

7. PROGRAMA DE MODELAGEM OPERACIONAL DA PLUMA DE SEDIMENTOS..... 1

7.1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
7.2. METODOLOGIA	1
7.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
7.3.1. <i>Atividades desenvolvidas no 1º semestre: Fevereiro a Junho de 2010</i>	31
7.3.2. <i>Atividades desenvolvidas no 2º semestre: Junho a Novembro de 2010</i>	32
7.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
7.5. CRONOGRAMA.....	86
7.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
7.7. EQUIPE TÉCNICA	91
7.8. ANEXO	91

7. Programa de Modelagem Operacional da Pluma de Sedimentos

7.1. Introdução e Objetivos

Este programa tem a finalidade de fornecer previsões meteorológicas e oceanográficas customizadas na região da Baía de Santos e zona costeira adjacente, para dar suporte ao monitoramento das atividades de dragagem da realizadas no Porto Organizado de Santos.

No âmbito do projeto de aprofundamento do Porto de Santos, é de extrema importância o monitoramento das condições meteorológicas e oceanográficas para auxiliar o planejamento das operações de dragagem e descarte pela Codesp. Neste contexto, além das previsões meteorológicas e oceanográficas descritas acima, este projeto também proporcionará à Codesp uma ferramenta de gestão, capaz de avaliar em que condições ambientais (ventos, marés, ondas e circulação oceânica) poderão ocorrer o transporte da pluma de descarte de material dragado para a costa ou em direção a recursos naturais específicos.

A seguir são descritas as atividades realizadas no período de 15 de Junho a 01 de Dezembro de 2010, referente ao programa de “Modelagem Operacional da Pluma de Sedimentos” - PBA 07. Uma descrição detalhada das atividades realizadas no período anterior (28 de dezembro de 2009 a 14 de junho de 2010) foi apresentada no Primeiro Relatório Semestral de Atividades (Fundespa, 2010).

7.2. Metodologia

Para este programa, de forma a atender os objetivos específicos da Codesp, está sendo utilizada uma combinação de dados ambientais e diferentes tipos de modelos computacionais (hidrodinâmico, ondas, atmosférico, de descarte de material dragado, e de transporte de sedimentos) para implementação de um sistema operacional. O produto final será uma ferramenta de gestão que dará suporte às tomadas de decisões para atividades marítimas envolvendo as operações de dragagem e descarte da Codesp.

Para atender esta demanda é necessária uma combinação das informações de: (1) operação de dragagem; (2) modelagem atmosférica para previsão do campo de ventos; (3) modelagem hidrodinâmica para previsão do campo de correntes; (4) modelagem de ondas para determinação do clima de ondas incidente e, finalmente (5) modelagem da operação de descarte e dispersão da pluma utilizando o modelo SSFATE. Posteriormente, são elaborados os boletins e previsão conforme apresentado no Plano de Trabalho.

7.2.1. Modelagem Atmosférica

A fim de proporcionar resultados que reproduzam as características da circulação local da região de Santos foi implementado um modelo atmosférico regional em modo operacional. O modelo escolhido foi o núcleo Nonhydrostatic Mesoscale Model (NMM) do Weather Research and Forecasting (WRF- Janjic, 2003). O WRF-NMM foi desenvolvido pelas instituições National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)/National Centers for Environmental Prediction (NCEP) e foi projetado para ser um código do estado da arte da modelagem atmosférica regional, portátil, flexível e que seja eficiente em um ambiente de computação paralela. O WRF é adequado para aplicações em diversas escalas, variando de metros a milhares de quilômetros.

O WRF contém três sub-componentes principais: WRF Preprocessing System (WPS); NMM solver; e WRF-NMM solver.

As funções do WPS são usadas para definir o domínio da simulação; interpolar dados terrestres (como topografia, uso do solo e tipos de solo) para o domínio da simulação; ler e interpolar os dados meteorológicos de outro modelo para o domínio do WRF. Os dados processados pelo WPS vêm de simulações de modelos de grande escala.

O núcleo do modelo integra no tempo o estado da atmosfera para produzir a previsão. Este núcleo é formulado utilizando princípios físicos básicos, como a conservação de massa, conservação de momento, conservação de energia termodinâmica e a equação da transferência radiativa. As principais variáveis previstas pelo modelo são: pressão, temperatura, umidade específica, quantidade

de água condensada em nuvens, energia cinética turbulenta e componentes do vento. Algumas importantes características do modelo são:

- Modelo compressível, não-hidrostático;
- Coordenada vertical híbrida (pressão-sigma);
- Grade E de Arakawa;
- Conservação de quantidades de primeira e segunda ordem, incluindo energia (Janjic, 1984);
- Opções físicas para superfície, camada limite planetária, radiação atmosférica e de superfície, microfísica e convecção de cumulus;
- Aninhamento de diversas grades.

O programa WPP foi elaborado para interpolar os arquivos de saída do modelo em níveis de pressão e projeções padrões em um arquivo de formato netcdf.

O WRF-NMM está sendo forçado com dados de previsão global do modelo GFS/NCEP (resolução espacial de 0,5° e resolução temporal de 3 horas). Para melhor resolver a dinâmica da região de interesse foram elaboradas duas grades aninhadas, que proporcionam uma alta resolução espacial do modelo. A primeira grade foi implementada para a costa do SE do Brasil (resolução espacial de aproximadamente 10 km) e a segunda grade para a costa de São Paulo (resolução espacial de aproximadamente 3 km), centrada na região de Santos (Figura 7.2.1-1). A resolução final obtida proporciona representação satisfatória de circulações de escala local (como a circulação associada à brisa marítima) que são essenciais para a definição das condições do tempo na região e para a forçante do modelo hidrodinâmico de alta resolução. O modelo é integrado em 38 níveis, com maior resolução em níveis próximos à superfície.

Como produto final, o modelo fornece resultados horários para 3 dias, que fundamentam as previsões meteorológicas descritivas dos boletins e fornecem informações de temperatura do ar, pressão atmosférica ao nível do mar, quantidade de nuvens, precipitação, direção e intensidade do vento. Além disto,

as previsões de pressão e vento em superfície são utilizadas para forçar o modelo hidrodinâmico de alta resolução.

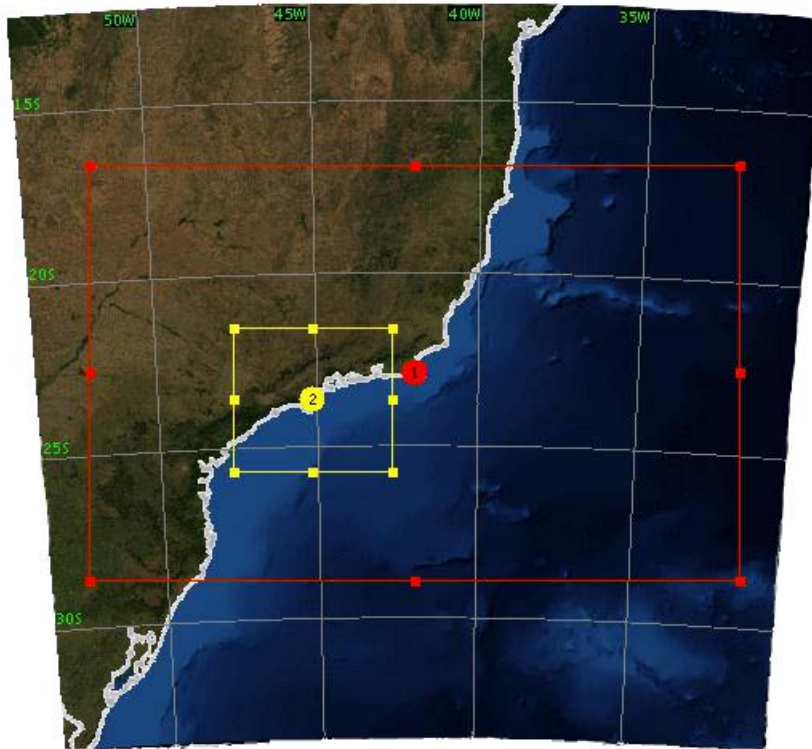


Figura 7.2.1-1. Domínios das duas grades do WRF.

7.2.2. Modelagem de Ondas

A remobilização de sedimentos tem como principal agente a circulação oceânica junto ao fundo. Do ponto de vista do transporte de partículas, esta velocidade na camada limite de fundo é o resultado da composição da corrente de fundo com a velocidade orbital de ondas junto ao fundo. Portanto, para estudos numéricos desta natureza é de grande importância a incorporação do sinal dinâmico associado ao campo de ondas.

Para simulação dos campos de ondas são utilizados os modelos WAVEWATCH III (WW3) e SWAN (*Simulating Waves Nearshore*).

O WW3 (Tolman, 1997, 1999, 2009) é um modelo de ondas de terceira geração (os quais não assumem qualquer tipo de restrição quanto à forma do

espectro) desenvolvido pela NOAA/NCEP e que permite descrever a geração e propagação das ondas no oceano.

O modelo é baseado em uma descrição física detalhada das interações entre a atmosfera e o oceano e produz resultados estatísticos da evolução das ondas marinhas no tempo utilizando a equação do balanço da ação espectral (Komen *et al.*, 1994). Para resolver esta equação, faz uso do número de onda k e da direção de onda θ . Implicitamente, tal equação considera as variações das escalas espaciais e temporais das componentes do espectro, assumindo que sejam espacialmente pequenas as variações na intensidade das correntes.

De acordo com Palmeira (2006), uma vez que a densidade da ação é conservada, o modelo considera o espectro da densidade de ação como $A(k, \theta) = F(k, \theta) / \sigma$ para os cálculos. A propagação de ondas é descrita por:

$$\frac{DA}{Dt} = \frac{S}{\sigma}$$

sendo que S / σ representa as fontes e sumidouros de energia enquanto σ é a frequência intrínseca, relacionada ao comprimento de onda pela relação de dispersão da Teoria Linear:

$$\sigma^2 = gk \tanh(kd)$$

onde d é a profundidade média.

A frequência intrínseca é relacionada à frequência absoluta (ω) pela equação de Doppler:

$$\omega = \sigma + k \cdot U$$

sendo U o vetor velocidade média da corrente, tanto no tempo quanto na profundidade.

Sendo assim, em um sistema euleriano, o espectro é $A(k, \theta, x, t)$ é dado por:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \nabla_x \cdot \dot{x} A + \frac{\partial}{\partial k} \dot{k} A + \frac{\partial}{\partial \theta} \dot{\theta} A = \frac{S}{\sigma}$$

onde:

$$\dot{x} = c_g + U$$

$$\dot{k} = -\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial s} - k \frac{\partial U}{\partial s}$$

$$\dot{\theta} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} - k \frac{\partial U}{\partial m} \right]$$

sendo que c_g é o vetor velocidade de grupo, s é a coordenada na direção θ e m é uma coordenada perpendicular a s

O modelo inclui a refração e a deformação do campo de ondas devido a variações da profundidade média da coluna de água no tempo e espaço. Ele também conta com módulos de parametrização de fenômenos como:

- Crescimento ou decaimento no tamanho da onda devido à ação do vento;
- Interações não-lineares ressonantes;
- Atrito com o fundo;
- Quebra da onda induzida pela profundidade;
- Espalhamento devido a interações entre a onda e o fundo oceânico.

O SWAN é um modelo numérico de ondas de superfície utilizado para obter estimativas do espectro de ondas em áreas costeiras, lagos e estuários. Este modelo é de domínio público e foi desenvolvido por pesquisadores de várias instituições, sendo atualmente mantido e atualizado pela *Delft University of Technology*. O modelo é baseado em uma equação de balanço de energia, e segue a mesma filosofia de modelos de ondas de terceira geração (e.g. WWATCH e WAM), mas com física de ondas apropriada para águas rasas.

No SWAN as ondas são descritas em um espectro de densidade de ondas bi-dimensional, até quando fenômenos não lineares são dominantes (e.g. zona de arrebentação). A evolução do espectro de onda é descrita pela equação de balanço de energia espectral, que em coordenadas cartesianas pode ser descrita por:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad \text{Equação 7.2.2-1}$$

O primeiro termo do lado esquerdo da Equação 7.2.2-1 representa a variação local da densidade de energia, o segundo e terceiro termo representam a propagação da energia no espaço geográfico (com a propagação das velocidades c_x e c_y no espaço em x e em y , respectivamente). O quarto termo representa as mudanças da frequência devido às variações da profundidade e ao campo de corrente. O quinto termo representa a refração induzida pelo campo de corrente e pelas variações de profundidade (com velocidade de propagação c_θ no espaço θ). A expressão para esta velocidade de propagação é obtida pela teoria de ondas não lineares (e.g. Whitham, 1974; Dingemans, 1997). O termo S , no lado direito da equação, é o termo de geração de densidade de energia representando efeitos de geração, dissipação e interações não lineares entre ondas.

Uma das principais feições que difere o SWAN dos outros modelos de ondas de terceira geração é a capacidade de resolver a interação não linear entre ondas, tanto em águas profundas quanto em águas rasas. A interação não linear entre as ondas em águas profundas é dominada pelas interações quádruplas,

onde a energia é transferida do pico espectral para frequências mais altas (onde a energia é dissipada pelos “carneirinhos”) e baixas (movendo o pico de frequência para valores menores). A computação completa das interações quádruplas consome muito tempo e envolve grande esforço computacional. No SWAN, esta interação é computada através do método de Aproximação Interação Discreta (DIA)¹ (Hasselmann *et al.*, 1985), que reduz o tempo computacional e tem se mostrado hábil para resolver as principais características de evolução do espectro de ondas (Komen *et al.*, 1994). Em águas rasas, a interação tripla entre ondas transfere energia de frequências mais baixas para frequências mais altas, geralmente resultando em harmônicos maiores (Beji & Battjes, 1993). Eldeberky & Battjes (1995) foram os primeiros a elaborar uma formulação computacionalmente viável de ser implementada no SWAN para interações de ondas triplas.

Para este estudo, foram utilizadas duas grades do WW3 e uma grade do SWAN. A primeira grade (WW3 Brasil), de maior escala, possui 117 x 167 pontos e cobre a costa brasileira. A segunda grade (WW3 Sudeste) está focada na costa sudeste do Brasil e possui 201 x 141 pontos. Por fim, a terceira grade (SWAN SP) abrange a costa de SP, centrada na região de estudo, e possui 110 x 49 pontos. Para todas as grades, os dados de profundidade foram obtidos através da digitalização dos valores batimétricos das cartas náuticas da DHN e, também, a partir de dados batimétricos extraídos do ETOPO 2, obtido no NGDC². Os domínios das duas grades são apresentados na Figura 7.2.2-1.

¹ DIA – Discrete Interaction Approximation.

² National Geophysical Data Center da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

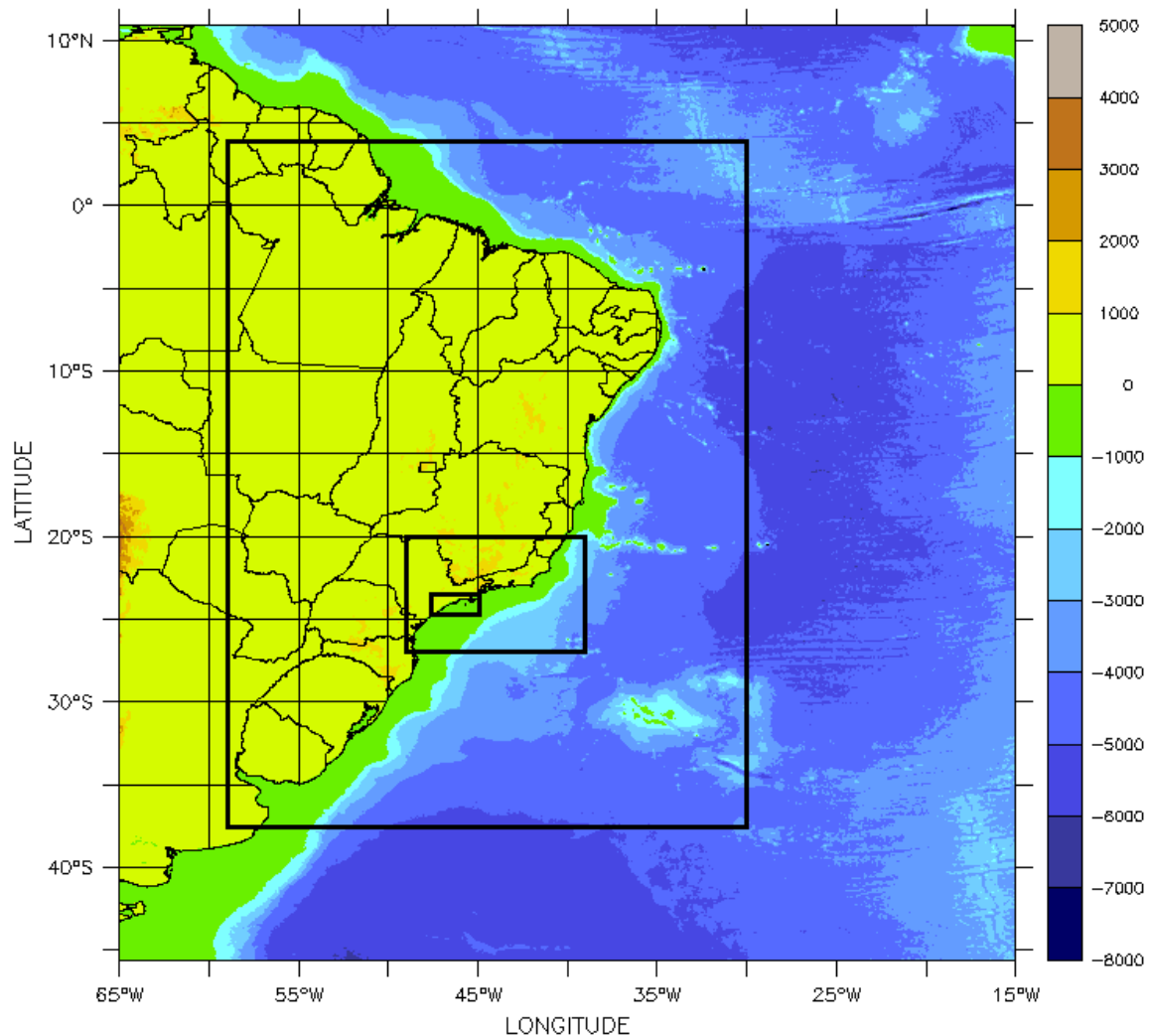


Figura 7.2.2-1. Domínios das grades do modelo de ondas WW3 Brasil, WW3 Sudeste e SWAN SP. A escala de cores representa a batimetria da região.

Os resultados do WW3 global são utilizados para forçar uma grade de meso-escala focada na costa brasileira (WW3 Brasil) e seus resultados são utilizados na borda de uma grade local (WW3 Sudeste), que por sua vez forçam a grade final (SWAN SP) com foco na região de interesse. O campo de vento utilizado é proveniente de dados de previsão do GFS/NCEP. Os dados de vento foram projetados para todas as grades.

Os resultados finais da modelagem de onda fornecem informações de altura máxima, altura significativa, altura de *swell*, altura de *seawind*, período de pico e direção de pico das ondas para os boletins e para a modelagem da pluma de sedimentos.

7.2.3. Modelagem Hidrodinâmica

7.2.3.1. Modelo POM

O modelo hidrodinâmico regional utilizado é Princeton Ocean Model (POM Blumberg & Mellor, 1987). A formulação deste modelo possui estrutura tridimensional, não linear, com as equações hidrodinâmicas escritas na forma de fluxo, sob as aproximações de Boussinesq e hidrostáticas. Este modelo permite também a utilização de grades curvilíneas, de coordenadas σ na vertical e a resolução das camadas turbulentas de superfície e de fundo, por meio de um submodelo de fechamento turbulento de 2ª ordem.

No sistema de coordenadas σ , a coordenada z é escalonada de acordo com a profundidade da coluna d'água local, conforme mostra a equação abaixo, onde D é a profundidade local, η a elevação da superfície e H a profundidade média local:

$$\sigma = \frac{z - \eta}{D}$$

onde

$$D(x, y, t) = H(x, y) + \eta(x, y, t).$$

Nesta formulação também está incluído um submodelo de fechamento turbulento, para o cálculo dos coeficientes de mistura turbulenta vertical. O fechamento turbulento de 2ª ordem utiliza os resultados das equações da energia cinética turbulenta e da escala de comprimento de turbulência, no cálculo dos coeficientes cinemáticos de viscosidade e de difusão turbulenta de calor e sal na vertical (Mellor & Yamada, 1982). Estes cálculos são efetuados com base em relações empíricas, que utilizam constantes estabelecidas em experimentos de laboratório e em observações de campo. Com o fechamento turbulento de 2ª ordem, o modelo reproduz de maneira mais realística as camadas de Ekman, de superfície e de fundo.

Além dos aspectos específicos acima mencionados, o modelo adota soluções largamente utilizadas na literatura, como gradeamento do tipo C de Arakawa e métodos de integração diferentes na horizontal e na vertical – integração horizontal e temporal explícita e vertical implícita. Por meio destes procedimentos, elimina-se a restrição temporal na vertical, permitindo o uso de maior resolução nas camadas de Ekman de superfície e de fundo.

O modelo apresenta uma superfície livre e dois intervalos de tempo distintos, um para o modo de oscilação externo e outro para o interno. O modo externo (barotrópico) usa um intervalo de tempo menor, baseado na condição de estabilidade computacional de Courant-Friedrichs-Levy (CFL). O modo interno (baroclínico) usa um intervalo de tempo mais longo (*splitting mode*).

As condições de contorno naturais do modelo são dadas pela velocidade normal nula nos contornos terrestres. Na superfície livre, além das condições dinâmicas locais (Mellor & Yamada, 1982), é também considerada a tensão de cisalhamento do vento. No fundo, são aplicadas as condições dinâmicas descritas em Mellor & Yamada (op. cit.). A velocidade de arrasto é calculada como uma função empírica da energia cinética turbulenta, por sua vez decorrente do fechamento turbulento de segunda ordem.

Nos contornos artificiais são aplicadas condições de contorno para a definição do comportamento das propriedades modeladas nos limites oceânicos do domínio estudado. Estas condições de contorno são definidas para elevação da superfície do mar, velocidades do modo externo (2D), velocidades do modo interno (3D), temperatura, salinidade, velocidade vertical e energia cinética turbulenta.

O modelo utiliza como forçantes marés do modelo global CSR3 (Center for Space Research, da Universidade do Texas), campos bidimensionais de ventos da previsão do modelo atmosférico global GFS/NCEP e campo tridimensional termohalino tratado a partir dos resultados do OCCAM (Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling - Southampton Oceanography Centre). Nas bordas abertas são também utilizadas condições datadas do OCCAM para elevação, velocidade barotrópica, temperatura e salinidade.

A discretização do domínio foi realizada por intermédio da interpolação das variáveis de entrada do modelo (cotas batimétricas, temperatura e salinidade) e sua projeção numa grade curvilínea, com resolução horizontal variável. A grade final gerada considera a costa do SE do Brasil e possui 23 níveis verticais. Para a região da plataforma, os dados de profundidade foram obtidos através da digitalização dos valores batimétricos das cartas náuticas da DHN³, n^{os} 70, 1.100, 1.131, 1.400, 1.420, 1.700, 1.800, 1.820 e 1.824. Para a representação topográfica da região do talude e planície abissal foi também utilizada a base de dados batimétricos extraída do ETOPO 2 obtido no NGDC, reamostradas para um espaçamento de 10'. Visando o ajuste fino da batimetria à linha de costa e as camadas de sistemas de informações geográficas (SIG) utilizadas pelos modelos matemáticos implementados na região, foram utilizadas também informações provenientes de imagens de satélite, complementando a base de dados batimétricos na área. Os resultados finais da discretização da área e projeção da batimetria estão ilustrados na Figura 7.2.3.1-1.

A implementação deste modelo proporcionou a representação tri-dimensional do campo da Corrente do Brasil e da circulação de plataforma e costeira. Seus resultados fornecem informações de corrente e elevação de superfície para a região, além de serem utilizados como forçante para o modelo hidrodinâmico de alta resolução espacial.

³ Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha.

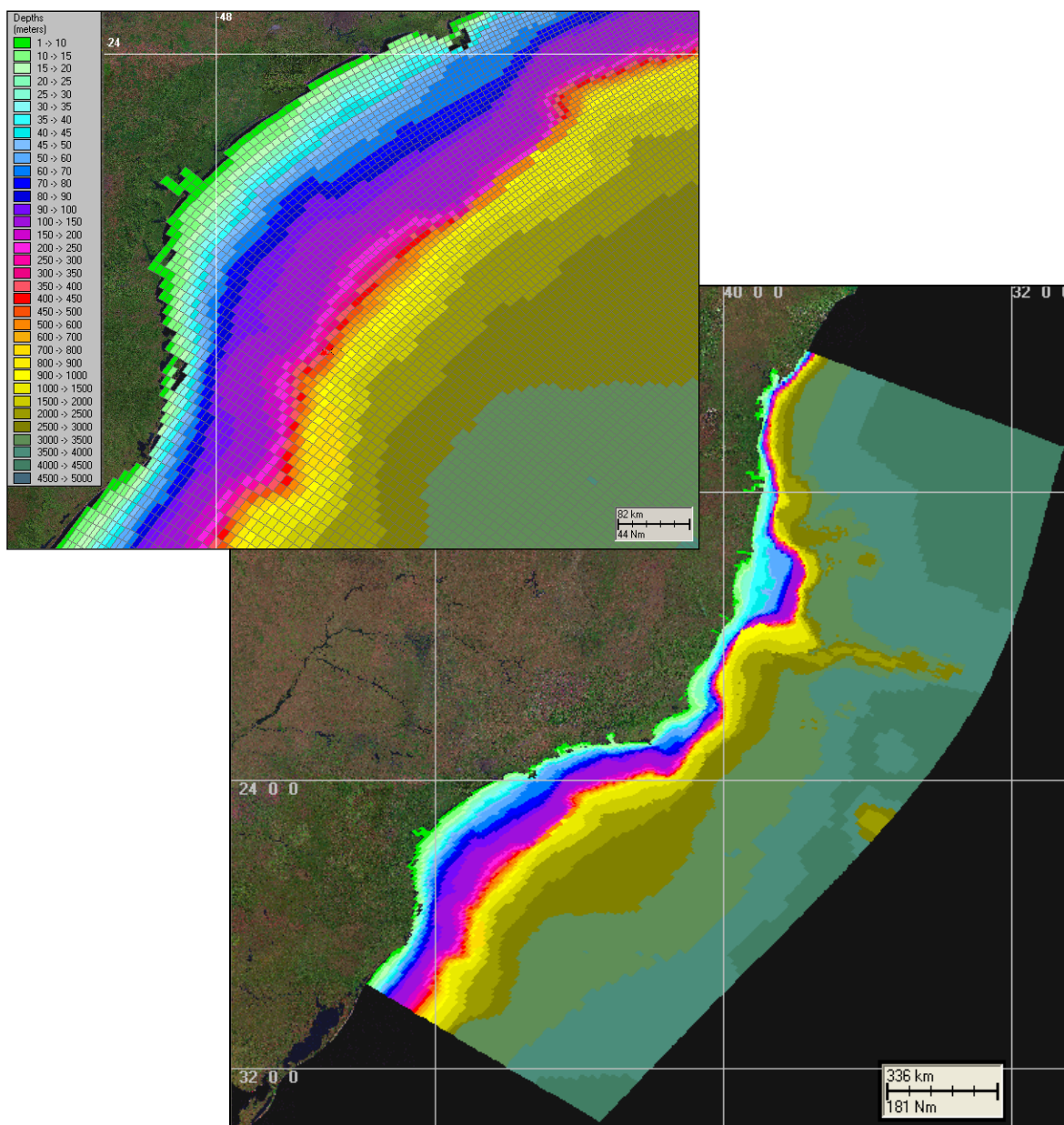


Figura 7.2.3.1-1. Grade computacional do modelo hidrodinâmico POM e projeção da batimetria.

7.2.3.2. Modelo DELFT

A implementação do modelo hidrodinâmico para a região litorânea central do estado de São Paulo, para o cálculo dos campos de correntes, é baseada no modelo Delft3D-FLOW (Deltares, 2009a,b). Optou-se pela utilização deste modelo com o objetivo de resolver o problema de hidrodinâmica em escala espacial e temporal adequada para as aplicações finais (determinação do campo de

correntes e elevação de nível da superfície d'água) e, simultaneamente, manter os custos computacionais em níveis razoáveis. A possibilidade de se trabalhar com grades altamente ajustáveis aos contornos foi uma característica determinante para a escolha deste modelo. A acomodação da grade numérica à linha de costa permite uma apurada representação do corpo d'água em estudo.

O sistema de modelos Delft3D é capaz de simular a circulação hidrodinâmica como resposta a forçantes baroclínicas e barotrópicas, assim como a transferência de *momentum* ao sistema hidrodinâmico decorrente do sistema de ventos. Além disso, este sistema atualiza a cada passo de tempo as cotas batimétricas decorrentes de alterações geomorfológicas de fundo (erosão e deposição de sedimentos), além do transporte de sedimentos (de fundo e em suspensão na coluna d'água).

A implementação do modelo hidrodinâmico na região de estudo foi baseada em um sistema de equações de águas rasas tridimensionais. O sistema de equações consiste nas equações horizontais de movimento (*momentum*), na equação de continuidade e nas equações de transporte para constituintes conservativos. Tal conjunto de equações é derivado das equações tridimensionais de Navier-Stokes para um fluido incompressível.

Para este estudo foram considerados os termos não-lineares de aceleração convectiva, Coriolis e viscosidade horizontal turbulenta. As aproximações para utilização de coordenadas curvilíneas ortogonais são consideradas na solução numérica da formulação descrita. Estas aproximações para grades numéricas utilizam-se de funções de transformação entre os espaços físicos e numéricos. Tais funções de transformações são obtidas por meio da solução de um conjunto acoplado de equações diferenciais parciais elípticas e quase-lineares.

A solução do esquema numérico é iniciada pelo mapeamento da geometria do domínio no espaço matemático, a partir da discretização da área no espaço físico. No espaço matemático (regular) são resolvidas as equações de continuidade e conservação da quantidade de movimento. A estrutura vertical, quando ativada na formulação, é determinada por procedimentos explícitos com a especificação dos termos de difusão horizontal.

A grade implementada representa um compromisso entre os objetivos do projeto e a descrição dos processos dinâmicos na região de interesse, bem como entre os recursos computacionais e o tempo de processamento necessário. A especificação desta é feita pela fixação dos pontos de grade ao longo da linha de costa (no plano) e pela batimetria (eixo vertical). Uma vez que estes pontos ao longo da linha de costa são determinados, as demais características batimétricas são associadas ao domínio.

Foi implementada uma grade numérica curvilínea com dimensões horizontal de 131 x 173 pontos e com sete camadas sigma na vertical. O espaçamento horizontal destas grades varia entre 3.200 m (na região de menor resolução) e 250 m (na região de maior resolução).

Na elaboração da grade foram utilizados os valores obtidos através da digitalização de cotas batimétricas de cartas náuticas da DHN. Como na elaboração da grade do modelo regional, também foram utilizadas informações provenientes de imagens de satélite, complementando a base de dados batimétricos. As cotas batimétricas foram associadas a cada ponto da grade numérica do modelo através de interpolação triangular. Com isto, estes dados foram incorporados ao modelo, adequando-os à resolução adotada. Os resultados finais da discretização da área (grade numérica e batimetria) estão ilustrados na Figura 7.2.3.2-1.

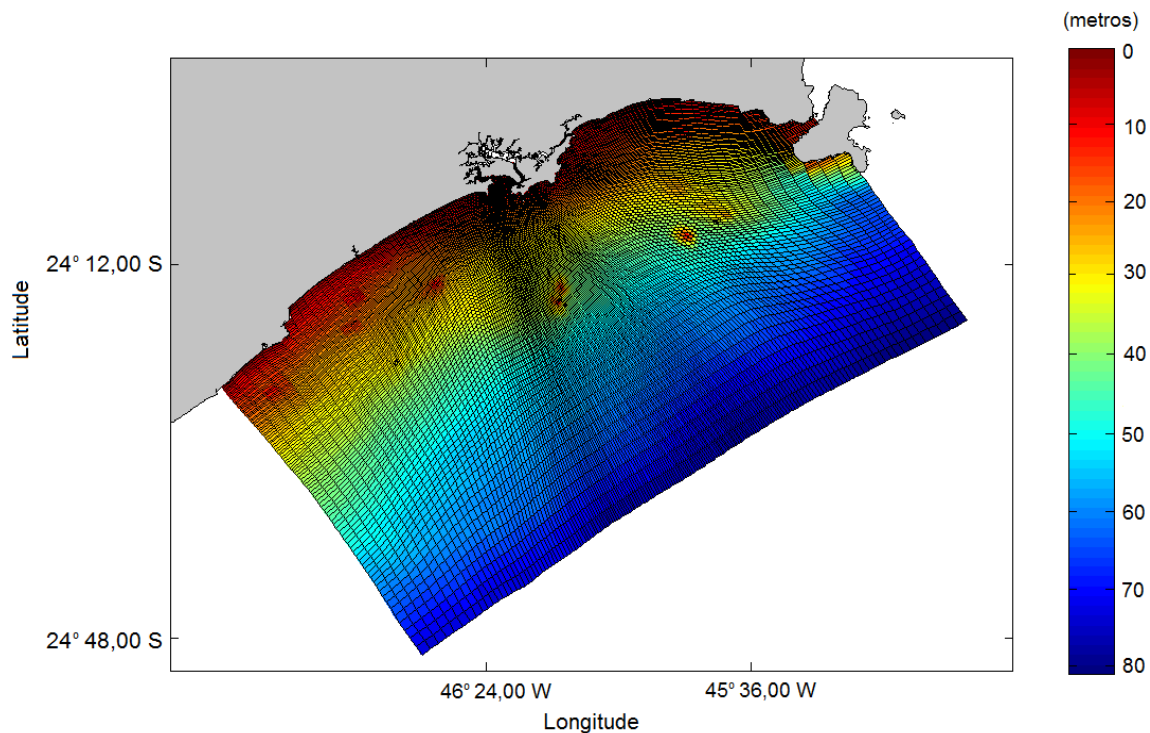


Figura 7.2.3.2-1. Grade computacional do modelo hidrodinâmico DELFT e projeção da batimetria.

O sistema de modelos Delft3D possibilita a utilização de contornos abertos. Nestes contornos abertos (ou bordas abertas) podem ser atribuídas condições forçantes (ativa) ou condições radiacionais (passivas). Quando são aplicadas forçantes nas bordas abertas, pode-se utilizar séries temporais ou valores constantes para diferentes variáveis pertinentes ao sistema estudado.

Nas simulações numéricas foi considerado um conjunto de três bordas abertas. As condições hidrodinâmicas impostas a estas bordas são provenientes dos resultados do modelo hidrodinâmico regional (POM). O vento forçante para o modelo é obtido a partir dos resultados do modelo atmosférico (WRF). Os resultados desta modelagem são utilizados na modelagem da pluma de sedimentos.

7.2.4. Modelagem da Pluma de Sedimento

7.2.4.1. SSFATE/DREDGEMAP

O modelo utilizado para simular a dispersão da pluma de sedimentos descartado devido às operações de dragagem de aprofundamento do canal do Porto de Santos é um modelo desenvolvido originalmente pela USACE para estimar concentração de sedimentos ressuspensos na coluna d'água e padrões de deposição resultantes de operações de dragagem (Johnson *et al.*, 2000).

O modelo utilizado, DREDGEMAP, é uma evolução do modelo SSFATE e pode ser utilizado tanto para estudar a dispersão e deposição de sedimentos originários da ressuspensão durante as operações de dragagem quanto para simular o descarte de sedimentos dragados.

O DREDGEMAP/SSFATE é um modelo de partículas para previsão do transporte e dispersão de material em suspensão. A advecção das partículas é baseada na simples relação de que uma partícula se move linearmente de acordo com a velocidade local, obtida a partir de um modelo hidrodinâmico, para um determinado passo de tempo (*time step*). Assume-se que a difusão da partícula segue um processo simples de *random walk* (passeio aleatório).

As partículas de sedimento consideradas no modelo são divididas em cinco classes de tamanho, como apresentadas na Tabela 7.2.4.1-1, e possuem comportamento distinto no modelo.

Tabela 7.2.4.1-1. Classes de tamanho dos sedimentos (DREDGEMAP/SSFATE).

CLASSE	TIPO DE SEDIMENTO	INTERVALO DE TAMANHO (MICRAS)
1	Argila	0 - 7
2	Silte Fino	8 - 35
3	Silte Grosso	36 - 74
4	Areia Fina	75 - 130
5	Areia Grossa	> 130

A validação do modelo SSFATE já foi documentada em uma série de notas técnicas da DOER⁴ (Johnson *et al.*, 2000), em congressos internacionais (Anderson *et al.*, 2001) e, em várias edições das Conferências da “*Western Dredging Association*” (Swanson *et al.*, 2004; Swanson & Isaji, 2006). Adicionalmente, o modelo foi estendido para incluir a simulação de operações de enterramento de cabos e dutos através de dragas tipo *water jet trenchers* (Swanson *et al.*, 2006).

A seguir é descrita a base teórica do modelo, segundo nota técnica do DOER (2000).

7.2.4.2. Transporte de Sedimentos

As seguintes equações básicas determinam a localização de cada partícula em cada passo de tempo da simulação:

$$X^{n+1} = X^n + \Delta X \quad (\text{Equação 7.2.4.2-1})$$

$$Y^{n+1} = Y^n + \Delta Y \quad (\text{Equação 7.2.4.2-2})$$

$$Z^{n+1} = Z^n + \Delta Z \quad (\text{Equação 7.2.4.2-3})$$

onde

$$\Delta X = U\Delta T + L_x \quad (\text{Equação 7.2.4.2-4})$$

$$\Delta Y = V\Delta T + L_y \quad (\text{Equação 7.2.4.2-5})$$

$$\Delta Z = W_s\Delta T + L_z \quad (\text{Equação 7.2.4.2-6})$$

e

X,Y,Z = posição da partícula nas direções x (E-W), y (N-S) e vertical, respectivamente;

U,V = velocidade ambiente média nas direções x e y, respectivamente;

⁴ USACE Dredging Operations and Environmental Research.

ΔT = passo de tempo;

W_{si} = velocidade de deposição da classe i de partículas;

L_x, L_y, L_z = distância de difusão da partícula nas direções x, y e z, respectivamente.

Assume-se que a difusão da partícula segue um processo simples de *random walk* (passeio aleatório). A distância de difusão, definida como a raiz quadrada do produto do coeficiente de difusão e do passo de tempo, é decomposta em deslocamentos X e Y através de uma função que considera uma variável aleatória. A distância de difusão Z é escalonada numa direção aleatória positiva ou negativa. As equações para a difusão dos deslocamentos horizontal e vertical são descritas como:

$$L_x = \sqrt{D_h \Delta T} \cos(2\pi R) \quad (\text{Equação 7.2.4.2-7})$$

$$L_y = \sqrt{D_h \Delta T} \sin(2\pi R) \quad (\text{Equação 7.2.4.2-8})$$

$$L_z = \sqrt{D_z \Delta T} (0,5 - R) \quad (\text{Equação 7.2.4.2-9})$$

onde

D_h, D_z = coeficientes horizontal e vertical de difusão, respectivamente;

R = número real aleatório entre 0 e 1.

O modelo de partículas permite ao usuário simular o transporte e o destino de classes de partículas em decantação, e.g. areias, siltes e argilas. O destino de misturas formadas por mais de um componente em suspensão é simulado por superposição linear. A aproximação para partículas é extremamente robusta e independente do sistema de grades. Assim, o método não apresenta difusão artificial próximo aos gradientes de concentração e pode ser facilmente utilizado para vários tipos de sedimento e diferentes tecnologias de dragagem (e.g. mecânica, hidráulica).

Em adição ao transporte e dispersão, também existe uma taxa de deposição das partículas de sedimento. A sedimentação de misturas de partículas, algumas das quais podem ser coesivas por natureza, é um processo complicado, embora previsível, com a interação de diferentes tamanhos de classes, *i.e.* a deposição de um tipo de partícula não é independente dos outros tipos. Estes processos foram adotados no SSFATE e são baseados em estudos prévios da USACE (Teeter, 1998).

Ao final de cada passo de tempo, a concentração de cada classe de sedimento C_i , assim como a concentração total C , é calculada numa grade numérica de concentração. O tamanho de todas as células da grade não varia espacial e temporalmente, com o número total de células aumentando de acordo com movimento da pluma de sedimento em suspensão a partir da fonte de descarte.

7.2.4.3. Velocidade de Deposição de Sedimentos

A velocidade de deposição de cada classe de tamanho de partícula, exceto para areia grossa, é dada pelas seguintes equações (E.):

$$Ws_i = a \left(\frac{C}{C_{ul}} \right)^{n_i} \quad (\text{Equação 7.2.4.3-1})$$

$$a = \frac{1}{C} \sum_i a_i C_i \quad (\text{Equação 7.2.4.3-2})$$

$$\bar{C}_{ul} = \frac{1}{C} \sum_i C_{ul_i} C_i \quad (\text{Equação 7.2.4.3-3})$$

$$\bar{C}_{ll} = \frac{1}{C} \sum_i C_{ll_i} C_i \quad (\text{Equação 7.2.4.3-4})$$

onde

C_{ul_i} , C_{ll_i} = limites de concentração superior e inferior, respectivamente, para uma acentuada deposição da classe i de grão;

- a_i = velocidade de deposição da média máxima de uma classe de tamanho de partículas;
 n_i = coeficiente empírico para cada classe de sedimentos;
 C = concentração total para todas as classes de tamanho de grão (exceto areia grossa).

Se $C \geq \bar{C}_{ul}$ então

$$Ws_i = a \quad (\text{Equação 7.2.4.3-5})$$

Ao passo que, se $C \leq \bar{C}_{ul}$, então

$$Ws_i = a \left(\frac{\bar{C}_{ul}}{C_{ul_i}} \right)^{n_i} \quad (\text{Equação 7.2.4.3-6})$$

A Tabela 7.2.4.3-1 apresenta alguns valores típicos de C_{ul_i} , C_{ul_i} , a_i e n_i para quatro tamanhos de grão considerados no SSFATE. O modelo também considera uma classe granulométrica superior a 4, equivalente à areia grossa (classe 5), com valor de a_i constante e igual a 0,1 m/s.

Tabela 7.2.4.3-1. Valores típicos dos coeficientes de concentração.

Classe	Tamanho (micras)	C_{ul_i} (g/cc)	C_{ul_i} (g/cc)	a_i (m/s)	n_i
1	0-7 (argila)	50	1.000	0,0008	1,33
2	8-35 (silte fino)	150	3.000	0,0023	1,10
3	36-74 (silte grosso)	250	5.000	0,0038	0,90
4	75-130 (areia fina)	400	8.000	0,0106	0,80

7.2.4.4. Deposição de Sedimentos

A massa de sedimento é removida primeiramente a partir da maior classe de tamanho que ocupa cada célula. A deposição para as classes restantes é, então, computada, começando com a segunda maior classe de tamanho e avançando em direção às menores. Tal deposição é calculada da seguinte maneira:

Se $0 \leq P_i \leq 0,05$, então:

$$Flux_i = \frac{C_i Flux_{i+1}}{C_{i+1} + 1} \quad (\text{Equação 7.2.4.4-1})$$

Por outro lado:

$$Flux_i = b_i C_i W_{s_i} P_i \quad (\text{Equação 7.2.4.4-2})$$

onde,

P_i = probabilidade de deposição (descrita abaixo) para cada classe i de grão;

C_i = concentração de sedimento;

W_{s_i} = velocidade de deposição calculada;

b_i = parâmetro empírico que inclui todos os outros fatores que influenciam a deposição, além do atrito.

A Tabela 7.2.4.4-1 apresenta valores típicos para o coeficiente b_i , para as quatro menores classes de tamanho de grão.

Tabela 7.2.4.4-1. Valores típicos para b_i .

CLASSE	b_i
1 (argila)	0,2
2 (silte fino)	0,4
3 (silte grosso)	0,6
4 (areia fina)	1,0

A probabilidade de deposição P_i é, então, calculada para cada tamanho de classe, como segue, utilizando uma tensão de atrito de fundo (τ) através do campo de correntes:

P_1 , para a classe de tamanho 1 (argila):

$$P_1 = \left(1 - \frac{\tau}{\tau_{cd}}\right), \text{ se } \tau < \tau_{cd} \text{ (Equação 7.2.4.4-3)}$$

$$P_1 = 0, \text{ se } \tau > \tau_{cd} \text{ (Equação 7.2.4.4-4)}$$

onde τ_{cd} é a tensão de atrito crítica para a deposição da fração argila. Um valor típico para τ_{cd} é 0,016 Pa.

P_i , para os outros tamanhos de classe (2, 3 e 4):

$$P_i = 0, \text{ se } \tau \geq \tau_{ul_i} \text{ (Equação 7.2.4.4-5)}$$

$$P_i = 1, \text{ se } \tau \leq \tau_{ll_i} \text{ (Equação 7.2.4.4-6)}$$

onde,

τ_{ul_i} = tensão de atrito acima da qual nenhuma deposição ocorre para a classe de grão i ;

τ_{ll_i} = tensão de atrito abaixo da qual a probabilidade de deposição para a classe de grão i é 1,0;

Para valores de τ entre τ_{ll_i} e τ_{ul_i} , é utilizada uma interpolação linear. Valores típicos para τ_{ll_i} e τ_{ul_i} são mostrados na Tabela 7.2.4.4-2.

Tabela 7.2.4.4-2. Valores típicos para τ_{ll_i} e τ_{ul_i} .

Classe	τ_{ll_i}	τ_{ul_i}
0	0,016	0,03
1	0,03	0,06
2	0,06	0,20
3	0,20	0,90

O DREDGEMAP/SSFATE representa cada classe de sedimento através de um conjunto de partículas cujas posições são determinadas pelo método

lagrangeano. A posição das partículas corresponde ao centro de uma nuvem da distribuição Gaussiana do sedimento designado. Uma série de “pacotes” de partículas lagrangeanas é liberada (simulando o descarte de sedimento durante operações de dragagem) a cada passo de tempo do modelo. Cada “pacote” consiste de 25 partículas que representam os tipos de sedimento (argila, silte fino, silte grosso, areia fina e areia grossa) e as distribuições verticais. Para cada 5 “pacotes” liberados em simulações de 5 dias, por exemplo, o número total de partículas lagrangeanas seria de 180.000 (25 x 5 pacotes por cada passo de tempo (5 min.) durante 5 dias). Partículas lagrangeanas não se depositam como um todo, mas sim como frações baseadas no cálculo do fluxo descrito nas formulações acima. A deposição real pode continuar ocorrendo indefinidamente a partir da massa de partículas remanescentes (para cada classe de tamanho e locação de deposição). A distribuição da massa depositada é mapeada na mesma grade de concentração na coluna d’água.

7.2.4.5. Ressuspensão de Sedimentos

Sedimentos que foram descartados durante o processo de dragagem e depositados no assoalho oceânico são fundamentalmente diferentes dos sedimentos não remobilizados sobre os quais se depositam. Os sedimentos “novos” normalmente possuem um alto conteúdo de água, uma vez que ainda não ocorreu consolidação do material. Como o objetivo do SSFATE é simular o sedimento disponível na coluna d’água a partir das operações de dragagem/descarte, e não o transporte geral de sedimentos presentes na área, os algoritmos precisam considerar esta diferença. Os algoritmos de ressuspensão de sedimentos utilizados no SSFATE consistem da combinação de dois esquemas:

Esquema-1: a tensão crítica de cisalhamento para ressuspensão é baseada na massa de deposição de sedimentos acumulados recentemente (cerca de um período de maré);

Esquema-2: Propriedades físicas existentes dos sedimentos determinam a tensão crítica de cisalhamento para ressuspensão. Este esquema é semelhante à formulação tradicional e o tempo de deposição não é considerado.

Operações de dragagem, particularmente as de manutenção, próximo de estuários urbanos, escavam sedimentos com alto teor de silte e argila (>50%). Ao contrário dos ciclos naturais de erosão e deposição, nos quais os movimentos da massa de sedimentos são graduais e cumulativos, estes sedimentos depositados podem ser muito diferentes no que se refere à grande quantidade de argila e silte que podem ser ressuspensas e redepositadas em um curto período de tempo. A ressuspensão desta porção (massa depositada em cerca de 6 horas) é simulada através do Esquema-1. Para aqueles sedimentos que não estão sujeitos ao Esquema-1 (depositados, mas não remobilizados durante este período), estes podem ser ressuspensos através do Esquema-2. Sedimentos depositados durante períodos “inativos” (correntes de pequena intensidade por um período não superior a 6 horas) nunca serão ressuspensos através do Esquema-1, mas poderão ser ressuspensos através do Esquema-2 quando da ocorrência de correntes mais intensas (passagem de frentes) num período subsequente.

Algoritmo de Ressuspensão do Esquema-1:

Este esquema é baseado no trabalho de Sanford & Maa (2001) e, subsequentemente, Lin *et al.* (2003). Lin *et al.* (op. cit) aplicou a aproximação de Sanford & Maa, a qual é empírica e baseada nos experimentos de “*sea carousel*”. Esta abordagem permite que a tensão de cisalhamento crítica para erosão varie com o histórico de deposição e erosão do leito oceânico, e foi utilizada em um modelo tridimensional de transporte de sedimentos para simular as distribuições de sedimento em suspensão no Porto de Baltimore (Maryland, EUA). Os resultados deste modelo obtiveram comparação favorável com dados observados. Este esquema possui a analogia do conceito de história da deposição de sedimentos dragados e a simplicidade das formulações de ressuspensão:

$$E = M(\tau_b - \tau_c) \text{ (Equação 7.2.4.5-1)}$$

$$M = 0.027(m - 0.017)^{0.54} \text{ (Equação 7.2.4.5-2)}$$

$$\tau_c = 0.86(m - 0.017)^{0.5} \text{ (Equação 7.2.4.5-3)}$$

onde

E = taxa de ressuspensão ($\text{kg/m}^2/\text{s}$);

M = parâmetro empírico ($\text{kg/m}^2/\text{s}/\text{Pa}$);

τ_b = tensão de cisalhamento (atrito) do leito oceânico (Pa);

τ_c = tensão de cisalhamento (atrito) crítico (Pa) para ressuspensão;

M e τ_c = função da massa de sedimento m (kg/m^2) acumulada durante a última deposição e ciclo de erosão.

Algoritmo de Ressuspensão do Esquema-2:

Este esquema tradicional é baseado em Van Rijn (1989). A taxa de ressuspensão é definida como:

$$E = b_i \rho C_{ai} Q_p \quad (\text{Equação 7.2.4.5-4})$$

onde

E = taxa de ressuspensão ($\text{kg/m}^2/\text{s}$);

b_i = fator de correção;

ρ = densidade do sedimento (kg/m^3);

C_{ai} = concentração de referência (não-dimensional) do i -ésimo sedimento na altura de referência a partir do leito oceânico, a partir da formulação de Van Rijn (1989);

Q_p = função de *pickup*.

A concentração de referência e a função de *pickup* são definidas como:

$$C_{ai} = 0.015 \frac{D_i}{a} \frac{T^{1.5}}{D_*^{0.3}} \quad (\text{Equação 7.2.4.5-5})$$

$$Q_p = kU_* \quad (\text{Equação 7.2.4.5-6})$$

onde

$$T = \frac{\tau_b - \tau_{cr}}{\tau_{cr}} \quad (\text{Equação 7.2.4.5-7})$$

$$\tau_{cr} = \theta_{cr} \rho (s-1) g D_i \quad (\text{Equação 7.2.4.5-8})$$

$$\theta_{cr} = \frac{0.3}{1 + 1.2 D_*} + 0.055 [1 - e^{-0.02 D_*}] \quad (\text{Equação 7.2.4.5-9})$$

$$D_* = D_{50} \left(\frac{(s-1)g}{\nu^2} \right)^{1/3} \quad (\text{Equação 7.2.4.5-10})$$

e

D_i = tamanho característico do sedimento;

D_* = tamanho de grão do sedimento não-dimensional;

T = parâmetro de transporte;

a = altura de referência (m, > dureza do fundo);

τ_b = tensão de cisalhamento eficaz do leito (Pa) sob ação combinada de ondas e correntes;

τ_{cr} = tensão de cisalhamento crítica de Shields do leito oceânico (Pa) para ressuspensão de sedimento a partir de Soulsby & Whitehouse (1997);

s = densidade específica;

g = aceleração da gravidade;

ν = viscosidade cinemática da água.

Fluxos de ressuspensão baseados no esquema acima são avaliados em cada locação da célula da grade computacional onde as características da deposição de sedimentos (massa acumulada, tamanho do grão e histórico) são mantidas a cada passo de tempo interno do modelo. Quando o fluxo de ressuspensão é positivo (tensão de fundo excede a tensão crítica), “pacotes” adicionais de partículas lagrangeanas são liberados na altura vertical a partir do leito oceânico, z_i :

$$z_i = x Z_s \quad (\text{Equação 7.2.4.5-11})$$

onde

Z_s = altura do centróide do sedimento baseada na regressão do perfil de Rouse (MacDonald et al., 2006);

x = fator de tempo para o perfil de Rouse para desenvolver a altura completa.

Estes parâmetros são definidos como:

$$Z_s = 0.0398 h 10^{-1.08 \tanh \left[1.2 \ln \left(\frac{W s_i}{k U_*} \right) - 0.4 \right]} \quad (\text{Equação 7.2.4.5-12})$$

$$x = 1.0 - \exp \left(-\sqrt{2 D_z} \Delta t \frac{2}{h} \right) \quad (\text{Equação 7.2.4.5-13})$$

onde

h = profundidade local;

k = constante de von Karman;

U_* = velocidade de fricção;

D_z = viscosidade vertical da profundidade média da água;

Δt = passo de tempo.

7.2.4.6. Dados da Operação de Descarte

Os conjuntos de dados de entrada e parâmetros do modelo que definem um cenário são: local de descarte, período de simulação, duração do descarte, informações sobre o sedimento, campo de correntes, opções de saída e parâmetros de simulação. Os resultados de cada simulação correspondem, então, a um único cenário, definido pelo arquivo de entrada de dados e parâmetros.

As informações de entrada foram obtidas através das planilhas, fornecidas pela Codesp, que contém: data dos descartes, coordenadas e horários iniciais e finais de cada descarte, trecho dragado e volume de material despejado por descarte. (Tabela 7.2.4.6-1). As planilhas são fornecidas à Codesp pelo Consórcio Draga Brasil, cabendo a Autoridade Portuária I apenas obter o volume

in situ relativo a cada descarte, por meio de cálculo encaminhado pela Secretaria de Portos-SEP.

Tabela 7.2.4.6-1. Exemplo da planilha enviada pela Codesp para draga Hang Jun com as informações referentes ao mês de abril de 2010.

CONTROLE SEMESTRAL DE DISPOSIÇÃO DE MATERIAL DRAGADO NO POLÍGONO DE DISPOSIÇÃO OCEÂNICA								
Empreendimento: CONSÓRCIO DRAGA BRASIL								
Período: 01/04/2010 a 30/04/2010								
Data da viagem	Hora inicial e final do despejo	Local dragado e Nível e Tipo de contaminação	Quadricula	Localização do Despejo (lat/lon)		Volume por viagem (m ³)	Empreiteira	Veículo
				Início	Fim			
01/04/2010	1:20 - 1:27	Trecho 1 Barra	Q2	-24.103506 -46.371815	-24.102063 -46.371950	918.60	Draga Brasil	Hang Jun 5001
01/04/2010	3:16 - 3:22	Trecho 1 Barra	Q2	-24.103336 -46.373226	-24.101965 -46.373388	918.60	Draga Brasil	Hang Jun 5001
01/04/2010	5:21 - 5:27	Trecho 1 Barra	Q2	-24.100863 -46.367447	-24.107172 -46.367097	918.60	Draga Brasil	Hang Jun 5001
01/04/2010	7:23 - 7:30	Trecho 1 Barra	Q2	-24.104773 -46.370632	-24.101863 -46.369058	918.60	Draga Brasil	Hang Jun 5001
01/04/2010	9:56 - 10:03	Trecho 1 Barra	Q2	-24.106508 -46.371130	-24.104738 -46.370212	918.60	Draga Brasil	Hang Jun 5001
01/04/2010	12:09 - 12:16	Trecho 1 Barra	Q2	-24.104800 -46.371628	-24.102013 -46.370220	918.60	Draga Brasil	Hang Jun 5001
01/04/2010	15:09 - 15:26	Trecho 1 Barra	Q2	-24.109848 -46.373924	-24.103793 -46.373717	918.60	Draga Brasil	Hang Jun 5001
01/04/2010	17:26 - 17:32	Trecho 1 Barra	Q2	-24.104588 -46.373663	-24.100955 -46.362140	918.60	Draga Brasil	Hang Jun 5001
01/04/2010	19:36 - 19:42	Trecho 1 Barra	Q2	-24.103670 -46.376150	-24.101333 -46.376395	918.60	Draga Brasil	Hang Jun 5001
01/04/2010	22:06 - 22:13	Trecho 1 Barra	Q2	-24.105658 -46.366947	-24.103020 -46.367212	918.60	Draga Brasil	Hang Jun 5001

Estas planilhas de dados foram compiladas de forma a atender a necessidade do modelo. Cada planilha é referente ao período de 1 mês, portanto os cenários simulados no modelo correspondem ao mês específico de cada planilha sendo que, para o mês seguinte, os dados de saída do mês anterior são utilizados como dado de entrada.

A granulometria dos sedimentos utilizada nas simulações de descarte refere-se às características dos materiais de cada trecho da área a ser dragada. A Tabela 7.2.4.6-2 apresenta a média dos dados de granulometria dos sedimentos de fundo (FRF, 2008), fornecidos pela Codesp, para cada trecho do projeto de dragagem.

Tabela 7.2.4.6-2. Granulometria (%) do material descartado (FRF, 2008).

Classe	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4
Argila	17,93	30,6	50,2	54,9
Silte	18,99	22,2	21,0	20,9
Areia muito fina	46,57	25,0	16,9	14,9
Areia fina	12,62	15,1	7,2	4,7
Areia média	1,62	3,1	2,1	2,7
Areia grossa	1,05	2,1	1,4	1,1
Areia muito grossa	1,21	2,0	1,3	0,8

Para a apresentação dos resultados referentes à coluna d'água, foi adotado um corte no limite de 30 mg/l sugerido pelo Programa de Gestão Ambiental e Controle da Dragagem – PBA 04 (Fundespa, 2010).

7.3. Resultados e Discussão

Visando disponibilizar uma ferramenta de gestão para facilitar a tomada de decisões durante a execução da dragagem de aprofundamento do canal de navegação, bem como para todos os programas a ela relacionados, o Programa tem por objetivo fornecer previsões:

1. Meteorológicas e oceanográficas diárias, incluindo figuras, análises e tabelas para correntes, ventos e campos de onda;
2. Da dispersão da pluma de sedimentos, de acordo com a programação de descarte diária;
3. Simulações (*hindcast*) das operações de descarte do dia anterior;

4. Cenários hipotéticos críticos, indicando possíveis deslocamentos da pluma em direção à costa ou outros recursos naturais.

Com este objetivo, utiliza-se uma combinação de dados ambientais e diferentes tipos de modelos computacionais (hidrodinâmico, ondas, atmosférico, de descarte de material dragado, e de transporte de sedimentos) de forma a implementar um sistema operacional.

Os procedimentos de modelagem operacional e as ferramentas computacionais empregadas garantem previsões numéricas com alto grau de confiabilidade, antecipando as alterações no estado de mar e/ou atmosférico na região de interesse. A modelagem operacional é uma ferramenta importante para a identificação de períodos críticos em que os descartes de sedimentos contaminados devam ser evitados ou para o planejamento de operações alternativas em função de condições de mar impróprias.

7.3.1. Atividades desenvolvidas no 1º semestre: Fevereiro a Junho de 2010

O Primeiro Relatório Consolidado do Programa de Modelagem Operacional (Fundespa, 2010), contemplou o período entre 28 de Dezembro de 2009 e 14 de Junho de 2010 e continha:

- Implementação dos modelos atmosférico, oceânico e de ondas, bem como sua estrutura operacional e emissão de boletins meteo-oceanográficos.
- Resumo semanal das atividades realizadas durante o período;
- Caracterização meteorológica e oceanográfica da região de estudo;
- Resumos mensais das condições de tempo e do oceano previstas pelos modelos;
- Caracterização da dispersão da pluma de sedimentos, baseada em relatórios e estudos prévios;
- Análises dos dados de corrente considerados durante a preparação do modelo hidrodinâmico.

Neste primeiro relatório não foram apresentados resultados da modelagem da pluma de sedimentos tendo em vista que até a data de sua entrega, algumas informações relacionadas às operações de descarte ainda estavam sendo consolidadas, como volumes transportados e número de viagens das dragas.

7.3.2. Atividades desenvolvidas no 2º semestre: Junho a Novembro de 2010

Neste semestre foram realizadas campanhas de coleta de dados meteorológicos e oceanográficos. A análise destes dados é apresentada na Seção 7.3.2.1, sendo estes utilizados para validar os modelos hidrodinâmicos e atmosférico na Seção 7.3.2.2. Também no segundo semestre do programa, manteve-se a elaboração e envio diário dos boletins de previsão meteo-oceanográfica, de forma a atender as necessidades do programa. Uma análise das condições meteo-oceanográficas de junho a outubro de 2010 é apresentada na Seção 7.3.2.3.

Com relação à modelagem do descarte de sedimentos, no período compreendido por este relatório, foram entregues os dados referentes às operações de dragagens das dragas Xin Hai Hu e Hang Jun 5001 durante os meses de Março a Junho de 2010. Tais dados foram compilados para serem utilizados na modelagem da pluma de sedimentos e os resultados são apresentados na Seção 7.3.2.4. Também foram realizadas modelagens considerando casos hipotéticos, conforme sugerido pelo cliente. A Tabela 7.3.2-1 apresenta a descrição das atividades realizadas durante o período de 15 de Junho a 01 de Dezembro de 2010.

Tabela 7.3.2-1. Atividades realizadas (15 de Junho a 01 de Dezembro de 2010).

SEMANA DO PROJETO	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	STATUS ATUAL
24 (14/06 a 20/06)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Confirmação dos dados e compilação dos mesmos	Concluído
	Mobilização para início das campanhas oceanográficas para medição de dados de correntes	Concluído
25 (21/06 a 27/06)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Compilação dos dados	Concluído
	24/06/2010 - Reunião com os responsáveis por cada programa sobre o Relatório Semestral, andamento dos PBAs, dificuldades e necessidades	Concluído
	27/06/2010 – Início da primeira campanha oceanográfica para medição de dados de correntes	Concluído
26 (28/06 a 04/07)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Início da primeira campanha de coleta de dados de corrente	Concluído
	Início da coleta de dados meteorológicos	Concluído
	28/06/2010 – Início da coleta de dados meteorológicos	Concluído
	Simulações das plumas de sedimento referente ao mês de Março e Abril para as dragas Hang Jun 5001 e Xi Hai Hu	Concluído
27 (05/07 a 11/07)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	08/07/2010 – Término da primeira campanha oceanográfica para medição de dados de corrente	Concluído
	Coleta de dados meteorológicos	Concluído
	Simulações das plumas de sedimento referente ao mês de Março e Abril para as dragas Hang Jun 5001 e Xi Hai Hu	Concluído
28 (12/07 a 18/07)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	12/07/2010 – Início da segunda campanha oceanográfica para medição de dados de correntes	Concluído
	Coleta de dados meteorológicos	Concluído
	Simulações das plumas de sedimento referente ao mês de Março e Abril para as dragas Hang Jun 5001 e Xi Hai Hu	Concluído

Tabela 7.3.2-1. Continuação.

29 (19/07 a 25/07)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Coleta de dados oceanográficos	Concluído
	Coleta de dados meteorológicos	Concluído
	Revisão e análise dos dados operacionais de dragagem	Concluído
	Simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun 5001 e Xi Hai Hu considerado os novos dados recebidos	Concluído
	22/07/2010 - Reunião na FUNDESPA para discutir parâmetros de corte para a modelagem	Concluído
30 (26/07 a 01/08)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Coleta de dados meteorológicos	Concluído
	Revisão e análise dos dados operacionais de dragagem	Concluído
	Simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun 5001 e Xi Hai Hu considerado os novos dados recebidos	Concluído
	Visita de Nuala Page, especialista em modelagem de dragagem da ASA Austrália, para auxiliar/sugerir no <i>set up</i> do modelo	Concluído
	27/07/2010 – Término da segunda campanha oceanográfica para medição de dados de correntes	Concluído
	27/07/2010 – Reunião com líderes das comunidades de pescadores no Instituto de Pesca	Concluído
31/07/2010 – Visita à draga Hang Jun 5001, junto com Nuala Page para analisar o método de dragagem e a pluma <i>in situ</i>	Concluído	
31 (02/08 a 08/08)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Coleta de dados meteorológicos	Concluído
	Revisão e análise dos dados operacionais de dragagem	Concluído
	Simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun 5001 e Xi Hai Hu considerado os novos dados recebidos	Concluído
	Visita de Nuala Page, especialista em modelagem de dragagem da ASA Austrália, para auxiliar/sugerir no <i>set up</i> do modelo	Concluído
32 (09/08 a 15/08)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Coleta de dados meteorológicos	Concluído
	Revisão e análise dos dados operacionais de dragagem	Concluído
	Simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun 5001 e Xi Hai Hu considerado os novos dados recebidos	Concluído

Tabela 7.3.2-1. Continuação.

33 (16/08 a 22/08)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Coleta de dados meteorológicos	Concluído
	Revisão e análise dos dados operacionais de dragagem	Concluído
	Simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun 5001 e Xi Hai Hu considerado os novos dados recebidos	Concluído
34 (23/08 a 29/08)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Coleta de dados meteorológicos	Concluído
	Simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun 5001 e Xi Hai Hu	Concluído
	23/08/2010 - Reunião na CODESP para apresentação dos PBAs aos Secretários de Meio Ambiente de Santos e Guarujá	Concluído
35 (30/08 a 05/09)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Coleta de dados meteorológicos	Concluído
	Simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun 5001 e Xi Hai Hu	Concluído
36 (06/09 a 12/09)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun 5001 e Xi Hai Hu	Concluído
37 (13/09 a 19/09)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Finalização das simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun e Xi Hai Hu considerado os novos dados recebidos para Março	Concluído
	Simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun 5001 e Xi Hai Hu considerado os novos dados recebidos para Abril	Concluído
38 (20/09 a 26/09)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun 5001 e Xin Hai Hu para Abril	Concluído
	24/09/2010 - Reunião sobre o plano de trabalho para monitoramento e modelagem da pluma do <i>overflow</i>	Concluído

Tabela 7.3.2-1. Continuação.

39 (27/09 a 03/10)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Finalização das simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun 5001 e Xin Hai Hu para Abril	Concluído
	Pós-processamento das simulações: geração de pluma 3D	Em andamento
	29/09/2010 - Reunião sobre o problema de erosão da Ponta da Praia e estabilidade das estruturas entre a balsa e o canal 6	Concluído
	01/10/2010 – Reunião mensal para apresentação dos resultados do PBAs	Concluído
40 (04/10 a 10/10)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun 5001 e Xin Hai Hu: Maio	Concluído
	Pós-processamento das simulações: geração de pluma 3D	Concluído
41 (11/10 a 17/10)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun 5001 e Xi Hai Hu: Maio e Junho	Concluído
	Pós-processamento das simulações: geração de pluma 3D	Concluído
42 (18/10 a 24/10)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun 5001 e Xin Hai Hu para Maio e Junho	Concluído
	Pós-processamento das simulações: geração de pluma 3D	Concluído
43 (25/10 a 31/10)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun 5001 e Xi Hai Hu para Maio e Junho	Concluído
	Pós-processamento das simulações: geração de pluma 3D	Concluído
	Preparação das rodadas de casos extremos hipotéticos	Concluído
44 (01/11 a 07/11)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun 5001 e Xin Hai Hu para Maio e Junho	Concluído
	Pós-processamento das simulações: geração de pluma 3D	Concluído
	Preparação das rodadas de casos extremos hipotéticos	Concluído
	04/11/2010 – Reunião na FUNDESPA sobre a apresentação dos resultados no Segundo Relatório Consolidado	Concluído

Tabela 7.3.2-1. Continuação.

45 (08/11 a 14/11)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Finalização das simulações das plumas de sedimentos das dragas Hang Jun 5001 e Xi Hai Hu para Maio e Junho	Concluído
	Pós-processamento das simulações: geração de pluma 3D	Concluído
	Preparação das rodadas de casos extremos hipotéticos	Em andamento
46 (15/11 a 21/11)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Preparação das rodadas de casos extremos hipotéticos	Em andamento
47 (22/11 a 28/11)	Emissão de Boletins Meteorológicos e Oceanográficos diários para a Codesp e equipes dos PBAs	Concluído
	Simulação das rodadas de casos extremos hipotéticos	Em andamento

7.3.2.1. Coleta de Dados

Neste período foram realizadas atividades de coleta de dados meteorológicos e oceanográficos.

Em Santos, foi instalada uma estação meteorológica na posição 23°58'58,86"S e 46°18'34,02"W. Neste relatório são apresentados dados de vento referentes ao período entre 01/07/2010 e 31/08/2010.

A coleta de dados oceanográficos foi realizada através do fundeio de um ADCP. A primeira coleta foi realizada próxima à Ilha da Moela (ADCP Santos - 24°03'01"S; 46°16'17"W), no período de 27/06/2010 a 08/07/2010. Já a segunda coleta foi realizada próxima à Praia da Enseada no Guarujá (ADCP Guarujá - 24°01'37"S; 46°13'25"W), no período de 13/07/2010 a 30/07/2010. A localização dos pontos de coleta de dados é apresentada na Figura 7.3.2.1-1.



Figura 7.3.2.1-1. Localização dos pontos de coleta de dados de vento e corrente.

7.3.2.1.1. Dados Meteorológicos

Os dados de vento, medidos pela estação meteorológica são apresentados a seguir. A Figura 7.3.2.1.1-1 apresenta o diagrama *stick-plot* dos vetores e a intensidade do vento para o mês de Julho, enquanto a Figura 7.3.2.1.1-2 representa o vento do mês de Agosto.

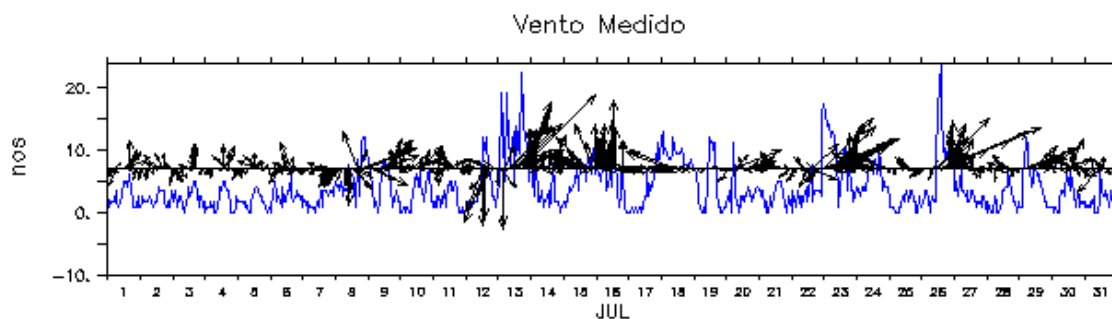


Figura 7.3.2.1.1-1. Série do vento (nós) medido na estação meteorológica em Santos no período de 1 a 31 de julho de 2010.

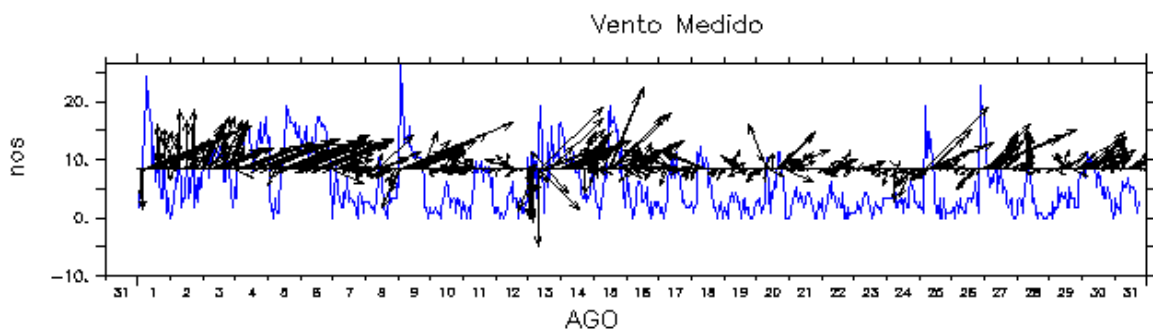


Figura 7.3.2.1.1-2. Série do vento (nós) medido na estação meteorológica em Santos no período de 1 a 31 de agosto de 2010.

A Figura 7.3.2.1.1-3 apresenta o histograma direcional do vento para o período de 01 a 31 de Julho e a Figura 7.3.2.1.1-4 representa o período de 01 a 31 de agosto de 2010. A direção apresentada nestas figuras refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. A intensidade do vento está em nós e a escala de cores representa a porcentagem de observações (Perc. Obs.).

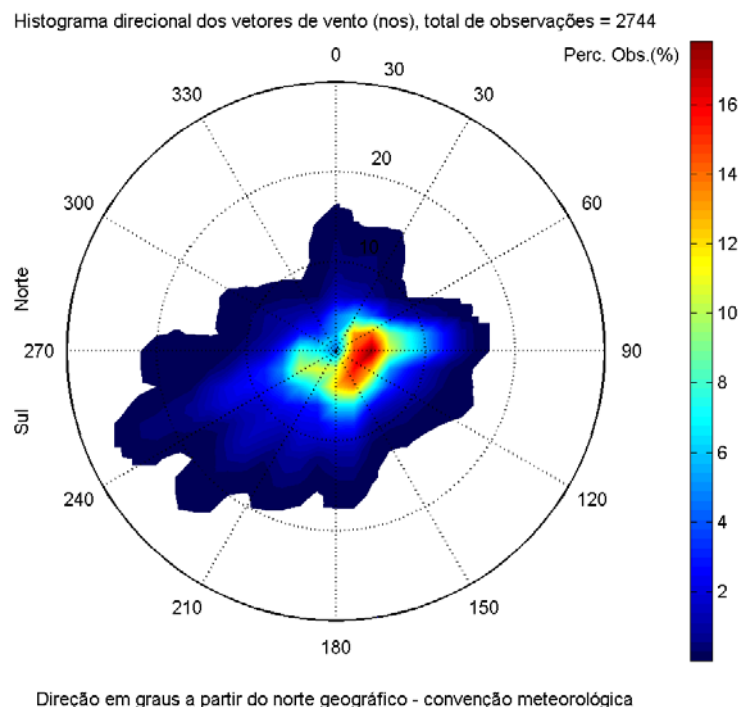
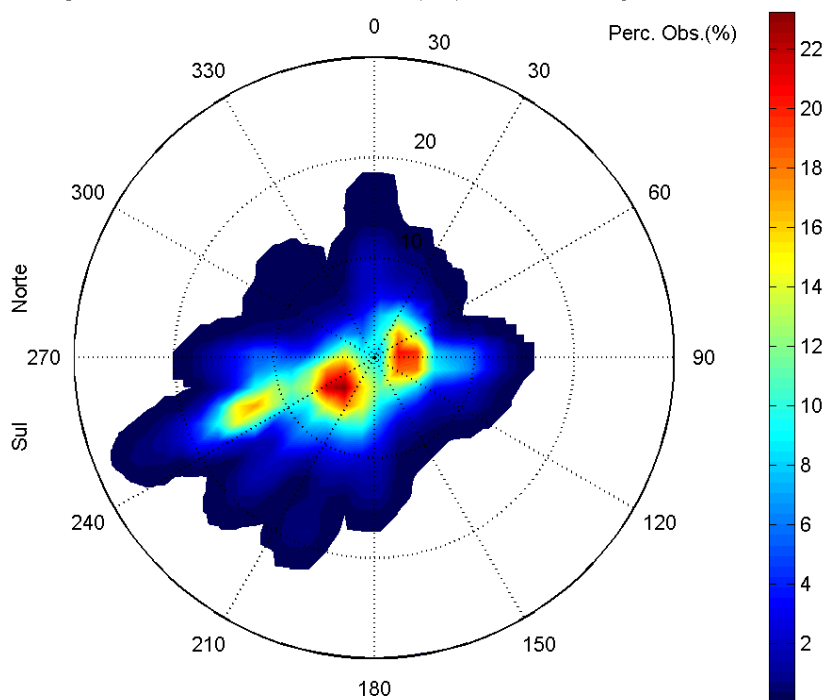


Figura 7.3.2.1.1-3. Histograma direcional dos dados de vento medidos na estação meteorológica em Santos no período de 1 a 31 de julho de 2010.

Histograma direcional dos vetores de vento (nos), total de observações = 2751



Direção em graus a partir do norte geográfico - convenção meteorológica

Figura 7.3.2.1.1-4. Histograma direcional dos dados de vento medidos na estação meteorológica em Santos no período de 1 a 31 de agosto de 2010.

7.3.2.1.2. Dados Oceanográficos

Ambas as coletas de dados oceanográficos foram realizadas através do fundeio de um ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Para esta operação, o aparelho é colocado no local de medição, dentro de uma estrutura protetora, sendo os dados acessados apenas quando o aparelho é retirado do local.

Os dados de corrente, medidos pelo ADCP nas proximidades da Ilha da Moela, relativos ao período de 27 de junho a 8 de julho de 2010 são apresentados a seguir. A Figura 7.3.2.2-1 apresenta o diagrama *stick-plot* dos vetores e a intensidade das correntes medidas entre a superfície e o fundo.

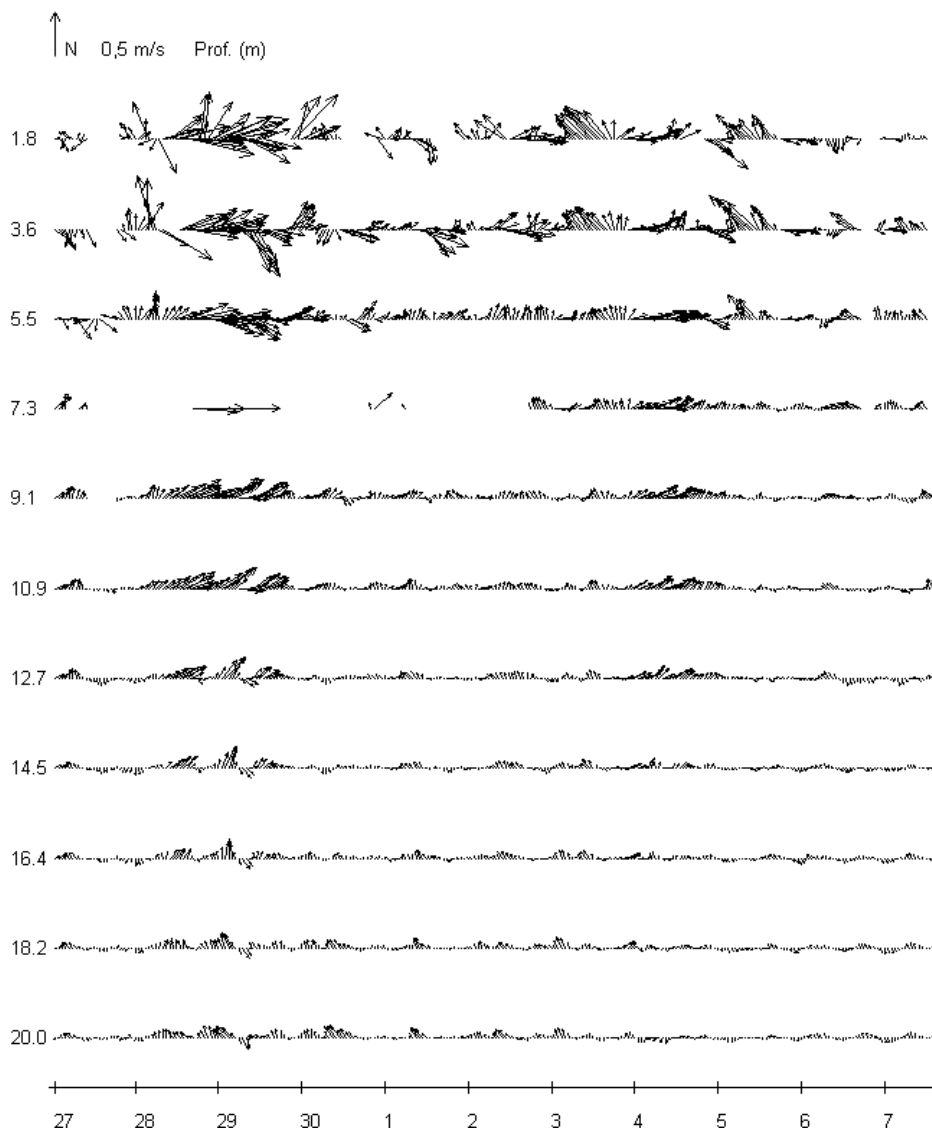


Figura 7.3.2.2-1. Série de corrente (m/s) medida nas proximidades da Ilha da Moela no período de 27 de junho a 8 de julho de 2010 entre a superfície e o fundo.

Da Figura 7.3.2.2-2 a Figura 7.3.2.2-4 são apresentados os histogramas direcionais das correntes, para o período de 27 de junho a 8 de julho de 2010, medidos próximos à superfície, meia água e fundo. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico. A intensidade é apresentada em (m/s) e a escala de cores representa a porcentagem de observações (Perc. Obs.).

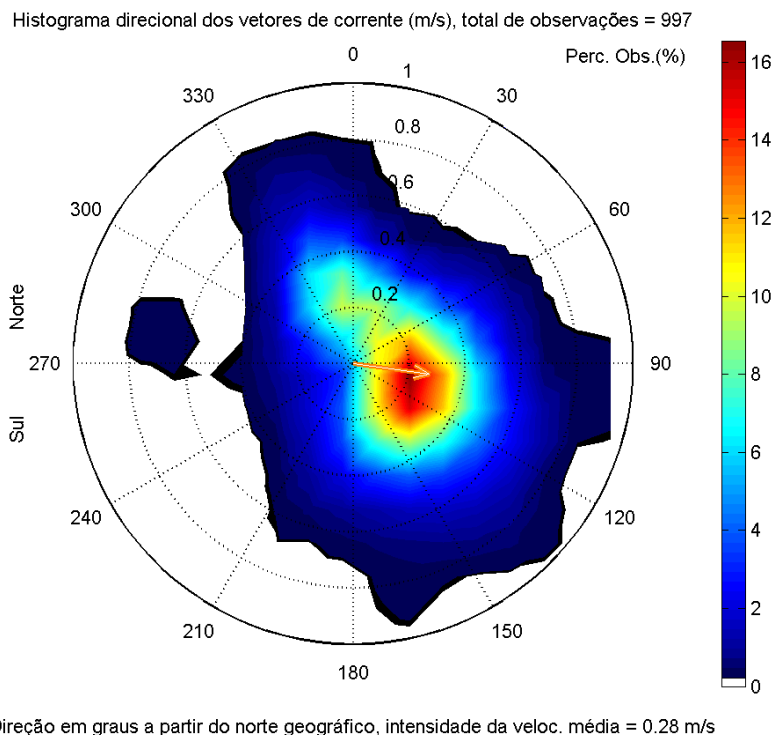


Figura 7.3.2.2-2. Histograma direcional dos dados de corrente medidos próximos à superfície nas proximidades da Ilha da Moela no período de 27 de junho a 8 de julho de 2010.

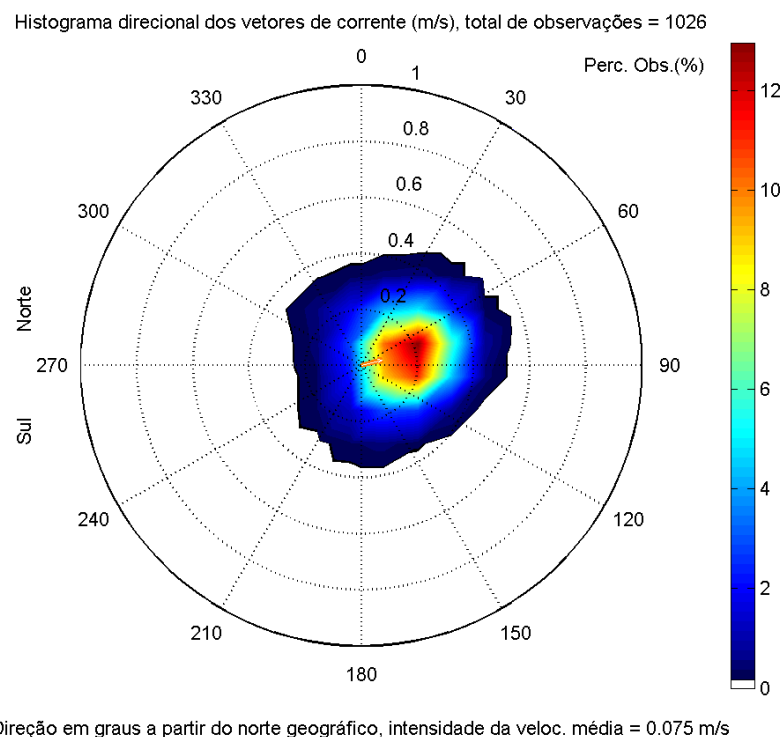


Figura 7.3.2.2-3. Histograma direcional dos dados de corrente medidos à meia água nas proximidades da Ilha da Moela no período de 27 de junho a 8 de julho de 2010.

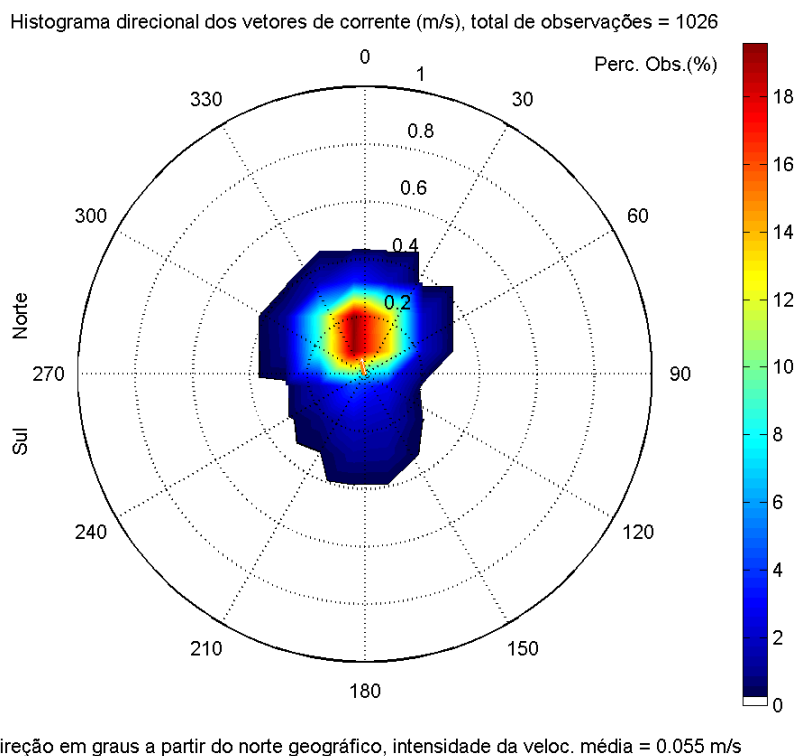


Figura 7.3.2.2-4. Histograma direcional dos dados de corrente medidos próximos ao fundo nas proximidades da Ilha da Moela no período de 27 de junho a 8 de julho de 2010.

Os dados de corrente, medidos pelo ADCP nas proximidades da Praia da Enseada no Guarujá, são apresentados a seguir. A Figura 7.3.2.2-5 apresenta o diagrama *stick-plot* dos vetores e a intensidade das correntes medidas entre a superfície e o fundo.

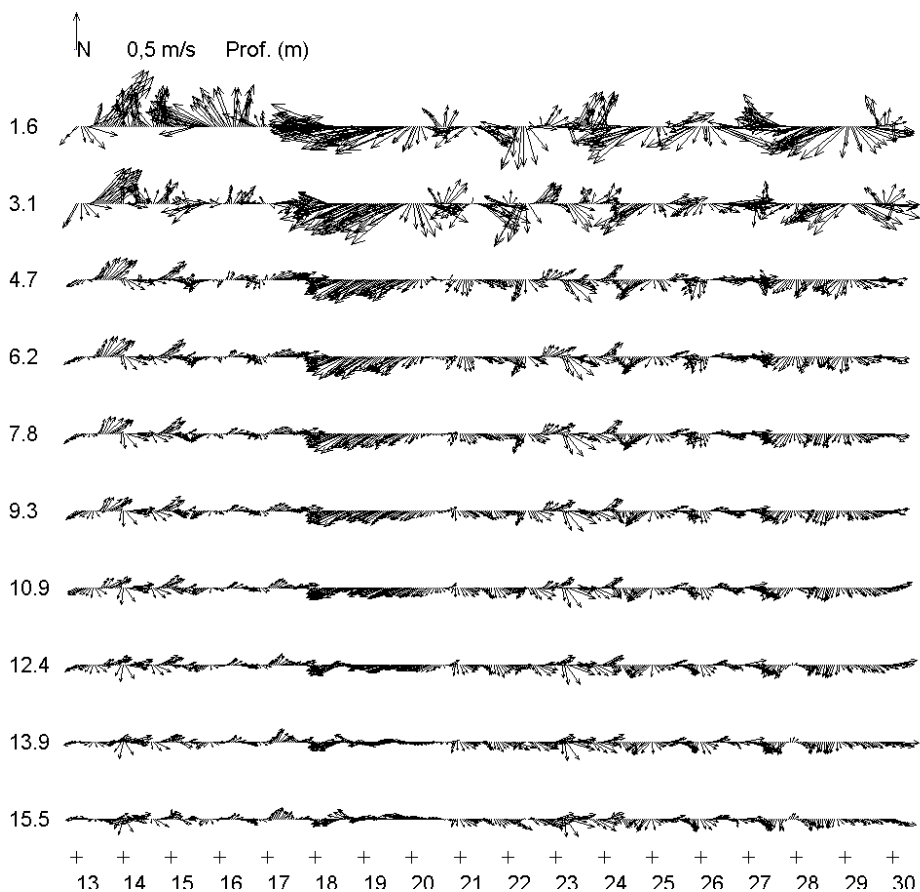


Figura 7.3.2.2-5. Série de corrente (m/s) medida nas proximidades da Praia da Enseada no Guarujá, no período de 13 a 30 de julho de 2010, na superfície, meia água e fundo.

Da Figura 7.3.2.2-6 a Figura 7.3.2.2-8 são apresentados os histogramas direcionais das correntes, para o período de 13 a 30 de julho de 2010, medidos próximo à superfície, meia água e fundo. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico. A intensidade é apresentada em metros/segundo e a escala de cores representa a porcentagem de observações (Perc. Obs.).

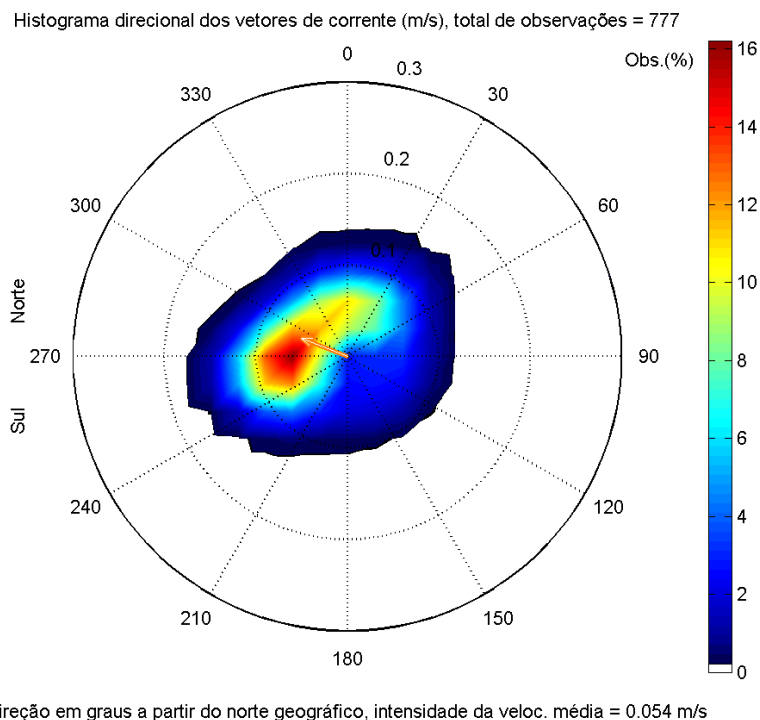


Figura 7.3.2.2-6. Histograma direcional dos dados de corrente medidos próximos à superfície nas proximidades da Praia da Enseada no Guarujá, no período de 13 a 30 de julho de 2010.

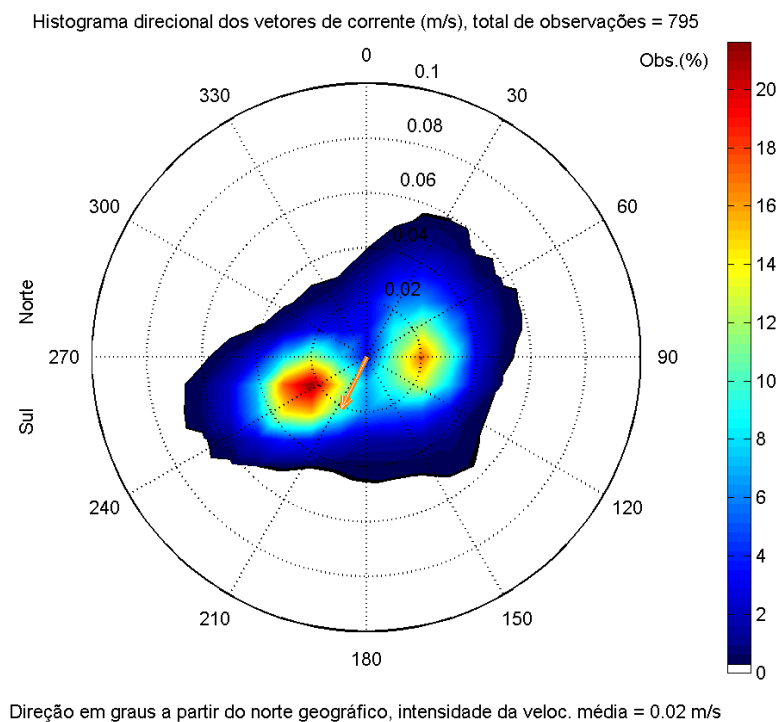


Figura 7.3.2.2-7. Histograma direcional dos dados de corrente medidos à meia água nas proximidades da Praia da Enseada no Guarujá, no período de 13 a 30 de julho de 2010.

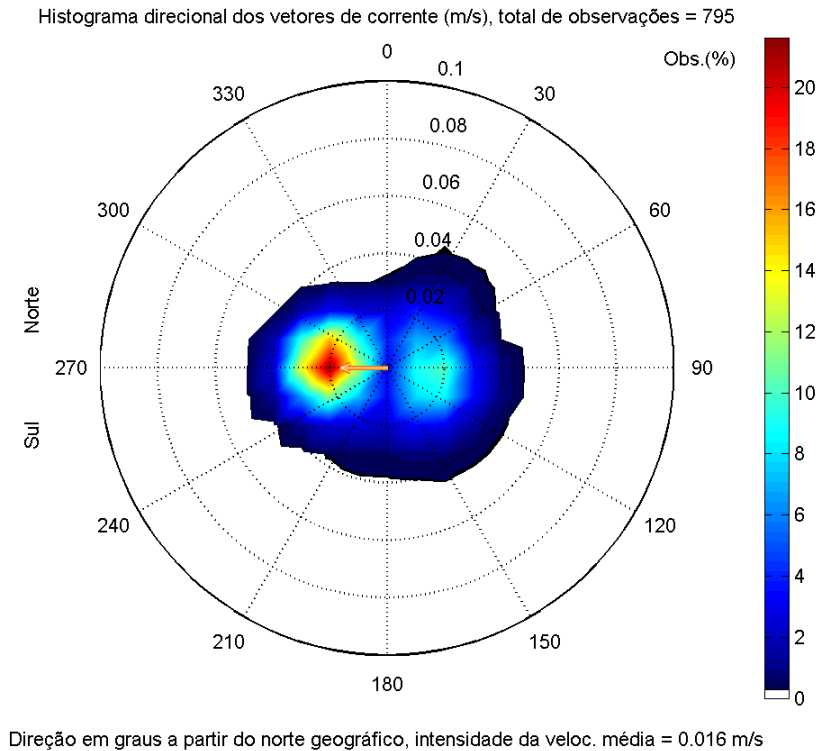


Figura 7.3.2.2-8. Histograma direcional dos dados de corrente medidos próximos ao fundo nas proximidades da Praia da Enseada no Guarujá, no período de 13 a 30 de julho de 2010.

7.3.2.2. Validação dos Modelos

Os dados meteorológicos e oceanográficos coletados proporcionaram uma validação do modelo atmosférico (WRF-NMM) e do modelo hidrodinâmico Delft.

Para avaliar os erros obtidos nas previsões com os modelos em comparação com os dados, foram aplicadas três metodologias de comparação: a Raiz do Erro Médio Quadrático (REM_Q), o Erro Absoluto Médio Relativo (RMAE) e o *Índice de Concordância* (IOA). Estas três metodologias quantificam o erro do modelo, mas somente a RMAE e o IOA fornecem critérios que permitem afirmar o quanto o erro é aceitável.

A Raiz do Erro Médio Quadrático (REM_Q) é definida como (Willmott, 1982):

$$REM_Q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (p_k - o_k)^2}$$

onde n é o tamanho da série, o_k o valor observado e p_k o valor previsto.

A raiz do erro médio quadrático é um indicador do desvio entre o previsto pelo modelo e as observações e tem a mesma dimensão física (unidade) do dado. Em uma situação ideal a raiz do erro médio quadrático ideal seria nula.

O Erro Absoluto Médio Relativo (*Relative Mean Absolute Error* - RMAE) é definido por Walstra *et al.* (2001), como sendo:

$$\text{RMAE} = \frac{\sum_{i=1}^n |\text{dado}_i - \text{modelo}_i|}{\sum_{i=1}^n |\text{dado}_i|}$$

Como para a REMQ, o RMAE ideal é nulo.

Walstra *et al.* (2001) apresentam também uma tabela na qual classificam (qualificam) os valores dos erros, esta qualificação está reproduzida na Tabela 7.3.2.2-1.

Tabela 7.3.2.2-1 - Classificação do RMAE por *ranges*.

RMAE	Qualificação
RMAE < 20	Excelente
20 < RMAE < 40	Bom
40 < RMAE < 70	Razoável
70 < RMAE < 100	Ruim
RMAE > 100	Péssimo

Willmott e Wicks 1980 (*apud* Willmott, 1982) propuseram o *Índice de Concordância* (index of agreement - IOA) definido por:

$$IOA = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\text{dado}_i - \text{modelo}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\text{modelo}_i - \overline{\text{dado}}| + |\text{dado}_i - \overline{\text{dado}}|)^2} \right]$$

Onde: $\overline{\text{dado}}$ = média do dado.

Em Willmott (1985) o autor afirma que para valores de IOA superiores a 0,5, o modelo não apresenta erros significativos.

7.3.2.2.1. Modelo Atmosférico

Os dados coletados através da estação meteorológica permitiram a validação do modelo atmosférico (WRF) para os meses de julho e agosto de 2010. Nesta validação foram utilizadas séries mensais construídas a partir do primeiro dia de previsão do modelo atmosférico, que é realizada diariamente. Da Figura 7.3.2.2.1-1 a Figura 7.3.2.2.1-4 são apresentadas as comparações entre as componentes zonal e meridional do vento, a temperatura e a pressão medidas pela estação e simuladas pelas duas grades do modelo para julho de 2010. A primeira grade do modelo abrange a costa do SE do Brasil (G1) e a segunda grade, que possui maior resolução, é centrada em Santos e considera toda a costa de São Paulo e porção oceânica adjacente (G2). Todos os resultados utilizados no trabalho (previsões meteorológicas e forçantes para outros modelos) são referentes à G2.

A Tabela 7.3.2.2.1-1 apresenta a REMQ e o IOA calculado para a temperatura, vento zonal, vento meridional e pressão nas duas grades para julho de 2010. Os erros são significativamente menores na G2 e o IOA apresenta valores acima de 0,72 para todas as variáveis, com valores maiores na G2. Portanto, o modelo apresenta resultados bastante satisfatórios na previsão das principais variáveis atmosféricas.

Tabela 7.3.2.2.1-1. REMQ e IOA das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento, da temperatura e da pressão calculados para Julho de 2010 para as duas grades do modelo atmosférico.

Variável	REMQ		IOA	
	G1	G2	G1	G2
Temperatura	3,97	1,79	0,82	0,90
Vento Zonal	6,16	4,96	0,72	0,81
Vento Meridional	4,86	3,14	0,76	0,83
Pressão	3,78	3,71	0,85	0,88

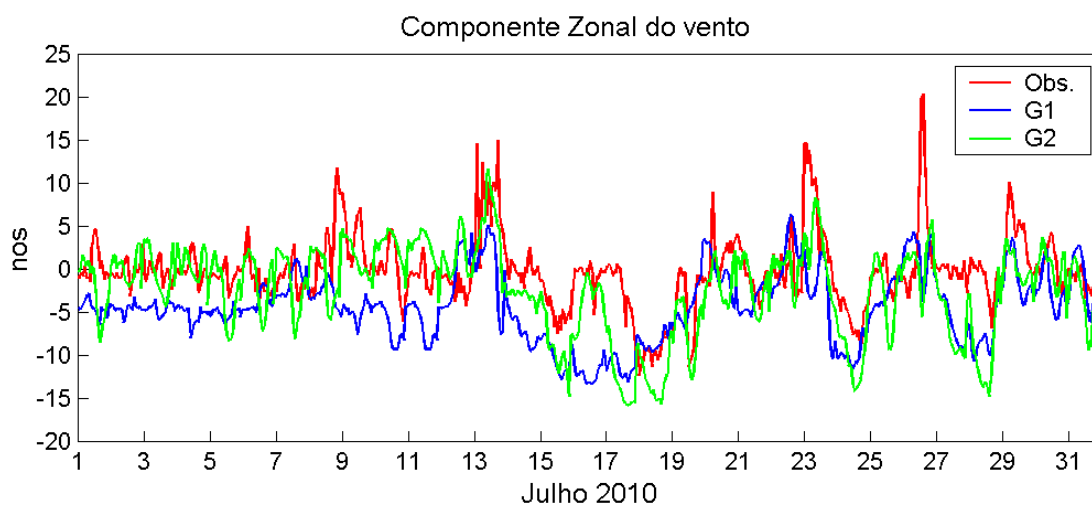


Figura 7.3.2.2.1-1. Comparação da componente zonal (u) do vento observado e simulado para as duas grades do modelo atmosférico para julho de 2010.

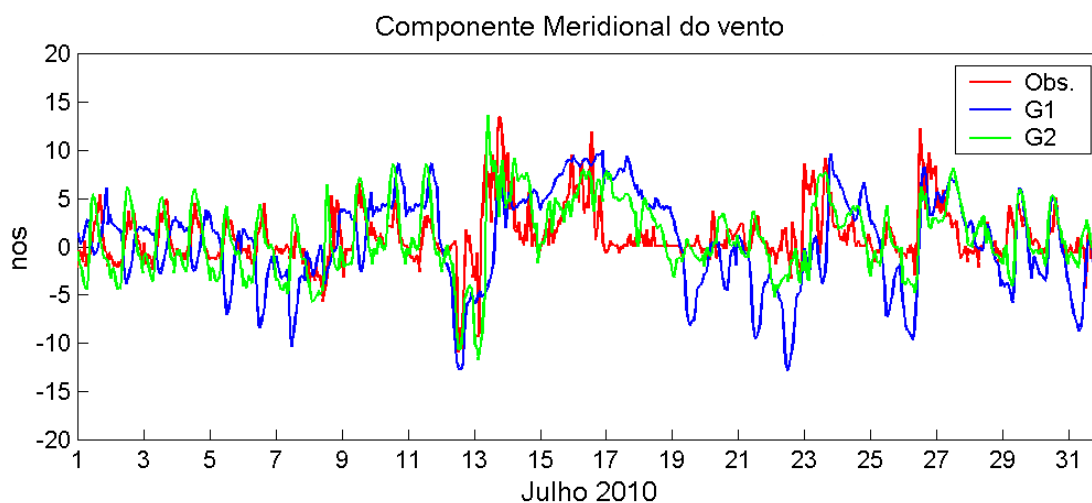


Figura 7.3.2.2.1-2 - Comparação da componente meridional (v) do vento observado e simulado para as duas grades do modelo atmosférico para julho de 2010.

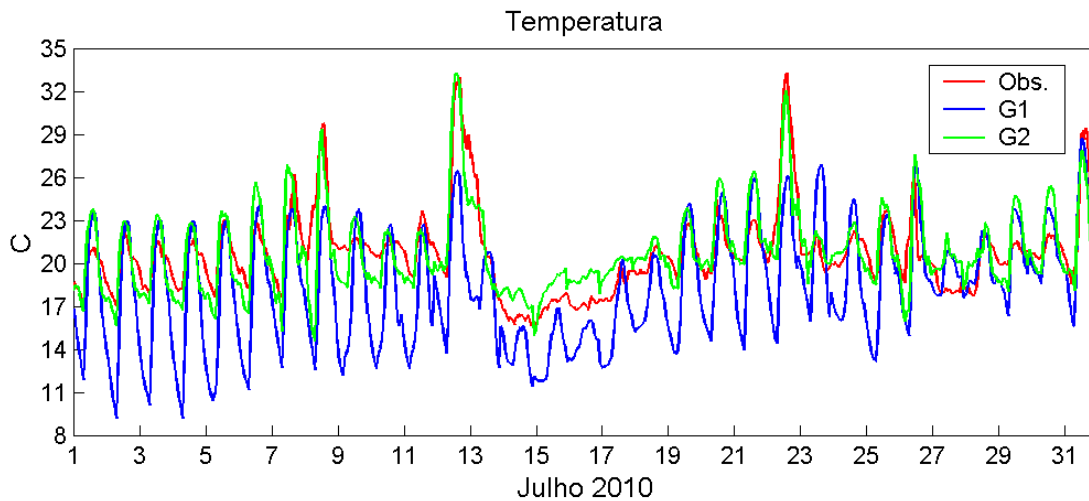


Figura 7.3.2.2.1-3. Comparação da temperatura observada e simulada para as duas grades do modelo atmosférico para julho de 2010.

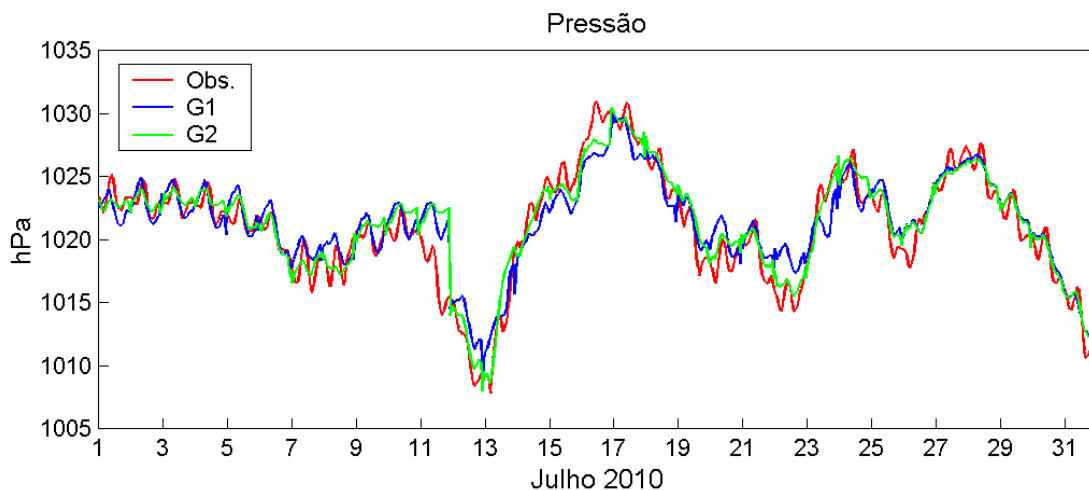


Figura 7.3.2.2.1-4. Comparação da pressão observada e simulada para as duas grades do modelo atmosférico para julho de 2010.

A Tabela 7.3.2.2.1-2 apresenta a REMQ e o IOA calculado para a temperatura, vento zonal, vento meridional e pressão nas duas grades para agosto de 2010. Neste caso, não foi observada uma melhora de desempenho na G2 com relação à G1. O IOA apresentou valores ligeiramente inferiores do que os obtidos para o mês de julho. Entretanto, o modelo ainda apresenta um bom desempenho, com IOA acima de 0,58, e de acordo com o critério de Willmott (1982, 1985) o IOA obtido mostra que em geral a modelagem não apresenta erros significativos. Da Figura 7.3.2.2.1-5 a Figura 7.3.2.2.1-8 são apresentadas as

comparações entre as componentes zonal e meridional do vento, a temperatura e a pressão medidas pela estação e simuladas pelas duas grades do modelo para agosto de 2010.

Tabela 7.3.2.2.1-2 - REMQ e IOA das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento, da temperatura e da pressão calculados para Agosto de 2010 para as duas grades do modelo atmosférico.

Variável	REMQ		IOA	
	G1	G2	G1	G2
Temperatura	3,12	2,99	0,81	0,81
Vento Zonal	7,98	8,15	0,67	0,58
Vento Meridional	6,22	5,37	0,75	0,66
Pressão	1,45	1,44	0,97	0,97

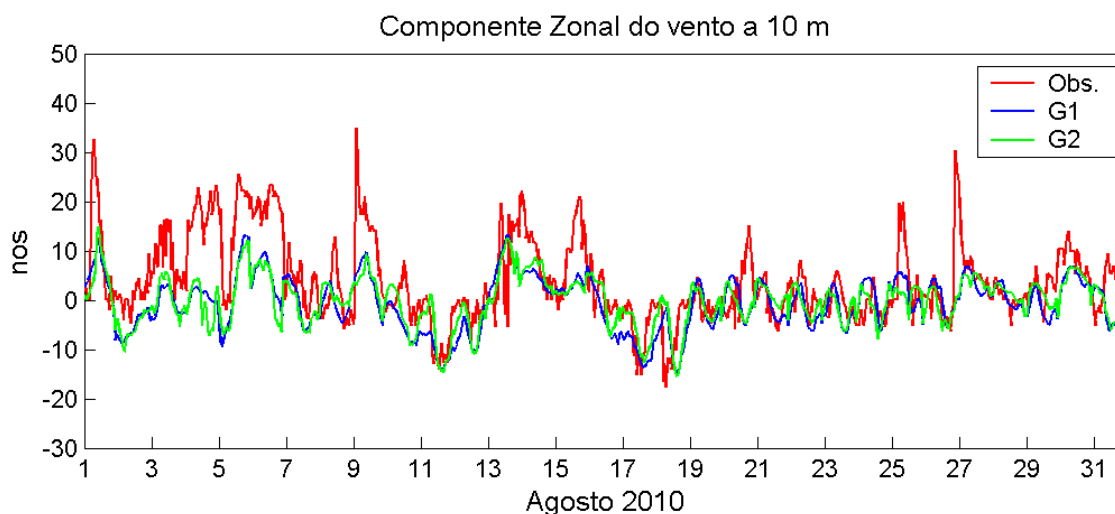
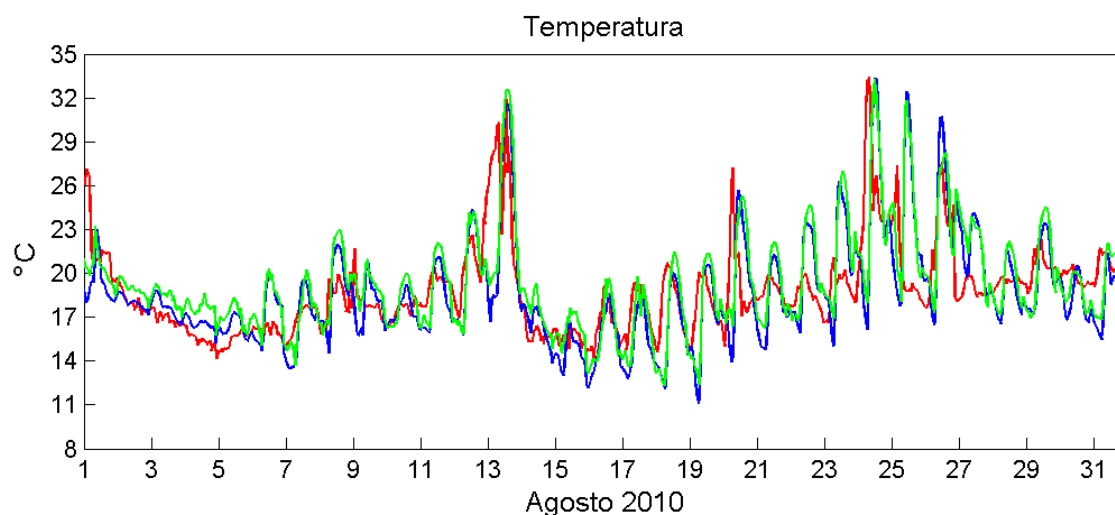
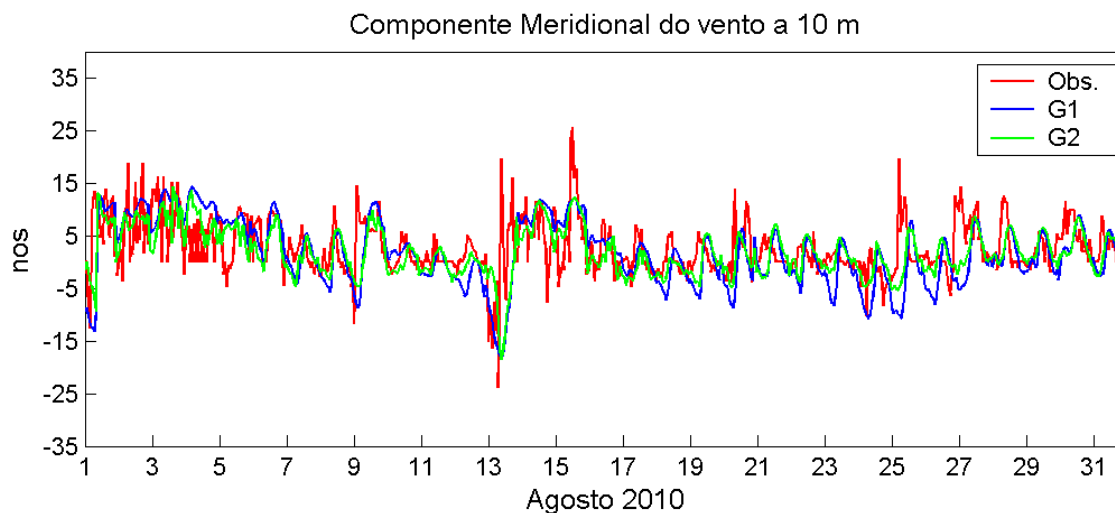


Figura 7.3.2.2.1-5. Comparação da componente zonal (u) do vento observado e simulado para as duas grades do modelo atmosférico para agosto de 2010.



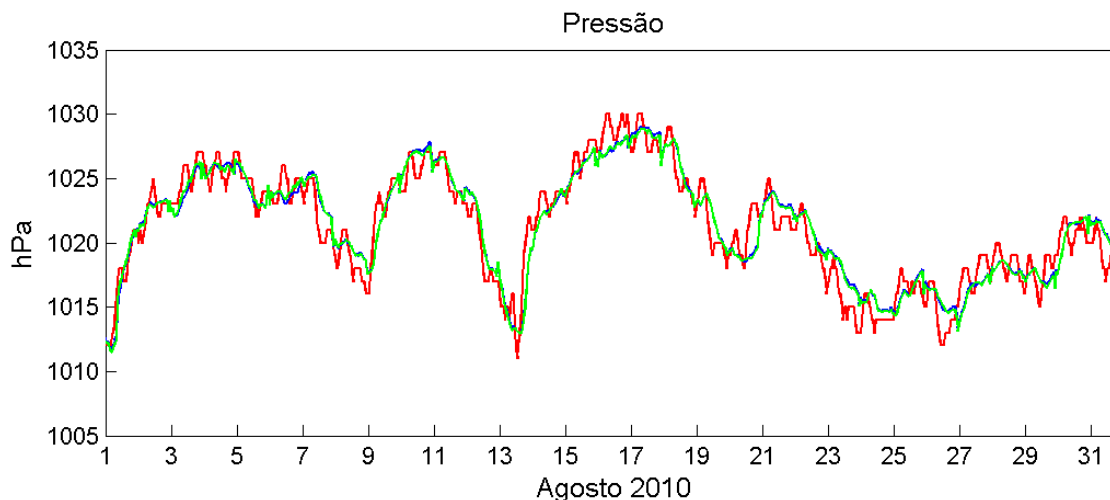


Figura 7.3.2.2.1-8. Comparação da pressão observada e simulada para as duas grades do modelo atmosférico para agosto de 2010.

7.3.2.2.2. Modelo Hidrodinâmico

A seguir são apresentados os resultados da modelagem hidrodinâmica comparados aos dados coletados com ADCP nas proximidades da Ilha da Moela e no Guarujá.

A Tabela 7.3.2.2.2-1 apresenta os erros das componentes zonal (u) e meridional (v) das correntes para as duas posições, com base nos métodos apresentados acima.

Tabela 7.3.2.2.2-1. Quantificação do erro da modelagem para as componentes zonal (u) e meridional (v) da corrente.

	REMQ (cm/s)		RMAE		IOA	
	Moela	Guarujá	Moela	Guarujá	Moela	Guarujá
Comp. U	0,14	0,14	0,54	0,51	0,69	0,79
Comp. V	0,13	0,14	0,54	0,51	0,50	0,59

A aplicação destas metodologias mostra que: de acordo com o critério do RMAE (Walstra *et al.* 2001) a modelagem pode ser considerada com razoável e, de acordo com o critério de Willmott (1982, 1985) o IOA obtido mostra que em geral a modelagem não apresenta erros significativos. Assim, de acordo com

estes dois critérios, podemos considerar que a modelagem hidrodinâmica reproduz as principais características de transporte na região de interesse.

Para a região da Ilha da Moela a comparação entre as velocidades médias e máximas do modelo e do dado resultou nos seguintes valores:

- Média da velocidade (m/s) do dado = 0,16
- Média da velocidade (m/s) do modelo = 0,13
- Erro percentual na média da velocidade = 0,17
- Velocidade máxima (m/s) do dado = 0,45
- Velocidade máxima (m/s) do modelo = 0,43
- Erro percentual na velocidade máxima = 0,04

Para a região do Guarujá a comparação entre as velocidades médias e máximas do modelo e do dado resultou nos seguintes valores:

- Média da velocidade (m/s) do dado = 0,21
- Média da velocidade (m/s) do modelo = 0,15
- Erro percentual na média da velocidade = 0,28
- Velocidade máxima (m/s) do dado = 0,52
- Velocidade máxima (m/s) do modelo = 0,38
- Erro percentual na velocidade máxima = 0,26

A análise dos erros percentuais, apresentada acima, mostra que na região da Ilha da Moela os resultados da modelagem se aproximaram bastante dos valores medidos e, na região do Guarujá, os valores da intensidade das correntes modeladas foram inferiores às medições. Contudo não existe um critério objetivo que estabeleça o quanto os erros percentuais sejam aceitáveis ou não.

Se considerarmos que o critério do RMAE de Walstra *et al.* (2001) seja aplicável ao erro percentual (o que é razoável já que o cálculo do erro percentual é praticamente o mesmo do RMAE, ou seja: $|\text{dado-modelo}|/|\text{dado}|$), então o maior

erro que é o erro percentual na média da velocidade = 0,28 %, qualifica a modelagem como boa.

A Figura 7.3.2.2.2-1 e a Figura 7.3.2.2.2-2 mostram as comparações dos resultados da modelagem e os dados medidos com ADCP nas duas localidades e para as camadas próximas à superfície.

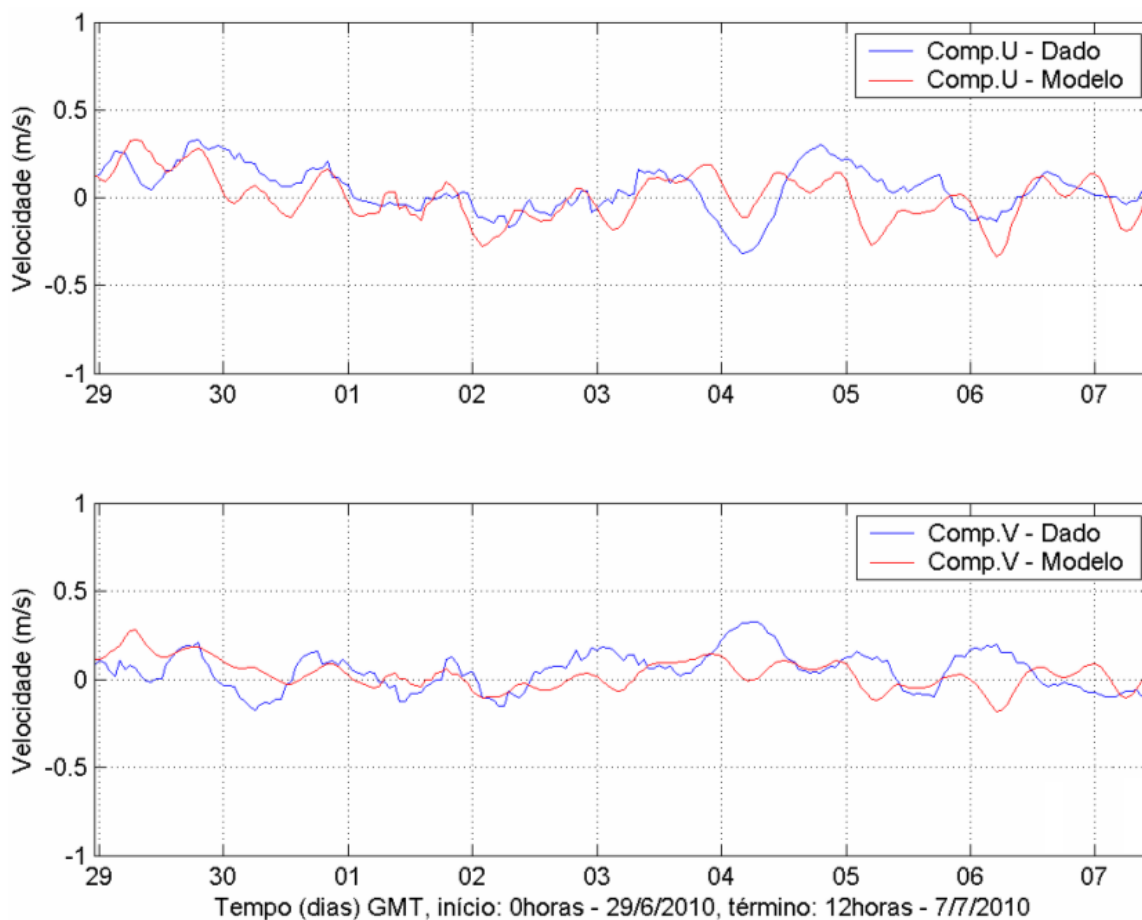


Figura 7.3.2.2.2-1. Comparação das componentes (u) e (v) observadas e simuladas para os dados coletados nas proximidades da Ilha da Moela na camada superficial.

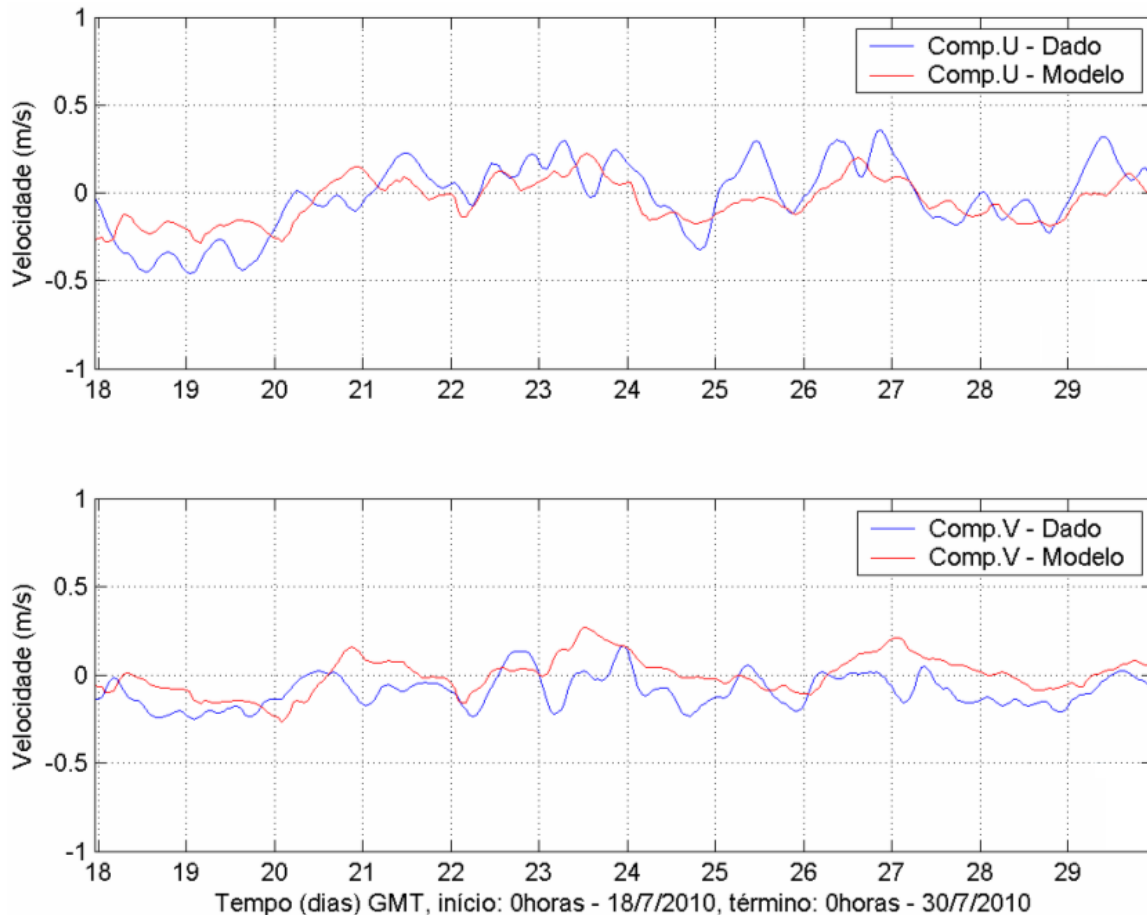


Figura 7.3.2.2-2. Comparação das componentes (u) e (v) observadas e simuladas para os dados coletados no Guarujá na camada superficial.

7.3.2.3. Previsão e Monitoramento Meteo-Oceanográfico

O sistema de modelagem operacional e o sistema de envio diário de boletins se encontram acoplados e funcionais. Os resultados da modelagem e sua análise sinótica têm sido apresentados diariamente no seguinte formato:

- (1) Descrição sinótica para os próximos 03 (três) dias;
- (2) Previsão de longo termo;
- (3) Tabela com 03 (três) dias de previsão atmosférica e oceanográfica (referente às coordenadas 24,1°S/46,3°W), para os seguintes parâmetros: temperatura do ar, pressão atmosférica ao nível do mar, quantidade de nuvens, precipitação, vento (direção, velocidade média e velocidade máxima), corrente (direção e velocidade média) e ondas

(altura máxima, altura significativa, altura de *swell*, altura de *seawind*, período de pico e direção de pico das ondas);

- (4) Ilustrações para velocidade e direção do vento, cobertura de nuvens, precipitação, velocidade e direção da corrente de superfície, elevação da superfície e altura significativa e direção de pico da onda.

Os boletins são disponibilizados através de endereço eletrônico (www.dragagemdoportodesantos.com.br) e um exemplo é apresentado no Anexo 7.8-1.

Neste período foram analisadas as condições meteo-oceanográficas de junho a outubro de 2010. Para apresentação dos resultados obtidos foram construídas séries mensais a partir do primeiro dia de previsão dos modelos atmosférico, hidrodinâmico e de ondas na posição 24,1°S e 46,3°W.

A Figura 7.3.2.3-1 apresenta os resultados obtidos para o vento em superfície, corrente em superfície, altura significativa e período de pico da onda para o mês de junho de 2010. No mês de junho cinco sistemas frontais influenciaram a região de estudo, três na primeira quinzena e dois na segunda quinzena. Os ventos e as correntes mais intensos foram associados ao segundo sistema frontal do mês, que atuou sobre a região nos dias 5 e 6 de junho. As maiores alturas de onda ocorreram no início e no meio do mês, associadas aos sistemas frontais que atuaram sobre a região nos dias 1-2 e entre os dias 9 e 12 de junho.

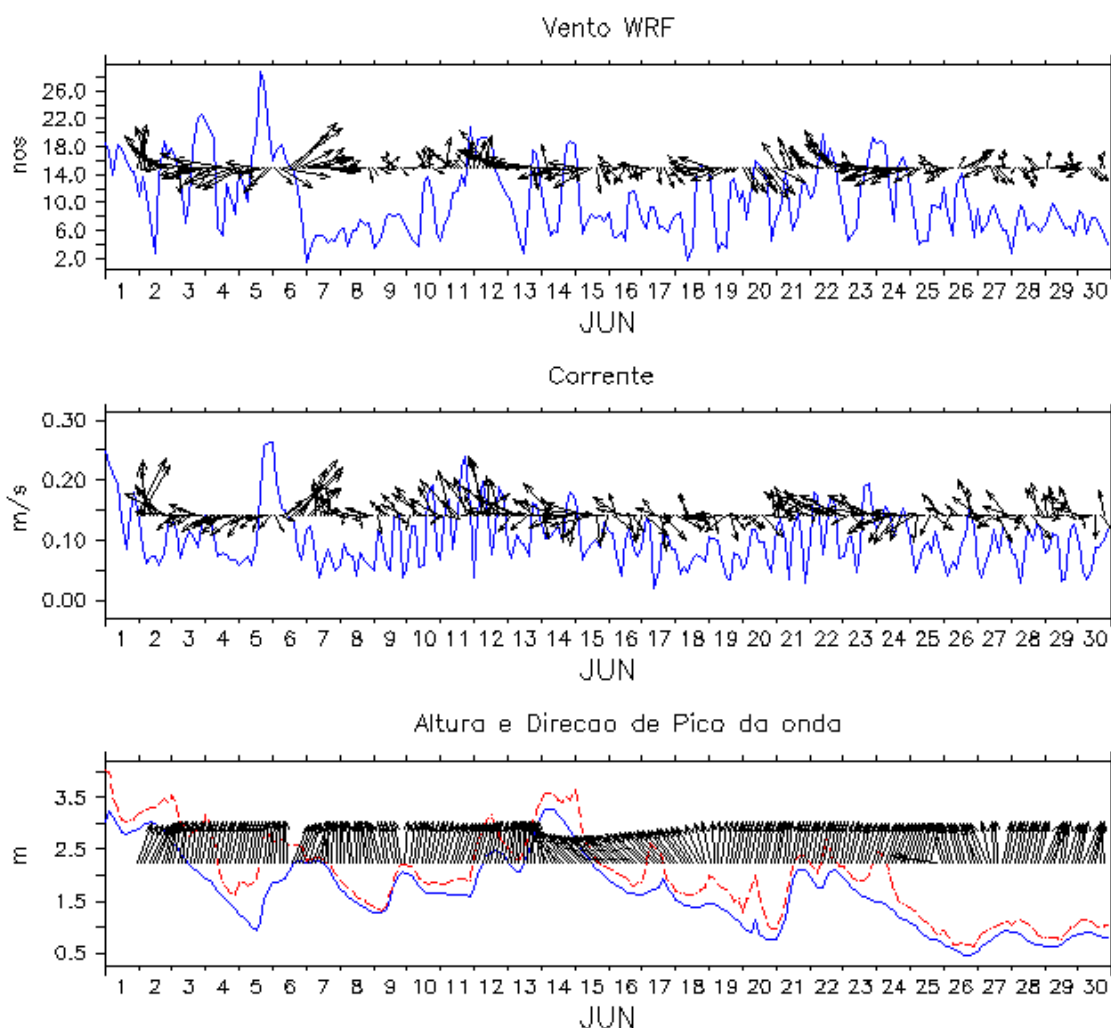
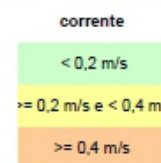
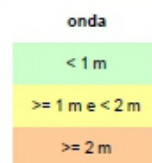


Figura 7.3.2.3-1. Séries de vento em superfície (nós), corrente em superfície (m/s), altura (m) e direção de pico das ondas para junho de 2010.

O resumo das condições atmosféricas e oceânicas para o mês de junho é observado na Tabela 7.3.2.3-1. Para caracterização das condições de tempo, foram utilizadas duas classificações: condições normais (CN), que consideram condições atmosféricas sem a influência de nenhuma perturbação significativa; e condições frontais (CF), quando a região está sob a influência de sistemas frontais.

Tabela 7.3.2.3-1. Resumo das condições do tempo, intensidade (nós) e direção do vento médio e máximo em superfície, intensidade (m/s) e direção da corrente média e máxima em superfície e altura (m) e direção de pico das ondas para junho de 2010.

JUNHO													
Dia	Cond. Tempo	Vento Médio		Vento Máximo		Onda - Hs		Onda - Hmax		Corrente Média		Corrente Máxima	
		intens. (nós)	direção	intens. (nós)	direção	altura (m)	direção	altura (m)	direção	intens. (nós)	direção	intens. (m/s)	direção
1	CF	14.4	↖	18.6	↖	3.0	↖	4.0	↖	0.15	↖	0.25	↖
2	CF	9.3	←	18.7	←	2.9	↖	3.5	↖	0.08	←	0.13	←
3	CN	15.3	←	22.6	←	2.3	↖	3.6	↖	0.11	↖	0.14	←
4	CN	12.2	↙	21.6	↙	1.7	↖	3.2	↖	0.09	↙	0.14	←
5	CF	9.8	→	28.8	↖	1.2	↖	2.8	↖	0.09	↖	0.26	↖
6	CF	14.3	↖	18.3	→	2.1	↖	2.7	↖	0.14	↖	0.26	↖
7	CN	1.7	→	5.4	↘	2.2	↖	2.4	↖	0.05	↖	0.12	↖
8	CN	1.2	→	7.5	↖	1.5	↖	1.9	↖	0.04	↖	0.09	↖
9	CF	4.0	↖	8.3	↖	1.6	↖	2.2	↖	0.07	↖	0.14	↖
10	CF	4.7	↖	13.6	↖	1.8	↖	2.2	↖	0.07	↖	0.19	↖
11	CF	10.4	↖	20.7	↖	1.6	↖	1.9	↖	0.13	↖	0.24	↖
12	CF	16.4	↖	19.4	↖	2.3	↖	3.2	↖	0.12	↖	0.20	↖
13	CN	5.7	↖	17.6	←	2.3	↖	3.3	↖	0.07	↖	0.16	↖
14	CN	8.5	↖	18.9	↖	3.1	↖	3.6	↖	0.10	↖	0.18	←
15	CN	5.3	↖	18.4	↖	2.3	↖	3.7	↖	0.05	↖	0.17	↖
16	CN	5.6	↖	11.6	↖	1.7	↖	2.2	↖	0.03	↘	0.12	↘
17	CN	3.6	↖	9.4	↘	1.7	↖	2.6	↖	0.03	↘	0.14	↘
18	CN	7.5	←	15.6	←	1.4	↖	1.7	↖	0.04	↖	0.09	↖
19	CN	6.4	↘	14.9	↖	1.3	↖	2.0	↖	0.04	↘	0.11	←
20	CN	8.4	↘	15.9	↘	0.9	↖	2.0	↖	0.03	↖	0.12	→
21	CF	9.6	↖	14.5	↖	1.6	↖	2.4	↖	0.09	↖	0.14	↖
22	CF	14.2	↖	19.8	↖	1.9	↖	2.8	↖	0.13	↖	0.18	↖
23	CF	9.7	←	19.3	←	1.7	↖	2.2	↖	0.09	↖	0.20	←
24	CN	15.2	↖	18.9	↖	1.3	↖	2.5	↖	0.12	↖	0.16	↖
25	CN	4.8	↖	11.8	↖	0.9	↖	1.4	↖	0.03	↖	0.11	↖
26	CF	4.5	↖	14.2	↖	0.5	↖	0.9	↖	0.05	↖	0.15	↖
27	CN	2.0	↘	9.6	↘	0.8	↖	1.1	↖	0.04	↖	0.12	↖
28	CN	2.7	↘	9.6	↘	0.8	↖	1.1	↖	0.00	↖	0.13	↖
29	CN	5.4	↖	9.8	→	0.7	↖	1.0	↖	0.07	↖	0.13	↖
30	CN	1.5	↘	8.8	↖	0.9	↖	1.1	↖	0.03	←	0.12	↖



A Figura 7.3.2.3-2 apresenta os resultados obtidos para o vento em superfície, corrente em superfície, altura significativa e período de pico da onda para o mês de julho de 2010. Neste mês, quatro sistemas frontais influenciaram a região de estudo. Os ventos e correntes mais intensos, bem como as maiores alturas de ondulação, foram associados ao terceiro sistema frontal do mês, que atuou sobre a região entre os dias 13 e 18 de julho.

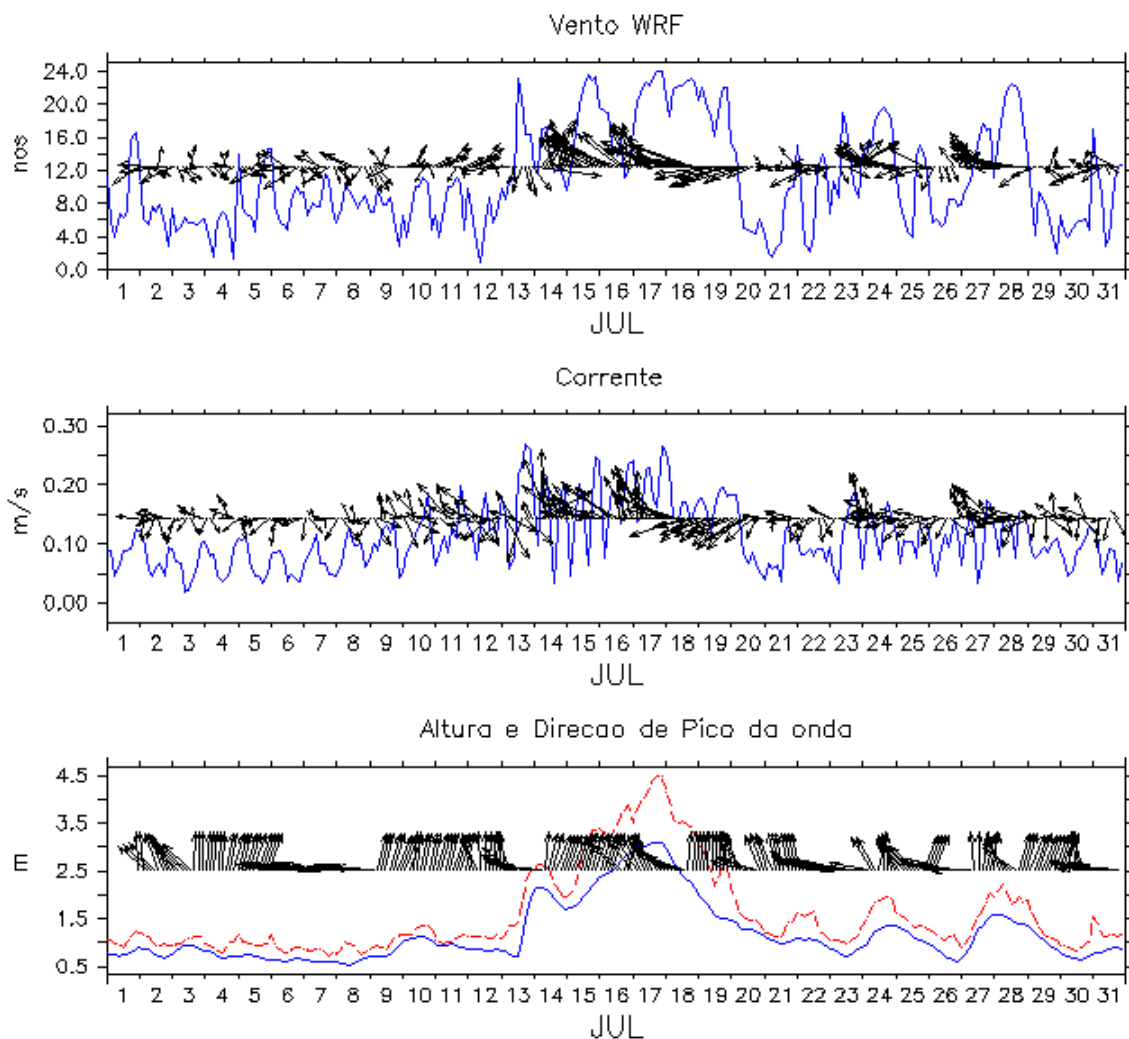
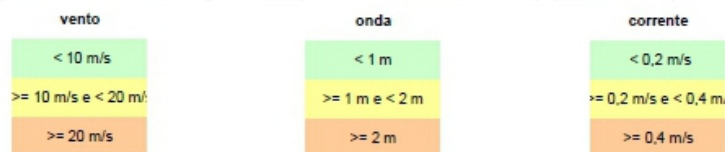


Figura 7.3.2.3-2. Séries de vento em superfície (nós), corrente em superfície (m/s), altura (m) e direção de pico das ondas para julho de 2010.

O resumo das condições atmosféricas e oceânicas para o mês de julho é observado na Tabela 7.3.2.3-2.

Tabela 7.3.2.3-2. Resumo das condições do tempo, intensidade (nós) e direção do vento médio e máximo em superfície, intensidade (m/s) e direção da corrente média e máxima em superfície e altura (m) e direção de pico das ondas para julho de 2010.

JULHO													
Dia	Cond. Tempo	Vento Médio		Vento Máximo		Onda - Hs		Onda - Hmax		Corrente Média		Corrente Máxima	
		intens. (nós)	direção	intens. (nós)	direção	altura (m)	direção	altura (m)	direção	intens. (nós)	direção	intens. (m/s)	direção
1	CN	4,5	↙	16,5	←	0,8	↗	1,2	↗	0,06	↙	0,13	←
2	CN	1,8	↘	12,1	↙	0,8	↗	1,2	↗	0,05	↙	0,12	←
3	CN	0,5	↘	7,4	↙	0,9	↑	1,1	↑	0,01	↘	0,1	↗
4	CN	1,6	↘	7,1	↘	0,7	↗	1	↗	0,05	↘	0,1	↘
5	CN	6,2	↙	14,5	←	0,7	↙	1,1	↗	0,06	↘	0,11	↓
6	CN	4	↘	14,7	↙	0,6	←	1,1	←	0,03	↘	0,09	↓
7	CN	4,3	↘	11,5	↙	0,6	←	0,9	←	0,02	↘	0,11	↘
8	CN	3,3	↓	10,3	↘	0,6	↘	1	←	0,01	↘	0,12	↘
9	CF	4,7	↗	9,7	→	0,8	↗	1,1	↑	0,03	↗	0,14	↗
10	CF	5,8	↗	11	↗	1,1	↗	1,4	↗	0,05	↙	0,19	↗
11	CN	1,1	↙	7,8	↙	0,9	↑	1,2	↑	0,06	↙	0,2	↗
12	CN	4,5	↙	9,8	↙	0,8	↗	1,2	↙	0,06	↘	0,18	↘
13	CF	7,7	→	23,1	→	1	↙	2,5	↗	0,07	↗	0,27	↑
14	CF	13,2	↗	17,1	↗	2	↗	2,6	↗	0,14	↙	0,21	↗
15	CF	18,5	↙	23,5	↙	1,9	↗	3,4	↗	0,15	↙	0,25	↗
16	CF	14,8	↗	19,6	↙	2,6	↗	3,9	↗	0,16	↗	0,24	↙
17	CF	21,2	↙	24	↙	3	↗	4,5	↙	0,19	↙	0,26	↙
18	CF	21,5	←	23	←	2,5	↗	4,2	↙	0,17	↙	0,26	←
19	CN	20	↙	22,1	←	1,7	↑	3	↑	0,17	↙	0,2	↘
20	CN	5,3	↙	15,2	↙	1,3	↘	2,1	↗	0,1	↙	0,18	↙
21	CN	2,7	←	10,1	←	1	↗	1,4	↙	0,06	←	0,13	←
22	CN	7,8	↙	15	↙	1	↙	1,6	↙	0,06	↘	0,1	↘
23	CF	8,8	↗	18,9	↗	0,8	←	1,2	←	0,08	↗	0,19	↗
24	CF	17	↙	19,6	↙	1,2	↗	2	↗	0,11	↙	0,17	←
25	CN	7,2	↙	15	←	1,2	↗	1,6	↗	0,09	↙	0,14	↙
26	CN	1,5	↘	9,9	↘	0,8	↙	1,3	↗	0,01	↙	0,14	↗
27	CF	13	↗	17,6	↙	1,1	↗	2	↑	0,1	↙	0,17	↗
28	CF	19	←	22,4	←	1,5	↗	2,2	↙	0,12	←	0,16	←
29	CN	1,2	↓	13,5	↙	1,1	↗	1,9	↗	0,04	↙	0,13	↘
30	CN	1,6	↙	6,5	↙	0,7	↗	1	←	0,04	←	0,13	↙
31	CN	8,4	↙	17	↙	0,8	←	1,5	←	0,05	↘	0,12	←



A Figura 7.3.2.3-3 apresenta os resultados obtidos para o vento em superfície, corrente em superfície, altura significativa e período de pico da onda para o mês de agosto de 2010. Neste mês, quatro sistemas frontais influenciaram a região de estudo. Os ventos mais intensos e as maiores alturas de ondulação foram vistos durante o primeiro sistema frontal do mês, que atuou sobre a região entre os dias 01 e 06 de agosto. As correntes mais intensas ocorreram durante a passagem do segundo sistema frontal, entre os dias 09 e 11 de agosto, embora as intensidades não tenham sido muito superiores às observadas durante o primeiro e o terceiro sistema frontal.

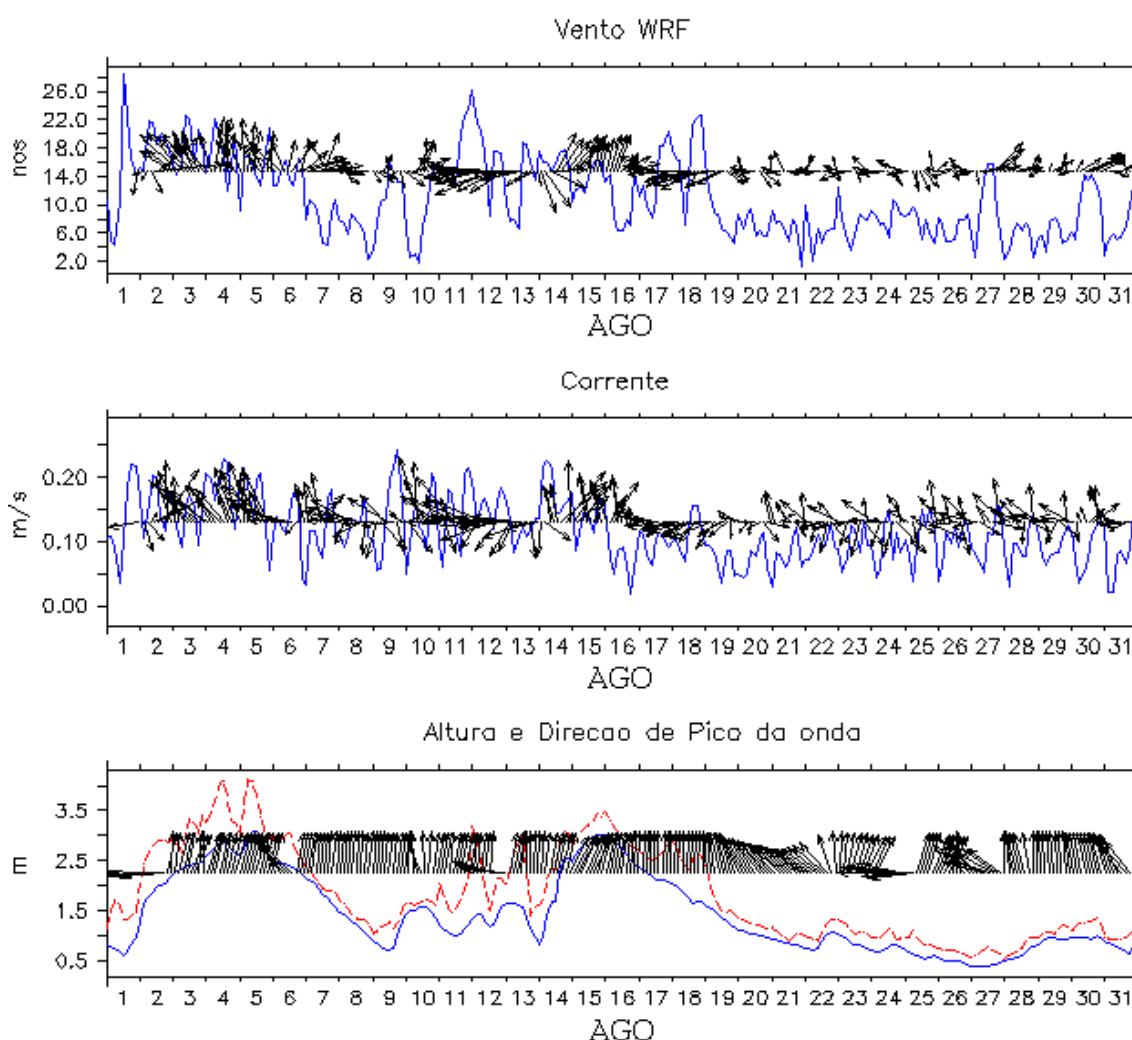


Figura 7.3.2.3-3. Séries de vento em superfície (nós), corrente em superfície (m/s), altura (m) e direção de pico das ondas para julho de 2010.

O resumo das condições atmosféricas e oceânicas para o mês de agosto é apresentado na Tabela 7.3.2.3-3.

Tabela 7.3.2.3-3. Resumo das condições do tempo, intensidade (nós) e direção do vento médio e máximo em superfície, intensidade (m/s) e direção da corrente média e máxima em superfície e altura (m) e direção de pico das ondas para agosto de 2010.

Dia	Cond. Tempo	AGOSTO											
		Vento Médio		Vento Máximo		Onda - Hs		Onda - Hmax		Corrente Média		Corrente Máxima	
		intens. (nós)	direção	intens. (nós)	direção	altura (m)	direção	altura (m)	direção	intens. (nós)	direção	intens. (m/s)	direção
1	CF	7,3	↗	28,5	→	0,8	←	1,7	←	0,07	↗	0,22	↗
2	CF	18,3	↖	22	↖	1,8	↗	2,9	↗	0,15	↖	0,2	↖
3	CF	16,8	↑	22,5	↑	2,4	↗	3,4	↗	0,13	↖	0,17	↖
4	CF	16,5	↖	22,1	↑	2,8	↗	4,1	↗	0,18	↖	0,23	↖
5	CF	11,2	↑	20,8	↗	2,9	↖	4,1	↖	0,15	↖	0,22	↖
6	CF	11,2	↗	16,5	↗	2,4	↑	3	↑	0,11	↑	0,18	↑
7	CN	1,9	→	10,8	↗	1,9	↑	2,4	↑	0,1	←	0,18	←
8	CN	0,4	↘	8,6	↘	1,2	↑	1,7	↑	0,07	←	0,17	←
9	CF	6,4	↗	15,9	↗	0,9	↑	1,5	↑	0,05	↑	0,24	↖
10	CF	5,7	↖	15,8	↖	1,5	↑	1,7	↑	0,09	↖	0,2	↖
11	CF	16,9	←	23,3	←	1,1	↑	2,2	↑	0,13	←	0,22	←
12	CN	18	↖	26,1	↖	1,4	↖	3,2	↖	0,14	←	0,19	←
13	CN	8,2	↘	18,7	↘	1,5	↑	3	↑	0,04	←	0,16	←
14	CF	16,2	↗	17,8	↗	1,7	↗	3,1	↗	0,16	↗	0,23	↗
15	CF	13,6	↗	16,1	↗	2,8	↗	3,5	↗	0,13	↑	0,18	↖
16	CF	5,1	↑	14,4	↖	2,8	↑	3,5	↑	0,06	↖	0,15	↖
17	CN	13	←	20,2	←	2,2	↑	2,8	↑	0,09	←	0,12	←
18	CN	16,7	↖	22,7	←	1,8	↑	2,9	↑	0,11	←	0,16	←
19	CN	2,5	↖	15,9	↖	1,4	↖	2,4	↖	0,06	←	0,09	↖
20	CN	1,4	↖	9,5	↖	1	↖	1,4	↖	0,01	↗	0,11	↖
21	CN	4,1	↗	9,2	↖	0,9	↖	1,2	↖	0,03	↖	0,12	↖
22	CN	2,4	←	9,9	←	0,9	↖	1,3	↑	0,05	←	0,13	↖
23	CN	4	←	12,5	↖	0,9	↗	1,3	↑	0,04	←	0,13	↖
24	CN	4,7	↖	10,8	↖	0,7	←	1,1	←	0,03	←	0,15	↖
25	CN	4,3	↘	9,6	↘	0,6	↗	1,1	↗	0,02	→	0,15	↑
26	CN	3	←	8,7	↖	0,5	↑	0,7	↗	0,06	↖	0,13	↖
27	CN	8,4	↗	15,8	↗	0,4	↖	0,8	↖	0,04	↑	0,16	↑
28	CF	4,9	↗	7,5	↗	0,6	↑	1	↑	0,05	↖	0,14	↖
29	CF	2,7	↑	8,2	↗	0,9	↑	1,2	↑	0,04	←	0,12	↖
30	CF	9	↗	14,3	↗	1	↖	1,3	↖	0,05	↑	0,13	↖
31	CF	1,8	↖	12,6	←	0,8	↖	1,1	↖	0,07	←	0,15	←

vento	corrente	onda
< 10 m/s	< 0,2 m/s	< 1 m
>= 10 m/s e < 20 m/s	= 0,2 m/s e < 0,4 m/s	>= 1 m e < 2 m
>= 20 m/s	>= 0,4 m/s	>= 2 m

A Figura 7.3.2.3-4 apresenta os resultados obtidos para o vento em superfície, corrente em superfície, altura significativa e período de pico da onda para o mês de setembro de 2010. Neste mês, três sistemas frontais influenciaram a região de estudo. Os ventos mais intensos e as maiores alturas de ondulação foram vistos logo após a passagem do primeiro sistema frontal do mês, que atuou sobre a região entre os dias 5 e 9 de setembro. As correntes mais intensas ocorreram durante a passagem deste sistema frontal. Os outros sistemas frontais verificados no mês de setembro influenciaram a região entre os dias 15 e 19 e entre os dias 23 e 30.

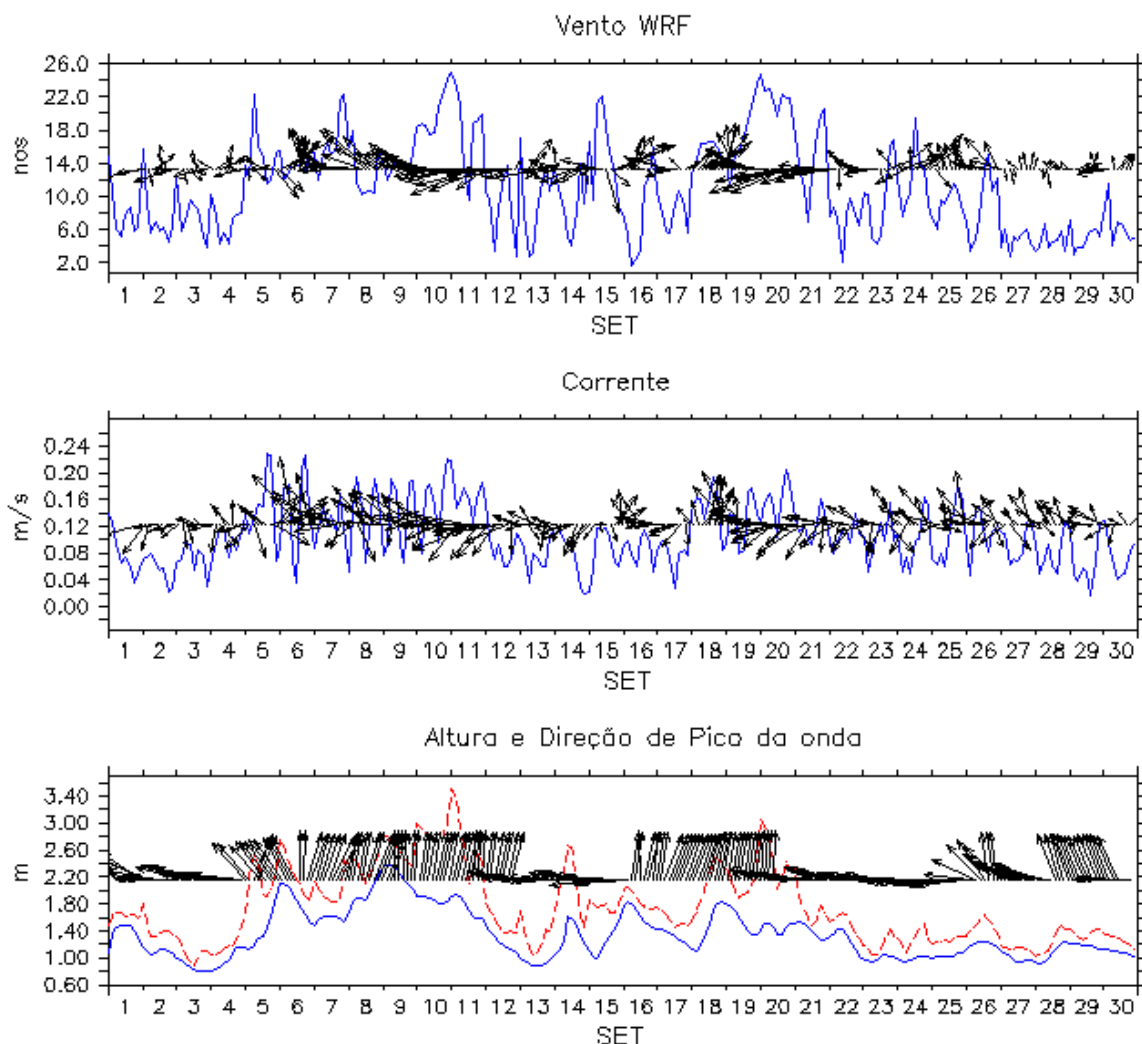
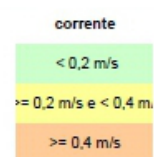
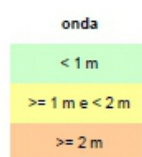
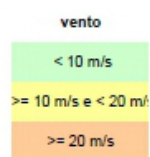


Figura 7.3.2.3-4. Séries de vento em superfície (nós), corrente em superfície (m/s), altura (m) e direção de pico das ondas para setembro de 2010.

O resumo das condições atmosféricas e oceânicas para o mês de setembro é apresentado na Tabela 7.3.2.3-4.

Tabela 7.3.2.3-4. Resumo das condições do tempo, intensidade (nós) e direção do vento médio e máximo em superfície, intensidade (m/s) e direção da corrente média e máxima em superfície e altura (m) e direção de pico das ondas para setembro de 2010.

SETEMBRO													
Dia	Cond. Tempo	Vento Médio		Vento Máximo		Onda - Hs		Onda - Hmax		Corrente Média		Corrente Máxima	
		intens. (nós)	direção	intens. (nós)	direção	altura (m)	direção	altura (m)	direção	Intens. (nós)	direção	intens. (m/s)	direção
1	CN	3,2	↙	14,9	↙	1,4	↙	1,7	↙	0,07	↙	0,14	↙
2	CN	3,0	↙	15,6	↙	1,1	↙	1,8	↙	0,03	↙	0,08	↙
3	CN	3,2	↑	12,6	↙	0,9	↙	1,3	↙	0,02	↙	0,10	↙
4	CN	3,8	↙	10,2	↙	1,0	↙	1,5	↙	0,04	↙	0,12	↙
5	CF	9,9	↗	22,2	↗	1,4	↗	2,6	↗	0,10	↗	0,23	↗
6	CF	12,8	↗	15,4	↗	1,9	↗	2,8	↗	0,11	↗	0,23	↗
7	CF	15,9	↙	22,4	↙	1,6	↗	2,4	↗	0,07	↙	0,17	↗
8	CF	12,8	↗	17,9	↙	1,9	↗	2,6	↗	0,11	↙	0,19	↗
9	CF	13,4	↙	15,3	↙	2,2	↑	2,9	↑	0,12	↙	0,19	↗
10	CN	19,7	↙	24,0	↙	1,9	↗	3,0	↗	0,14	↙	0,22	↙
11	CN	18,5	↙	25,0	↙	1,8	↑	3,5	↑	0,16	↙	0,22	↙
12	CN	2,8	↗	13,7	↗	1,2	↙	1,8	↗	0,08	↙	0,16	↙
13	CN	7,0	↙	17,1	↙	0,9	↙	1,7	↙	0,08	↙	0,10	↙
14	CN	8,1	↙	13,9	↙	1,3	↙	2,7	↙	0,07	↙	0,12	↙
15	CF	11,2	↗	22,0	↗	1,2	↙	1,9	↙	0,05	↑	0,12	↑
16	CF	5,6	↙	16,0	↙	1,6	↗	2,0	↗	0,08	↙	0,11	↙
17	CF	3,3	↗	10,7	↗	1,3	↗	1,7	↗	0,03	↙	0,10	↙
18	CF	13,4	↗	16,5	↗	1,4	↗	2,5	↑	0,13	↑	0,19	↙
19	CF	16,8	↙	23,5	↙	1,6	↑	2,3	↑	0,11	↙	0,18	↙
20	CN	22,1	↙	24,8	↙	1,4	↙	3,1	↑	0,15	↙	0,20	↙
21	CN	14,7	↙	20,6	↙	1,4	↙	2,3	↙	0,10	↙	0,16	↙
22	CN	5,6	↙	9,7	↙	1,3	↙	1,7	↙	0,07	↙	0,14	↙
23	CF	1,9	↗	16,7	↗	1,0	↙	1,4	↙	0,04	↙	0,16	↙
24	CF	7,4	↗	19,5	↗	1,0	↙	1,5	↙	0,08	↙	0,16	↙
25	CF	9,0	↙	11,4	↑	1,0	↙	1,3	↙	0,06	↑	0,18	↑
26	CF	8,6	↙	15,1	↙	1,2	↙	1,6	↑	0,08	↙	0,15	↙
27	CF	1,4	↑	6,1	↗	1,0	↙	1,2	↙	0,02	↙	0,13	↙
28	CF	1,8	↙	6,7	↓	1,1	↙	1,5	↙	0,08	↙	0,13	↙
29	CF	2,1	↑	7,1	↙	1,2	↙	1,4	↙	0,05	↙	0,13	↙
30	CF	3,4	↙	11,6	↙	1,1	↙	1,4	↙	0,04	↙	0,13	↙



A Figura 7.3.2.3-5 apresenta os resultados obtidos para o vento em superfície, corrente em superfície, altura significativa e período de pico da onda para o mês de outubro de 2010. Neste mês, quatro sistemas frontais influenciaram a região de estudo durante a maior parte do mês. Os ventos e as correntes mais intensas atuaram sobre a região durante a influência do primeiro sistema frontal do mês, observado de 1 a 6 de outubro. Já as maiores alturas de ondulação ocorreram associadas à atuação do segundo sistema frontal do mês, que atuou sobre a região entre os dias 8 e 12 de outubro. Os outros sistemas frontais verificados no mês de outubro influenciaram a região entre os dias 16 e 19 e entre os dias 24 e 27.

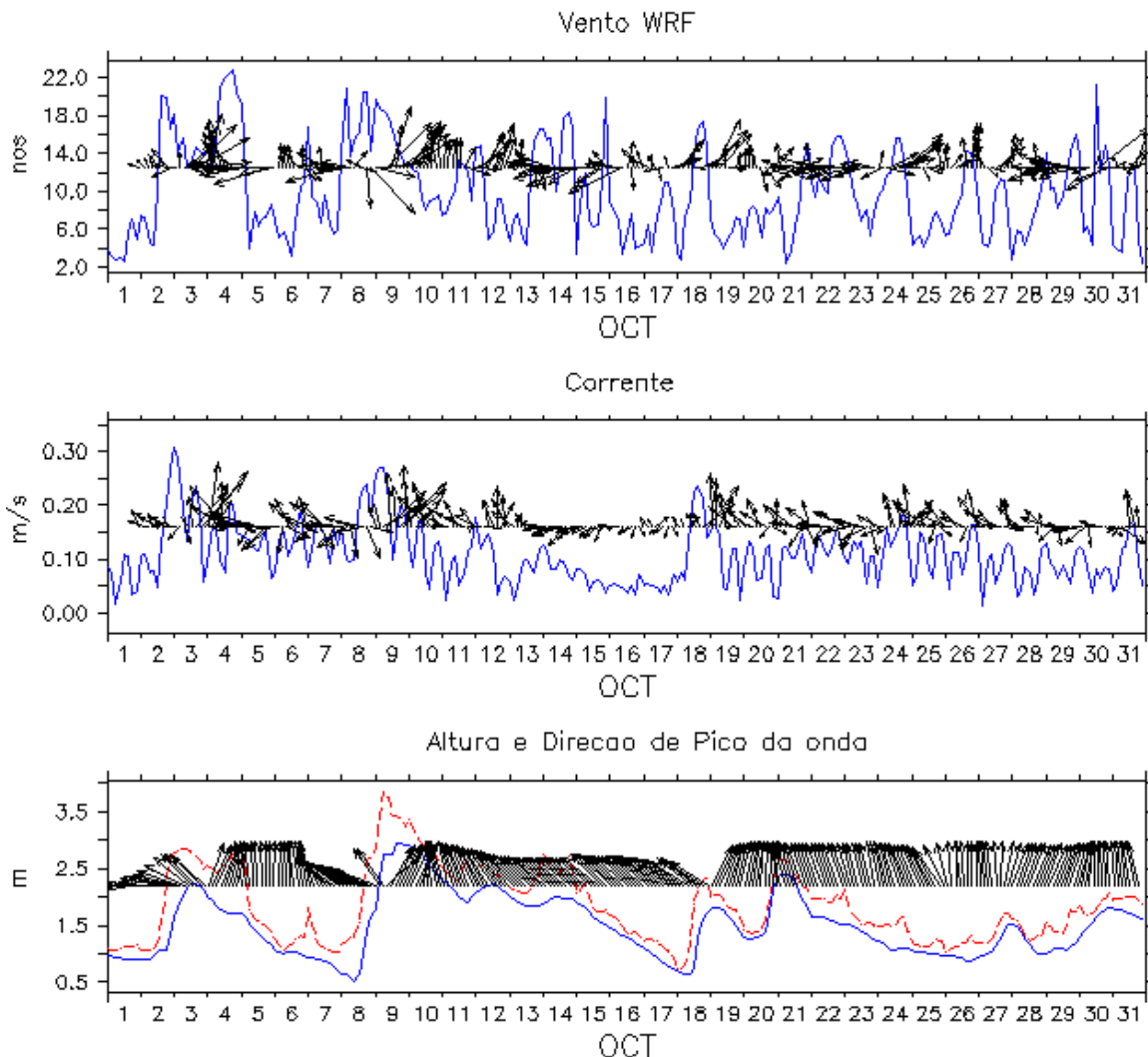


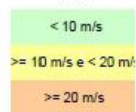
Figura 7.3.2.3-5. Séries de vento em superfície (nós), corrente em superfície (m/s), altura (m) e direção de pico das ondas para outubro de 2010.

O resumo das condições atmosféricas e oceânicas para o mês de outubro é apresentado na Tabela 7.3.2.3-5.

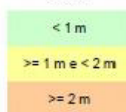
Tabela 7.3.2.3-5. Resumo das condições do tempo, intensidade (nós) e direção do vento médio e máximo em superfície, intensidade (m/s) e direção da corrente média e máxima em superfície e altura (m) e direção de pico das ondas para outubro de 2010.

OUTUBRO													
Dia	Cond. Tempo	Vento Médio		Vento Máximo		Onda - Hs		Onda - Hmax		Corrente Média		Corrente Máxima	
		intens. (nós)	direção	intens. (nós)	direção	altura (m)	direção	altura (m)	direção	intens. (nós)	direção	intens. (m/s)	direção
1	CF	4	↖	7	↖	0,9	←	1,1	↖	0,06	↖	0,11	↖
2	CF	7,2	↗	20	↗	1	↖	2,7	↖	0,05	↑	0,27	↗
3	CF	13,4	↖	18,2	↗	2	↗	2,9	↗	0,16	↑	0,31	↗
4	CF	18,7	←	22,8	←	1,8	↑	2,9	↑	0,13	←	0,2	←
5	CF	6,2	↖	19,1	↖	1,4	↑	2,9	↑	0,06	←	0,15	↖
6	CF	1,6	↗	11	←	1	↖	1,3	↖	0,07	↖	0,19	↖
7	CN	5,8	←	16,8	↖	0,9	↖	1,8	↖	0,1	←	0,17	←
8	CF	10,7	↗	20,8	↘	0,9	↖	2,7	↗	0,1	↗	0,24	↑
9	CF	16	↗	19,8	↗	2,6	↗	3,9	↗	0,17	↗	0,27	↑
10	CF	10,3	↑	13	↑	2,7	↖	3,4	↑	0,11	↖	0,17	↖
11	CF	9	↗	13,2	↗	2,1	↖	2,8	↖	0,06	↖	0,12	↖
12	CF	8,7	↗	14,8	↗	2,2	↖	2,7	↖	0,1	↖	0,18	↑
13	CN	5,8	←	16,6	←	1,9	↖	2,4	↖	0,07	←	0,12	↖
14	CN	15,1	←	18,2	←	2	↖	2,8	↖	0,09	←	0,13	↖
15	CN	8,1	←	19,9	↖	1,7	↖	2,2	↖	0,05	←	0,08	↖
16	CF	3,6	↖	8,8	↗	1,3	↖	1,7	↖	0,01	←	0,07	↗
17	CF	4,7	↗	11	↗	0,9	↖	1,3	↖	0,01	←	0,07	↗
18	CF	9,9	↗	17,4	↗	1	↖	2,3	↗	0,13	↗	0,23	↑
19	CF	4,6	↗	7,3	↑	1,7	↖	2	↖	0,09	↖	0,17	↖
20	CN	1,7	→	8,4	↘	1,5	↑	2,3	↖	0,06	↖	0,13	↖
21	CN	3,9	←	15	←	2,2	↖	2,7	↖	0,06	↖	0,15	↖
22	CN	12,1	←	15,9	←	1,8	↖	2	↖	0,09	←	0,16	↖
23	CN	8,1	←	14,6	↖	1,4	↖	2,1	↖	0,07	↖	0,13	↖
24	CF	11,7	↗	15,6	↗	1,1	↖	1,7	↖	0,1	↑	0,19	↑
25	CF	2,7	↗	7,9	↑	1	↖	1,2	↖	0,07	↖	0,15	↖
26	CF	8,6	↗	14,2	↑	0,9	↑	1,3	↑	0,07	↖	0,17	↖
27	CF	5,9	↗	11,4	↗	1,2	↑	1,7	↖	0,07	↖	0,13	↖
28	CN	1	↖	10,2	←	1,2	↖	1,6	↖	0,06	↖	0,12	↖
29	CN	11,4	←	15,9	←	1,1	↖	1,8	↖	0,07	←	0,13	↖
30	CN	2,3	←	21,2	↗	1,6	↑	2,1	↑	0,04	↖	0,12	←
31	CF	5,4	↗	12,6	↗	1,7	↑	2	↑	0,04	↖	0,17	↑

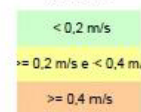
vento



onda



corrente



7.3.2.4. Modelagem da Dispersão da Pluma de Sedimentos

As modelagens das operações de dragagem do canal do Porto para os meses de março a junho de 2010 iniciaram após o recebimento e tratamento dos dados fornecidos pela Codesp referentes às operações de dragagem das dragas Hang Jun e Xin Hai Hu.

Os dados foram enviados pela Codesp em forma de planilhas, contendo a data da viagem, duração da viagem, o horário inicial e final do despejo, o local dragado, a quadrícula onde realizou o descarte, as coordenadas (longitude e latitude) iniciais e finais do despejo, o volume descartado por viagem, a empreiteira (no caso, o Consórcio Draga Brasil) e o nome da draga (Xin Hai Hu ou Hang Jun 5001). A Codesp recebe as informações de local e horário de início e fim do despejo do Consórcio Draga Brasil e, posteriormente, calcula o volume *in situ* relativo a cada descarte.

As simulações referentes ao mês de março compreenderam o período de 01 a 31 de março de 2010 para a draga Hang Jun 5001 e de 18 a 31 de março de 2010 para a draga Xin Hai Hu. Para o mês de abril e maio, ambas as simulações corresponderam ao mês completo e para junho a simulação foi realizada até o dia 27, data de realização da batimetria.

A Tabela 7.3.2.4-6 apresenta um resumo dos dados das planilhas que foram utilizados nas simulações. Para maior eficácia do modelo, foi assumido um intervalo mínimo de descarte de 5 minutos. Os dados de duração dos descartes variam, cada descarte apresenta uma duração, porém para as simulações realizadas no modelo foram consideradas que a menor duração possível do descarte seria 5 minutos, portanto, se na planilha que a Codesp fornece fosse encontrado um descarte de 2 minutos, esse descarte seria considerado no modelo como 5 minutos. Os descartes com duração igual ou superior a 5 minutos permaneceram com os valores de duração indicados. A granulometria adotada para realização deste projeto foi obtida do EIA/RIMA para a dragagem do Porto Organizado de Santos (FRF, 2008).

Tabela 7.3.2.4-1. Resumo dos dados referentes às dragas para os meses de março a junho de 2010.

Draga	Período	Volume por mês (m³)	Volume por Descarte (m³)
Xin Hai Hu	Março (18/03/2010-31/03/2010)	176.975,9	1.653,98
	Abril (01/04/2010-30/04/2010)	358.913,7	1.653,98
	Maio (01/05/2010-31/05/2010)	439.215,0	1.653,98 1.594,28 3.804,38
	Junho (01/06/2010-27/06/2010)	357.611,7	3.804,38
Hang Jun	Março (01/03/2010-31/03/2010)	280.173,0	918,60
	Abril (01/04/2010-30/04/2010)	183.720,0	918,60
	Maio (01/05/2010-31/05/2010)	243.625,0	2.602,69
	Junho (01/06/2010-27/06/2010)	379.992,7	2.602,69
Volume total descartado		2.420.227,0	

Tabela 7.3.2.4-2. Granulometria do trecho 1 obtida no EIA (FRF, 2008).

Granulometria (%)	Média
Argila	17.9
Silte	19.0
Areia muito grossa	1.2
Areia grossa	1.0
Areia média	1.6
Areia fina	12.6
Areia muito fina	46.6

Na demonstração dos resultados obtidos pela modelagem da pluma de sedimento foi adotado um corte mínimo na concentração de 30 mg/L, o qual foi sugerido pelos Programas de Gestão Ambiental e Controle da Dragagem - PBA 04 (Fundespa, 2010), por ser o limite de quantificação do laboratório para análise de Sólidos Totais em Suspensão. Lembrando que o modelo não considera os valores de *background*, e que os mesmos correspondem aos valores de concentração já existentes no meio ambiente.

Os resultados apresentados abaixo correspondem à:

1. Área de abrangência da pluma: área total que a pluma percorreu em todos os instantes de tempo, para 1 descarte, lembrando que a pluma não atinge toda essa área em um mesmo momento e esta figura considera as concentrações máximas ao longo de toda coluna d'água.
2. Espessura do material depositado de 1 descarte e dos meses março, abril, maio e junho de 2010.
3. Pluma em instantes críticos, como por exemplo, no dia 12 de abril de 2010 (Figura 7.3.2.4-7), onde é possível observar as máximas concentrações na coluna d'água da pluma para esse instante. O resultado mostra as concentrações para toda a coluna d'água para aquele instante, a pluma está distribuída ao longo da coluna e possivelmente não seria possível avistá-la na superfície.

Para demonstração da pluma proveniente de um único descarte do material dragado, foi selecionado um descarte realizado pela draga Xin Hai Hu (dragagem com maior capacidade). O volume de descarte considerado para esta simulação foi de 3.804,38 m³, maior volume encontrado nas tabelas disponibilizadas pela Codesp.

Para esta simulação, foi considerado o descarte do dia 1º de maio de 2010 e o material descartado permanece sob as condições hidrodinâmicas locais pelo período de 1 dia. A concentração máxima na coluna d'água foi de 4.406,26 mg/l, e a área de abrangência da pluma no final de 1 dia é de 14,9 Km². No dia 1º de maio a condição meteorológica era normal com corrente média para direção oeste e intensidade de 0,02 nós (Figura 7.3.2.4-1).

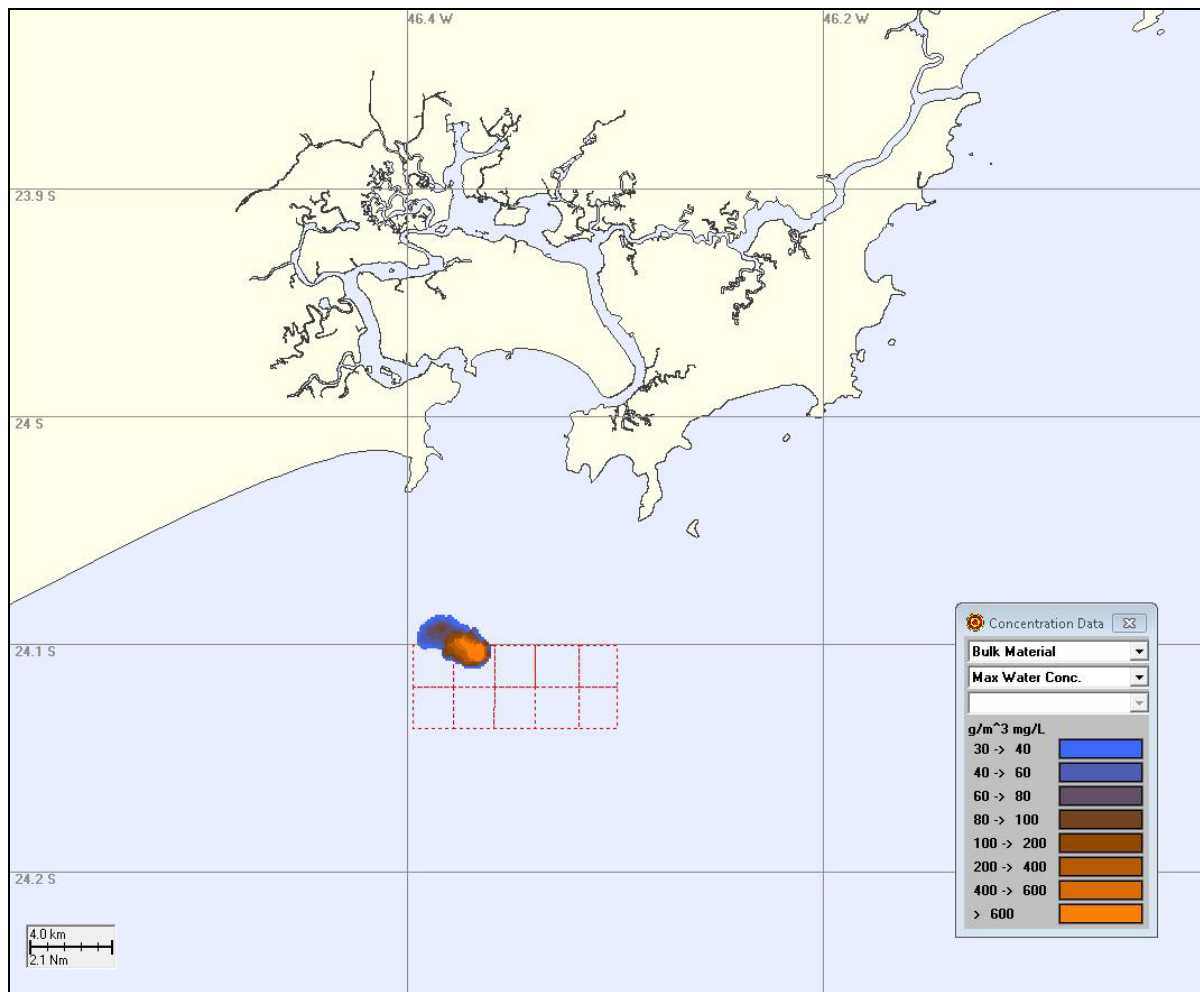


Figura 7.3.2.4-1. Área de abrangência da pluma do primeiro descarte realizado pela draga Xin Hai Hu no dia 1 de maio de 2010. Volume de 3.804,38 m³.

A Figura 7.3.2.4-2 representa a deposição de sedimento no final de um dia para um descarte. A espessura máxima é de 15,7 mm. O critério de corte adotado, espessuras maiores ou iguais a 1 mm, baseia-se em um estudo em áreas dragadas nos EUA (regiões costeiras), onde organismos (considerando diferentes espécies e estágios de vida) precisariam de espessuras superiores a 1 mm para sofrer efeitos letais significativos (ASA, 2003).

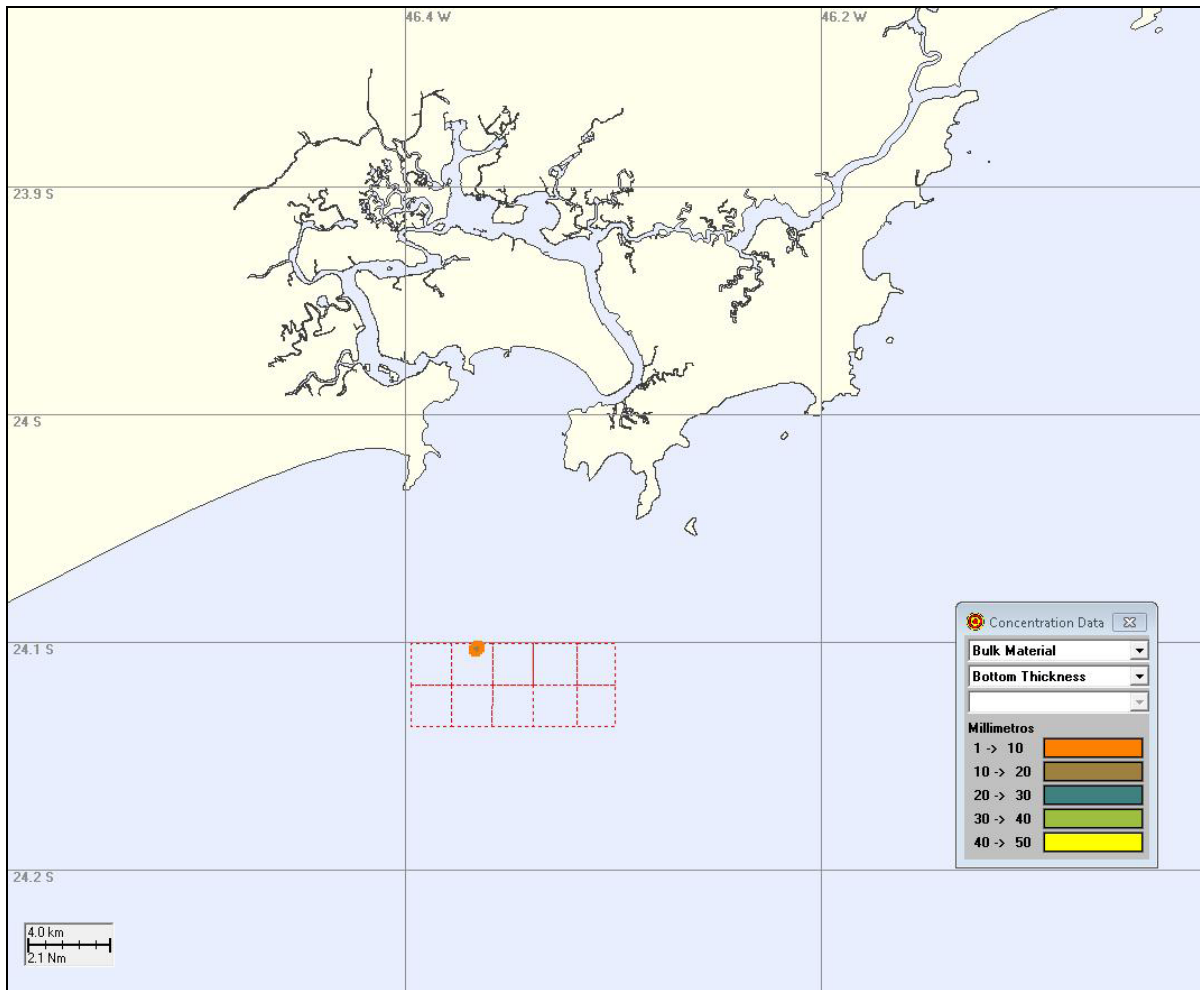


Figura 7.3.2.4-2. Espessura (mm) de sedimentos depositados para 1 descarte realizado no dia 1 de maio de 2010, simulação por 1 dia.

As animações referentes a este único descarte (Animação 01) e as animações referentes aos meses de março (Animação 02), abril (Animação 03), maio (Animação 04) e junho (Animação 05) estão no anexo 7.8-2.

A tabela 7.3.2.4-3 apresenta as máximas deposições, em mm, observadas para os meses de março, abril, maio e junho de 2010 e as figuras 7.3.2.4-3, 7.3.2.4-4, 7.3.2.4-5 e 7.3.2.4-6 representam as espessuras dos sedimentos depositados para tais meses, para ambas as dragas, com critério de corte de 1 mm.

Tabela 7.3.2.4-3. Máximas espessuras, em mm, para os meses de março, abril, maio e junho de 2010.

	Março	Abril	Maio	Junho
Espessura (mm)	404	542	756	807

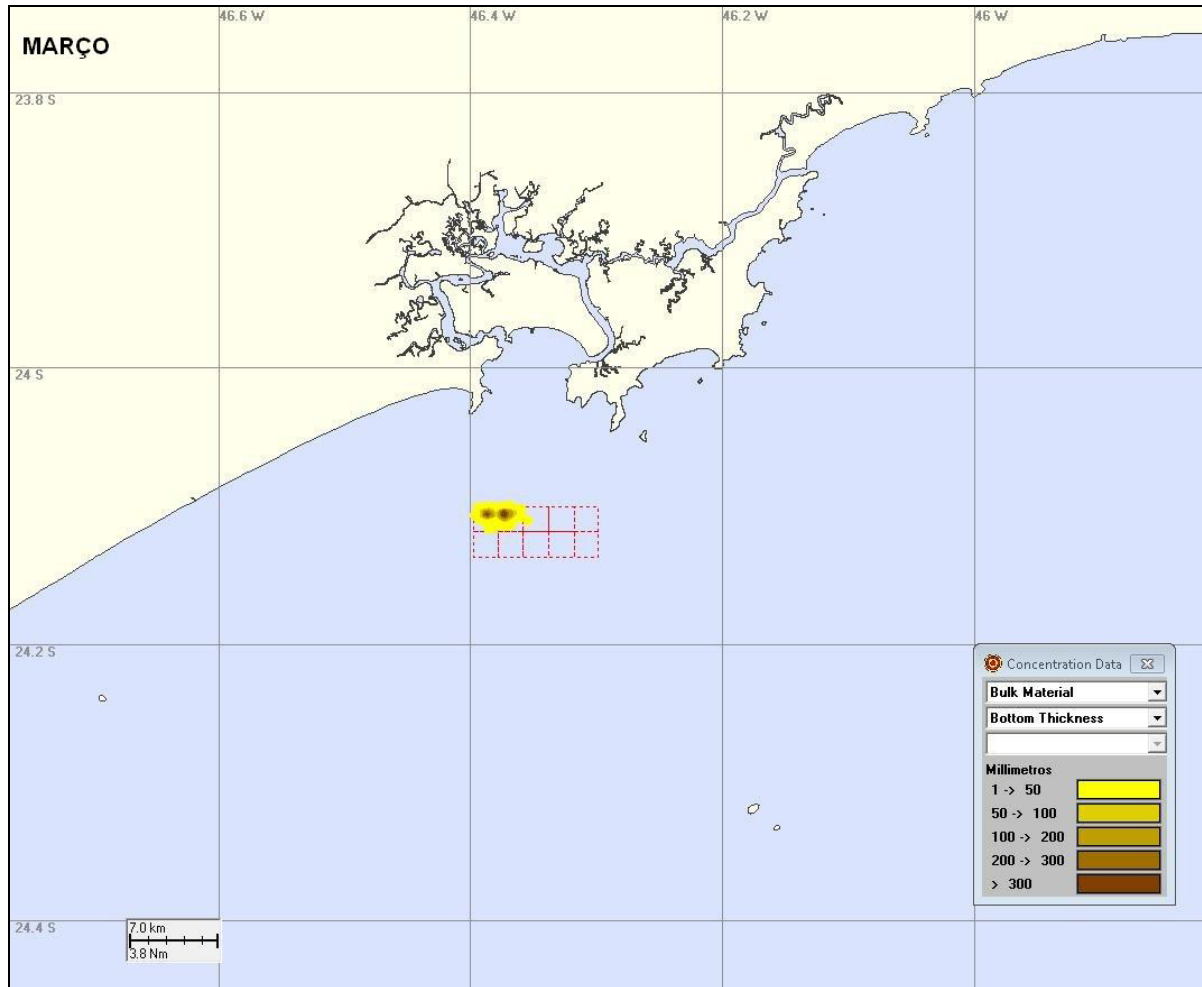


Figura 7.3.2.4-3. Espessura (mm) de sedimentos depositados durante o mês de março de 2010.

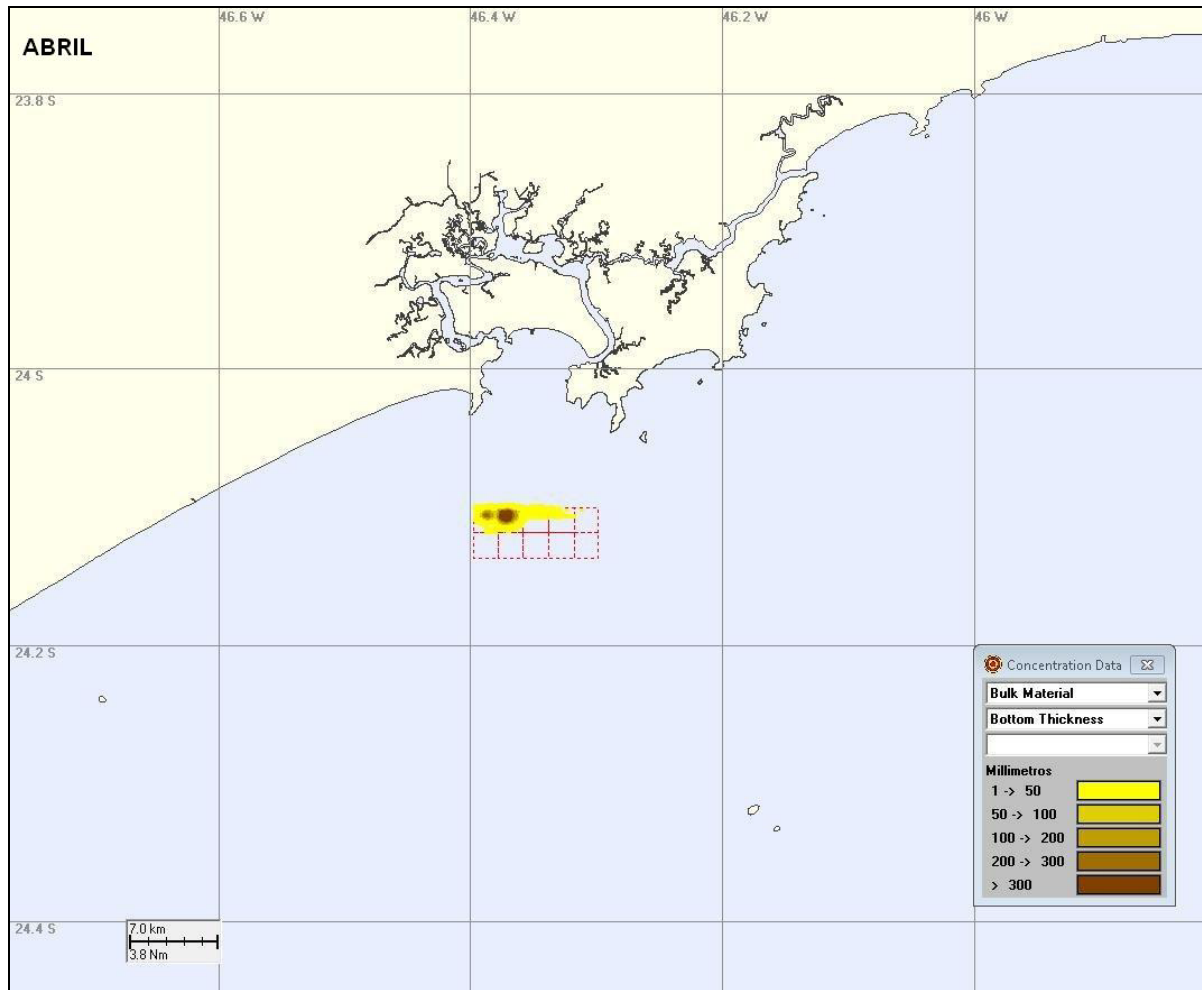


Figura 7.3.2.4-4. Espessura (mm) de sedimentos depositados durante o mês de abril de 2010.

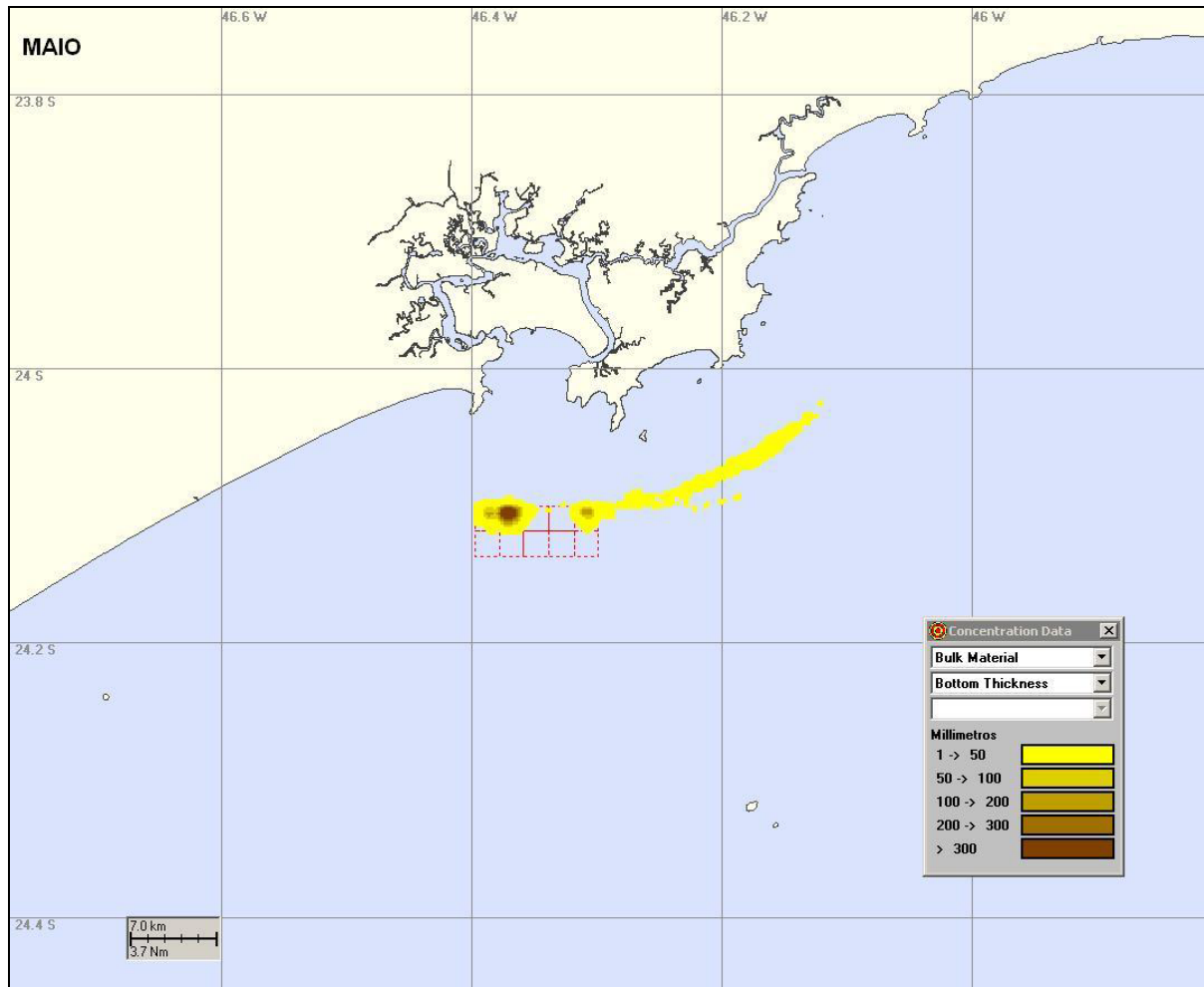


Figura 7.3.2.4-5. Espessura (mm) de sedimentos depositados durante o mês de maio de 2010.

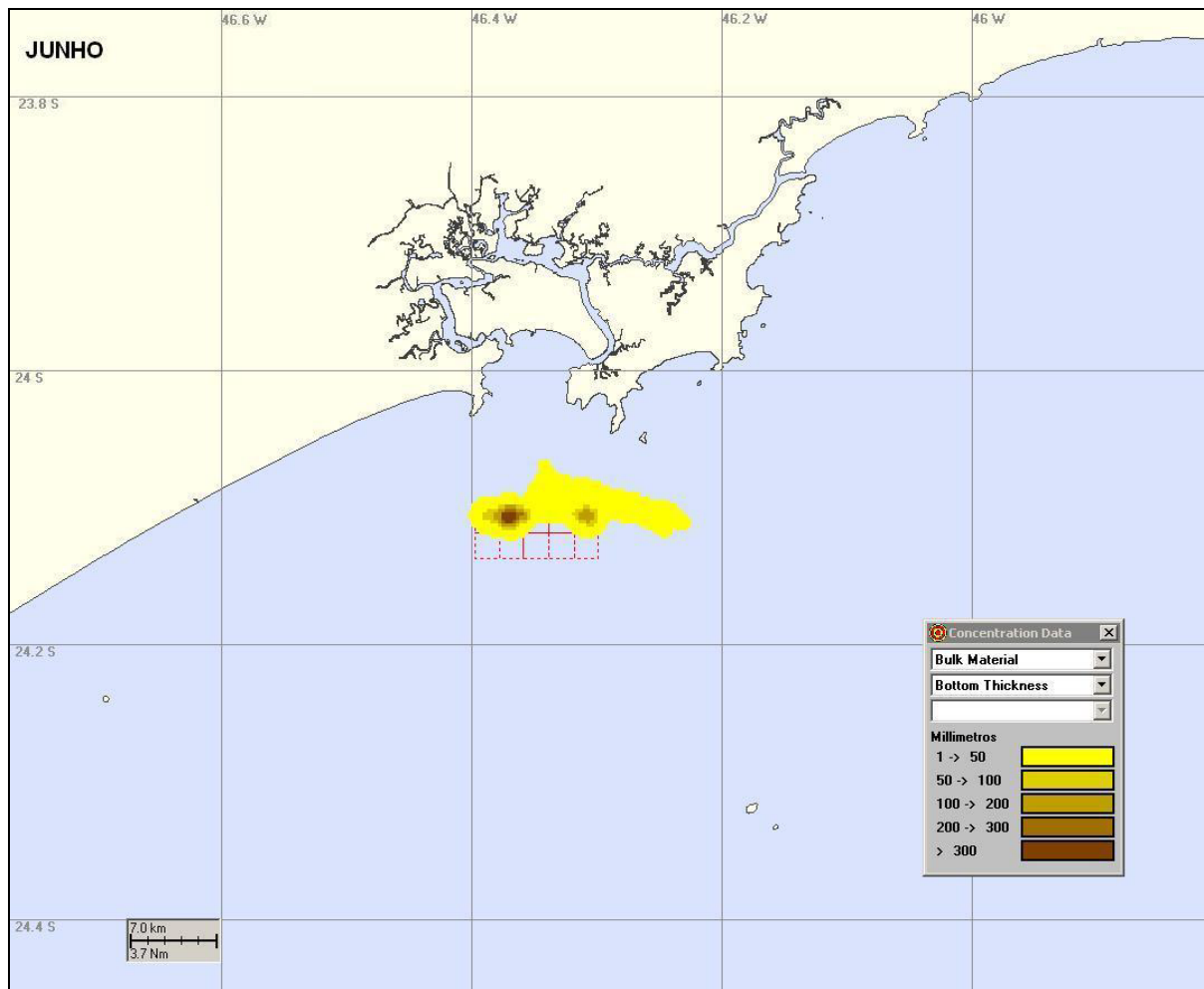


Figura 7.3.2.4-6. Espessura (mm) de sedimentos depositados durante o mês de junho de 2010.

Para demonstração de instantes críticos da pluma de sedimento foram selecionados 3 instantes sob influência de frentes frias para os meses de abril, maio e junho de 2010. Convém ressaltar que a frente fria que atingiu a região do litoral de Santos no período de 5 a 11 de abril foi uma das mais intensas do ano. A Figura 7.3.2.4-7 apresenta a pluma de sedimento no dia 08 de abril de 2010 as 22:30 h. A Figura 7.3.2.4-8 apresenta o instante do dia 10 de maio de 2010 as 07:40 h. A Figura 7.3.2.4-9 apresenta o instante do dia 09 de junho de 2010 as 07:30 h.

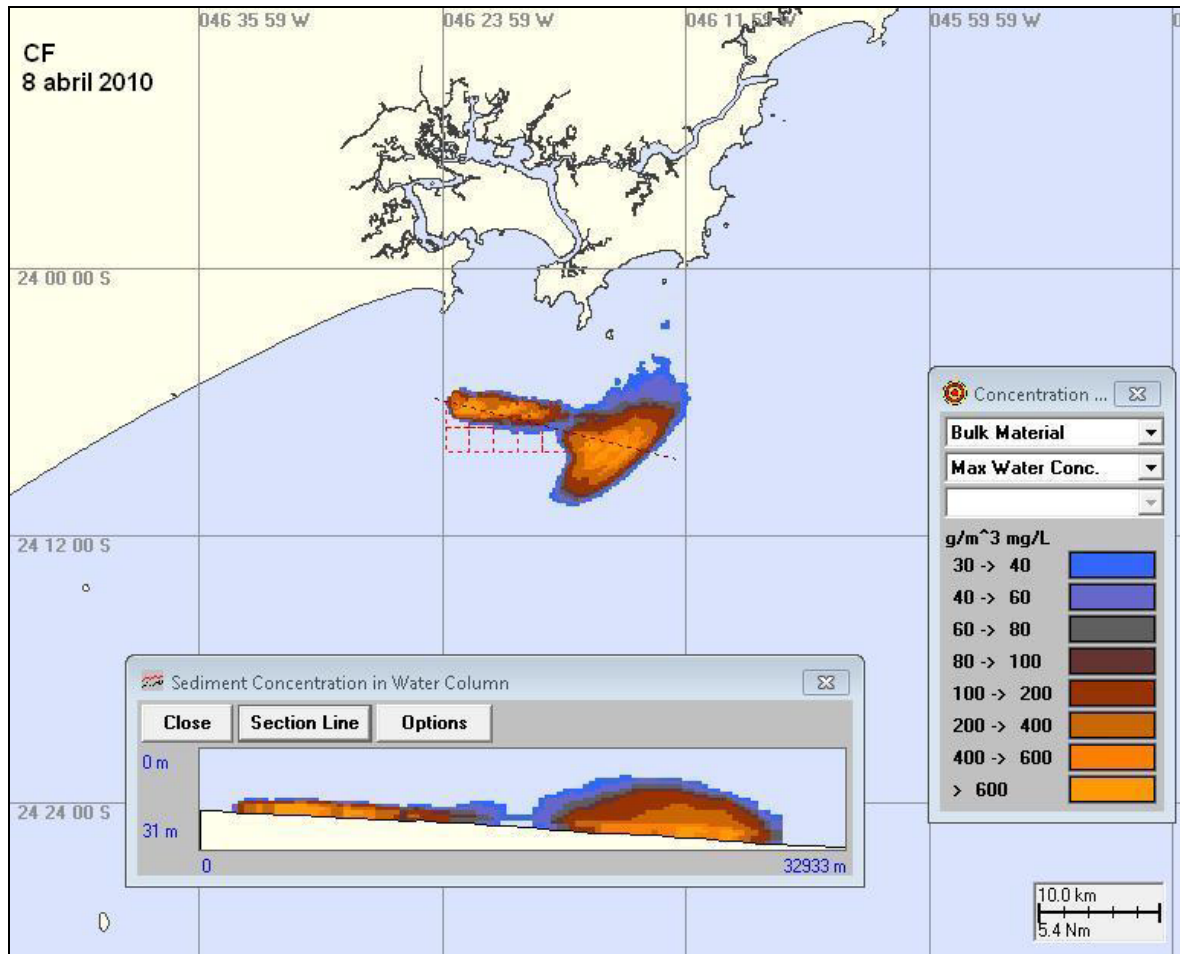


Figura 7.3.2.4-7. Máximas concentrações da pluma de sedimento descartado no dia 08 de abril de 2010 às 22h30min. Condição de frente fria.

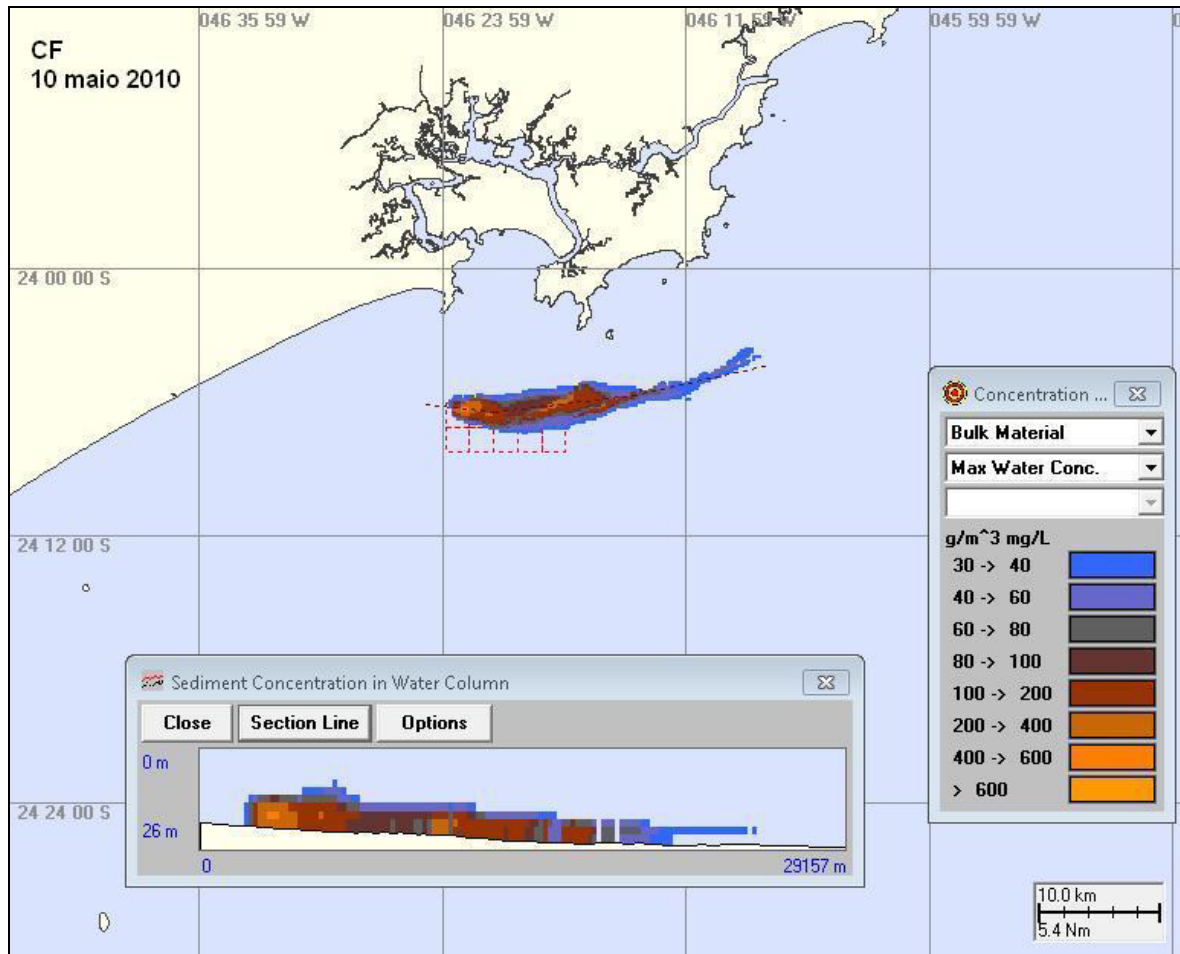


Figura 7.3.2.4-8. Máximas concentrações da pluma de sedimento descartado no dia 10 de maio de 2010 às 07h40min. Condição de frente fria.

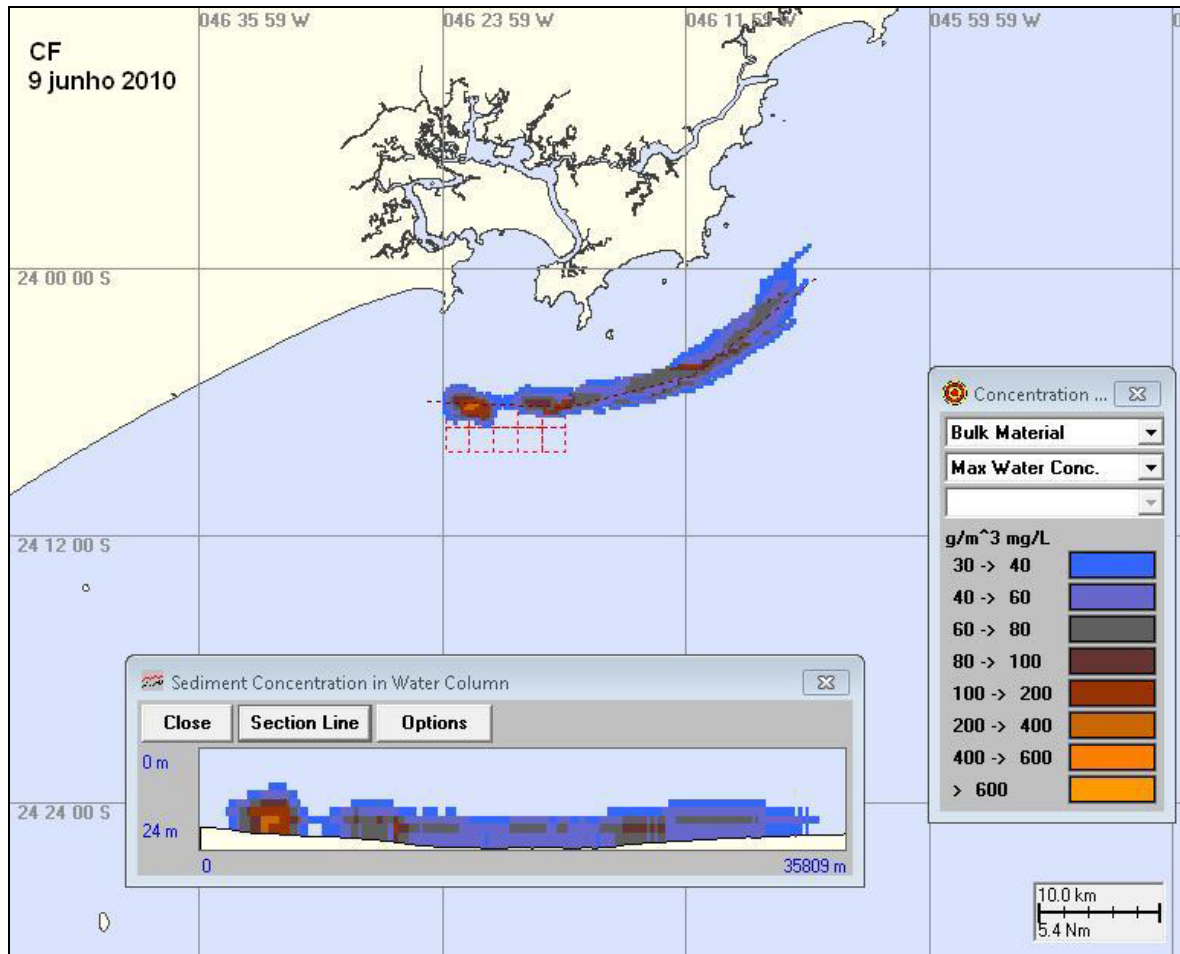


Figura 7.3.2.4-9. Máximas concentrações da pluma de sedimento descartado no dia 09 de junho de 2010 às 07h30min. Condição do tempo em frente fria.

7.3.2.4.1-Casos Hipotéticos

Caso Hipotético - 1

Para simular um dos casos hipotéticos solicitados pela Codesp foi realizada uma simulação de um descarte no interior da Baía de Santos (Figura 7.3.2.4.1-1). Para esta simulação foi selecionado o descarte realizado no dia 22 de maio de 2010 às 11 horas da manhã para draga Xin Hai Hu durante condição de frente fria. O volume de descarte considerado foi o maior volume encontrado nos dados reais, 3.804,38m³. Para este caso hipotético apenas o local de descarte foi alterado. O descarte ocorreu às 11 da manhã e a duração da simulação foi realizada pelo período de 3 dias, portanto o material que foi descartado fica sob as condições hidrodinâmicas por este período (Figura 7.3.2.4.1-2).

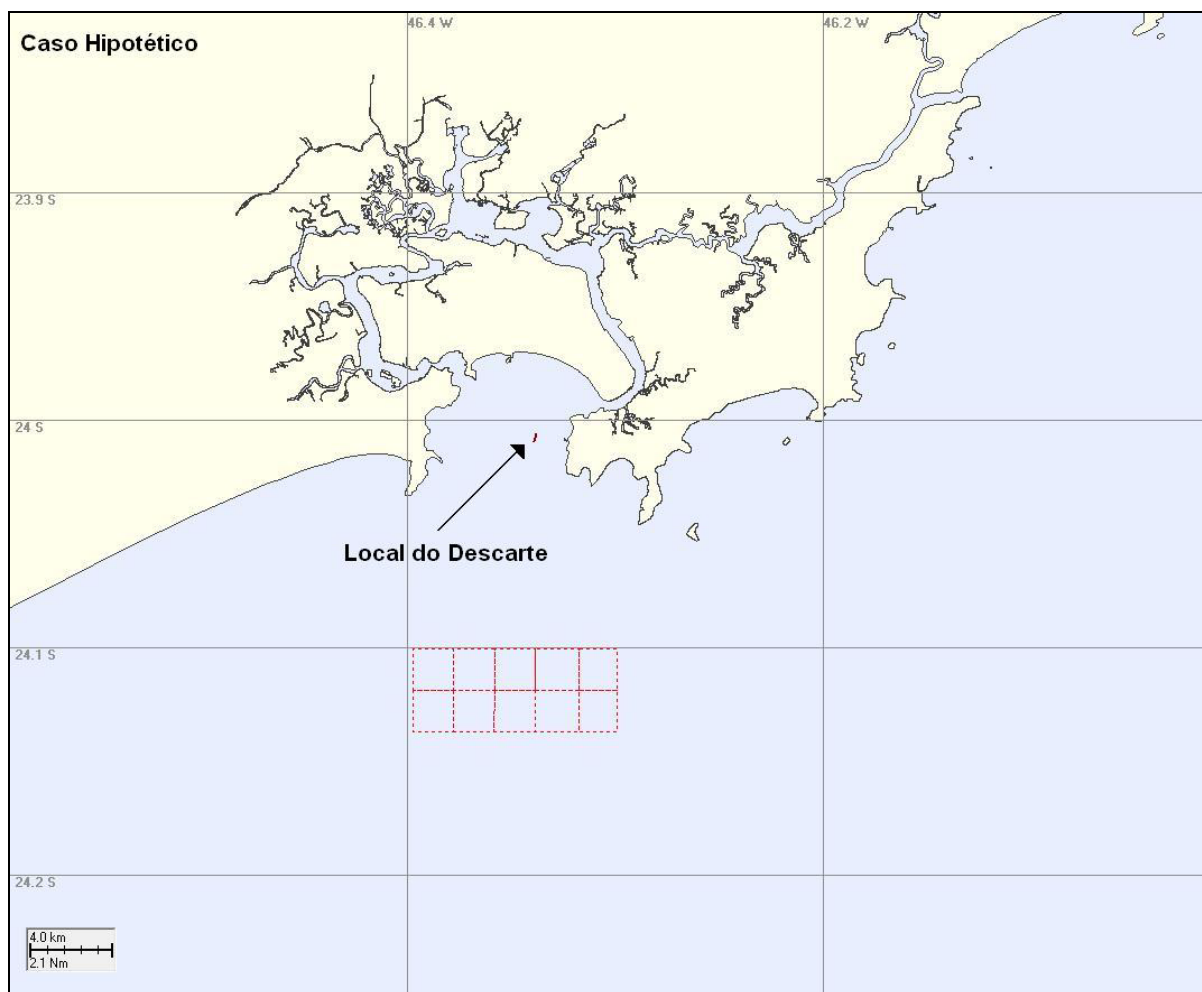


Figura 7.3.2.4.1-1 **Caso Hipotético – 1.** Localização do descarte.

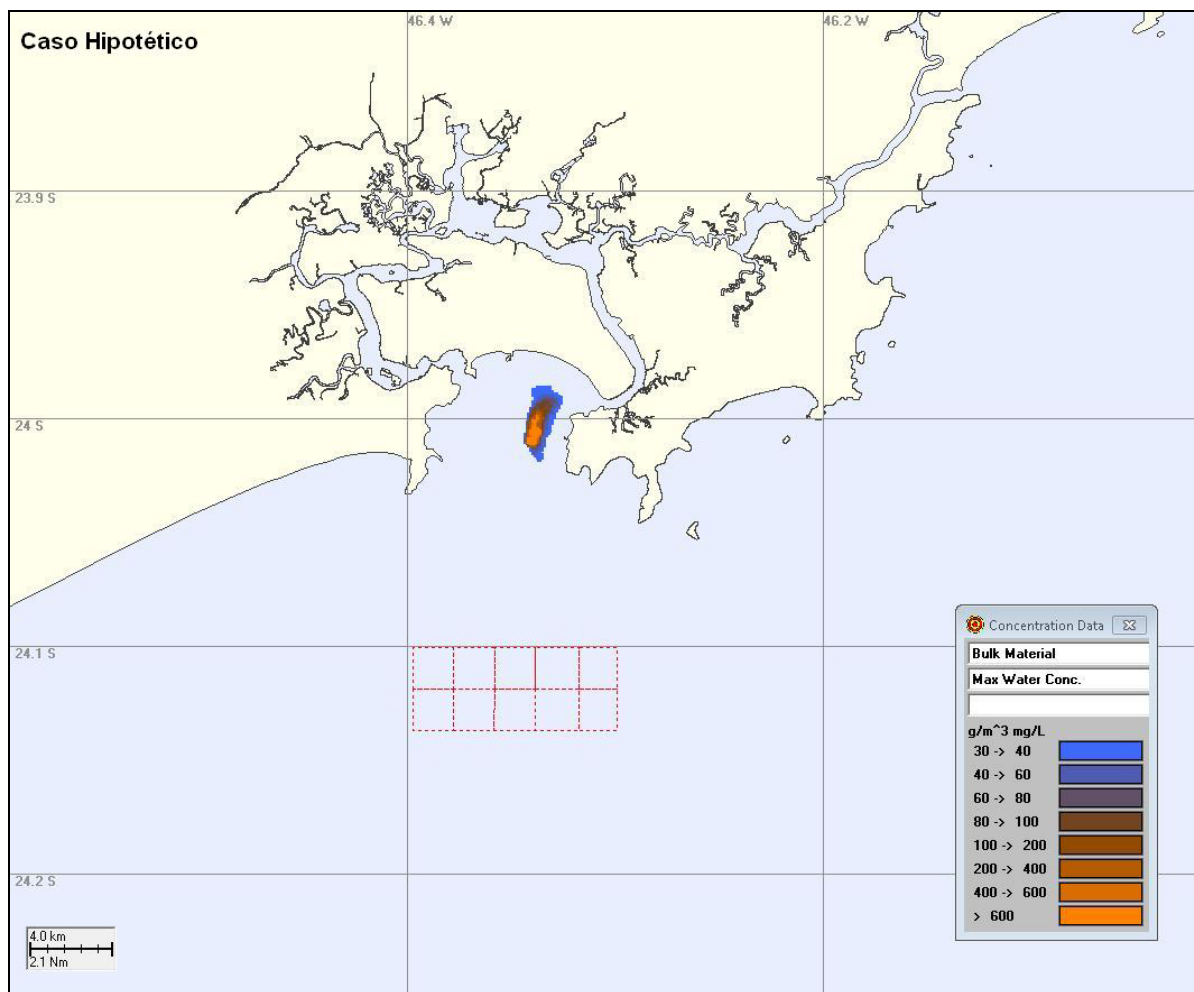


Figura 7.3.2.4.1-2. **Caso Hipotético -1.-** Área de abrangência da pluma do material descartado no interior da Baía de Santos, oriundo de 1 descarte por 1 dia. Volume descartado de 3.804,38 m³.

A Figura 7.3.2.4.1-3 representa a deposição de sedimento no final do terceiro dia de simulação. A espessura máxima obtida é de 19,8 mm. O corte de 1 mm também foi adotado para representação desta figura.

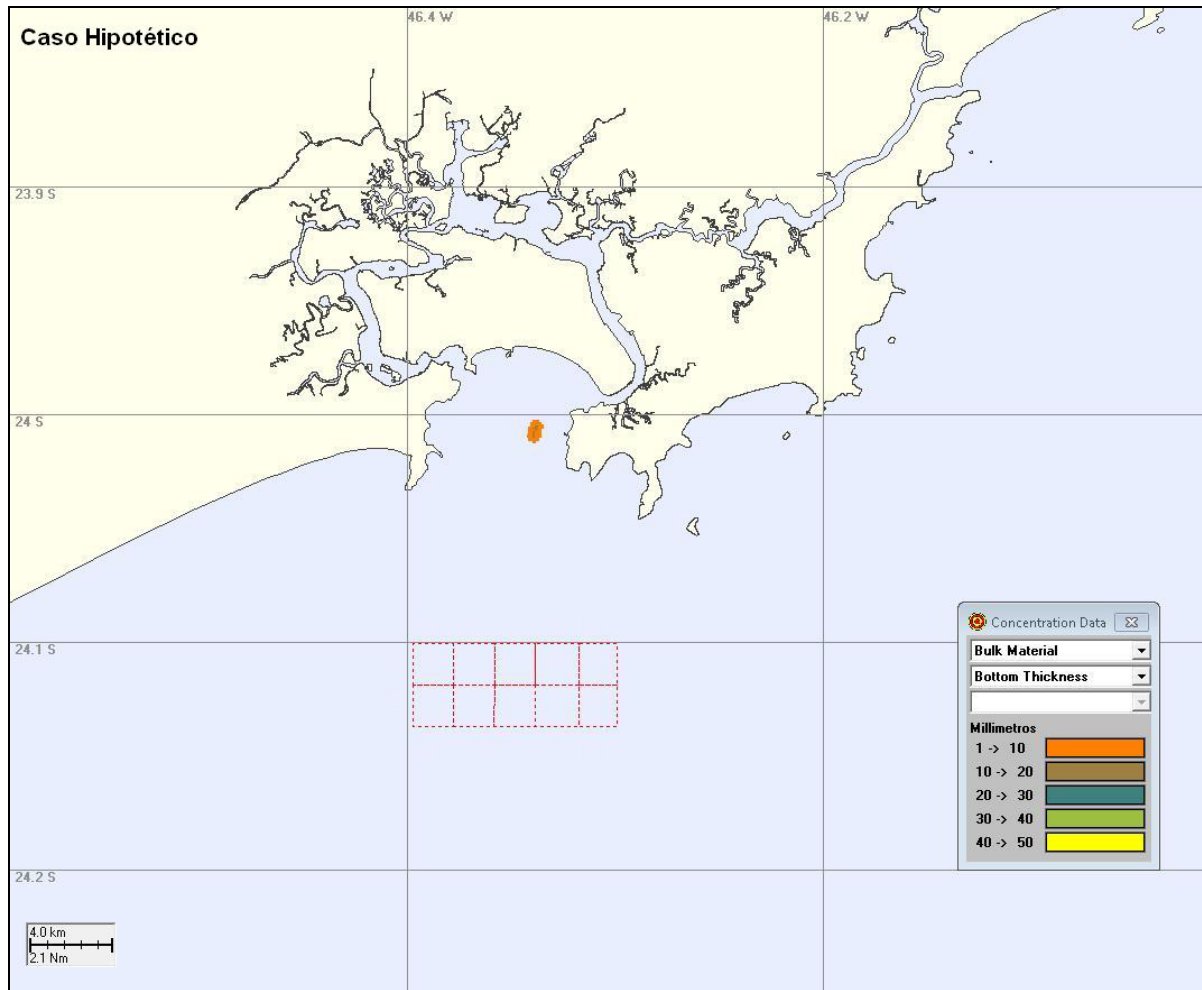


Figura 7.3.2.4.1-3. **Caso hipotético – 1.** Espessura em milímetros observada no final do terceiro dia de simulação de um descarte realizado no interior da Baía de Santos.

Caso Hipotético - 2

O segundo caso hipotético foi a simulação pelo período de 10 dias, com os dados de volumes de descarte referentes ao mês de maio para draga Xin Hai Hu os dados de volume utilizados na simulação são iguais aos dados enviados pela Codesp que se referem ao mês de maio. Foi considerada uma corrente constante na direção WSW – oeste-sudoeste. Os dados de onda utilizados nesta simulação correspondem às maiores alturas de ondas observadas no primeiro semestre de 2010. A Figura 7.3.2.4.1-4 apresenta a área de influência da pluma para este cenário hipotético.

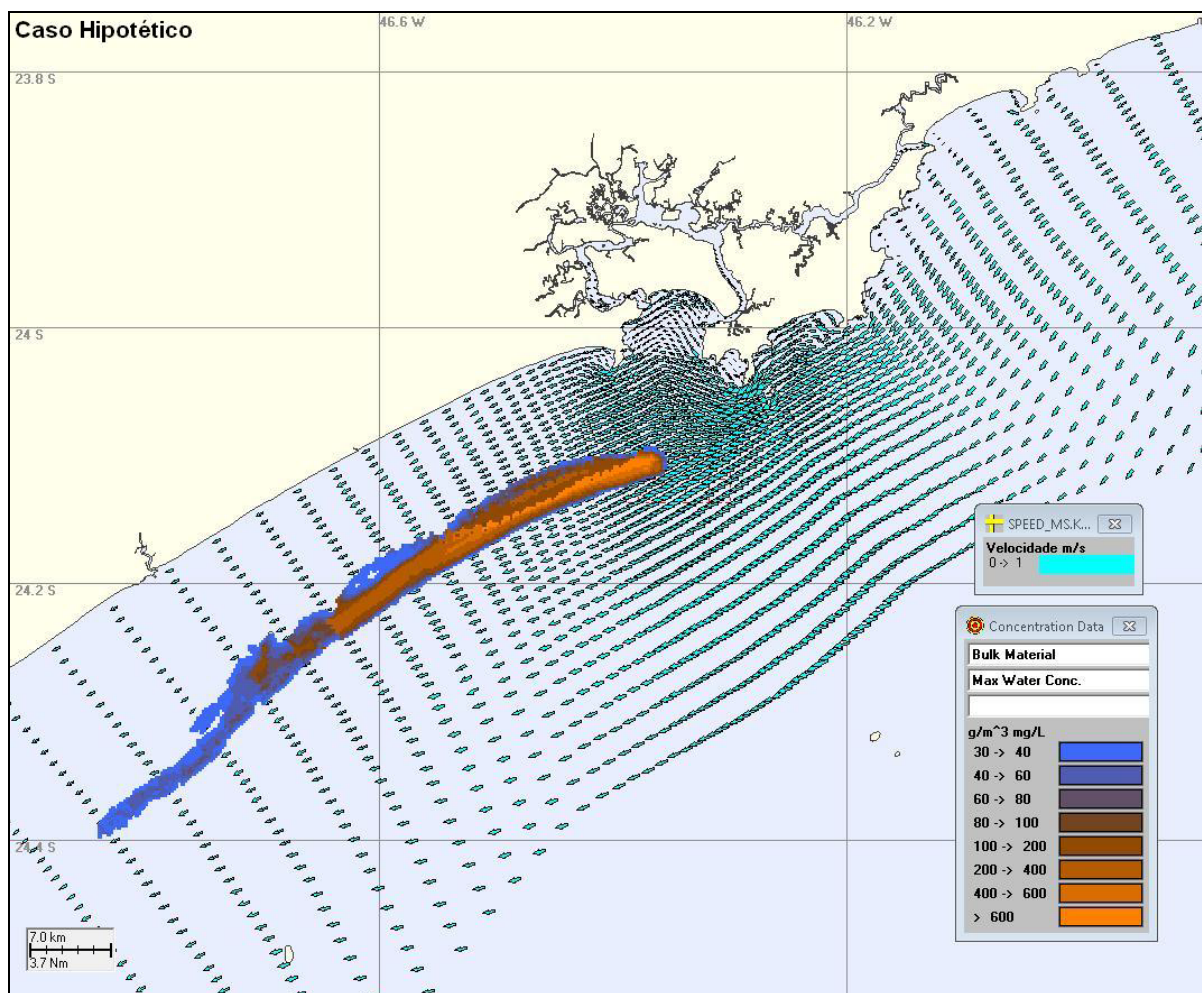


Figura 7.3.2.4.1-4. **Caso Hipotético – 2.** Área de abrangência da pluma para os 10 dias de simulação com corrente constante para oeste-sudoeste.

Caso Hipotético - 3

O terceiro caso hipotético é o aumento na intensidade da corrente durante uma frente fria. Os valores de volume utilizados no relatório são os valores referentes ao mês de maio e os dados de onda referente ao mês de abril (maiores alturas encontradas no semestre). Para simular a frente fria hipotética utilizada neste caso hipotético, foi utilizado o vento que ocorreu durante a frente fria do início de abril de 2010 multiplicando-o em 50% e então utilizado como dado de entrada do modelo hidrodinâmico. O hidrodinâmico para este cenário tem 14 dias de simulação: iniciando em condições meteorológicas normais, durante 2 dias, com corrente no sentido sudoeste; após dois dias ocorre a entrada da frente, inversão da corrente para nordeste, por 10 dias, após estes 10 dias volta a apresentar corrente para sudoeste nos 2 últimos dias de simulação.

A Figura 7.3.2.4.1-5 apresenta a área varrida pela pluma, em concentrações máximas para toda coluna d'água, para este terceiro caso hipotético.

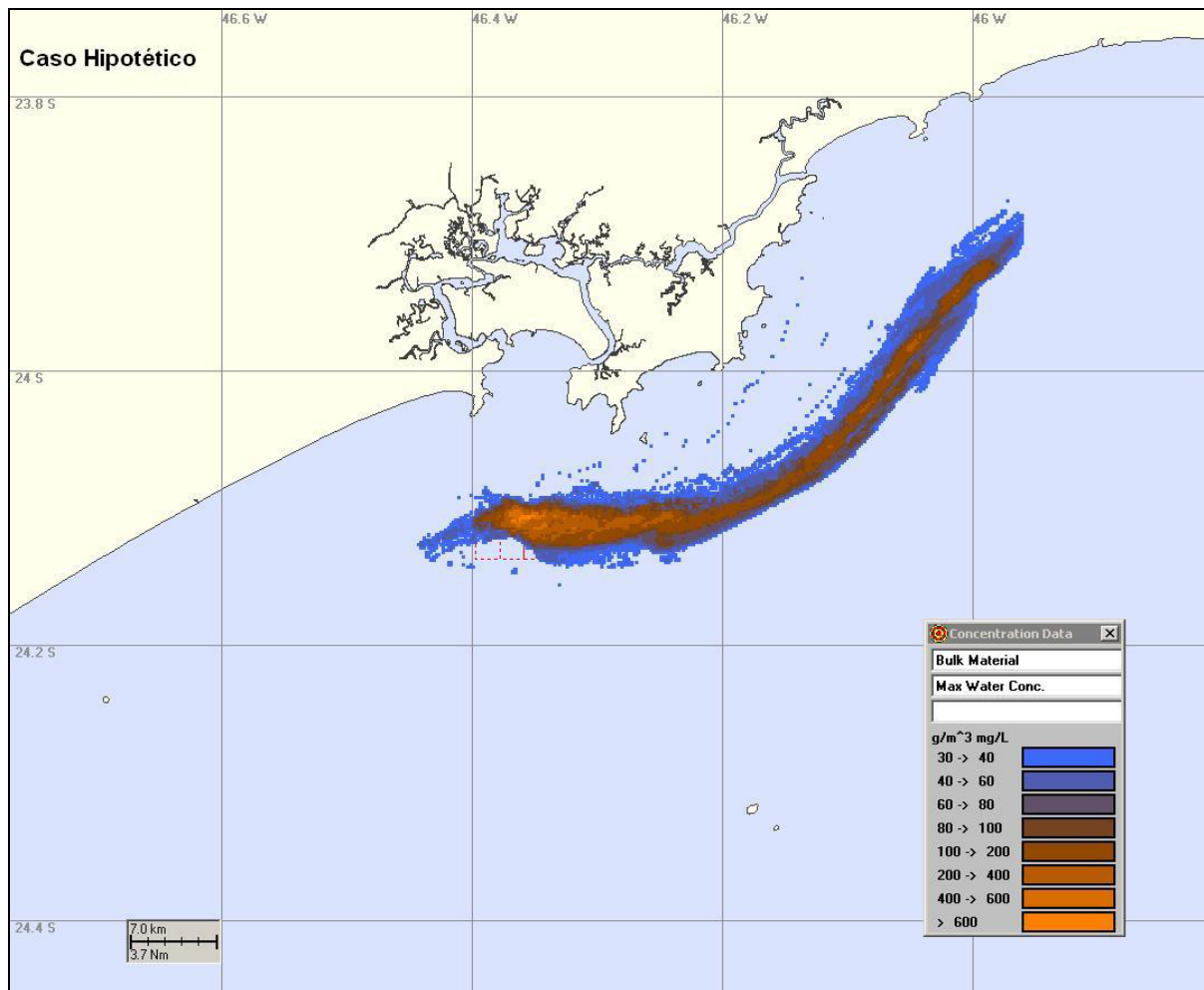


Figura 7.3.2.4.1-5. **Caso Hipotético – 3.** Área de abrangência da pluma para os 14 dias de simulação, durante uma frente fria hipotética.

As animações referentes aos casos hipotéticos estão no Anexo 7.8-2. Os casos hipotéticos correspondem a situações de correntes nas direções preferenciais da região, correntes de nordeste e de sudoeste. Para ambos os casos a pluma de sedimento não chegou à costa. Para o caso de um descarte acidental, dentro da baía de Santos, conforme o caso hipotético 1, observa-se a pluma não atinge nem a praia de Santos nem a praia do Goés.

7.4. Considerações Finais

A emissão de boletins meteoceanográficos encontra-se consolidada e operacional, gerando boletins diários que são enviados para todos os participantes dos Programas (PBAs).

As campanhas de coleta de dados meteorológicos e oceanográficos proporcionaram a validação dos modelos atmosféricos e hidrodinâmicos. Os resultados obtidos foram satisfatórios e indicaram que ambos os modelos capturaram os principais padrões da circulação atmosférica e oceânica da região.

Sobre os boletins de dispersão da pluma, a equipe deste programa aguarda as informações semanais no formato que possam ser utilizadas operacionalmente. As simulações referentes às dragagens para os meses de março a junho de 2010 estão concluídas.

As simulações referentes a março, abril, maio e junho de 2010, para ambas as dragas foram concluídas, sendo observado que as maiores espessuras de deposição de sedimento e as maiores concentrações na coluna d'água encontraram-se próximas aos locais de descartes (vide animações no anexo 7.8-2). A direção preferencial de dispersão da pluma de sedimentos durante estes meses corresponde às direções de corrente, sentido nordeste-sudoeste. Foram realizadas simulações de alguns casos hipotéticos de descartes sob condições adversas, sendo observado que, em nenhum deles a pluma atingiu a costa ou a Laje de Santos.

7.5. Cronograma

Com relação às atividades propostas pelo Programa, será dada continuidade ao envio diário dos boletins com a previsão meteo-oceanográfica.

Tabela 7.6-1 - Cronograma de trabalho.

ATIVIDADES	MÊS																	
	2010										2011							
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun
Programa 07																		
Modelagem atmosférica e oceanográfica																		
Resumos mensais das condições de tempo e do oceano																		
Modelagem da Pluma de Descarte - Reais																		
Modelagem da Pluma de Descarte - Hipotéticos																		
Levantamento de Campo																		
Calibração do Modelo Hidrodinâmico																		
Resumo das atividades semanais																		
Caracterização meteo-oceanográfica da região de estudo																		
Relatórios Mensais																		
Relatório consolidado																		

7.6. Referências Bibliográficas

Anderson, E.; Johnson, B.; Isaji, T. & Howlett, E. (2001). SSFATE (Suspended Sediment FATE), a model of sediment movement from dredging operations. Presented at WODCON XVI World Dredging Congress, 2-5 April 2001, Kuala Lumpur, Malaysia.

ASA (Applied Science Associates, Inc.), 2003. Weavers Cove Energy Final Report. Technical Report. December 12th, 2003.

Beji, S. & Battjes, J. A. (1993). Experimental investigation of wave propagation over a bar, Coastal Eng., v. 19, p. 151–162.

Blumberg A. & Mellor, G. L. (1987). A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In Three-Dimensional Coastal Ocean Models, N. S. Heaps (Ed.), 1-16, American Geophysical Union, Washington, DC.

Dingemans, M. W. (1997). Water wave propagation over uneven bottoms. Advanced Series on Ocean Engineering.13. World Scientific, Singapore. pp. 2 Parts, 967 pages. ISBN 981-02-0427-2.

- Deltares, 2009a. User Manual Delft3D-FLOW. Simulation of Multi-Dimensional Hydrodynamic and Transport Phenomena, Including Sediments. Deltares, Delft, The Netherlands. 644 pp
- Deltares, 2009b. User Manual Delft3D-WAVE. Simulation of short-crested waves with SWAN. Deltares, Delft, The Netherlands. 184 pp
- Doer (Dredging Operations and Environmental Research). (2000). Description of the SSFATE numerical modeling system. Technical Note. ERDC-TN-DOER-E10.
- Eldeberky, Y. & Battjes, J. A. (1995). Parameterization of triad interactions in wave energy models, paper presented at Coastal Dynamics Conference '95, Am. Soc. of Civ. Eng., Gdansk, Poland.
- Fundespa (2010). Relatório Técnico Semestral do Plano Básico Ambiental da Dragagem de Aprofundamento do Porto de Santos - RTS – 0618-140910.1447p.
- Hasselmann, S.; Hasselmann, K.; Allender, J. H. & Barnett, T. P. (1985). Computations and parameterizations of the nonlinear energy transfer in a gravity wave spectrum, part 2: Parameterizations of the nonlinear energy transfer for application in wave models. J. Phys. Oceanogr. v. 15, p. 1378-1391.
- Janjic, Z. I. (1984). Non-linear advection schemes and energy cascade on semi-staggered grids. Monthly Weather Review, v. 112, p. 1234–1245.
- Janjic, Z. I. (2003). A Nonhydrostatic Model Based on a New Approach. Meteorology and Atmospheric Physics, v. 82, p. 271-285. (Online: <http://dx.doi.org/10.1007/s00703-001-0587-6>).
- Johnson, B.; Anderson, E.; Isaji, T. & Clarke, D. G. (2000). Description of the SSFATE numerical modeling system. DOER Technical Notes Collection (TN DOER-E10). U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. <http://www.wes.army.mil/el/dots/doer/pdf/doere10.pdf>.

- Komen, G. J.; Cavaleri, L.; Donelan, M.; Hasselmann, K.; Hasselmann, S. & Janssen, P. A. E. M. (1994). Dynamics and Modelling of Ocean Waves, Cambridge University Press, Cambridge.
- Lin, J.; Wang, H. V.; Oh, J-H.; Park, K.; Kim, S-C.; Shen, J. & KUO, A.Y. (2003). A new approach to model sediment resuspension in tidal estuaries. Journal of Coastal Research, v. 19(1), p. 76-88.
- MacDonald, N. & DAVIES, M. H. (2006). "Particle tracking model (PTM), Report 1: Model theory, implementation, and example applications", Coastal and Hydraulics Laboratory, ERDC/CHL TR-06-20, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS
- Mellor, G. L. & Yamada, T. (1982). Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems, Reviews of Geophysics and Space Physics, v. 20(4), p. 851-875.
- Palmeira, R. M. J. (2006). A influência das ondas de gravidade superficiais na rugosidade oceânica e seu impacto na modelagem numérica dos sistemas atmosféricos no atlântico sul. Dissertação de mestrado – IAG – USP. 119 p.
- Sanford, L.P. & MAA, J.P.-Y. (2001). A unified erosion formulation for fine sediments. Marine Geology, v. 179, p. 9–23.
- Soulsby, R.L. & r. J.S.W. Whitehouse. (1997). Threshold of sediment motion in coastal environments. In Proceedings Pacific Coasts and Ports '97, 149-154. Christchurch, NZ: University of Canterbury.
- Swanson, J. C.; Isaji, T.; Clarke, D. & Dickerson, C. (2004). Simulations of dredging and dredged material disposal operations in Chesapeake Bay, Maryland and Saint Andrew Bay, Florida. Presented at WEDA XXIV / 36th TAMU Dredging Seminar, July 7-9, Orlando, Florida.
- Swanson, J. C.; Galagan, C. & Isaji, T. (2006). Transport and fate of sediment suspended from jetting operations for undersea cable burial, Proceedings of OCEANS'06 MTS/IEEE, Boston, MA 18-21 September.
- Swanson, J. C. & Isaji, T. (2006). Modeling dredge-induced suspended sediment transport and deposition in the Taunton River and Mt. Hope Bay,

Massachusetts. Presented at WEDA XXVI / 38th TAMU Dredging Seminar, June 25-28, San Diego, CA.

Swanson, J. C.; Isaji, T. & Galagan, C. (2007). Modeling the ultimate transport and fate of dredge-induced suspended sediment transport and deposition. Prepared for Proceedings of WODCON VII Conference, Western Dredging Association, Lake Buena Vista. 18pp.

Teeter, A. M. (1998). Cohesive sediment modeling using multiple grain classes, Part I: settling and deposition. Proceedings of INTERCOH 98 - Coastal and Estuaries Fine Sediment Transport: Processes and Applications, South Korea.

Tolman, H. L. (1997). User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 151, 97 pp. (0.74MB PDF file).

Tolman, H. L. (1999). User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 166, 110 pp.

Tolman, H. L. (2009). User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14. NOAA / NWS / NCEP / MMAB Technical Note 276

Van Rijn, L. C. (1989). Sediment transport by currents and waves, Rep. H461, Delft Hydraulic. Lab., Delft, Netherlands.

Walstra, L. C.; Van Rijn, L. C.; Blogg, H. & Van Ormondt, M. (2001). Evaluation of a hydrodynamic area model based on the COAST3D data at Teignmouth 1999, Report TR121-EC MAST Project No MAS3-CT97-0086. HR Wallinford, UK. pp D4.1-D4.4.

Whitham, G. B. (1974). Linear and Nonlinear Waves, John Wiley, New York.

Willmott, C. J. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin American Meteorological Society, v. 63, n. 11, p. 1309-1313.

Willmott, C. J.; Ackleson, S. G.; Davis, R. E.; Feddema, J. J.; Klink, K. M.; Legates, D. R.; O'Donnell, J. & Rowe, C. M. (1985). Statistics for the evaluation and comparison of models. Journal of Geophysical Research, Washington, v. 90, n. C5, p. 8995-9005.

7.7. Equipe Técnica

André Paim Ferraz Rodrigues - Oceanógrafo

Eduardo Ayres Yassuda - Engenheiro

Dra. Gabriela Freire Cassiano - Oceanógrafa

Dr. Gabriel Clauzet – Oceanógrafo Físico

Dr. Marco Antonio Corrêa – Oceanógrafo Físico

Dra. Maria Regina Fonseca Guimarães - Oceanógrafa Física

Mariana Coppedê Cussioli – Oceanógrafa

Dra. Tatiana Jorgetti – Meteorologista

7.8. Anexo

- Anexo 7.8-1. Boletim meteo-oceanográfico.
- Anexo 7.8-2 Animações referentes à pluma de descarte, recomenda-se a utilização do Adobe Reader 9.0 ou superior.

ANEXO 7.8-1. BOLETIM METEOCEANOGRÁFICO

Cliente: CODESP

Data de emissão: 27/11/2010

 STATUS: **NORMAL**
DESCRIÇÃO SINÓTICA PARA PRÓXIMOS 3 DIAS

Domingo: O mar oscila próximo a 0.7 m. Ventos fracos a moderados. O sol aparece por entre nuvens com possibilidade de chuva. CN.

Segunda-Feira: O mar oscila próximo a 0.7 m. Ventos fracos a moderados. O sol aparece por entre nuvens com possibilidade de chuva. CN.

Terça-Feira: O mar oscila próximo a 0.7 m. Ventos fracos a moderados. Tempo parcialmente nublado e com possibilidade de chuva. CN.

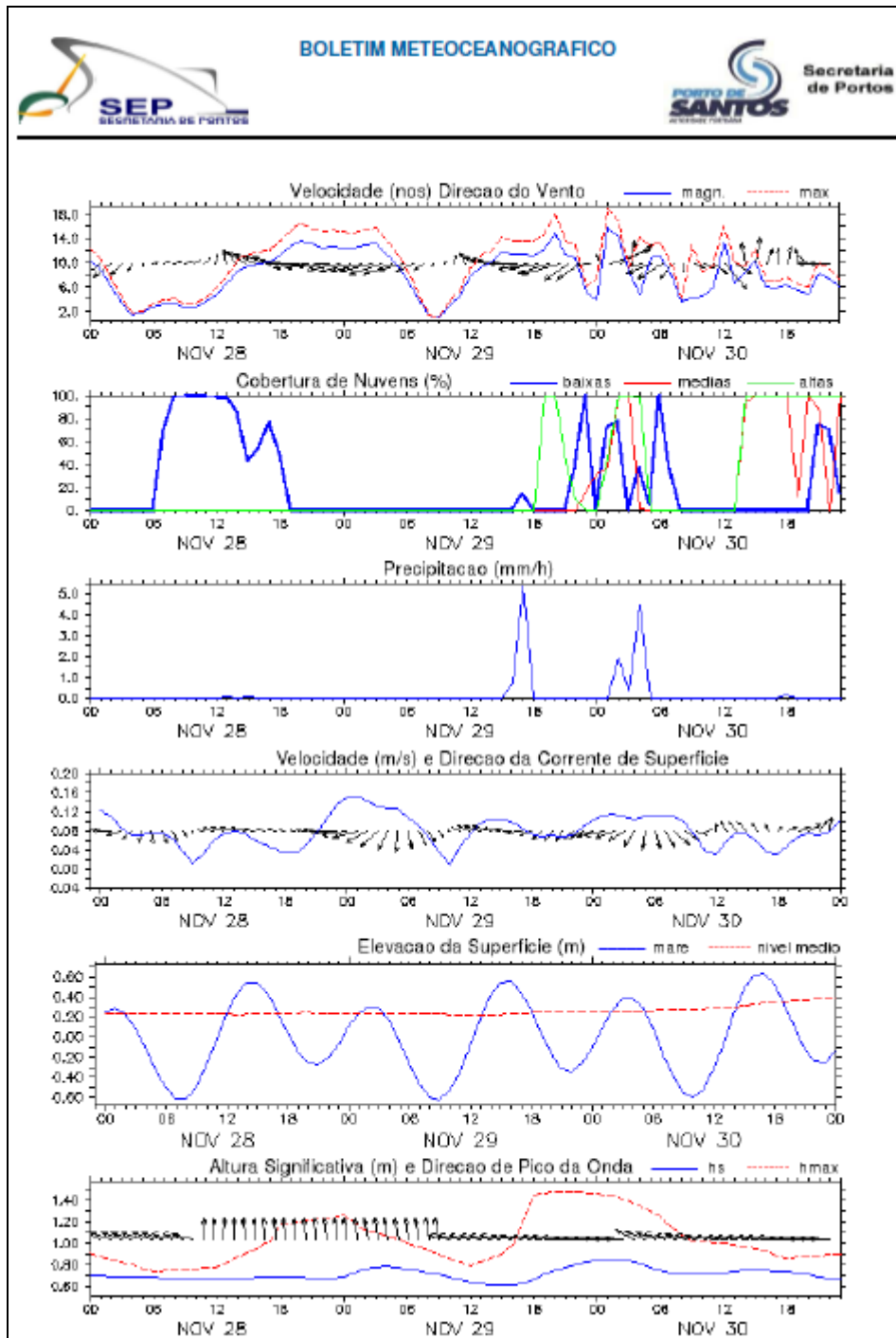
PREVISÃO DE LONGO TERMO

Um sistema de alta pressão age sobre a região, deixando o tempo aberto. Na terça-feira, um pequeno sistema frontal deve atingir a região, causando chuvas.
 O mar oscila próximo a 0.7 m até o meio da próxima semana, quando passa a subir.

3 DIAS DE PREVISÃO ATMOSFÉRICA E OCEANOGRÁFICA: Bota Fora - 24,1S / 48,3W

Data	Temp Ar (°C)	PNM (hPa)	Nuvens Baixas Qd (octas)	PREC (mm/h)	VENTO 10m (nos)			CORRENTE (m/s)		ONDA					
					Dir	Vel	Max	Dir	Vel	Altura(m)			Tp (s)	Dir	
										Hmax	Hs	Hsw			
Sun Nov 00:00	22.0	1011.9	1	0.0	NE	11.1	13.4	NW	0.13	0.9	0.7	0.7	0.2	8.7	ESE
28 Nov 03:00	21.6	1012.0	1	0.0	NNW	6.1	7.3	WSW	0.09	0.8	0.7	0.7	0.2	8.6	ESE
28 Nov 06:00	21.6	1012.7	2	0.0	W	3.3	3.9	S	0.08	0.8	0.7	0.7	0.1	8.6	ESE
28 Nov 09:00	21.4	1013.3	8	0.1	WSW	3.4	4.0	W	0.04	0.8	0.7	0.7	0.1	8.6	S
28 Nov 12:00	20.9	1013.3	8	0.1	SSW	6.8	8.2	WNW	0.08	0.8	0.7	0.7	0.2	5.8	S
28 Nov 15:00	20.1	1012.7	5	0.1	ESE	9.8	11.8	WNW	0.08	1.0	0.7	0.7	0.3	5.8	S
28 Nov 18:00	20.4	1011.8	4	0.0	ESE	12.8	15.4	WNW	0.04	1.2	0.7	0.7	0.5	5.9	S
28 Nov 21:00	21.5	1011.1	1	0.0	E	13.7	16.5	W	0.10	1.2	0.7	0.7	0.5	6.0	S
Mon Nov 00:00	22.0	1010.9	1	0.0	ENE	12.8	15.4	W	0.15	1.3	0.7	0.7	0.6	6.0	S
29 Nov 03:00	21.7	1010.6	1	0.0	ENE	13.2	15.8	WSW	0.14	1.1	0.8	0.8	0.4	6.0	S
29 Nov 06:00	21.8	1010.4	1	0.0	ENE	9.8	11.7	S	0.13	1.0	0.8	0.8	0.3	6.0	S
29 Nov 09:00	21.6	1010.5	1	0.0	SW	3.0	3.6	WSW	0.07	0.9	0.7	0.7	0.2	8.3	SSE
29 Nov 12:00	22.3	1009.7	1	0.0	SSE	9.3	11.1	WNW	0.10	0.8	0.7	0.7	0.2	8.3	E
29 Nov 15:00	22.2	1008.6	1	0.8	E	11.8	14.2	WNW	0.11	1.0	0.6	0.6	0.4	8.3	E
29 Nov 18:00	22.3	1007.5	1	5.4	ENE	12.3	14.7	W	0.09	1.5	0.7	0.6	0.8	8.3	E
29 Nov 21:00	23.0	1006.5	1	0.0	ENE	15.0	18.0	SW	0.07	1.5	0.8	0.8	0.7	8.3	E
Tue Nov 00:00	22.9	1006.8	5	0.0	WSW	15.8	19.0	WSW	0.11	1.5	0.8	0.8	0.6	4.3	E
30 Nov 03:00	22.6	1007.1	4	4.5	WSW	14.2	17.1	WSW	0.12	1.4	0.8	0.8	0.6	5.5	ESE
30 Nov 06:00	23.2	1006.2	4	0.0	ENE	11.2	13.5	S	0.11	1.3	0.8	0.8	0.5	5.6	ESE
30 Nov 09:00	23.7	1006.3	1	0.0	WNW	4.6	12.9	SE	0.11	1.1	0.7	0.7	0.4	6.2	ESE
30 Nov 12:00	27.4	1005.5	1	0.0	NW	13.4	16.1	NW	0.06	1.0	0.7	0.7	0.3	6.9	E
30 Nov 15:00	23.6	1005.2	1	0.0	SSW	10.2	12.2	NW	0.08	1.0	0.7	0.7	0.2	7.4	E
30 Nov 18:00	23.1	1005.7	1	0.1	S	6.4	7.7	NNW	0.05	0.9	0.7	0.7	0.2	7.5	E
30 Nov 21:00	23.2	1006.1	4	0.0	ESE	8.4	10.1	ENE	0.08	0.9	0.7	0.7	0.2	7.7	E

Hmax- Altura Máxima; Hs- Altura significativa; Hsw- Altura do Swell; Hwd- Altura do Seawind; Tp- Período do Pico; Dirp- Direção do Pico



ANEXO 7.8-2 ANIMAÇÕES REFERENTES À PLUMA DE DESCARTE,
RECOMENDA-SE A UTILIZAÇÃO DO ADOBE READER 9.0 OU SUPERIOR.