabela 5.1.5.11-4 indica que, desde 1966, cerca de 14.169.000 m³ de areia acumularam no delta de maré vazante da boca do Tomba; isto corresponde a um acúmulo anual de sedimentos da ordem de 363.000 m³/ano. A erosão do canal, entretanto, contribuiu com aproximadamente 5.567.000 m³ de sedimentos da garganta da desembocadura para o crescimento do delta de maré vazante. Subtraindo-se o montante de erosão da garganta do montante de acúmulo do delta de maré, obtém-se como resultado 8.602.000 m³, o que indica uma taxa líquida de 226.000 m³/ano de sedimentos no sistema durante o período considerado. Este volume histórico de entrada no sistema (226.000 m³/ano) que supriu o delta de maré vazante se originou de algumas possíveis fontes que incluem: (1) erosão das praias a sotamar e a barlar da desembocadura pela deriva litorânea, (2) erosão das margens do rio no trecho da garganta, (3) transporte de sedimentos fluviais episódicos, (4) transporte de bancos adjacentes (por exemplo, bancos da barra antiga de Caravelas).

O segundo método usado para calcular o volume do delta de maré vazante foi a soma das camadas de areia existentes na região do delta, que foram depositadas após a abertura da desembocadura. A interpretação dos limites do delta é apresentada na Figura 5.1.5-240. Foi considerado que qualquer superfície de areia acumulada ao largo da boca do Tomba foi devida ao crescimento do delta (antes da abertura da desembocadura esta região era dominada por depósitos de lama plástica).

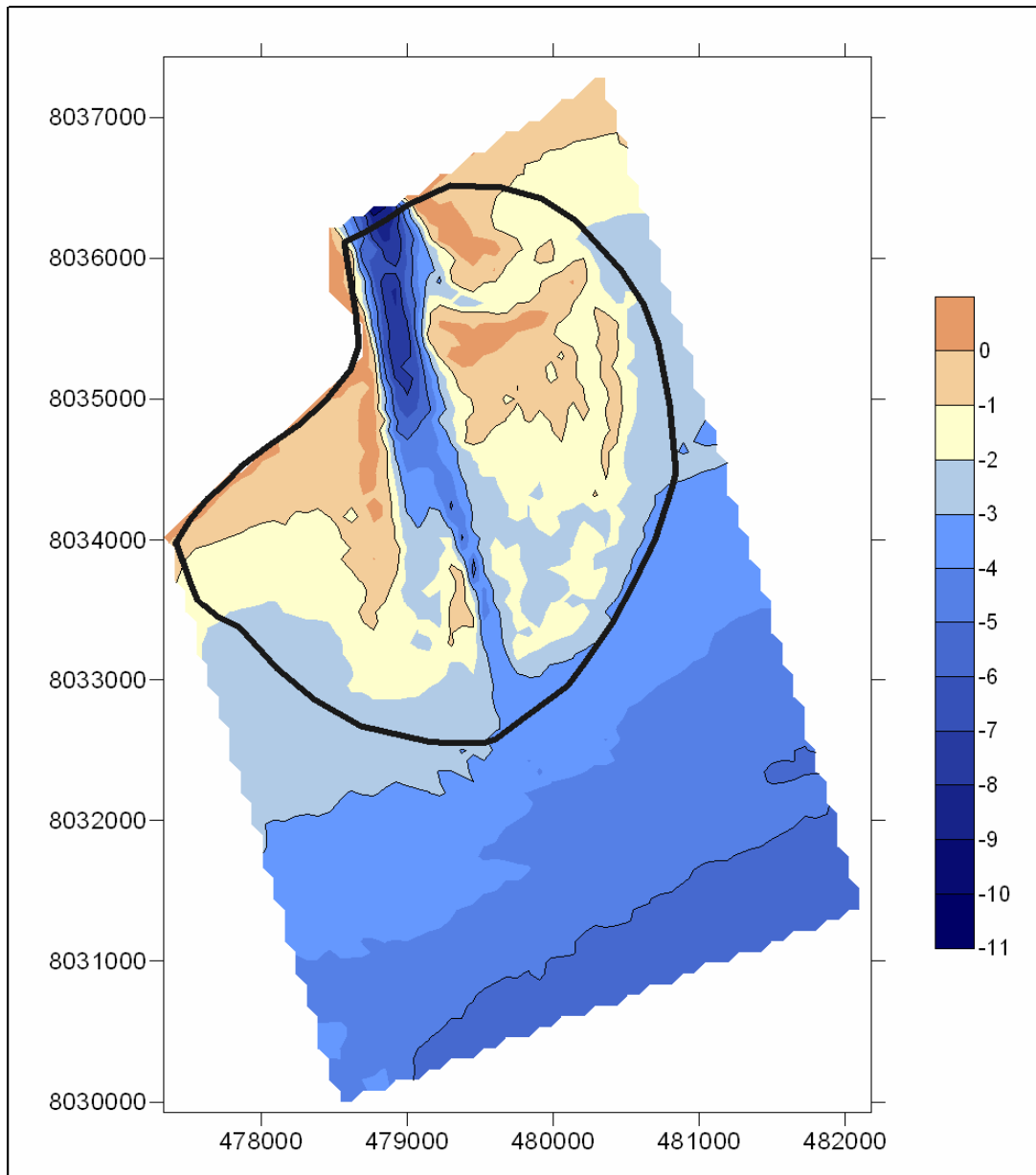


Figura 5.1.5-240 – Mapa das isóbatas de novembro de 2004 apresentando-se os limites do delta de maré vazante

Trinta e cinco jet-probes foram obtidos no canal e área do delta, e estão apresentados em CEPEMAR (2004b) (maiores detalhes no item 5.1.6). A interpretação geológica de cada um dos jet-probes permitiu diferenciar as diversas camadas e indicaram que uma superfície bem distinguível de área ocorria acima de uma lama marinha. A espessura média da camada de areia foi estimada em 1,8 m. Um volume de 16.050.000 m³ de areia foi então calculado pela multiplicação da área (delimitada na Figura 5.1.5-240) pela espessura média de areia de 1.8 m. Se a área da garganta do canal (apresentada em um polígono branco na Figura 5.1.5-240) for subtraída do total calculado, obtém-se um volume resultante de 14.650.000 m³. Os volumes obtidos por ambos os métodos são, portanto da mesma ordem de grandeza e confirmam a magnitude da taxa de crescimento histórica do delta de maré vazante.

5.1.5.11.10 *Conceito de Balanço Sedimentar*

Um balanço sedimentar proporciona um modelo conceitual e quantitativo para o transporte de sedimentos dentro de um sistema (Rosati e Kraus, 1999). O balanço indica os movimentos principais de sedimentos resultantes para dentro e para fora de uma área de projeto, por um determinado período de tempo.

No balanço sedimentar, a diferença entre as fontes de sedimentos (erosão de praias fora do sistema, contribuição fluvial e fontes marinhas) e os sumidouros (dragagem, erosão) deve ser igual à taxa de variação de volumes no interior daquela região, isto é:

$$\sum Q_{\text{FONTE}} - \sum Q_{\text{SUMIDOURO}} = \Delta V$$

Usualmente, desembocaduras e praias adjacentes são conectadas por barras de vazante que possibilitam o transpasse de material. Um sistema de desembocadura/delta tem o potencial de capturar os transportes litorâneos oriundos de ambos os lados do canal. Assim, o conhecimento das taxas de transportes globais e o comportamento dos transportes potenciais devem ser investigados.

5.1.5.11.11 *Balanço sedimentar histórico*

Este balanço sedimentar foi desenvolvido para a boca do Tomba considerando o período entre 1966 e 2004, fundamentando-se nas variações históricas do sistema (Figura 5.1.5-241). Este balanço sedimentar histórico auxilia na determinação das fontes e sumidouros de sedimentos dentro do projeto em longo prazo. O conhecimento deste balanço histórico permite confrontar os resultados obtidos de um balanço atual obtido a partir dos agentes causadores dos transportes que atuam hoje em dia no local com a tendência de longo prazo.

O primeiro passo no desenvolvimento de um balanço sedimentar consiste em identificar as possíveis fontes de sedimento positivas no sistema da desembocadura/delta. Na boca do Tomba, as seguintes fontes de sedimento foram identificadas:

- Transporte litorâneo em torno da Ponta do Catoeiro;
- Erosão da linha de costa a barlar (linha de costa ao longo da ilha do Cassurubá, SW da boca do Tomba);
- Carga sedimentar do rio Caravelas e erosão da margem;
- Abertura da Boca do Tomba e erosão associada;
- Erosão a sotamar (linha de costa da Ilha Pontal do Sul imediatamente NE da Boca do Tomba);
- Delta de maré vazante da antiga barra de Caravelas.

As áreas de armazenamento ou sumidouros de sedimentos incluem:

- Delta de maré vazante da Boca do Tomba;
- Flecha na extremidade NE da Ilha Pontal do Sul.

A seguir apresenta-se um resumo dos fatores que compõem o balanço.

Transporte no entorno da Ponta do Catoeiro

O transporte de sedimentos NE em direção à Ponta do Catoeiro foi estimado em até 125.000 m³/ano através do acréscimo de 25 m/ano para o norte. Este estudo não pôde quantificar quanto do transporte de sedimento litorâneo chega até a Ilha do Cassurubá vindo da Ponta do Catoeiro e, portanto, este transporte foi considerado desprezível. Esta hipótese não pôde ser verificada e deve-se considerar que qualquer transporte através da Ponta do Catoeiro irá aumentar o suprimento de sedimento da linha de costa a barlar e, portanto, aumentar o suprimento de sedimento para o sistema da Boca do Tomba.

Linha de Costa a barlar (Ilha do Cassurubá)

O clima de ondas da região indica que o transporte de sedimentos é predominantemente de SW para NE. A erosão ao longo da Ilha do Cassurubá foi da ordem de 5,5 m/ano de 1955 a 1988, o que se converte em uma taxa de transporte de 150.000 m³/ano. Na formulação do balanço sedimentar histórico é considerado que o sedimento erodido a barlar é transportado para dentro do delta. É esperado que este transporte diminua com o tempo na

medida em que a costa se orienta para uma configuração mais estável e com o esgotamento das areias neste trecho de praia.

Carga sedimentar fluvial do Rio Caravelas

O rio Caravelas supre com algum material o delta de vazante da Boca do Tomba, mas é complexo quantificar com precisão este suprimento. A comparação de batimetrias indica atualmente uma erosão localizada na margem direita logo antes da boca do Tomba. A taxa de erosão de margens foi estimada em 29.000 m³/ano. Foi assumido que este material foi transportado através da boca do Tomba contribuindo para o desenvolvimento do Delta.

Desembocadura do Tomba

A formação da Boca do Tomba resultou em uma erosão de 5.567.000 m³ de sedimento das ilhas vizinhas (Ilha do Cassurubá e Ilha Pontal do Sul), criando a garganta existente atualmente. Foi considerado que este material foi transportado ao largo para o sistema do delta. Este volume não é incluído na estimativa anual de sedimentos, pois o canal atualmente já se encontra bem próximo de sua seção estável.

Deriva litorânea a Sotamar

A modelação numérica de transporte de sedimentos indica que há um ponto nodal na Ilha Pontal do Sul e que num segmento imediatamente ao norte da Boca do Tomba o transporte de sedimentos se dá em direção à desembocadura. Uma vez que o delta de maré atua como um sumidouro, os sedimentos transportados para SW da Ilha são depositados no mesmo. Foi observado que na extremidade norte, a deriva a sotamar tem historicamente contribuído em uma taxa de 45.000 m³/ano enquanto que o restante da ilha tem erodido a uma taxa de 92.000 m³/ano, historicamente. Isto indica que a contribuição anual de sedimentos da Ilha para o delta é de 47.000 m³/ano.

Delta de maré vazante da barra antiga de Caravelas

O delta de maré vazante da barra antiga de Caravelas encontra-se no momento maior que o volume de equilíbrio esperado, uma vez que a Boca do Tomba capturou para si a maior parte do prisma do estuário. Quando uma desembocadura perde sua capacidade hidráulica, uma diminuição do delta de maré vazante existente é normalmente observada. Porquanto esta investigação não foi capaz de definir e quantificar se os sedimentos da antiga barra estão sendo transportados para o sul e contribuindo para o crescimento da barra do tomba, indica-se aqui que está é uma possibilidade. Assim, se o crescimento da flecha de NE da ilha Pontal do Sul foi devida parcialmente ao transporte de sedimentos oriundos da barra antiga de Caravelas, então a taxa de transporte para dentro do delta de maré vazante da Boca do Tomba foi subestimada.

Delta de maré vazante

O maior sumidouro de sedimentos da área é o delta de maré vazante. O volume estimado contido no interior do delta é de 14.169.000 m³, fundamentados na comparação das sondagens batimétricas de 1966 e 2004. O volume erodido quando a desembocadura foi aberta foi estimado em 5.567.000 m³. Portanto, o sedimento suprido para o sistema de outras fontes é da ordem de 8.602.000 m³/ano, o que corresponde a uma taxa de contribuição de aproximadamente 226.000 m³/ano. O canal de navegação existente atravessa o delta de maré vazante e, portanto esta taxa histórica de assoreamento serve de um indicador do volumes de dragagem necessários para a manutenção do canal de navegação.

Flecha de NE da Ilha Ponta do Sul

A flecha na extremidade NE da linha de costa da Ilha Pontal do Sul também atua como um sumidouro de sedimentos, uma vez que seu tamanho está em constante ampliação. Foi estimado que a flecha cresce 45.000 m³/ano em volume. As fontes para o crescimento da flecha não puderam ser diferenciadas (as fontes possíveis são a erosão das praias da Ilha Pontal Sul e sedimentos provenientes da barra antiga de Caravelas), assim foi assumido que a fonte majoritária foi a erosão das praias, uma vez que a deriva litorânea predominante é de SW para NE.

Assim, a Figura 5.1.5-241 apresenta o Balanço Sedimentar da Área da Boca do Tomba, obtido através da análise da geomorfologia histórica e atual para o período entre 1966 e 2004. No item 5.1.6 apresentam-se os cálculos, a partir de dados hidrodinâmicos e sedimentológicos, em que se estima a taxa de assoreamento do Canal do Tomba, completando a quantificação dos processos litorâneos vigentes na área de estudo.

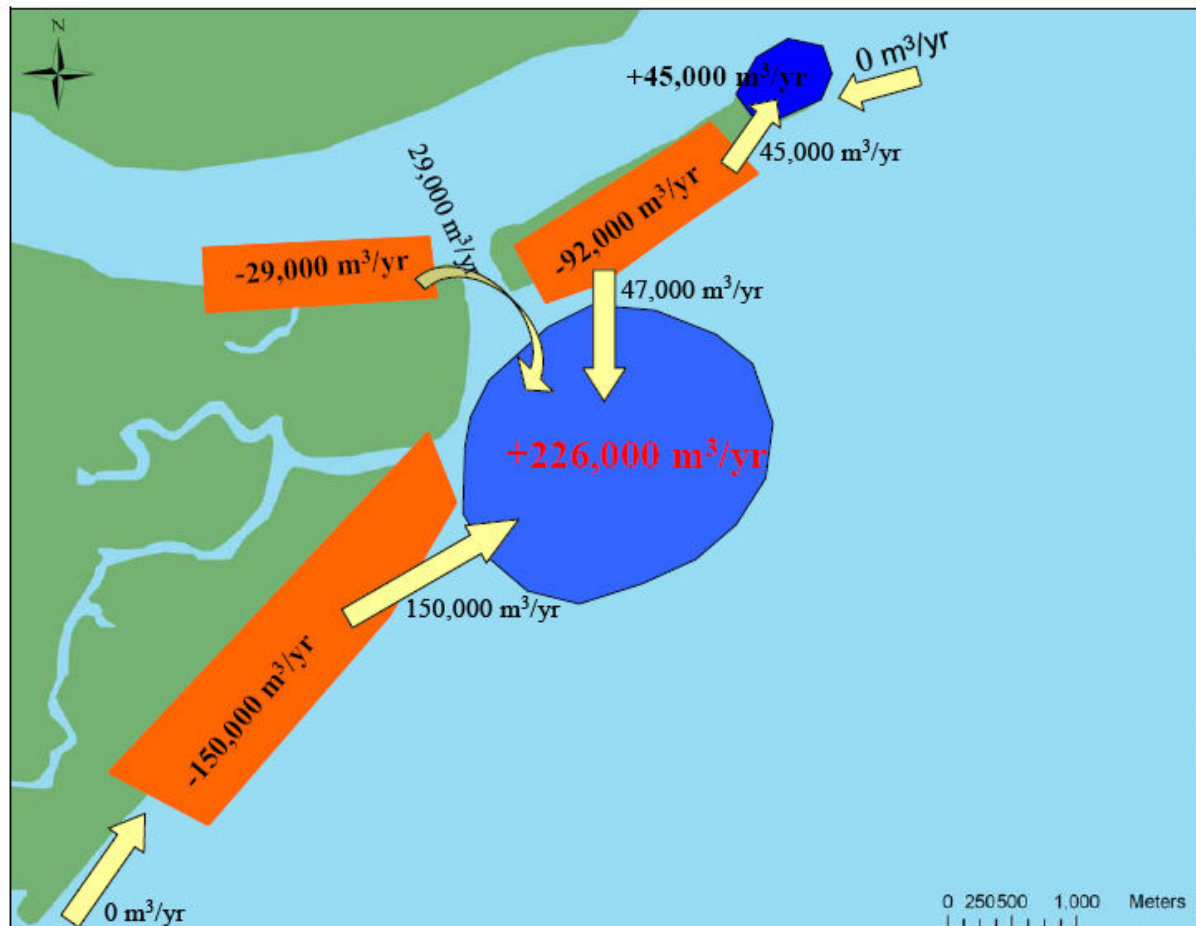


Figura 5.1.5-241 – Balanço sedimentar histórico proposto

5.1.5.11.12 Processo erosivo das praias adjacentes à Boca do Tomba

5.1.5.11.12.1 Considerações Gerais

O processo erosivo da linha de costa no entorno da área de influência do empreendimento pode ser verificado através de levantamentos de perfis de praia, que teve início em junho de 2000. Este acompanhamento da evolução dos perfis foi realizado para verificar possíveis impactos na morfologia da linha de costa originados pela implantação e manutenção por dragagem do Canal de Acesso ao Terminal Navios-Barcaça da Aracruz Celulose S.A., em Caravelas.

Nos estudos conduzidos por DHI (2000a), conclui-se que a abertura a dragagem da barra de Vazante do Canal do Tomba, não resultaria em nenhuma alteração da hidrodinâmica ou dos processos litorâneos da região do entorno do empreendimento, incluindo a dinâmica no interior do estuário. De fato, os monitoramentos comprovaram que nenhuma alteração nos padrões de correntes, ondas ou sedimentação foi detectada na região do entorno do empreendimento. A razão por não ocorrerem modificações na hidrodinâmica e

sedimentologia em áreas que não as estritamente dragadas, reside no fato de que a dragagem é realizada somente em sua barra de vazante, e não em sua seção transversal crítica, a qual já possui grandes profundidades naturais. A modificação da seção transversal crítica, esta sim poderia gerar alterações na dinâmica estuarina e costeira de forma significativa.

O estudo de DHI (2000a) também previa que os processos erosivos já existentes não seriam potencializados. Entretanto, como medida mitigadora preventiva foi instituído um programa de monitoramento dos perfis de praia para a região.

Como referência, na fase de pré-operacional do empreendimento foram realizadas duas campanhas (Junho/2000 e Março/2001) para se estabelecer uma linha de base para os perfis das praias. Até o presente foram levantados os seguintes perfis topográficos, que perfazem um total de 13 campanhas:

- junho de 2000;
- março de 2001;
- agosto de 2002;
- maio de 2003;
- agosto de 2003;
- novembro de 2003;
- fevereiro de 2004;
- maio de 2004;
- agosto de 2004;
- fevereiro de 2005;
- junho de 2005;
- abril de 2006;
- abril de 2007.

Os levantamentos dos perfis têm sido executados nas mesmas posições e alinhamentos desde 2000. Os perfis estão distantes entre si de 300 a 700 metros e distribuídos do seguinte modo:

- S01, S02, S03 e S04 – nas margens do Canal do Tomba;
- S05, S06 e S07 – na linha de costa adjacente ao Canal do Tomba na Ilha Pontal do Sul;
- S08, S09, S10, S11, S12, S13 – na linha de costa adjacente ao Canal do Tomba (praia de Barra Nova) na Ilha do Cassurubá.

A Figura 5.1.5-242 apresenta a localização dos perfis em planta. A localização com as coordenadas dos mesmos pode ser encontrada no item 8.2. Da Figura 5.1.5-243 à Figura 5.1.5-246 são apresentados, em detalhe, os perfis em imagens de satélite.

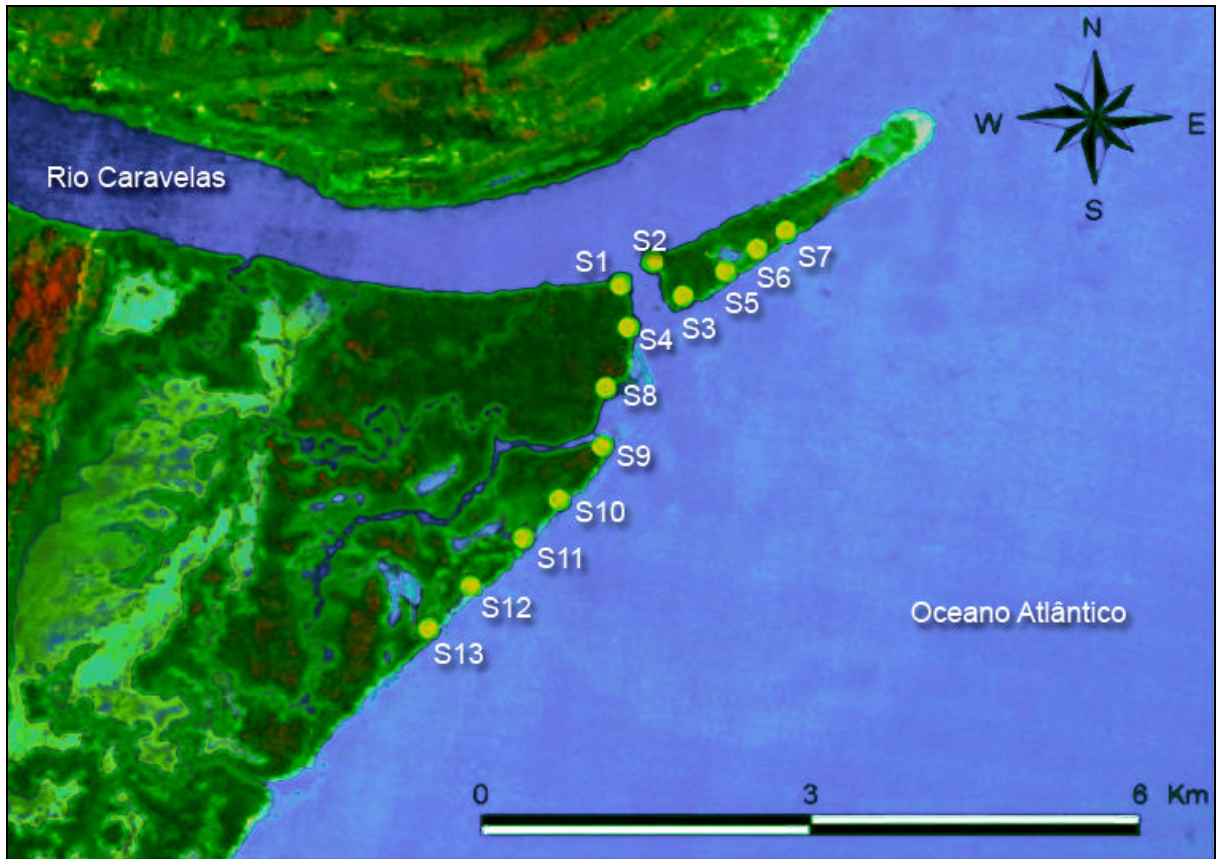


Figura 5.1.5-242 – Localização dos Perfis



Figura 5.1.5-243 – Detalhe de imagem de satélite do canal do Tomba mostrando a localização dos perfis S1 a S4



Figura 5.1.5-244 – Detalhe de imagem de satélite do canal do Tomba mostrando a localização dos perfis S5 a S7

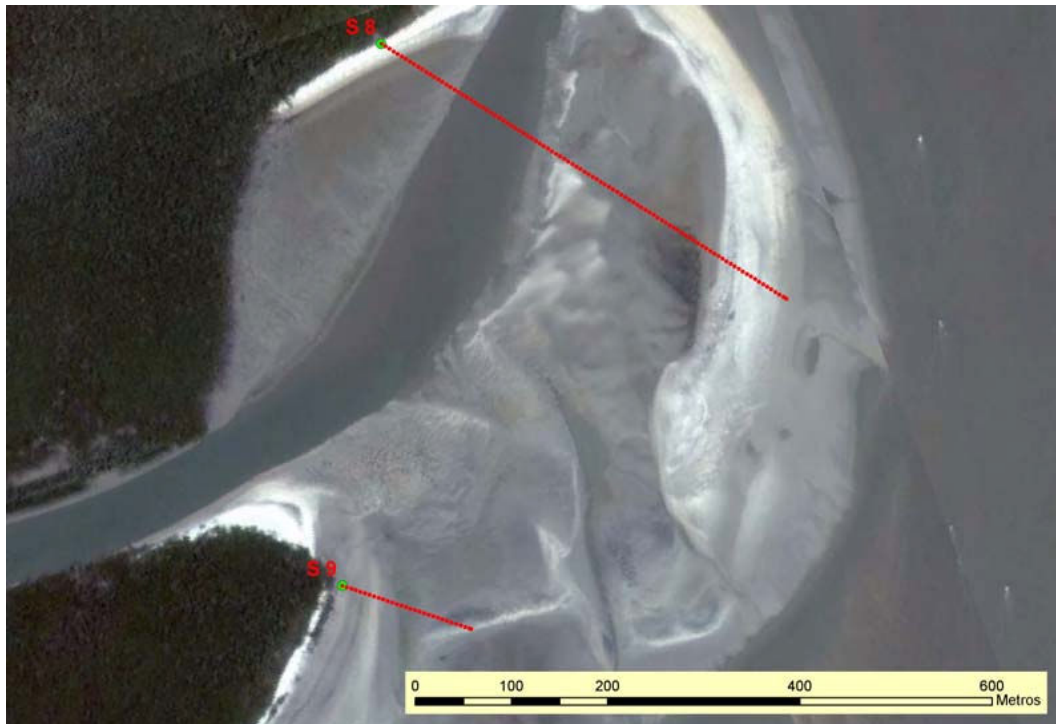


Figura 5.1.5-245 – Detalhe de imagem de satélite do canal do Tomba mostrando a localização dos perfis S8 e S9



Figura 5.1.5-246 – Detalhe de imagem de satélite do canal do Tomba mostrando a localização dos perfis S10 a S13

5.1.5.11.12.2 Resultados

5.1.5.11.12.2.1 Perfil S01

O último levantamento realizado em abril de 2007 constatou a continuação do recuo da linha de costa na região do Perfil S01. Analisando-se em conjunto com os últimos levantamentos, observa-se que a taxa de recuo deste último ano está menor que a média da série de monitoramentos e que o perfil recuperou-se da erosão sofrida em seu trecho inferior. As vistas do perfil S01 são apresentadas na Figura 5.1.5-247 e Figura 5.1.5-248.

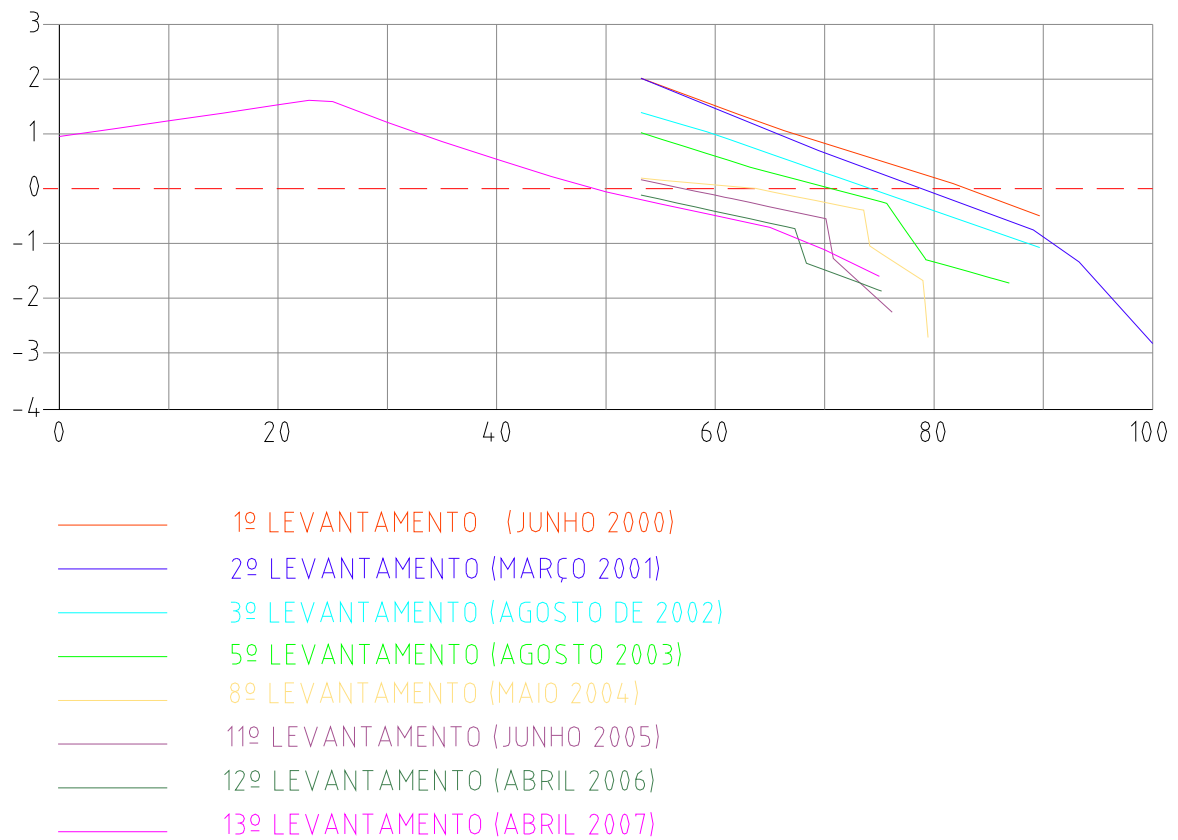




Figura 5.1.5-247 – Vista do Perfil S01, do canal em direção ao marco M1



Figura 5.1.5-248 – Vista do Perfil S01 do canal em direção ao marco M1

5.1.5.11.12.2.2 Perfil S02

Considerando-se toda a série de monitoramentos realizados até o presente, verifica-se um contínuo rebaixamento e recuo ao longo de todo o perfil S02. Porém, este recuo não se apresenta uniforme no tempo, com episódios de progradação da linha de costa e recuperação do perfil (por exemplo, entre Junho de 2000 e Março de 2001), que foram logo após seguidos por períodos de erosão. Assim, embora o perfil S02 por vezes apresente momentos de progradação de linha de costa, a resultante erosiva é que tem permanecido a longo prazo. As vistas do perfil S02 são apresentadas na Figura 5.1.5-249 à Figura 5.1.5-251

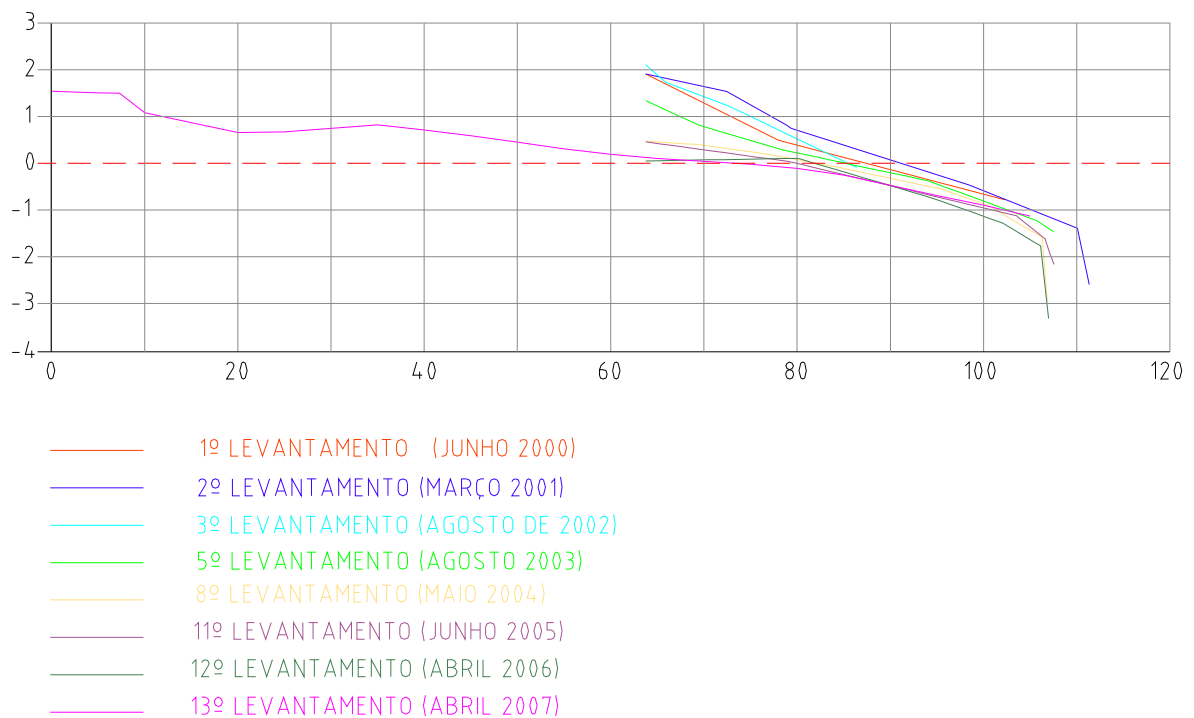




Figura 5.1.5-249 – Vista do Perfil S02, do marco M2 em direção ao canal



Figura 5.1.5-250 – Vista do Perfil S02, do marco M2A em direção ao canal



Figura 5.1.5-251 – do Perfil S02, da margem do canal em direção ao marco M2

5.1.5.11.12.2.3 Perfil S03

O levantamento de abril de 2007 constatou a continuação do recuo da linha de costa na região do Perfil S03. Considerando-se o conjunto de dados pretéritos nota-se que a taxa de recuo tem sofrido variações ao longo dos anos de monitoramento, porém sempre apresentando resultante de recuo. Imagens do Perfil S03 são apresentadas na Figura 5.1.5-252 a Figura 5.1.5-254.

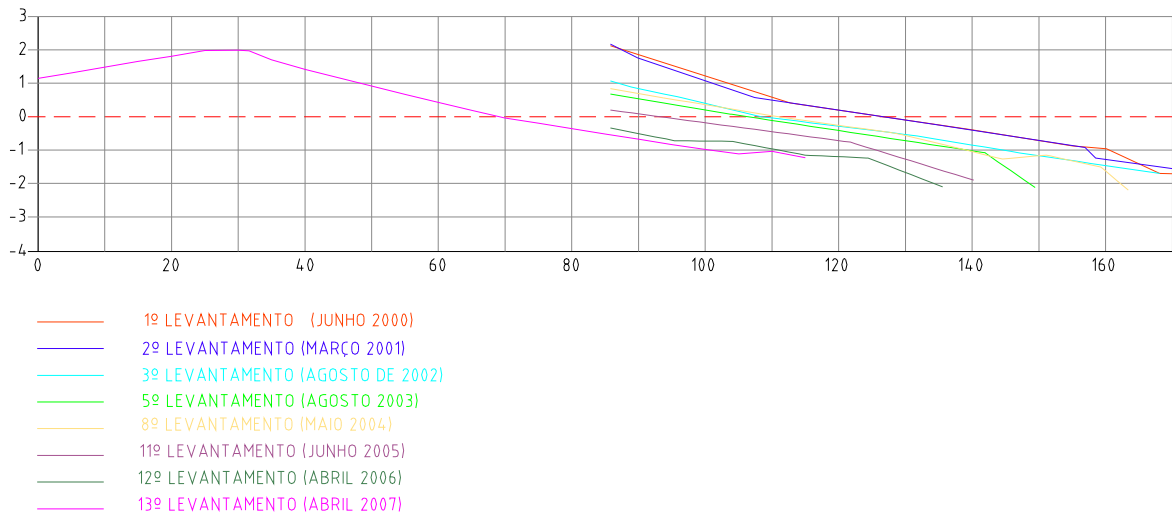


Figura 5.1.5-252 – Vista do Perfil S03, do marco M3 em direção a boca do canal



Figura 5.1.5-253 – Vista do Perfil S03, da margem do canal em direção ao marco M3



Figura 5.1.5-254 – Vista lateral do Perfil S03, da praia em direção ao marco M3

5.1.5.11.12.2.4 Perfil S04

O levantamento de abril de 2007 constatou um pequeno recuo da linha de costa na região do Perfil S04 (Figura 5.1.5-255 e Figura 5.1.5-256). Observa-se que a magnitude da taxa de recuo tem diminuído desde 2005.

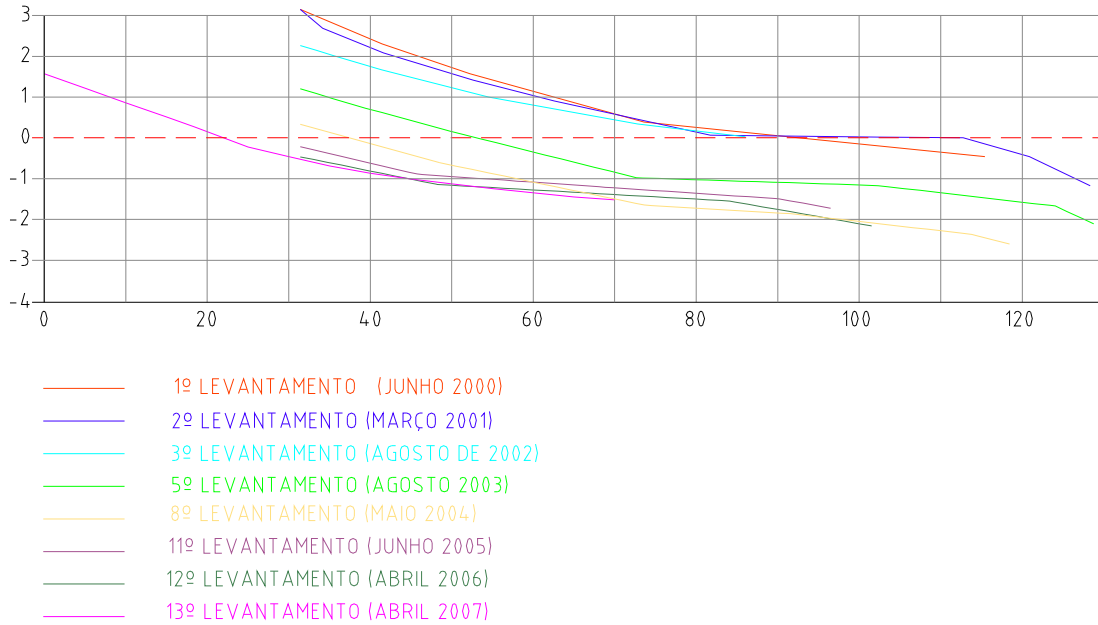




Figura 5.1.5-255 – Vista do Perfil S04, do canal em direção ao marco M4



Figura 5.1.5-256 – Vista do Perfil S04, da margem do canal em direção ao marco M4

5.1.5.11.12.2.5 Perfil S05

O levantamento de abril de 2007 verificou a continuidade do recuo da linha de costa na região do Perfil S05 (Figura 5.1.5-257 à Figura 5.1.5-260), com perda de sedimentos ao longo de todo o perfil. Analisando-se em conjunto todos os dados de fotos e imagens pretéritos ao monitoramento, nota-se que a taxa de recuo média atual (-4,4 m/ano) ainda é inferior à média de longo período calculada antes do início das operações de dragagem (-9,5 m/ano entre 1957 e 2001).

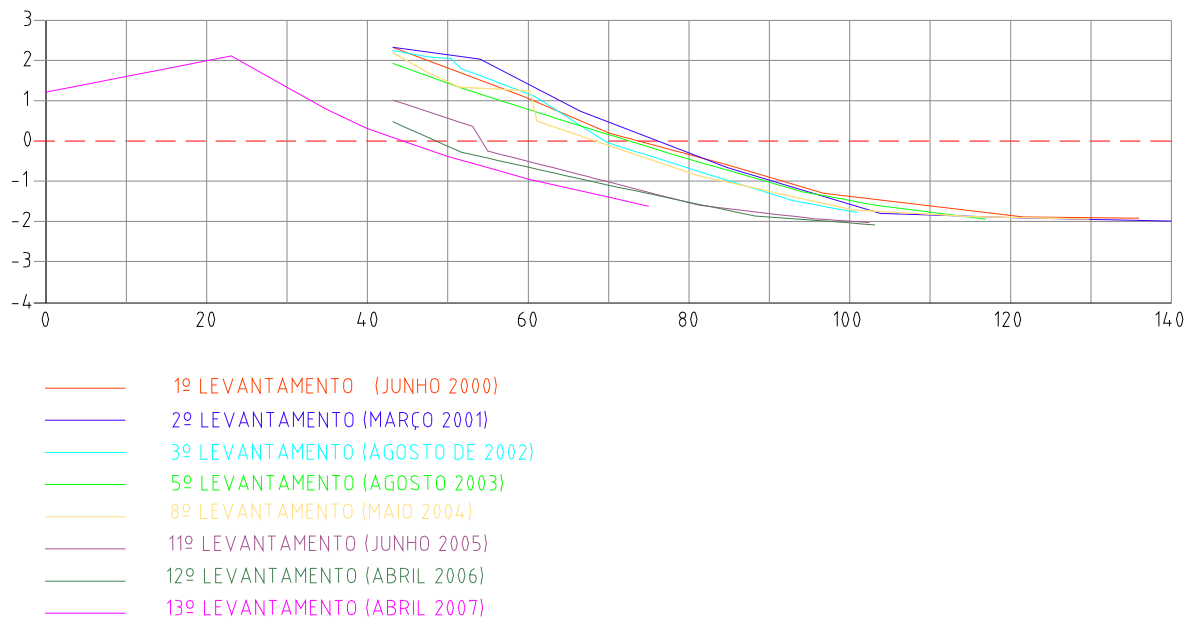




Figura 5.1.5-257 – Vista do Perfil S05, do marco M5A em direção ao mar



Figura 5.1.5-258 – Vista do Perfil S05, da linha d'água em direção ao marco M5



Figura 5.1.5-259 – Vista da praia a partir do Perfil S05 em direção ao marco M6



Figura 5.1.5-260 – Vista da praia a partir do Perfil S05 direção ao marco M3

5.1.5.11.12.2.6 Perfil S06

A mesma condição de estabilidade, verificada entre os monitoramentos de 2005 e 2006, foi constatada para o Perfil S06 no levantamento de abril de 2007 em relação ao levantamento de abril de 2006 (Figura 5.1.5-261 a Figura 5.1.5-264). A comparação da forma do perfil demonstrou na prática nenhuma alteração.

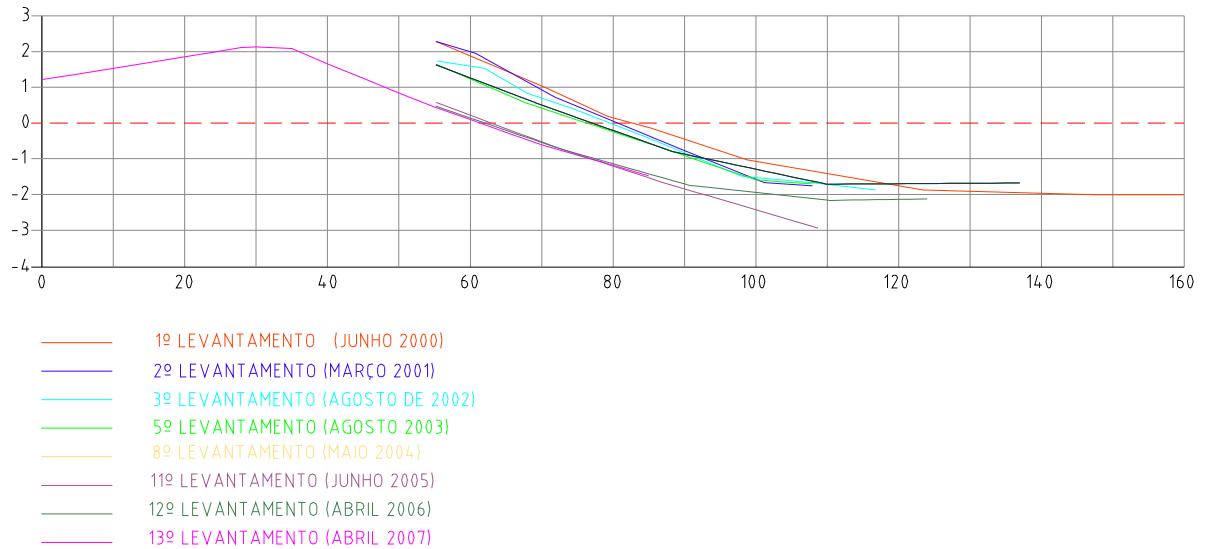




Figura 5.1.5-261 – Vista do Perfil S06, do marco M6A em direção ao mar



Figura 5.1.5-262 – Vista do Perfil S06, da linha d'água em direção ao marco M6



Figura 5.1.5-263 – Vista da praia a partir do Perfil S06 em direção ao marco M5



Figura 5.1.5-264 – Vista da praia a partir do Perfil S06 em direção ao marco M7

5.1.5.11.12.2.7 Perfil S07

De fevereiro de 2005 a junho de 2005 o perfil tinha se recuperado de um processo erosivo verificado desde o início dos levantamentos em 2001. Após julho de 2005, observou-se a retomada do processo erosivo, sendo que a taxa estimada em 2007 aproxima-se do valor calculado historicamente entre 1957 e 2001 a partir de fotografias aéreas e imagens de satélite.

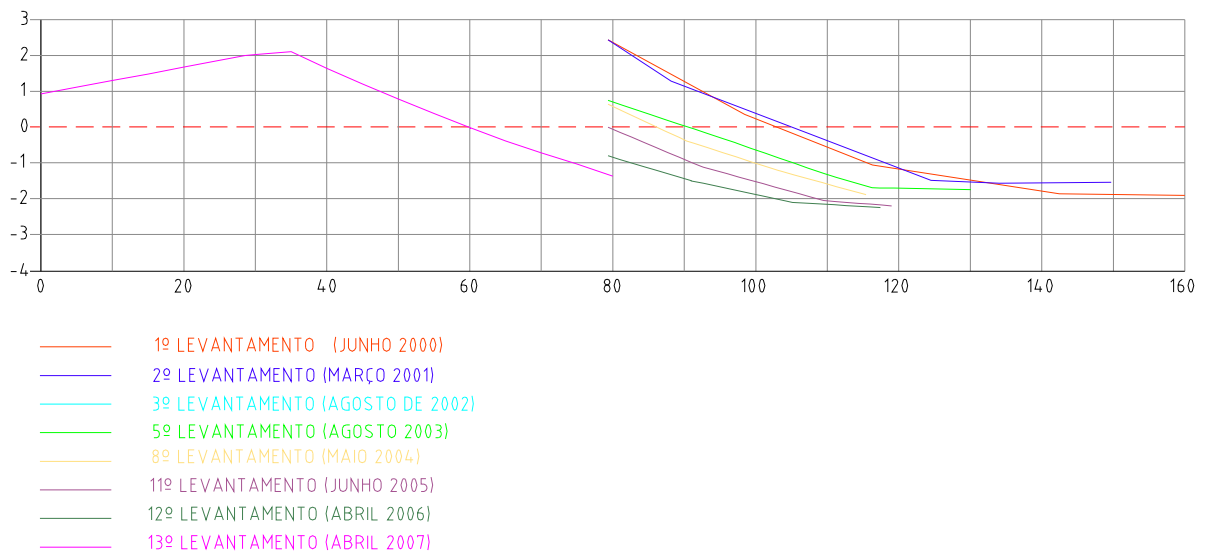




Figura 5.1.5-265 – Vista do Perfil S07, do marco M7 em direção ao mar



Figura 5.1.5-266 – Vista do Perfil S07, da linha d'água em direção ao marco M7



Figura 5.1.5-267 – Vista da praia a partir do Perfil S07 em direção ao marco M6



Figura 5.1.5-268 – Vista da praia a partir do Perfil S07 em direção a extremidade NE da Ilha

5.1.5.11.12.2.8 Perfil S08

No trecho inicial do perfil observam-se poucas alterações significativas. Embora desde fevereiro de 2005, esse setor do perfil apresente acúmulos consideráveis de sedimento, o último levantamento verificou um pequeno recuo e rebaixamento. As vistas do Perfil S08 são apresentadas na Figura 5.1.5-269 e Figura 5.1.5-270.

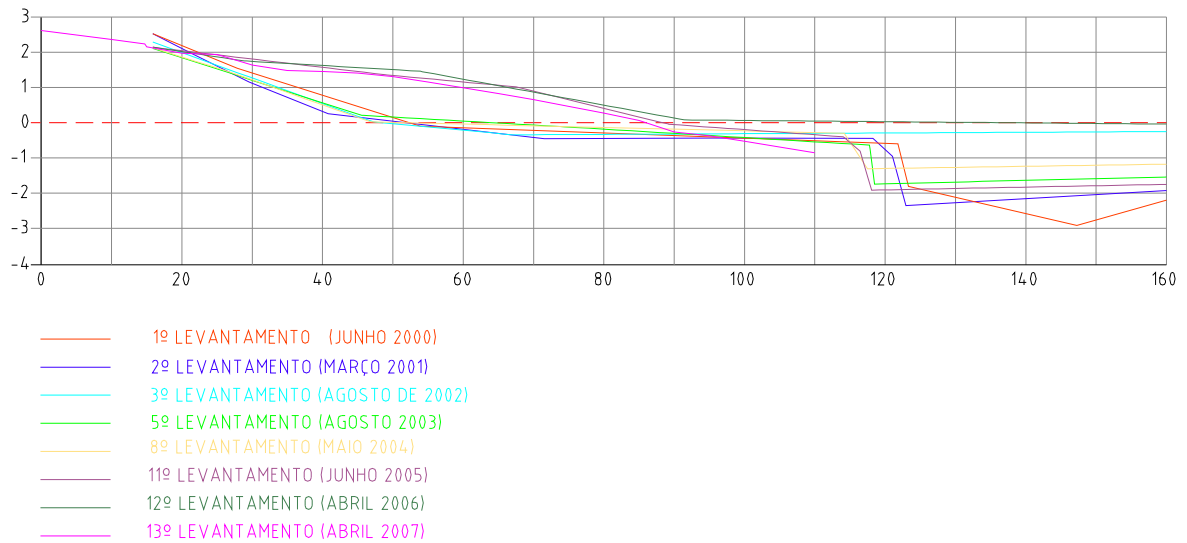




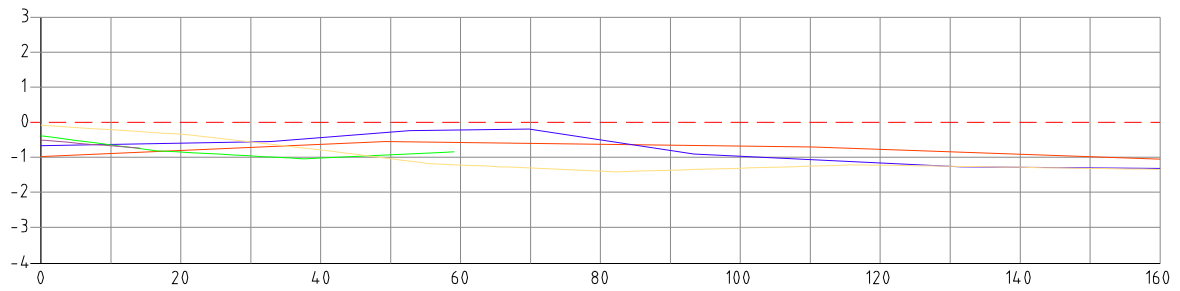
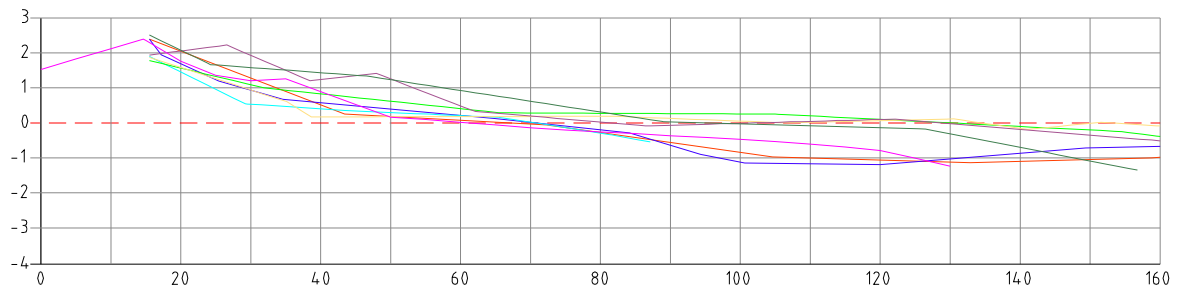
Figura 5.1.5-269 – Vista do Perfil S08, a partir do marco M8 em direção costa afora



Figura 5.1.5-270 – – Vista do Perfil S08, em direção ao marco M8

5.1.5.11.12.2.9 Perfil S09

O último levantamento de abril de 2007 constatou uma perda de sedimentos ao longo de todo o perfil S09 (Figura 5.1.5-271, Figura 5.1.5-272 e Figura 5.1.5-273). Foi verificado um pequeno recuo da linha de costa, pouco significativo, sendo que o aumento da declividade foi a maior mudança observada.



- 1º LEVANTAMENTO (JUNHO 2000)
- 2º LEVANTAMENTO (MARÇO 2001)
- 3º LEVANTAMENTO (AGOSTO DE 2002)
- 5º LEVANTAMENTO (AGOSTO 2003)
- 8º LEVANTAMENTO (MAIO 2004)
- 11º LEVANTAMENTO (JUNHO 2005)
- 12º LEVANTAMENTO (ABRIL 2006)
- 13º LEVANTAMENTO (ABRIL 2007)



Figura 5.1.5-271 – Vista do Perfil S09, a partir do marco M9 durante o levantamento com estação total



Figura 5.1.5-272 – Vista do Perfil S09 a partir do marco M9



Figura 5.1.5-273 – Vista do Perfil S09, rumo ao marco M9

5.1.5.11.12.2.10 Perfil S10

O Perfil 10 encontra-se em progradação quando se considera o início dos registros em 2000, sendo que em abril de 2006 o mesmo alcançou sua mais extensa condição de progradação. Na Figura 5.1.5-274 apresenta-se uma vista do Perfil S10.

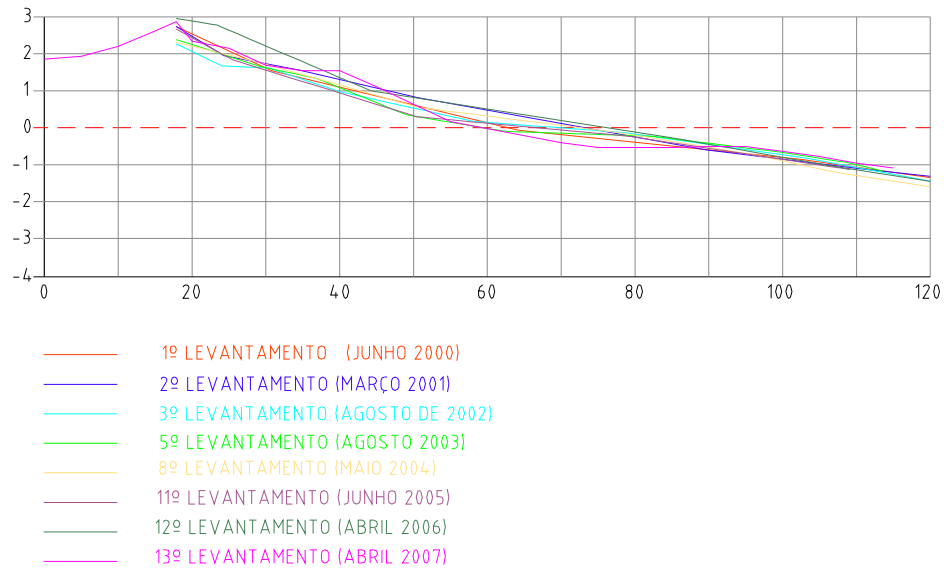


Figura 5.1.5-274 – Vista do Perfil S10 rumo ao marco M10

5.1.5.11.12.2.11 Perfil S11

O levantamento de abril de 2007 constatou que o perfil S11 se mantém estável sem variação significativa relativamente aos últimos levantamentos realizados, observando-se neste último levantamento um pequeno acréscimo sedimentar do perfil. Na Figura 5.1.5-275 apresenta-se uma imagem do Perfil S11.

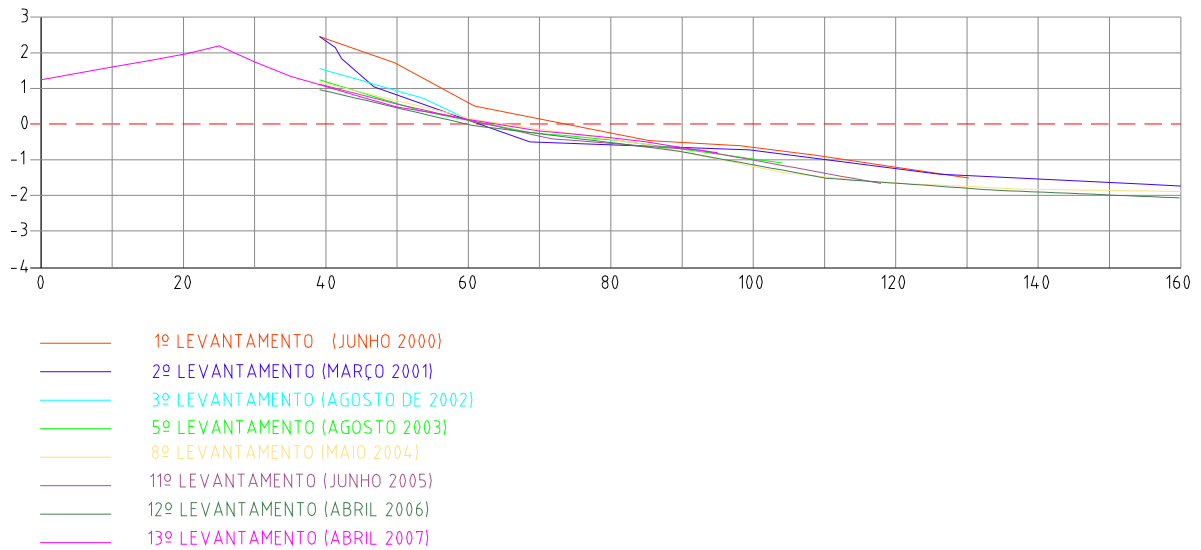


Figura 5.1.5-275 – Vista da linha d'água em direção ao marco M11 (Perfil S11).

5.1.5.11.12.2.12 Perfil S12

O perfil S12 (Figura 5.1.5-276) se mantém estável, sem variação de posicionamento de linha de costa significativa desde o início dos levantamentos.

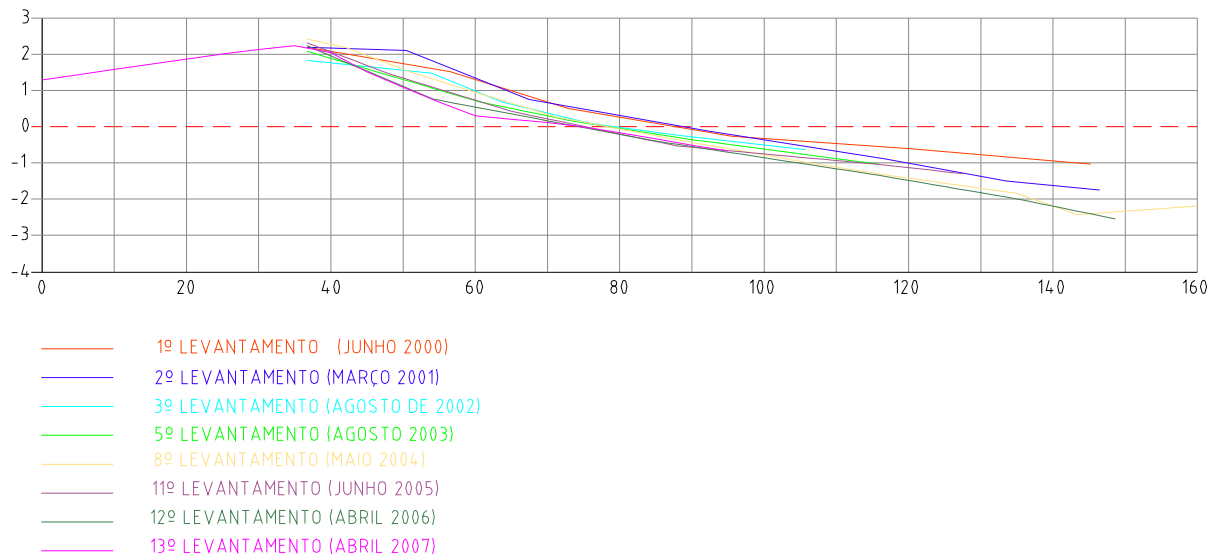


Figura 5.1.5-276 – Vista do Perfil S12 rumo ao marco M12

5.1.5.11.13 Perfil S13

O último levantamento de abril de 2007 verificou que o perfil S13 (Figura 5.1.5-277) apresentou boa recuperação, com acúmulo de sedimentos, relativamente ao último levantamento anterior, principalmente na parte superior do perfil. A parte inferior do perfil sofreu um pequeno rebaixamento. Este acréscimo de sedimentos observado entre 2006 e 2007 repete em menor magnitude a evolução constatada entre 2005 e 2006.

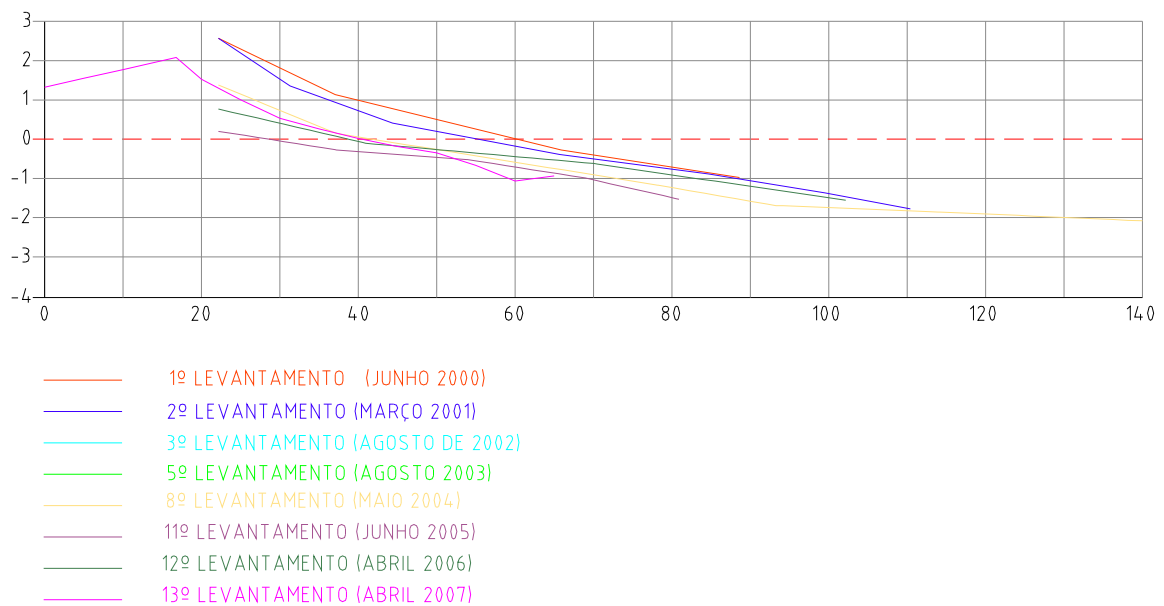




Figura 5.1.5-277 – Vista do Perfil S13 rumo ao marco M13

5.1.5.11.13.1 Análise da Evolução da Linha de Costa da área de influência direta

Conforme comentado, a tendência de erosão da linha de costa do entorno do Canal do Tomba, de longo prazo, resulta de dois fatores principais:

- Retenção de sedimentos do transporte litorâneo longitudinal sentido NE pela Ponta do Catoeiro, situada mais a sul;
- Abertura do Canal do Tomba, no início da década de 60.

Os perfis S01, S02, S03 e S04, que margeiam a Boca do Tomba, continuam apresentando recuos erosivos, que resultam em um paulatino aumento de largura da Boca do Tomba, sendo que o maior recuo é verificado na margem SW (perfis S01 e S04). A evolução de linha de costa verificada para estes perfis durante o monitoramento é compatível com aquela obtida a partir da comparação de fotos aéreas e imagens para o período entre 1957 e 2001. Ressalta-se que estudos morfodinâmicos realizados pelo Laboratório de Hidráulica dinamarquês – Danish Hydraulic Institute concluem que o processo de abertura do Canal do

Tomba ainda está em curso, embora bem próximo da estabilidade, sendo ainda esperado um aumento de largura e profundidade de sua desembocadura.

Os perfis situados ao norte (S05, S06 e S07) e ao sul (S11 a S13) da desembocadura apresentaram durante todo o período de monitoramento tendência geral de recuo erosivo, tendência esta também verificada para o período entre 1957 e 2001 através de cálculos realizados a partir das fotos aéreas e imagens de satélite.

O perfil S10 apresentou recuo até 2005, porém entre 2005 e 2006 foi detectada uma expressiva progradação. Entre 2006 e 2007 verificou-se um rebaixamento do perfil sem variação significativa da posição de linha de costa. O perfil S10 está aparentemente em um ponto de transição entre progradação verificada a NE e recuo a SW, isto é, entre os perfis S09 e S11.

Os perfis S08 e S09 continuam sendo os únicos onde se verificou claramente uma tendência de progradação da linha de costa ao longo de todo o período de monitoramento, e estão associados ao desenvolvimento de um pequeno delta de maré vazante da embocadura de um pequeno canal de maré que desemboca no Canal do Tomba.

A análise dos dados de 1957 a 2001 (série de longo prazo) indica ocorrência de um recuo generalizado da linha de costa, o que é confirmado pelos levantamentos topográficos recentes (série de curto prazo). Com exceção dos perfis S8, S9 e S10, todos os demais apresentam recuo em direção ao continente e rebaixamento, confirmando um comportamento de recuo erosivo generalizado da linha de costa que afeta a região de forma natural há mais de 45 anos.

Ainda, a análise de fotos aéreas e imagens de satélite do período entre 1957 e 2001 (Figura 5.1.5-278) e dos levantamentos de perfis de praia entre 2000 e 2007 permite calcular taxas de recuo da linha de costa das praias adjacentes ao Canal do Tomba em Caravelas. Assim, a Figura 5.1.5-279 apresenta as taxas de recuo calculadas considerando-se as imagens de 1957 a 2001, que são anteriores à obra de dragagem, e as taxas de recuo calculadas a partir dos perfis levantados topograficamente (período de 2000 a 2007 e período de abril/2006 a abril/2007).

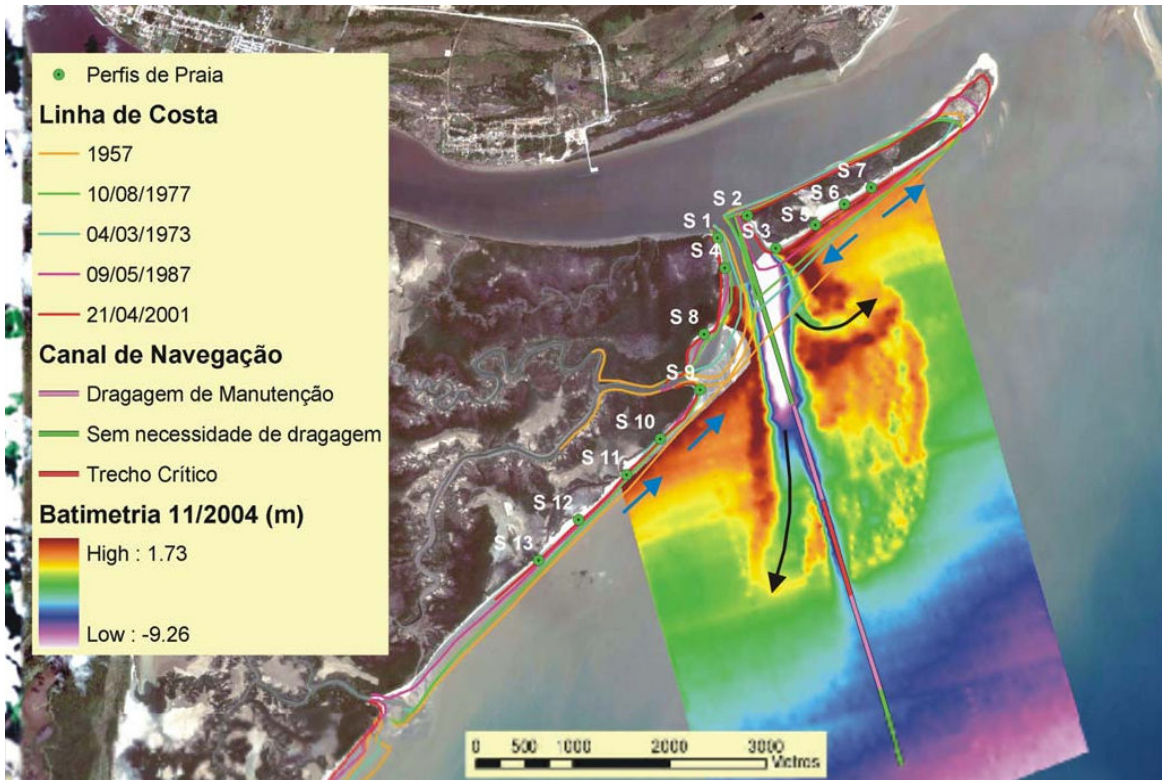


Figura 5.1.5-278 – Linhas de costa pretéritas obtidas através de fotografias aéreas e imagens de satélite

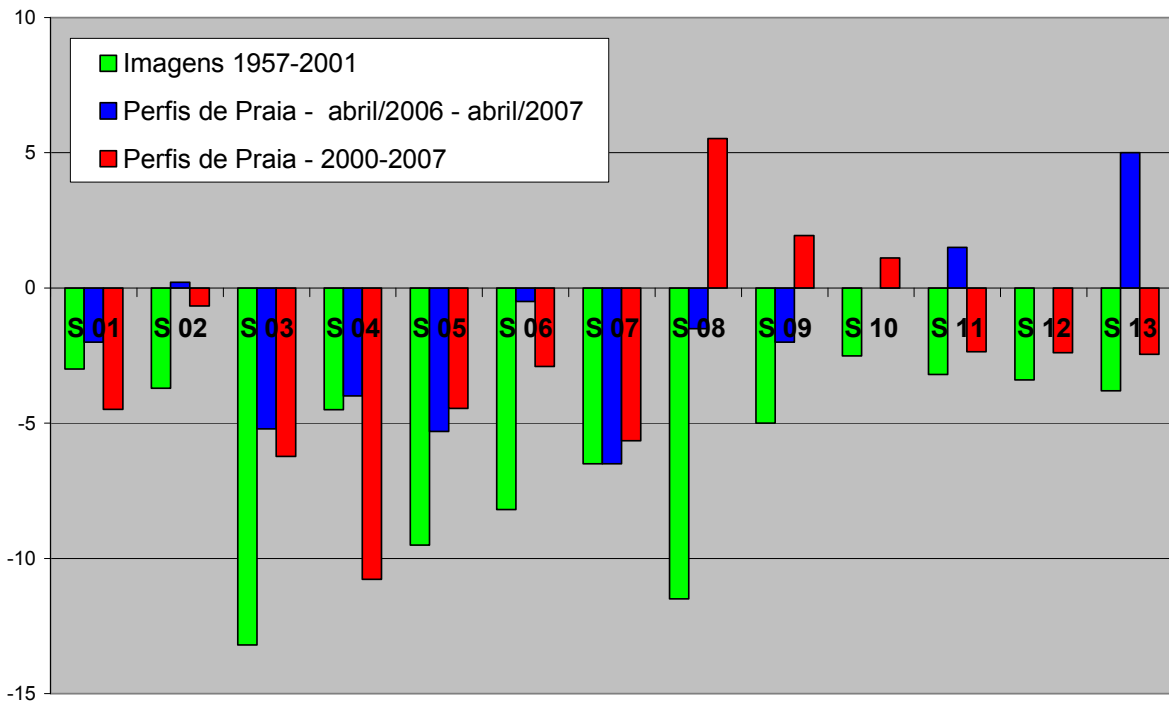


Figura 5.1.5-279 – Taxas de recuo da linha de costa de todos os perfis

Quando se analisa o período de 2000 a 2007 (com obra de dragagem entre 2002 e 2007) relativamente ao período de 1957 a 2001 (sem obra de dragagem) observa-se:

- Seções S1 e S4 apresentam uma taxa de recuo maior no período de 2000 a 2007 que a taxa do período de 1957 a 2001;
- Seções S02, S03, S05, S06, S07, S11, S12 e S13 apresentam uma taxa de recuo inferior no período de 2000 a 2007 que a taxa do período de 1957 a 2001;
- Seções S08, S09 e S10 apresentam progradação da linha de costa no período de 2000 a 2007, indo contra a taxa do período de 1957 a 2001, que apresenta recuo.

Ainda, comparando-se os dados evolutivos da linha de costa dos períodos 1957-2001 e 2000-2007, tem-se que excetuando-se as seções S1 e S4, houve uma desaceleração da taxa de recuo, isto é, no passado a maioria dos perfis de praia apresentou uma taxa de recuo da linha de costa maior que a constatada atualmente.

Assim, os levantamentos topográficos desta linha de costa, embora representem poucos anos, são coerentes com a evolução verificada a partir das fotos e imagens de 1957 a 2001.

5.1.5.11.13.2 Conclusões

A análise de imagens de 1957 a 2001 (dados de longo período) indica a ocorrência e tendência de um recuo generalizado da linha de costa no entorno do Canal do Tomba, o que é confirmado pelos levantamentos topográficos recentes (dados de curto período), isto é, um recuo da linha de costa vem acontecendo de forma natural a longo prazo. Esta erosão antecede as operações de dragagem e descarte no canal do Tomba.

Superimpostas a estas tendências de longo prazo são observadas variações de alta frequência durante as quais os perfis podem se manter estáveis e até mesmo apresentarem uma reversão de comportamento (por exemplo de recuo para progradação). Estas variações de alta frequência são naturais e ligadas à dinâmica e à aleatoriedade das condições oceano-meteorológicas.

As séries temporais de todos os perfis levantados topograficamente, com exceção dos perfis S01 e S04 (margem SW da Boca do Tomba), indicam taxas de recuo de linha de costa inferiores às obtidas da análise dos dados de 1957 a 2001, indicando aparente desaceleração do processo erosivo.

O último levantamento, realizado em abril de 2007, apresenta perfis com magnitudes de recuo de linha de costa compatíveis com as taxas já observadas anteriormente, com alguns

perfis apresentando poucas variações em relação ao levantamento anterior, realizado em abril de 2006.

Assim, fundamentando-se nos dados pretéritos e atuais, não se constata nenhuma relação direta ou indireta da dragagem do acesso ao Canal do Tomba com relação ao processo erosivo observado nas praias do seu entorno.

5.1.5.12 Levantamento Batimétrico do Canal de Navegação e seu entorno

No anexo Q são apresentadas as seguintes plantas:

- Planta 1 – A batimetria do canal de navegação realizada em abril de 2008;
- Planta 2 – A batimetria do entorno do canal realizada em fevereiro de 2007.