

# Modelagem do Descarte de Água Produzida no Campo de Mexilhão, Bacia de Santos



E&P

Revisão 00  
Janeiro/2007

 **PETROBRAS**



# **Modelagem do Descarte de Água Produzida no Campo de Mexilhão, Bacia de Santos**

**Revisão 00  
Janeiro / 2007**



**E&P**



**CONTROLE DE REVISÕES**

REV.	DESCRIÇÃO	DATA
00	Documento Original	23/01/2007

	Original	Rev. 01	Rev. 02	Rev. 03	Rev. 04	Rev. 05	Rev. 06	Rev. 07	Rev. 08
Data	23/01/07								
Elaboração									
Verificação									
Aprovação									



## ÍNDICE GERAL

RESUMO .....	1
I INTRODUÇÃO .....	I-1
I.1 ÁREA DE ESTUDO .....	I-2
I.1.1 CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DA REGIÃO .....	I-3
I.1.2 PADRÕES DE CIRCULAÇÃO DA REGIÃO .....	I-6
II MODELO HIDRODINÂMICO .....	II-1
II.1 DESCRIÇÃO DO PRINCETON OCEAN MODEL.....	II-1
II.1.1 EQUAÇÕES BÁSICAS DO POM.....	II-2
II.1.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO ADOTADAS.....	II-5
II.2 DOMÍNIO MODELADO E DADOS DE ENTRADA DO MODELO.....	II-6
II.2.1 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO E BATIMETRIA .....	II-6
II.2.2 ESTRUTURA TERMOHALINA .....	II-8
II.2.3 VENTOS .....	II-8
II.2.4 MARÉS .....	II-9
II.3 CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO .....	II-10
II.3.1 VALIDAÇÃO PARA A MARÉ .....	II-11
II.3.2 VALIDAÇÃO PARA AS CORRENTES .....	II-12
II.4 COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE A MODELAGEM HIDRODINÂMICA.....	II-14
III CARACTERÍSTICAS DO DESCARTE E COMPOSIÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA.....	III-1
IV MODELAGEM DO FATOR DE DILUIÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO .....	IV-1
IV.1 DESCRIÇÃO DO MODELO CORMIX .....	IV-1
IV.2 DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES DE CAMPO PRÓXIMO.....	IV-2
V MODELAGEM DA DISPERSÃO NO CAMPO AFASTADO .....	V-1
V.1 DESCRIÇÃO DO MODELO CHEMMAP .....	V-1
V.1.1 FORMULAÇÃO DO MODELO.....	V-4
V.2 DADOS DE ENTRADA.....	V-21
V.2.1 CORRENTES .....	V-22
V.2.2 VENTO.....	V-22
V.3 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS SIMULADOS.....	V-25

---

V.3.1	CENÁRIOS PROBABILÍSTICOS.....	V-25
V.3.2	CENÁRIOS DETERMINÍSTICOS.....	V-26
VI	MODELAGEM DO DESCARTE DE ÁGUA PRODUZIDA .....	VI-1
VI.1	RESULTADOS DA DILUIÇÃO DO CAMPO PRÓXIMO.....	VI-1
VI.2	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS.....	VI-3
VI.3	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS.....	VI-9
VI.4	RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA MODELAGEM DE ÁGUA PRODUZIDA .....	VI-15
VII	CONCLUSÕES.....	VII-1
VIII	BIBLIOGRAFIA.....	VIII-1
IX	EQUIPE TÉCNICA .....	IX-1



**TABELAS**

<b>TABELA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Tabela I.1-1</b> - Coordenadas e lâmina d'água do ponto de descarte de água produzida (SAD 69).	I-2
<b>Tabela III-1</b> - Parâmetros utilizados para a modelagem das plumas de descarte de água produzida.	III-1
<b>Tabela III-2</b> - Concentrações dos componentes simulados da água produzida no Campo de Mexilhão.	III-2
<b>Tabela V.2.2-1</b> - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de verão.	V-24
<b>Tabela V.2.2-2</b> - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de inverno.	V-24
<b>Tabela VI.1-1</b> - Resultados das simulações do campo próximo.	VI-1
<b>Tabela VI.1-2</b> - Concentrações dos compostos simulados no ponto de lançamento, valores correspondentes à diluição no campo próximo e limite da legislação.	VI-3
<b>Tabela VI.2-1</b> - Máximas concentrações obtidas para os parâmetros inorgânicos à 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno.	VI-3
<b>Tabela VI.4-1</b> - Concentrações dos parâmetros químicos simulados e diluição da água produzida, no ponto de lançamento, no final do campo próximo e a 100, 250 e 500 m, calculadas para o descarte no Campo de Mexilhão.	VI-16

## FIGURAS

FIGURA	PÁG.
<b>Figura I.1-1</b> - Localização do ponto de descarte - Plataforma PMLX-1, Campo de Mexilhão.	I-2
<b>Figura I.1.1-1</b> - Médias de 12 anos (1990 - 2001) do vento a 10 m no período de verão (janeiro a março).	I-3
<b>Figura I.1.1-2</b> - Médias de 12 anos (1990 - 2001) do vento a 10 m no período de inverno (junho a agosto).	I-4
<b>Figura I.1.1-3</b> - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos das reanálises do NCEP para o dia 1 <sup>o</sup> de junho de 2003 (situação de bom tempo).	I-5
<b>Figura I.1.1-4</b> - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos das reanálises do NCEP para o dia 15 de junho de 2003, às 18GMT (deslocamento de um sistema frontal).	I-5
<b>Figura I.1.2-1</b> - Representação da circulação no oceano Atlântico Sul, indicando as seguintes correntes oceânicas: Corrente Circumpolar (CC), Corrente do Atlântico Sul (CAS), Corrente de Benguela (BE), Corrente de Angola (CA), Corrente Sul Equatorial (CSE), Corrente do Brasil (CB) e Corrente das Malvinas (CM). Adaptado de Tomczak & Godfrey (1994).	I-7
<b>Figura I.1.2-2</b> - Esquema da circulação oceânica na costa brasileira.	I-8
<b>Figura I.1.2-3</b> - Representação esquemática do campo de fluxo geostrófico nos primeiros 500 m, com base em dados hidrográficos históricos, coletados na região demarcada. As linhas cheias correspondem a transporte de 2 Sv e a linha tracejada de 1 Sv. (Adaptado de Stramma et al., 1990).	I-9
<b>Figura I.1.2-4</b> - Média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM.	I-10
<b>Figura II.2.1-1</b> - Grade computacional do modelo hidrodinâmico e projeção da batimetria, com foco na região da Bacia de Santos.	II-7
<b>Figura II.2.2-1</b> - Campos de temperatura e salinidade projetados na grade do modelo hidrodinâmico.	II-8
<b>Figura II.2.3-1</b> - Campo de vento NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico.	II-9
<b>Figura II.2.4-1</b> - Mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude da componente de maré $M_2$ , projetado na grade do modelo hidrodinâmico.	II-10
<b>Figura II.3.1-1</b> - Série temporal da previsão de maré (azul) e a elevação calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 24 de fevereiro a 27 de março de 1992.	II-11

FIGURA	PÁG.
<b>Figura II.1.2-1</b> - Série temporal medida das componentes $u$ e $v$ da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1º de fevereiro e 15 de abril de 1992 para o ponto PC.	II-12
<b>Figura II.1.2-2</b> - Série temporal medida das componentes $u$ e $v$ da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 5 de agosto a 29 de setembro de 1992 para o ponto PC.	II-13
<b>Figura II.1.2-3</b> - Série temporal medida das componentes $u$ e $v$ da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1º e 30 de janeiro de 1992 para o ponto BM333.	II-13
<b>Figura II.1.2-4</b> - Série temporal medida das componentes $u$ e $v$ da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1º a 30 de junho de 1992 para o ponto BM333.	II-14
<b>Figura IV.2-1</b> - Seção vertical de densidade ( $\text{kg/m}^3$ ) ao longo de 24,3ºS para o período de janeiro a março, na região da Plataforma PMLX-1.	IV-2
<b>Figura IV.2-2</b> - Seção vertical de densidade ( $\text{kg/m}^3$ ) ao longo de 24,3ºS para o período de julho a setembro, na região da Plataforma PMLX-1.	IV-3
<b>Figura V.2.2-1</b> - Diagrama <i>stick plot</i> dos valores médios diários de dados de vento NCEP durante o período de janeiro a dezembro de 1992 (convenção vetorial).	V-22
<b>Figura V.2.2-2</b> - Histograma direcional dos vetores de vento para (a) verão (janeiro a março) e (b) inverno (junho a agosto), Bacia de Santos.	V-23
<b>Figura VI.1-1</b> - Diluição em relação à distância do ponto de descarte da pluma de água produzida nos períodos de verão e inverno.	VI-2
<b>Figura VI.1-2</b> - Profundidades em relação à distância do ponto de descarte da pluma de água produzida nos períodos de verão e inverno.	VI-2
<b>Figura VI.2-1</b> - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de BENZENO, simulada no período de verão, após 24 horas.	VI-4
<b>Figura VI.2-2</b> - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de BENZENO, simulada no período de inverno, após 24 horas.	VI-5
<b>Figura VI.2-3</b> - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de TOLUENO, simulada no período de verão, após 24 horas.	VI-6
<b>Figura VI.2-4</b> - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de TOLUENO, simulada no período de inverno, após 24 horas.	VI-7
<b>Figura VI.2-5</b> - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de FENÓIS TOTAIS, simulada no período de verão, após 24 horas.	VI-8
<b>Figura VI.2-6</b> - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de FENÓIS TOTAIS, simulada no período de inverno, após 24 horas.	VI-9
<b>Figura VI.3-1</b> - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de BENZENO, simulada no período de verão, após 24 horas.	VI-10

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura VI.3-2</b> - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de BENZENO, simulada no período de inverno, após 24 horas.	VI-11
<b>Figura VI.3-3</b> - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de TOLUENO, simulada no período de verão, após 24 horas.	VI-12
<b>Figura VI.3-4</b> - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de TOLUENO, simulada no período de inverno, após 24 horas.	VI-13
<b>Figura VI.3-5</b> - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de FENÓIS TOTAIS, simulada no período de verão, após 24 horas.	VI-14
<b>Figura VI.3-6</b> - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de FENÓIS TOTAIS, simulada no período de inverno, após 24 horas.	VI-15

## RESUMO

Este relatório apresenta os resultados das simulações numéricas do processo de diluição e dispersão das plumas provenientes do descarte de água produzida no Campo de Mexilhão, partir da Plataforma PMLX-1, Bacia de Santos.

O campo de correntes característico dos padrões de circulação na região foi obtido a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), adaptado e implementado pela **ASA SOUTH AMERICA**.

No estudo do comportamento da pluma o processo foi dividido entre campo próximo (zona de diluição inicial, onde prevalecem os efeitos oriundos da velocidade inicial de ejeção e a diferença de densidade entre o efluente e o meio) e campo afastado (região onde passam a predominar os efeitos da dinâmica local no transporte e dispersão da pluma). O campo próximo foi simulado utilizando-se o modelo CORMIX da *Cornell University*. Para simular a diluição e dispersão da pluma do efluente no campo afastado, foi utilizado o modelo CHEMMAP, desenvolvido pela **Applied Science Associates (ASA), Inc**. Este modelo simula a dispersão e a distribuição de produtos químicos na superfície e coluna d'água, nos sedimentos e na costa. Com os resultados das simulações é possível determinar a probabilidade de ocorrência e a concentração dos compostos químicos considerados.

Foram conduzidas simulações considerando a variação sazonal das forçantes meteorológicas e oceanográficas, sendo selecionados para isso os períodos de verão e inverno. Para esses períodos, foram realizadas simulações com duração de 24 horas, utilizando a vazão de descarte da água produzida da plataforma em estudo. As características (composição e concentração) do efluente utilizadas nas simulações numéricas são baseadas em dados existentes para a Bacia de Campos, uma vez que a Plataforma PMLX-1 ainda não entrou em operação e não existem dados suficientes para a Bacia de Santos.

Como critério ambiental, foram utilizadas as concentrações da Resolução CONAMA nº 357/05 para Águas Salinas de Classe 1. Com o objetivo de dar suporte e orientar o desenvolvimento de futuros trabalhos de monitoramento ambiental na área do empreendimento, são apresentados neste relatório os resultados das simulações da pluma proveniente do descarte de água produzida

até uma concentração correspondente à diluição de 10.000 vezes o critério ambiental.

Os resultados das simulações para o campo próximo mostraram que todos os compostos simulados apresentaram concentrações inferiores ao critério ambiental, dentro da zona de mistura, a uma distância de cerca de 1 m do ponto de lançamento. Ao final do campo próximo, o efluente apresenta uma diluição média de, aproximadamente, 691 vezes a concentração inicial.

Os resultados das simulações para o campo afastado indicaram que, a aproximadamente 500 m do ponto de lançamento, todos os compostos atingiram valores de concentração referentes à diluição de 1.667 até 6.700 vezes o critério ambiental.

## I INTRODUÇÃO

Neste relatório é apresentada a modelagem computacional da diluição e dispersão de água produzida no Campo de Mexilhão, Bacia de Santos, descartada a partir da Plataforma PMLX-1.

Essa avaliação foi conduzida dividindo o processo em campo próximo e campo afastado. O campo próximo foi simulado utilizando-se o modelo CORMIX da *Cornell University*. O campo afastado foi simulado utilizando o sistema de modelos computacionais conhecido como CHEMMAP, desenvolvido pela **Applied Science Associates (ASA), Inc.** dos EUA.

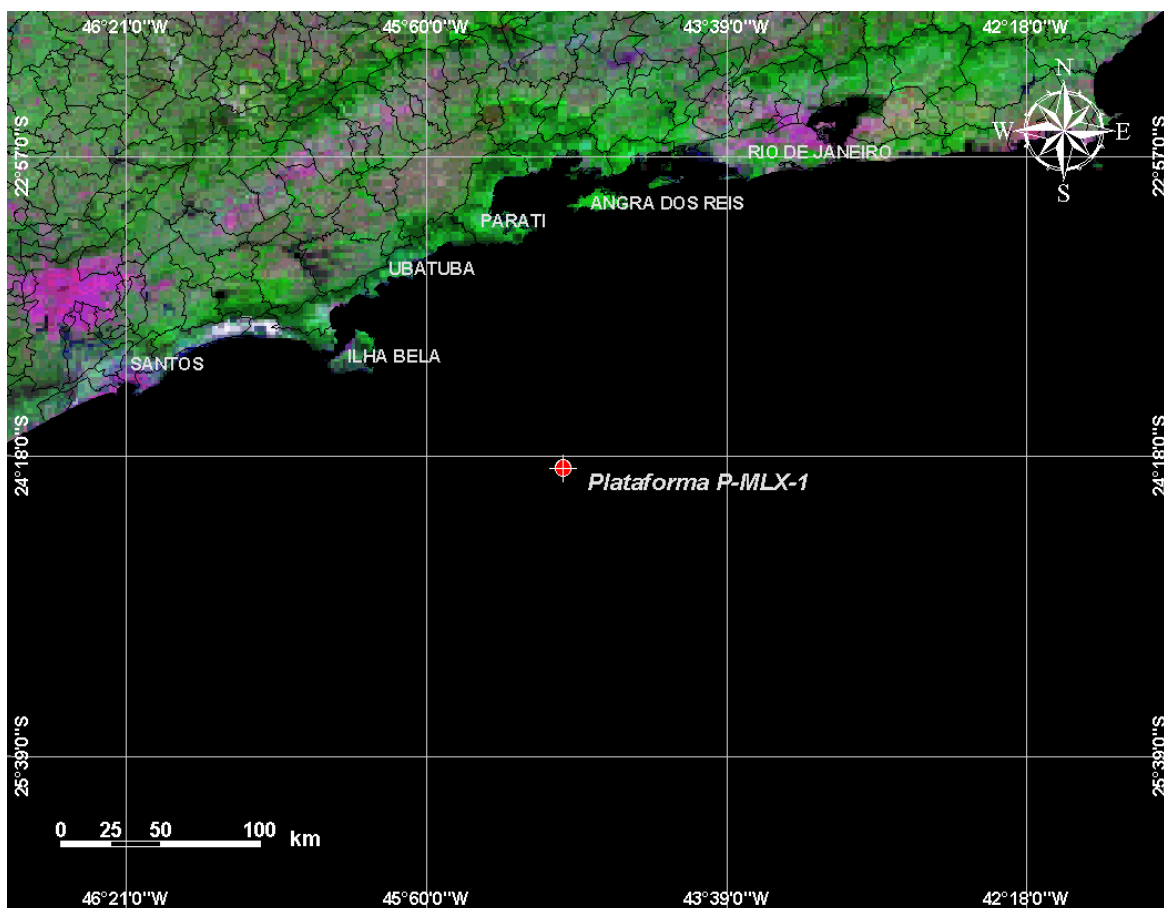
Para estudos de modelagem, como o realizado neste trabalho, são necessários: (a) um conhecimento detalhado das características geomorfológicas do local (morfologia da linha de costa e fundo oceânico), (b) padrões de circulação local e em larga escala, (c) séries temporais de vento de longa duração (preferencialmente de bóias *offshore* e/ou estação meteorológica costeira), e (d) características físico-químicas dos constituintes presentes no efluente simulado.

A caracterização dos padrões de circulação na região foi realizada a partir de resultados de um modelo desenvolvido pela equipe da **ASA SOUTH AMERICA**, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM).

A seguir, o Capítulo I apresenta os objetivos desse estudo e fornece informações sobre a área em questão. O Capítulo II descreve o modelo hidrodinâmico e sua calibração. O Capítulo III apresenta as características dos descartes da água produzida. O Capítulo IV descreve a modelagem do fator de diluição do campo próximo. O Capítulo V descreve o modelo CHEMMAP utilizado na modelagem do campo afastado e os dados de entrada. Os resultados das simulações no campo próximo e no campo afastado são apresentados no Capítulo VI. Por fim, o Capítulo VII discute os resultados obtidos neste estudo.

## I.1 ÁREA DE ESTUDO

As simulações da dispersão de água produzida foram realizadas a partir da Plataforma PMLX-1, localizada no Campo de Mexilhão, litoral do Estado de São Paulo, conforme mostra a figura I.1-1.



**Figura I.1-1** - Localização do ponto de descarte - Plataforma PMLX-1, Campo de Mexilhão.

As coordenadas do ponto de descarte foram especificadas pela PETROBRAS e se encontram listadas na tabela I.1-1.

**Tabela I.1-1** - Coordenadas e lâmina d'água do ponto de descarte de água produzida (SAD 69).

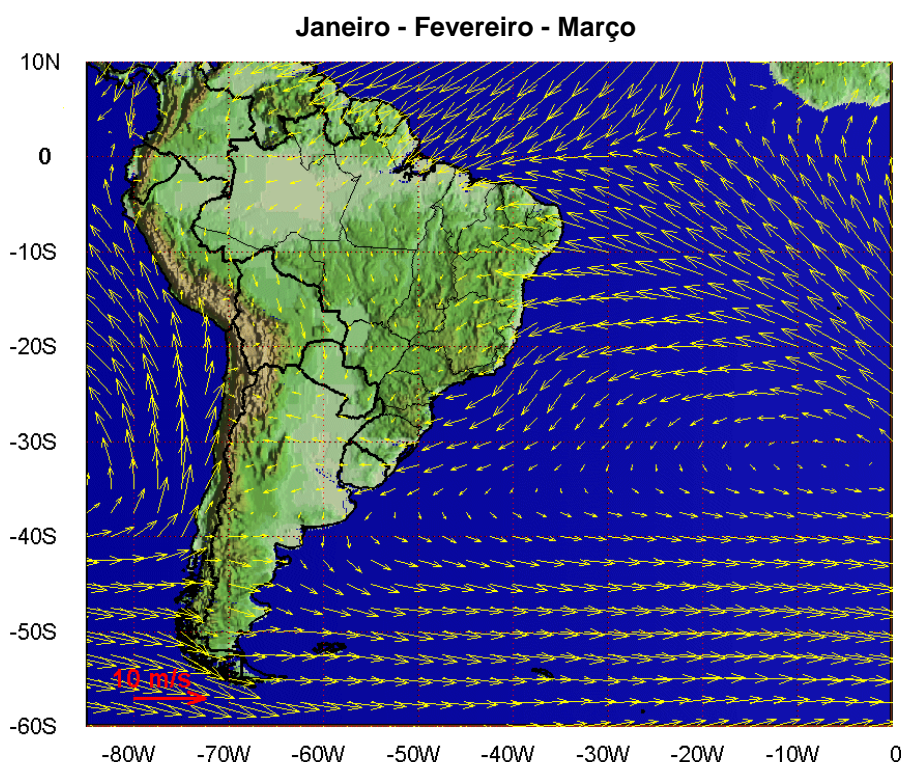
PONTO DESCARTE	LATITUDE	LONGITUDE	LÂMINA D'ÁGUA (m)
Plataforma PMLX-1	24°21'09,66"S	44°22'56,45" W	170



### I.1.1 Características Meteorológicas da Região

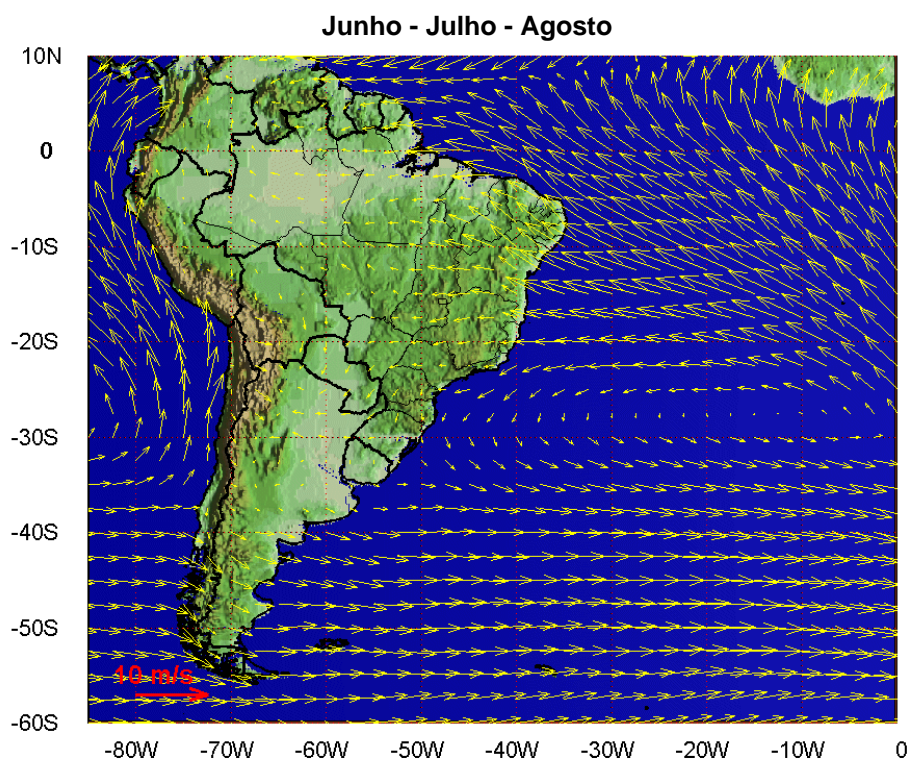
Para a região da Bacia de Santos, o padrão característico das condições meteorológicas é dominado pelo Anticiclone (semi-fixo) do Atlântico Sul (AAS), também denominado de Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), e pelo Anticiclone Polar Móvel (APM).

A variabilidade sazonal do padrão de ventos na Bacia de Santos, devido ao deslocamento da ASAS, é caracterizado pelo predomínio de ventos de leste-nordeste no verão e ventos de norte-nordeste no inverno. Este padrão é ilustrado nas figuras I.1.1-1 e I.1.1-2, que apresentam o comportamento sazonal da circulação atmosférica obtida através da média de 12 anos (1990 – 2001) das reanálises do modelo de circulação geral do NCEP e NCAR<sup>1</sup>. Nessa análise foram utilizados dados de vento na altura de 10 m. Observa-se a mudança do posicionamento sazonal da ASAS e o padrão de ventos gerados por esse sistema.



**Figura I.1.1-1** - Médias de 12 anos (1990 - 2001) do vento a 10 m no período de verão (janeiro a março).

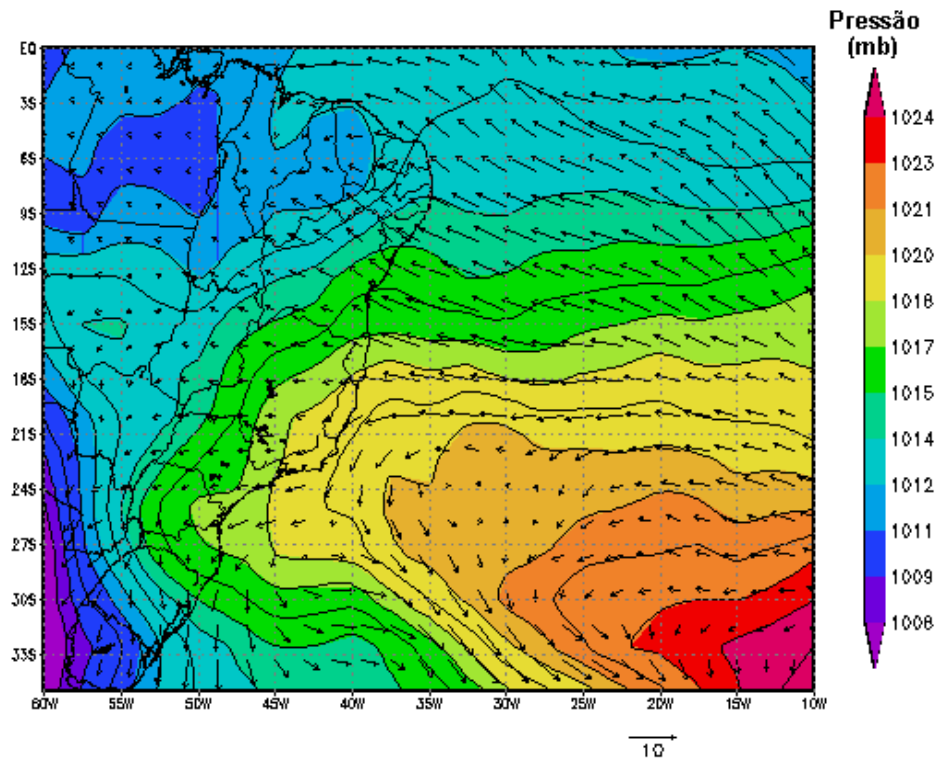
<sup>1</sup> National Centers for Environmental Prediction do National Center for Atmospheric Research.



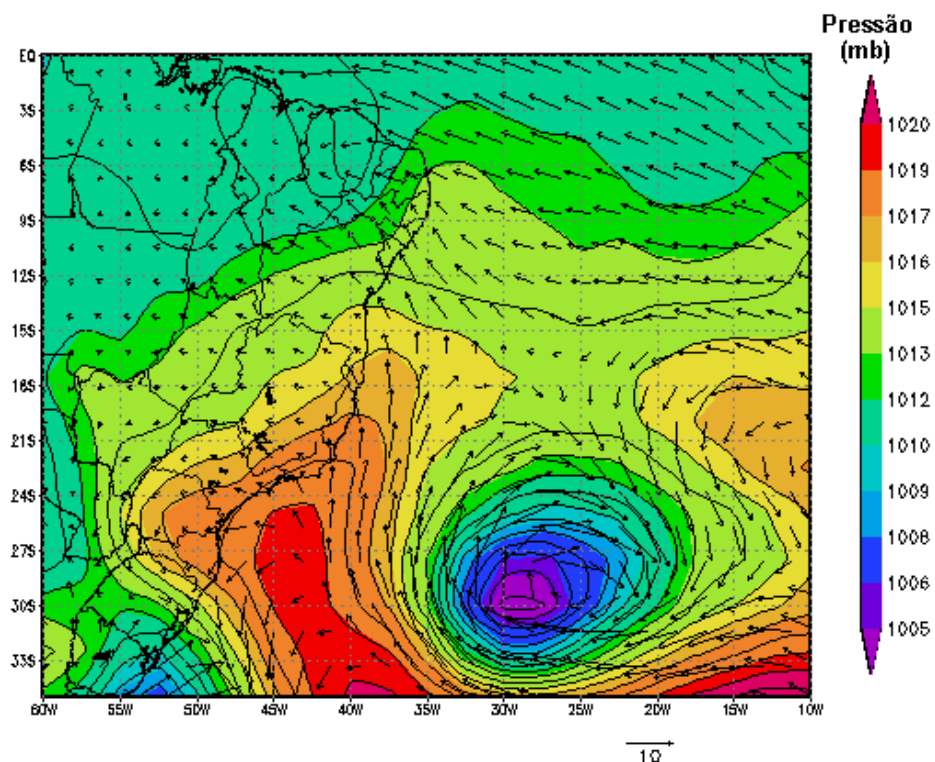
**Figura I.1.1-2** - Médias de 12 anos (1990 - 2001) do vento a 10 m no período de inverno (junho a agosto).

Periodicamente, a situação de bom tempo induzida pelo AAS, caracterizada por ventos moderados vindos de nordeste, é perturbada pelo deslocamento de sistemas frontais forçados pelo APM. Estes sistemas frontais formam-se, geralmente, sobre o Oceano Pacífico Sul, dirigem-se para leste até encontrarem os Andes, e, entre 40 e 20°S, seguem no sentido sudoeste-nordeste ao longo da costa leste sul americana. As figuras I.1.1-3 e I.1.1-4 ilustram instantâneos do vento NCEP/NCAR a 10 m de altura para a América do Sul, em situação de bom tempo e de deslocamento de um sistema frontal, respectivamente.

Os sistemas frontais atuam durante o ano todo sobre todo o Atlântico Sul, com frequências maiores nas latitudes mais altas e menores nas latitudes mais baixas. As perturbações geradas são essenciais para a determinação das variabilidades intra-anuais na superfície oceânica.



**Figura I.1.1-3** - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos das reanálises do NCEP para o dia 1º de junho de 2003 (situação de bom tempo).



**Figura I.1.1-4** - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos das reanálises do NCEP para o dia 15 de junho de 2003, às 18GMT (deslocamento de um sistema frontal).

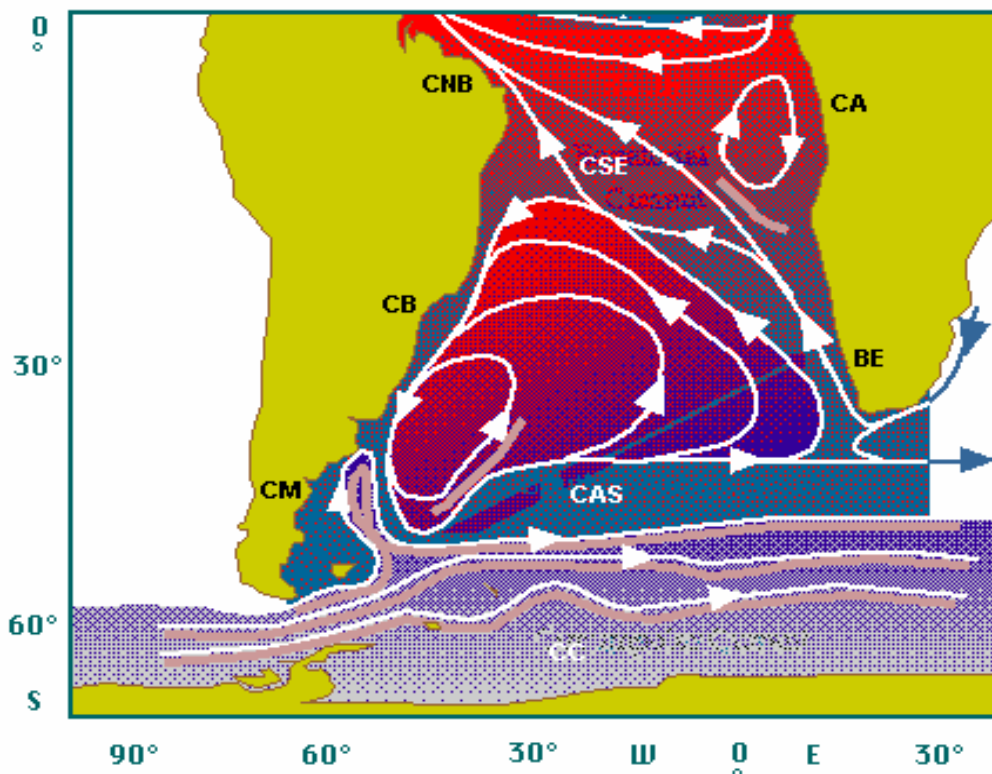
De acordo com a estatística de sistemas frontais que atuaram no litoral do Brasil entre os anos de 1975 a 1984 e 1987 a 1995, apresentada pelo Boletim de Monitoramento e Análise Climática (Climanálise, 1996), a média mensal desses sistemas atuando sobre a costa sudeste brasileira é de quatro sistemas nos meses de verão e sete sistemas nos meses de inverno.

O deslocamento desses sistemas está associado ao escoamento ondulatório de grande escala. A intensificação ou dissipação dos mesmos está relacionada com as características atmosféricas sobre o continente. Algumas regiões do Brasil, tais como as Regiões Sul e Sudeste são regiões frontogenéticas, *i.e.* as frentes podem se formar ou se intensificar nessas regiões (Satyamurty & Mattos, 1989).

Em meso e micro escalas, a variabilidade meteorológica induzida pelas brisas marinhas e terrestres também é significativa, principalmente nos padrões dinâmicos da circulação observada sobre a plataforma continental.

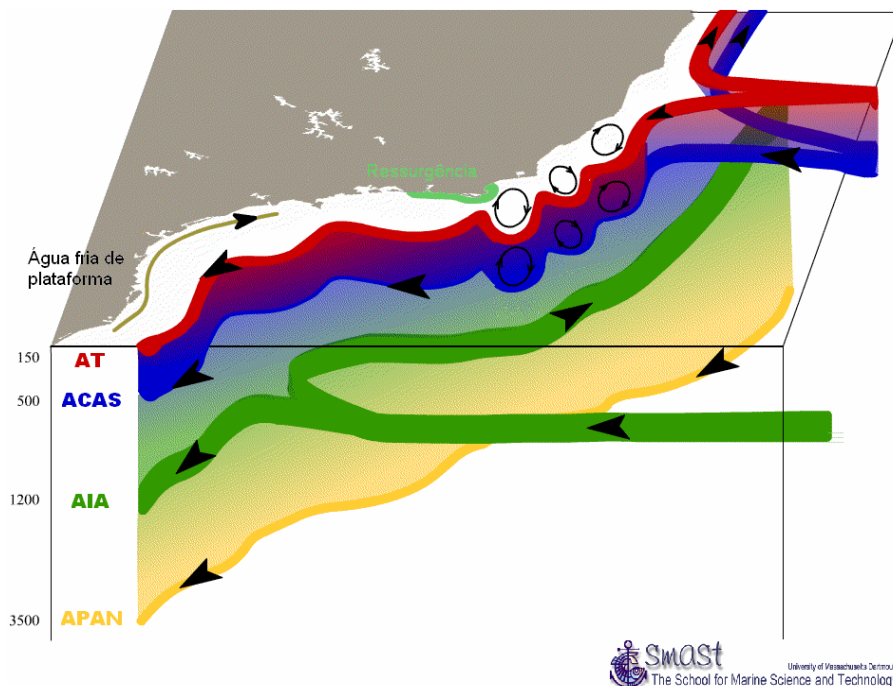
### ***1.1.2 Padrões de Circulação da Região***

A figura I.1.2-1 ilustra o Giro Sub-Tropical do Atlântico Sul que possui uma corrente de contorno oeste para sul, a Corrente do Brasil (CB), a qual se separa da costa na região da confluência com a Corrente das Malvinas (CM). A partir deste ponto, a Corrente do Brasil composta com a Corrente das Malvinas se afasta da costa e flui para leste como Corrente do Atlântico Sul (CAS). O giro no Atlântico é complementado pela Corrente de Benguela (BE), Corrente Sul Equatorial (CSE), fechando o circuito com a Corrente do Brasil para sul e a Corrente Norte do Brasil (CNB).



**Figura I.1.2-1** - Representação da circulação no oceano Atlântico Sul, indicando as seguintes correntes oceânicas: Corrente Circumpolar (CC), Corrente do Atlântico Sul (CAS), Corrente de Benguela (BE), Corrente de Angola (CA), Corrente Sul Equatorial (CSE), Corrente do Brasil (CB) e Corrente das Malvinas (CM). Adaptado de Tomczak & Godfrey (1994).

As primeiras medições diretas da CB foram feitas por Evans & Signorini (1985), nas latitudes de 20°30'S e 23°S, as quais apresentaram um fluxo confinado aos primeiros 400 m de profundidade, com uma contra-corrente no sentido norte, abaixo destes 400 m iniciais. Na parte norte da área, acima do Cabo de São Tomé, a direção da corrente é para 180°, variando para 220° na região de Cabo Frio. Esta mudança afeta significativamente a CB, induzindo à formação de vórtices e meandros, como indicado na figura I.1.2-2. Este meandramento da CB foi capturado por Signorini (1978), em sua análise de topografia dinâmica, e por Miranda & Castro (1979) em suas observações hidrográficas na região adjacente à Cabo Frio (23° S), ao longo de duas secções meridionais.



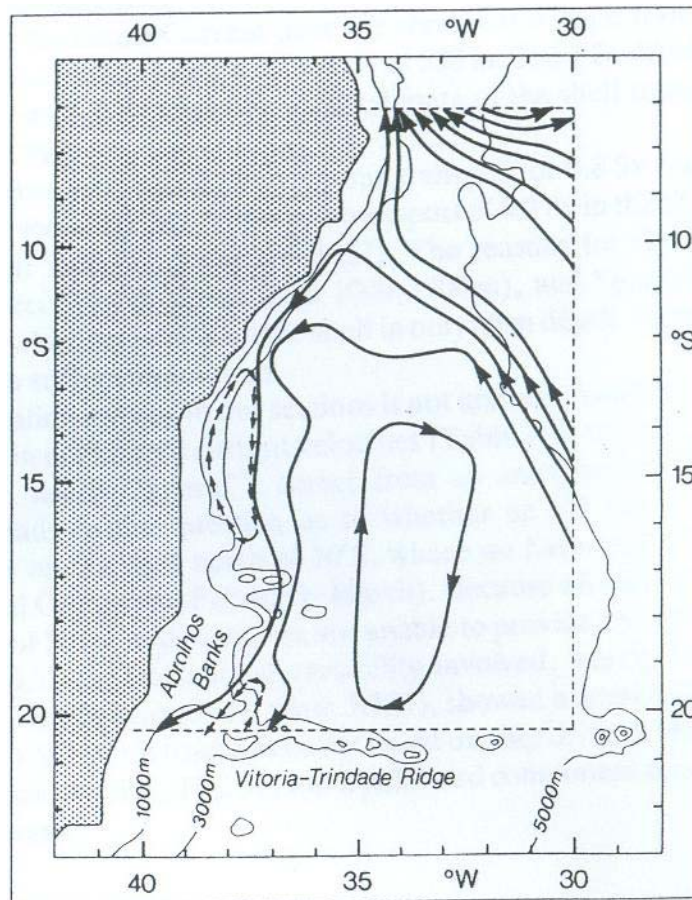
**Figura I.1.2-2 - Esquema da circulação oceânica na costa brasileira.<sup>2</sup>**

O volume estimado transportado pela CB na região da quebra da plataforma e do talude na latitude de 22°S é de  $5,5 \pm 2,6$  Sv (Lima, 1997). Algumas regiões sobre o talude continental podem apresentar velocidades de correntes maiores que 1,0 m/s (Castro & Miranda, 1998).

Parte significativa do fluxo da CB passa através dos canais dos Bancos de Abrolhos e divide-se em dois ramos. Um deles flui afastado da costa, além da isóbata de 3.000 m (Stramma *et al.*, 1990), como indicado na Figura I.1.2-3, enquanto o outro flui seguindo a linha de quebra da plataforma (Signorini, 1978).

A corrente que flui para sudoeste durante o verão é reforçada pelos ventos que provêm principalmente de nordeste nessa estação devido à influência da ASAS. Outra consequência do predomínio dos ventos de NE é a ressurgência de águas frias (Água Central do Atlântico Sul – ACAS) em regiões costeiras. Esses eventos são muito comuns na região de Cabo Frio. No inverno, entretanto, a alta incidência de sistemas frontais induz a ocorrência de correntes com direção nordeste nas porções interna e média da plataforma (Castro & Miranda, 1998).

<sup>2</sup> <http://www.smast.umassd.edu/modeling>



**Figura I.1.2-3** - Representação esquemática do campo de fluxo geostrofico nos primeiros 500 m, com base em dados hidrográficos históricos, coletados na região demarcada. As linhas cheias correspondem a transporte de 2 Sv e a linha tracejada de 1 Sv. (Adaptado de Stramma et al., 1990).

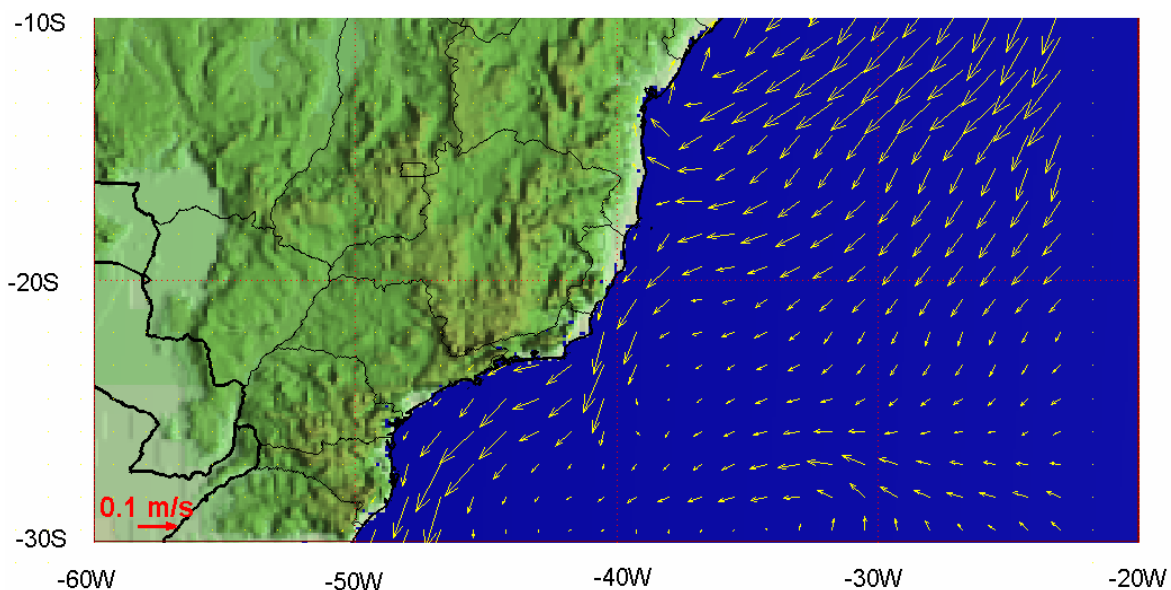
Vários modelos numéricos globais reproduzem o sistema de correntes em larga escala nesta região. O processo de *warm up* do modelo aqui apresentado foi baseado nos resultados de uma simulação de 14 anos do modelo OCCAM<sup>3</sup>, disponibilizados pela Universidade de Southampton. O OCCAM foi elaborado com base no GFDL MOM<sup>4</sup>, incluindo uma superfície livre e esquemas de advecção melhorados. A grade, para o Oceano Atlântico Sul, é regular (1/4 de grau), com 36 níveis (20 m de espessura próximo à superfície e 255 m em 5.500 m de profundidade). Este modelo foi inicializado com médias anuais de temperatura e

<sup>3</sup> Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling Project - Southampton Oceanography Centre.

<sup>4</sup> Global Fluid Dynamics Laboratory - Modular Ocean Model.

salinidade do LEVITUS<sup>5</sup>, forçado na superfície com dados de vento do ECMWF<sup>6</sup> (médias mensais) e relaxado para os campos sazonais de temperatura e salinidade do LEVITUS.

A figura I.1.2-4 ilustra uma média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM. Nota-se o ramo Sul da CSE atingindo a costa do Brasil em torno de 15°S, bifurcando-se e originando a CNB, fluindo para Norte, e a CB, fluindo para Sul.



**Figura I.1.2-4 - Média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM.**

<sup>5</sup> <http://ingrid.lidgo.columbia.edu/SOURCES/.LEVITUS94>.

<sup>6</sup> *European Centre for Medium-range Weather Forecast.*



## II MODELO HIDRODINÂMICO

Nesta etapa do trabalho foi implementado um modelo hidrodinâmico visando simular o campo de correntes na região da Bacia de Campos e adjacências. Foi utilizado um modelo baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), implementado pelo grupo de modelagem da **ASA SOUTH AMERICA**.

O modelo utiliza como forçantes, marés do CSR3<sup>7</sup>, campos tridimensionais de ventos das reanálises dos modelos meteorológicos NCEP e campo termohalino tratado a partir dos resultados do OCCAM. Nas bordas abertas são também utilizadas condições datadas do OCCAM para elevação, velocidade barotrópica, temperatura e salinidade.

### II.1 DESCRIÇÃO DO PRINCETON OCEAN MODEL

O modelo numérico hidrodinâmico utilizado foi baseado no POM, desenvolvido por Blumberg & Mellor (1987), e implementado pelo grupo de modelagem da **ASA SOUTH AMERICA**. O código fonte desse modelo é de domínio público e disponível *on-line*<sup>8</sup>.

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  $\sigma$  na vertical e a resolução das camadas turbulentas de superfície e de fundo, por meio de um submodelo de fechamento turbulento de 2<sup>a</sup> ordem.

No sistema de coordenadas  $\sigma$ , 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,  $\eta$  a elevação da superfície e  $H$  a profundidade média local:

---

<sup>7</sup> Center for Space Research da Universidade do Texas.

<sup>8</sup> <http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom>

$$\sigma = \frac{z - \eta}{D} \quad (\text{II.1-1})$$

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). Esses 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 desses 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*).

### II.1.1 Equações Básicas do POM

O modelo hidrodinâmico aqui descrito é baseado em uma formulação tridimensional prognóstica com aproximação hidrostática. As variáveis potencialmente prognósticas são: as três componentes da velocidade ( $u, v$  e  $w$ ), a

temperatura ( $T$ ), a salinidade ( $S$ ), a energia cinética turbulenta ( $q^2/2$ ), a escala turbulenta ( $l$ ), e a elevação da superfície ( $\eta$ ).

O conjunto de equações básicas utilizadas no código é descrito abaixo. Consideremos um sistema de coordenadas cartesianas ortogonais, com  $x$  crescendo para Leste,  $y$  para Norte e  $z$  para cima, no qual as coordenadas horizontais (*i.e.*  $x, y$ ) referem-se ao espaço computacional. A superfície livre está localizada em  $z = \eta(x, y, t)$  e o fundo em  $z = -H(x, y)$ . Neste sistema as equações de conservação e a equação de estado são escritas como:

Equação da continuidade:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (\text{II.1.1-1})$$

Equação de Reynolds para conservação da quantidade de movimento:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} - fV = & -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( 2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left[ A_M \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \end{aligned} \quad (\text{II.1.1-2})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} + fU = & -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial V}{\partial z} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left[ A_M \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left( 2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (\text{II.1.1-3})$$

$$\rho g = -\frac{\partial P}{\partial z} \quad (\text{II.1.1-4})$$

Conservação de Temperatura Potencial:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} + U \frac{\partial \Theta}{\partial x} + V \frac{\partial \Theta}{\partial y} + W \frac{\partial \Theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_H \frac{\partial \Theta}{\partial z} \right) + F(\Theta) \quad (\text{II.1.1-5})$$

Conservação de Salinidade:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + U \frac{\partial S}{\partial x} + V \frac{\partial S}{\partial y} + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_s \quad (\text{II.1.1-6})$$

Equação de Estado:

$$\rho = \rho(S, \Theta, P) \quad (\text{II.1.1-7})$$

Equação da Energia Cinética Turbulenta:

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2}{\partial t} + U \frac{\partial q^2}{\partial x} + V \frac{\partial q^2}{\partial y} + W \frac{\partial q^2}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) + 2K_M \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] \\ + \frac{2g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{2q^3}{B_1 l} + F_{q^2} \end{aligned} \quad (\text{II.1.1-8})$$

Equação da Turbulência em Macro Escala:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (q^2 l) + U \frac{\partial}{\partial x} (q^2 l) + V \frac{\partial}{\partial y} (q^2 l) + W \frac{\partial}{\partial z} (2q^2 l) = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K_q \frac{\partial}{\partial z} (q^2 l) \right] \\ + l E_1 K_M \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{l E_1 g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{q^3}{B_1} \tilde{W} + F_{q^2 l} \end{aligned} \quad (\text{II.1.1-9})$$

sendo,

$$F_{q^2, q^2 l} = \frac{\partial}{\partial x} \left( A_H \frac{\partial q^2, q^2 l}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( A_H \frac{\partial q^2, q^2 l}{\partial y} \right) \quad (\text{II.1.1-10})$$

$$\tilde{W} \equiv 1 + E_2 \left( \frac{l}{kL} \right)^2 \quad (\text{II.1.1-11})$$

$$(L)^{-1} \equiv (\eta - z)^{-1} + (H + z)^{-1} \quad (\text{II.1.1-12})$$

onde

$U, V, W$  = componentes do vetor velocidade (m/s);

$f$  = parâmetro de Coriolis ( $s^{-1}$ );

$\rho_0$  = densidade de referência ( $kg/m^3$ );

$\rho$  = densidade *in situ* ( $kg/m^3$ );

$P$  = pressão ( $N/m^2$ );

$K_M$  = coeficiente cinemático vertical de viscosidade turbulenta ( $m^2/s$ );

$K_H$  = coeficiente cinemático vertical de difusão turbulenta de calor e sal ( $m^2/s$ );

$g$  = aceleração da gravidade ( $m/s^2$ );

$\Theta$  = temperatura potencial ( $^{\circ}C$ );

$S$  = salinidade (PSU);

- $A_M$  = coeficiente cinemático horizontal de viscosidade turbulenta ( $m^2/s$ );
- $A_H$  = coeficiente cinemático horizontal de difusão turbulenta de calor sal ( $m^2/s$ );
- $F_H, F_S$  = parametrização (em termos de processos de mistura horizontal) para processos de pequena escala não resolvidos diretamente pela grade do modelo.
- $q^2/2$  = energia cinética turbulenta;
- $l$  = escala característica de comprimento para o movimento turbulento;
- $\tilde{W}$  = função proximidade-do-contorno;
- $k$  = constante de von Karman ( $k=0,4$ );
- $F_{q^2, q^2l}$  = termos horizontais de mistura para  $q^2$  e  $q^2l$ .

### II.1.2 Condições de Contorno Adotadas

As condições de contorno naturais do modelo são dadas pela velocidade normal nula nos contornos terrestres. Em áreas com aporte fluvial significativo para a escala do domínio, os valores de vazão, temperatura e salinidade dos rios são diretamente especificados nos contornos. Na superfície livre, além das condições dinâmicas locais (Mellor & Yamada, 1982), é também considerada a tensão de cisalhamento do vento. Opcionalmente, fluxos de calor e sal (evaporação) podem ser incluídos. Na modelagem em questão estes fluxos não foram considerados. 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, ao modelo, condições de contorno para a definição do comportamento das propriedades modeladas nos limites oceânicos do domínio estudado. Essas 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.

Nas componentes perpendiculares à fronteira são aplicadas condições radiacionais em função da elevação, do tipo  $H\bar{U} \pm C_e \eta = BC^2$ , onde  $C_e = \sqrt{gH}$  é a velocidade de fase da onda que chega ao sistema,  $\eta$  é a elevação do nível do mar e B é um coeficiente empírico. Nos casos da temperatura e da salinidade, disponibiliza-se esquema que permita advecção através da fronteira, condição esta descrita por:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \text{ (condição análoga aplicada à salinidade)} \quad (\text{II.1.2-1})$$

## **II.2 DOMÍNIO MODELADO E DADOS DE ENTRADA DO MODELO**

### **II.2.1 Discretização do Domínio e Batimetria**

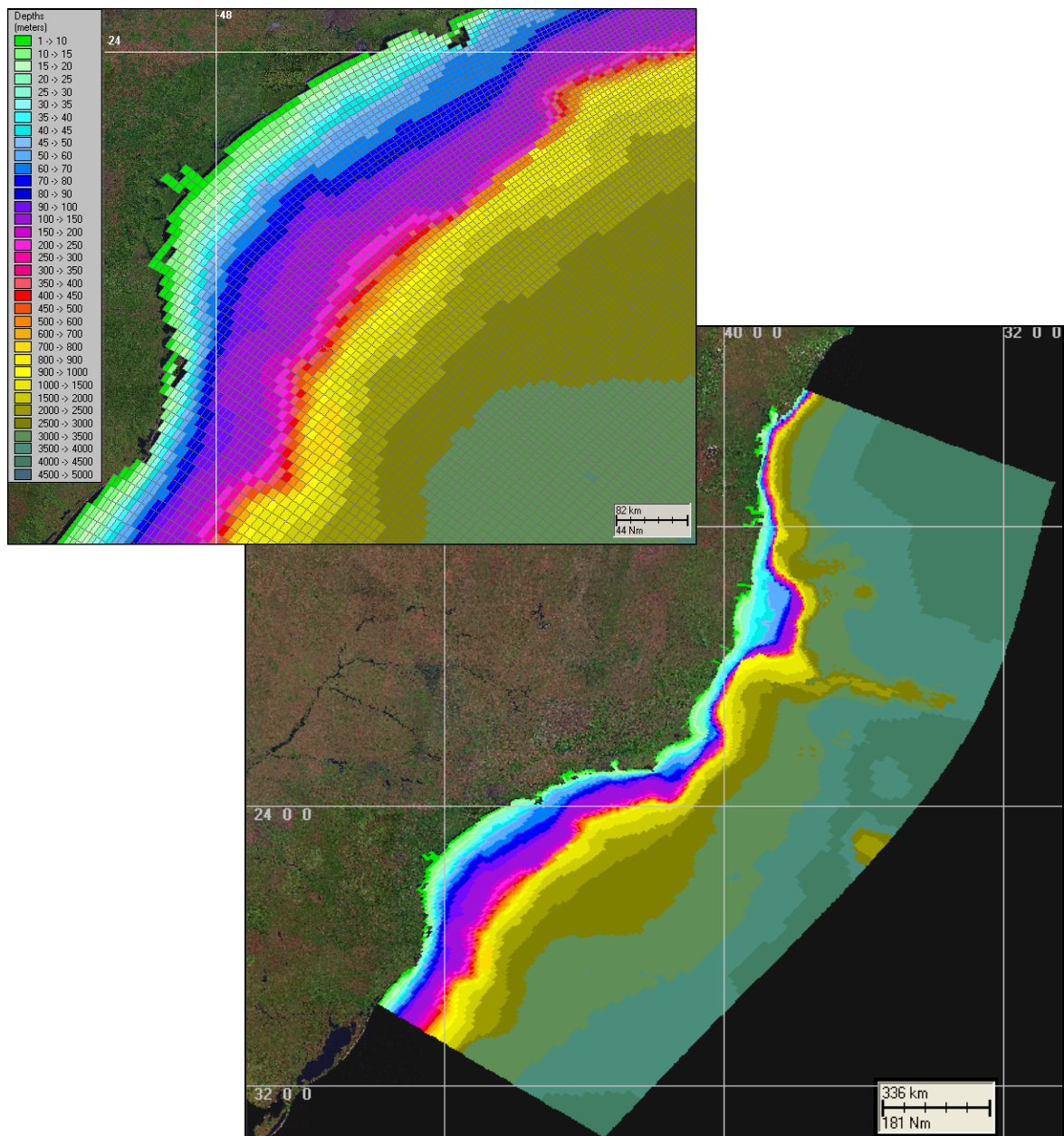
A grade geral implementada representa um compromisso entre os objetivos do projeto de modelagem final e a descrição dos processos hidrodinâmicos necessariamente definidos para a região de interesse, bem como entre os recursos computacionais e o tempo de processamento necessário. Uma grade final de meso-escala com dimensões de 100x300 pontos foi implementada sobre toda a região com resolução média máxima de 3 km na área de foco, e está ilustrada na figura II.2.1-1. Nessa grade foram utilizadas 20 camadas sigma para a definição da estrutura vertical da região. Os resultados obtidos nas simulações são comparados com dados observacionais de elevação e correntes, medidos na zona costeira da área de interesse.

Para a região da plataforma, os dados de profundidade foram obtidos através da digitalização dos valores batimétricos das cartas náuticas da DHN<sup>9</sup>, n<sup>os</sup> 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<sup>10</sup>, reamostradas para um espaçamento de 10'. Visando o ajuste fino da batimetria à linha de costa e as

<sup>9</sup> Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha.

<sup>10</sup> National Geophysical Data Center da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

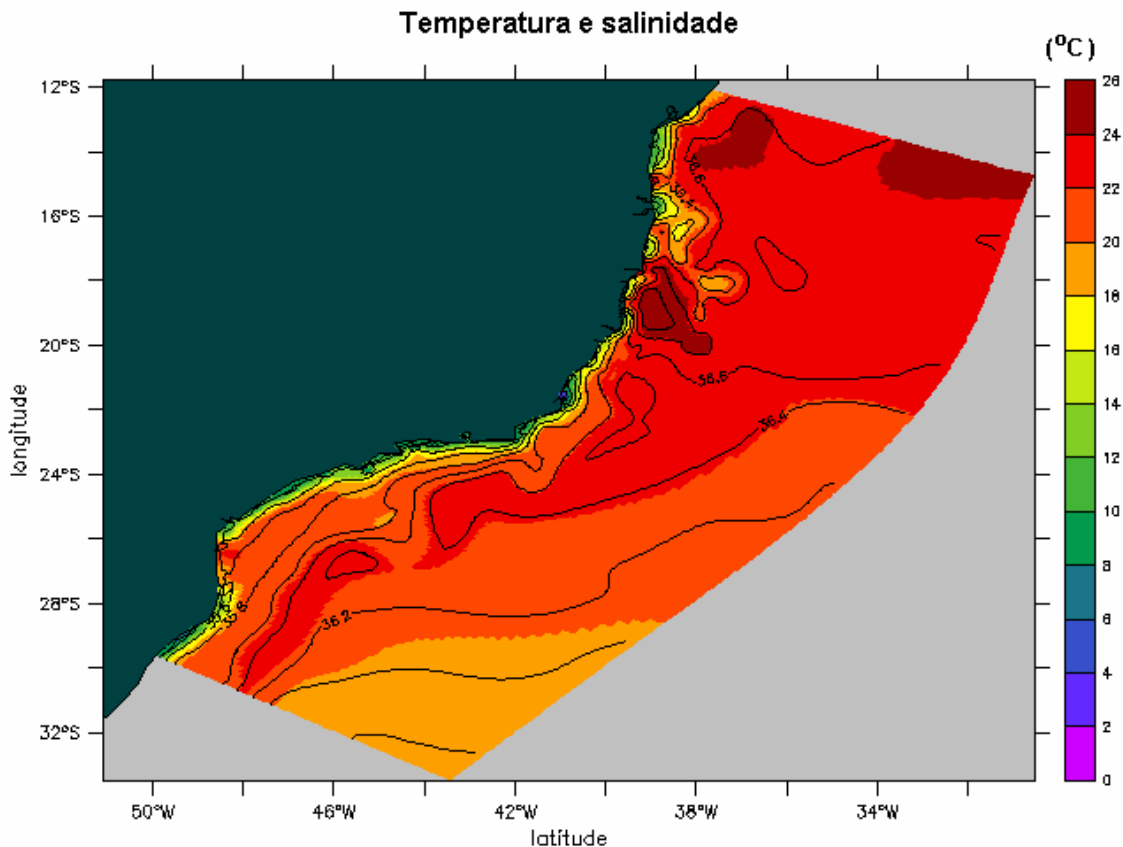
camadas de sistemas de informações geográficas (SIG) utilizadas pelos modelos matemáticos implementados na região, foram utilizadas também informações provenientes de imagens de satélite, complementando a base de dados batimétricos da **ASA SOUTH AMERICA** na área. Os resultados finais da discretização da área e projeção da batimetria estão ilustrados na figura II.2.1-1.



**Figura II.2.1-1** - Grade computacional do modelo hidrodinâmico e projeção da batimetria, com foco na região da Bacia de Santos.

## II.2.2 Estrutura Termohalina

Os campos de temperatura e salinidade, utilizados para inicialização do campo baroclínico do POM foram obtidos a partir de resultados do OCCAM. A figura II.2.2-1 ilustra estes campos, projetados na grade do modelo.

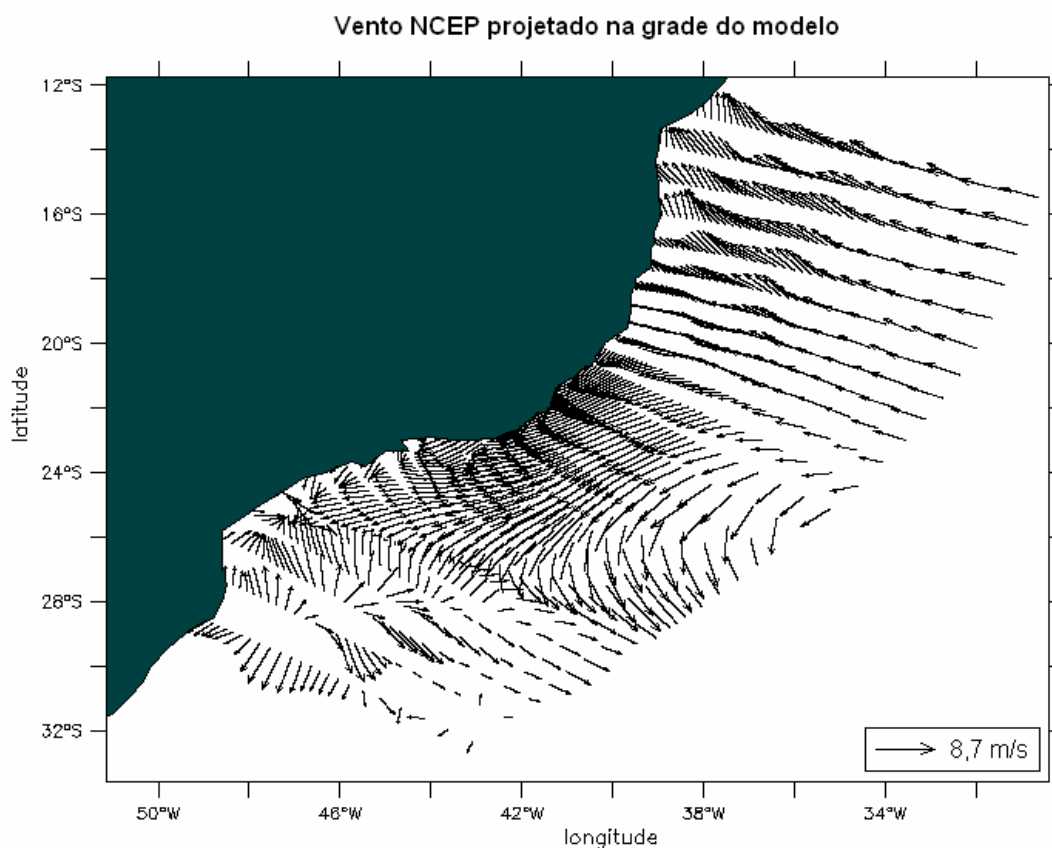


**Figura II.2.2-1** - Campos de temperatura e salinidade projetados na grade do modelo hidrodinâmico.

## II.2.3 Ventos

O campo de vento utilizado como forçante foi extraído das reanálises do modelo de circulação geral do NCEP para as simulações de calibração e de longo período. A figura II.2.3-1 ilustra um instante deste campo de vento, já projetado na grade do modelo.



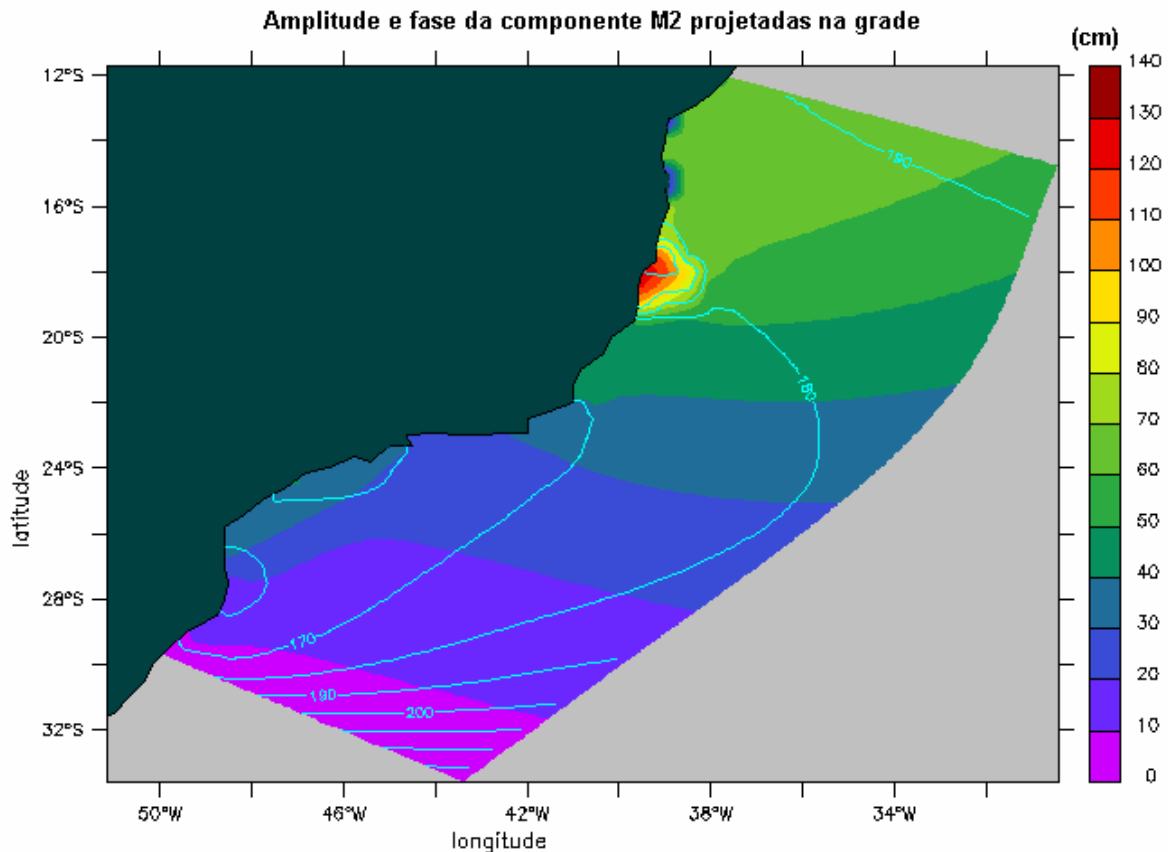


**Figura II.2.3-1** - Campo de vento NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico.

## II.2.4 Marés

Embora usadas somente nos contornos abertos (não se ativou o potencial de maré neste domínio, devido a pequena escala do mesmo em relação ao fenômeno), o campo de harmônicos utilizado como forçante para o POM é proveniente do CSR3 (Modelo global de maré do *Center for Space Research* da Universidade do Texas). Este campo foi projetado em toda a grade, de tal forma a permitir focalizações automáticas em áreas de interesse (redução eventual do domínio).

Conforme ilustrado na figura II.2.4-1, foram utilizados campos com variação espacial de amplitude e fase das componentes de maré mais significativas na região, com energia superior a 10% da energia da  $M_2$ , no caso, as diurnas e semi-diurnas.



**Figura II.2.4-1** - Mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude da componente de maré M<sub>2</sub>, projetado na grade do modelo hidrodinâmico.

### II.3 CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO

A metodologia de validação fundamenta-se na avaliação do modelo quanto à sua capacidade de reprodução da circulação na região em estudo. Neste relatório estão sendo apresentadas comparações entre dados e resultados do modelo hidrodinâmico em pontos sobre a plataforma continental, onde predominam os sinais de maré e vento e no talude/oceano profundo, área com maior presença de variabilidades de larga escala, relacionadas à presença da Corrente do Brasil.

O coeficiente de ajuste, utilizado como parâmetro de avaliação para as séries temporais, foi baseado em Hess & Bosley (1992), cuja formulação é comumente utilizada na literatura científica para a comparação de duas séries com periodicidades relativamente definidas. O coeficiente é definido pela normalização do erro quadrático médio:

$$\frac{RMS}{\bar{A}} \quad (II.3-1)$$

onde

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}$$

$\bar{A}$  = range médio do dado;

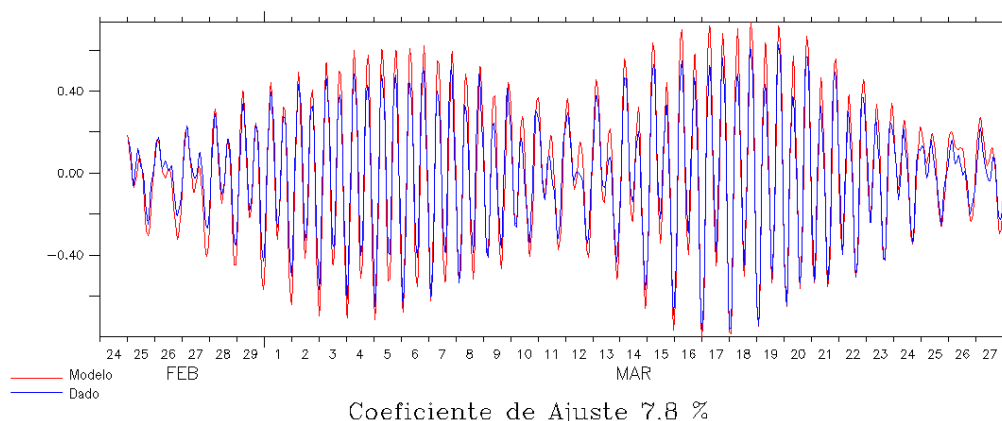
$P$  = previsão;

$O$  = observação.

### II.3.1 Validação para a Maré

Para a validação da maré, foi produzida uma previsão a partir da tabela de constantes harmônicas da FEMAR<sup>11</sup> (2000) para o ponto Enchova II, nas coordenadas 22°42,0'S e 40°50,2'W.

A figura II.3.1-1 mostra uma comparação entre o resultado do processamento da variável elevação calculada pelo modelo (vermelho) com a série temporal da previsão (azul). Para ambas às séries foi selecionado um período de 30 dias, compreendido entre os dias 24 de fevereiro a 27 de março de 1992. Observa-se, nesta figura, boa concordância, tanto na amplitude quanto na fase, entre os resultados obtidos com o modelo e a previsão de maré. O coeficiente de ajuste obtido para este período foi de 7,8%.



**Figura II.3.1-1** - Série temporal da previsão de maré (azul) e a elevação calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 24 de fevereiro a 27 de março de 1992.

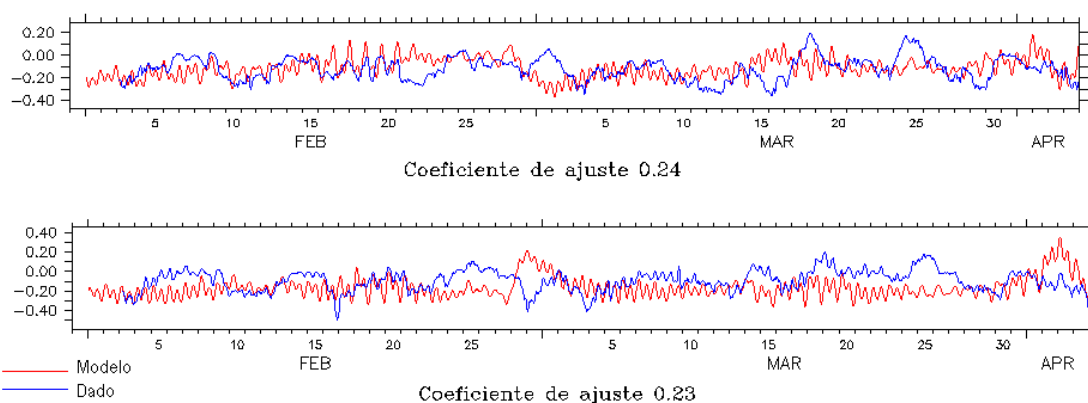
<sup>11</sup> Fundação de Estudos do Mar.

### II.3.2 Validação para as Correntes

Para a validação das informações de correntes geradas pelo modelo hidrodinâmico, foram utilizados 2 conjuntos de dados:

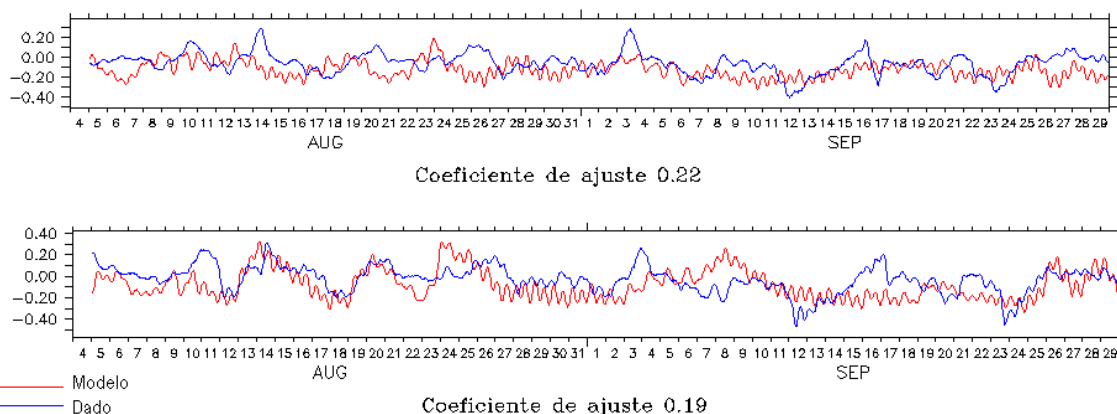
1. Ponto PC (PETROBRAS) - medições de superfície em região de plataforma continental (lâmina d'água igual a 15 m e coordenadas 22,7167°S; 41,2667°W), e
2. BM333 (WOCE<sup>12</sup>) - medições em sub-superfície em região de talude (lâmina d'água igual a 230 m e coordenadas 27,9020°S; 46,7040°W).

As componentes  $u$  (E-W) e  $v$  (N-S) dos dados foram comparadas separadamente com a saída do modelo. As figuras II.1.2-1 e II.1.2-2 apresentam para o ponto PC as comparações entre os resultados do processamento para as componentes  $u$  (E-W) e  $v$  (N-S), calculadas pelo modelo (vermelho) e medidas (azul), relativas à dois períodos do ano de 1992. Estes dados foram escolhidos para caracterização aproximada das variabilidades presentes na área no verão e inverno. No período de verão, o coeficiente de ajuste obtido foi de 24% para componente  $u$  e 23% para a componente  $v$ . Já no período de inverno, o coeficiente de ajuste obtido foi de 22% para componente  $u$  e 19% para a componente  $v$ .



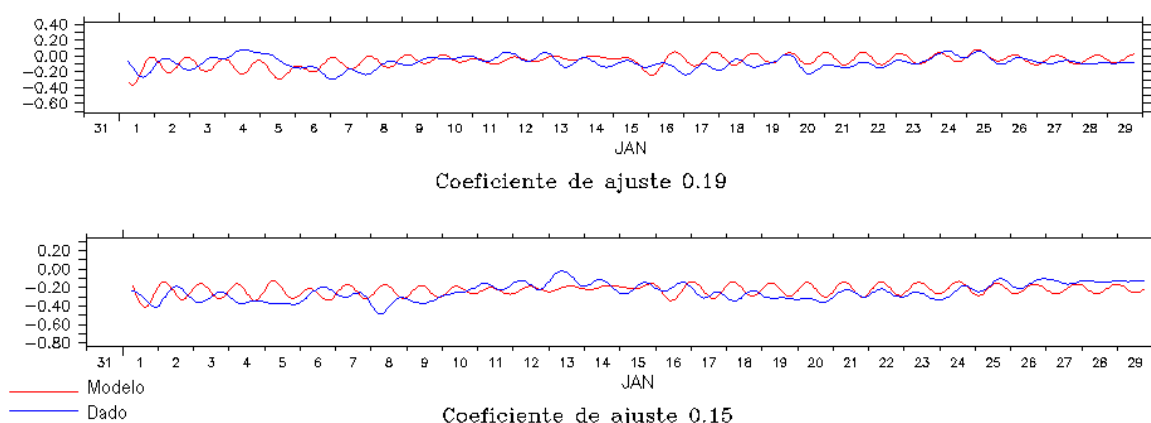
**Figura II.1.2-1** - Série temporal medida das componentes  $u$  e  $v$  da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1º de fevereiro e 15 de abril de 1992 para o ponto PC.

<sup>12</sup> World Ocean Circulation Experiment.

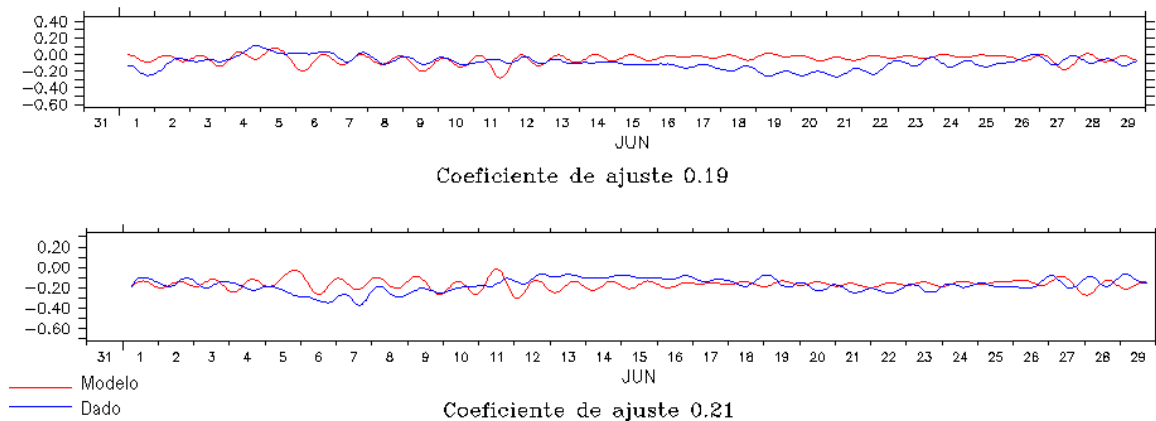


**Figura II.1.2-2** - Série temporal medida das componentes  $u$  e  $v$  da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 5 de agosto a 29 de setembro de 1992 para o ponto PC.

As figuras II.1.2-3 e II.1.2-4 apresentam para o ponto BM333 as comparações, utilizando o método do coeficiente de ajuste, entre os resultados do processamento para as componentes  $u$  (E-W) e  $v$  (N-S) calculadas pelo modelo (vermelho) e medidas (azul), utilizando os períodos de 1<sup>o</sup> a 30 de janeiro de 1992 e 1<sup>o</sup> a 30 de junho de 1992, representativos dos períodos de verão e inverno, respectivamente. O coeficiente de ajuste obtido na comparação para o período de verão foi de 19% para componente  $u$  e de 15% para a componente  $v$ . Na comparação para o período de inverno, o coeficiente de ajuste obtido foi de 19% para componente  $u$  e de 21% para a componente  $v$ .



**Figura II.1.2-3** - Série temporal medida das componentes  $u$  e  $v$  da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1<sup>o</sup> e 30 de janeiro de 1992 para o ponto BM333.



**Figura II.1.2-4** - Série temporal medida das componentes  $u$  e  $v$  da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1<sup>o</sup> a 30 de junho de 1992 para o ponto BM333.

## II.4 COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE A MODELAGEM HIDRODINÂMICA

Os resultados da caracterização ambiental física e numérica, aqui apresentados, são decorrentes de um processo evolutivo de estudo, baseado em modelos numéricos na região das bacias de Campos e Santos. Esse texto apresenta, portanto, o processo de calibração e validação de modelo hidrodinâmico tridimensional, baroclínico e prognóstico, estabilizado para variabilidades médias (climatológicas) nos campos de temperatura e salinidade. A validação desse modelo, simultaneamente sobre a plataforma continental, talude e oceano profundo (nas diversas profundidades amostradas), é indicação de que se atingiu altos níveis de representação teórica (matemática) do padrão de circulação na costa leste do Brasil.

Os índices de ajuste obtidos no processo de calibração, fato válido para qualquer estudo envolvendo modelagem numérica no oceano, devem ser compreendidos e analisados dentro de margens de erro pouco mensuráveis. Esses limites, usuais em qualquer simulação hidrodinâmica, são dados pela complexidade da circulação numa região específica, aliada à quantidade de informação anterior existente e ao fato da comparação entre os resultados do

modelo e as medições realizarem-se sempre em pontos restritos no espaço e no tempo.

Embora se tenha obtido bom ajuste do modelo hidrodinâmico à região, deve-se lembrar que seus resultados são específicos para um dado período e determinados pelo atual nível de conhecimento na área de estudo. A extrapolação desses resultados no espaço e no tempo é sempre possível, sendo esta uma das vantagens da utilização de ferramentas numéricas. No entanto, é recomendável manter margens de segurança suficientes na análise dos resultados.





### III CARACTERÍSTICAS DO DESCARTE E COMPOSIÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA

Na tabela III-1 são apresentadas as características do descarte de água produzida no Campo de Mexilhão.

**Tabela III-1 - Parâmetros utilizados para a modelagem das plumas de descarte de água produzida.**

PARÂMETROS PARA MODELAGEM DA PLUMA	VALORES
Díâmetro da tubulação	3"
Orientação da tubulação	vertical
Profundidade local no ponto de descarte	170 m
Profundidade de descarte	Superfície do mar
Vazão do efluente	260 m <sup>3</sup> /dia
Densidade do efluente	1.040 kg/m <sup>3</sup>

Para avaliação da diluição e dispersão da água produzida e descartada a partir da Plataforma PMLX-1, foram considerados três parâmetros: benzeno, tolueno e fenóis. Ressalta-se que estas informações representam valores médios de concentração, baseadas em dados existentes para a Bacia de Campos, uma vez que a Plataforma PMLX-1 ainda não entrou em operação e não existem dados suficientes para a Bacia de Santos. Portanto, os cenários modelados são mais críticos que o esperado para o Campo de Mexilhão, visto que a água produzida nesse campo é formada por, aproximadamente, 20 l/d de água de formação com menos de 5 ppm de TOG e diluída em mais de 100 toneladas de água condensada do sistema de MEG, ou seja, é basicamente um campo de gás. O benzeno e tolueno foram escolhidos por serem os componentes com maior concentração da fração de óleos e graxas, e os fenóis totais por serem o único componente regulado que normalmente se encontra na água produzida em concentração maior que a presente na água do mar.

Na água de formação do Campo de Mexilhão ainda existe o parâmetro ferro dissolvido, mas este não foi modelado por se encontrar em concentração inferior (1,9 mg/L) a admitida na legislação (CONAMA nº 357/05 - Brasil, 2005) que define os padrões de qualidade de água (15 mg/L para Águas Salinas Classe 1).

A tabela III-2 apresenta as concentrações dos componentes simulados, fornecidas pela PETROBRAS, e as concentrações limite estabelecidas na legislação, segundo o Art. 18 da Resolução CONAMA nº 357/05, referentes à tabela IV para Águas Salinas de Classe 1.

**Tabela III-2** - Concentrações dos componentes simulados da água produzida no Campo de Mexilhão.

COMPONENTES	CONCENTRAÇÃO NO PONTO DE LANÇAMENTO ( $\mu\text{g/L}$ )	LIMITE RESOLUÇÃO CONAMA 357/05 ART. 18 ( $\mu\text{g/L}$ )
Benzeno	10.200	700
Tolueno	2.310	215
Fenóis totais	2.000	60,0

O teor de óleos e graxas (TOG) no mar é uma medida generalizada da massa de óleo presente em efluentes, determinada através de gravimetria e infravermelho, cujos limites de detecção, dessas metodologias, variam em torno de 1 mg/L. Como a concentração de óleo na água do mar apresenta-se muito diluída, da ordem de  $\mu\text{g/L}$  ou  $\text{ng/L}$ , as metodologias de medida do TOG não alcançam os níveis encontrados na água do mar. Assim, nesse relatório, não foram realizadas simulações com o TOG propriamente dito, mas com os parâmetros que compõem o conjunto do TOG.

## **IV MODELAGEM DO FATOR DE DILUIÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO**

A modelagem do transporte da pluma de efluentes compreende a modelagem do campo próximo e do campo afastado. O campo próximo corresponde à zona de diluição inicial, onde prevalecem os efeitos oriundos da velocidade inicial de ejeção e a diferença de densidade entre o efluente e o meio. Por campo afastado entende-se a região onde passam a predominar os efeitos da dinâmica local no transporte e dispersão da pluma.

### **IV.1 DESCRIÇÃO DO MODELO CORMIX**

O modelo CORMIX (*Cornell Mixing Zone Expert System*), da Cornell University, foi utilizado para simular o campo próximo do lançamento de água produzida no Campo de Mexilhão. O CORMIX é um sistema de modelos computacionais desenvolvido para a análise, previsão e planejamento do lançamento de efluentes em diferentes corpos d'água (Jirka *et al.*, 1996). A ênfase do sistema se dá na previsão da geometria e das características de diluição da zona de mistura inicial, permitindo que valores aceitáveis de qualidade de água sejam calculados e discutidos.

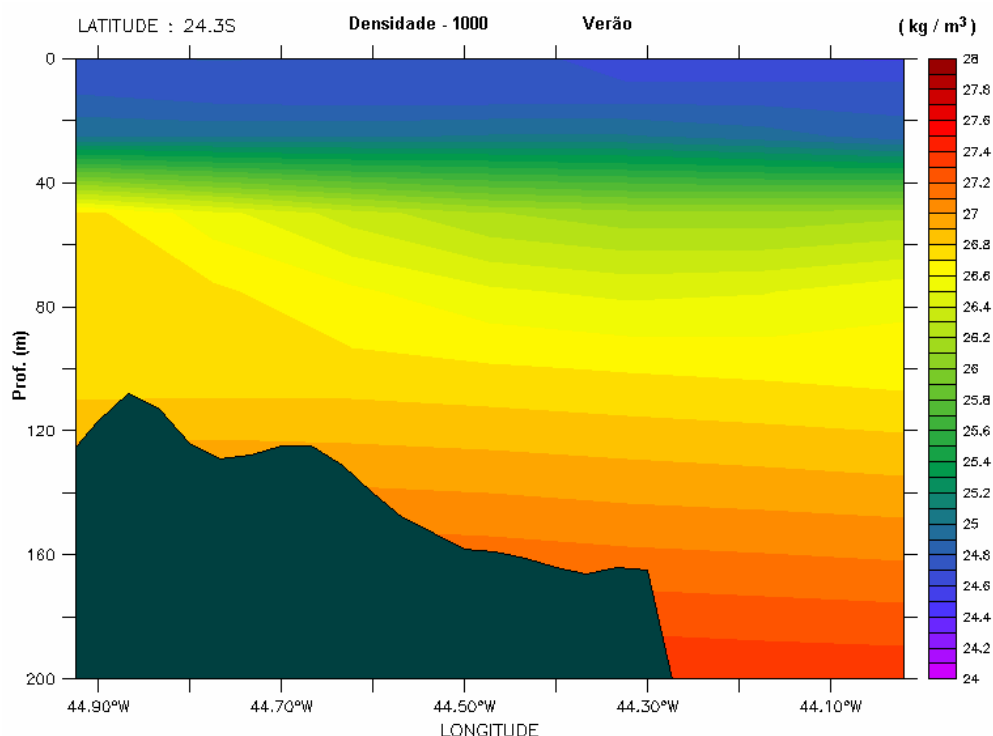
O CORMIX é composto por três subsistemas: (a) CORMIX1, utilizado para a análise de lançamentos pontuais abaixo da superfície (*submerged single port discharges*); (b) CORMIX2, para a análise de múltiplos lançamentos pontuais (difusores) abaixo da superfície (*submerged multiport diffuser discharges*); e (c) CORMIX3, para a análise de lançamentos superficiais (*buoyant surface discharges*).

Embora a metodologia do CORMIX considere condições ambientais estacionárias, o sistema representa uma ferramenta adequada para a previsão tanto de feições qualitativas (e.g. classificação de fluxos) quanto de aspectos quantitativos (e.g. taxas de diluição, trajetórias de plumas) dos processos de mistura hidrodinâmicos resultantes de diferentes configurações de lançamentos e em vários tipos de corpos d'água, incluindo pequenos riachos, grandes rios, lagos, reservatórios, estuários e águas costeiras.

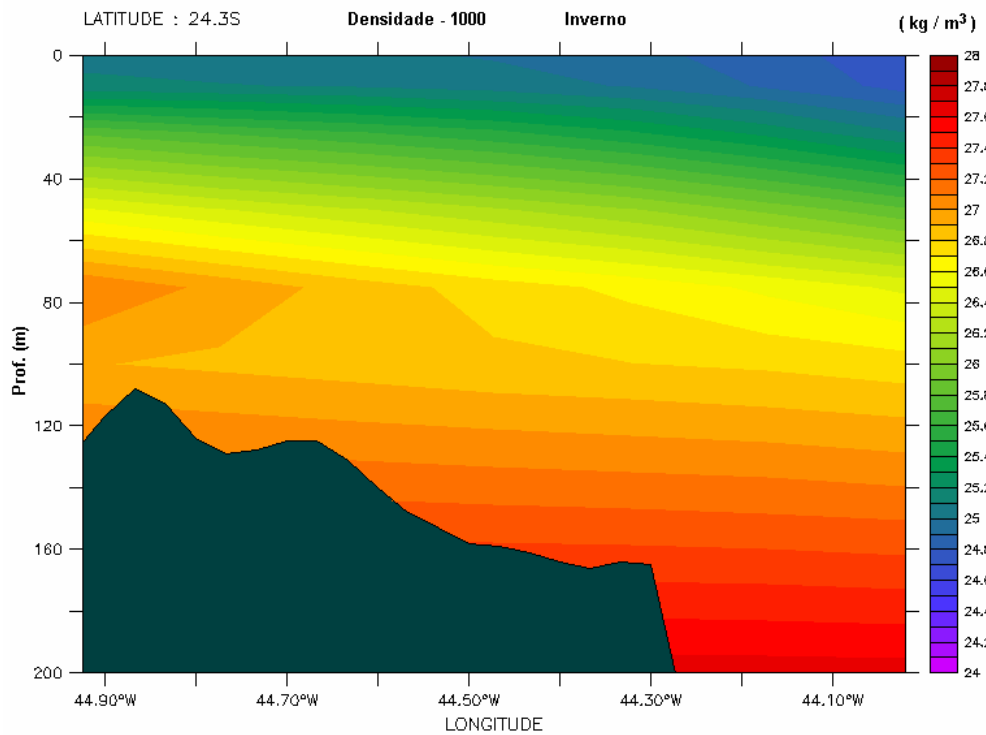
## IV.2 DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES DE CAMPO PRÓXIMO

As simulações foram divididas entre os períodos de verão e inverno, de forma a reproduzir a variabilidade sazonal das forçantes meteorológicas e oceanográficas na região de estudo. Os valores de corrente, utilizados nas simulações do comportamento da pluma do efluente no campo próximo, foram obtidos a partir do modelo hidrodinâmico implementado na região (Capítulo II). As características do descarte de água produzida, utilizadas nas simulações do campo próximo, encontram-se descritas no Capítulo III

As informações do campo termohalino (dados de temperatura e densidade) utilizadas no CORMIX foram obtidas do Atlas Eletrônico de dados do WOCE. Estes foram analisados, filtrados e interpolados no espaço. As figuras IV.2-1 e IV.2-2 apresentam seções verticais, ao longo de 24,3°S, do campo de densidade médio calculado para os períodos de janeiro a março e de julho a setembro, com base nestes dados.



**Figura IV.2-1** - Seção vertical de densidade (kg/m<sup>3</sup>) ao longo de 24,3°S para o período de janeiro a março, na região da Plataforma PMLX-1.



**Figura IV.2-2** - Seção vertical de densidade (kg/m<sup>3</sup>) ao longo de 24,3°S para o período de julho a setembro, na região da Plataforma PMLX-1.



## V **MODELAGEM DA DISPERSÃO NO CAMPO AFASTADO**

Na modelagem do campo afastado foi utilizado o modelo CHEMMAP, desenvolvido pela **ASA**, para previsão da trajetória e transformações biogeoquímicas (intemperismo) de produtos químicos, incluindo as substâncias flutuantes, as que afundam e as substâncias solúveis.

O CHEMMAP é um sistema de modelos que pode ser utilizado em Análises de Risco, Planos de Contingência, Planos de Emergência com acompanhamento em tempo real, Relatório de Controle Ambiental (RCA), e Estudos de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) decorrentes de derrames acidentais de produtos químicos, do descarte de efluentes, e do descarte de água de produção associado às operações de óleo e gás (French, 2001; French *et al.*, 2002) em qualquer região do mundo.

### V.1 **DESCRIÇÃO DO MODELO CHEMMAP**

O CHEMMAP foi projetado em uma configuração modular de forma que diferentes tipos de modelos, bem como um conjunto de ferramentas sofisticadas de dados ambientais, podem ser acoplados dependendo do problema e situação em estudo. Através de sua interface gráfica, o CHEMMAP permite ao usuário a especificação dos cenários; animação das trajetórias, correntes e vento; importar e exportar dados ambientais; a definição da grade computacional para qualquer área dentro do domínio; gerar correntes médias ou de maré; incluir ou editar as características dos produtos químicos registrados no banco de dados; apresentar dados contidos em objetos georreferenciados (SIG); e determinar o impacto ambiental em recursos naturais. As funções do SIG permitem ao usuário a entrada, manipulação e exibição de objetos na tela através de pontos, linhas e polígonos georreferenciados ao domínio definido pelo cenário. A cada objeto podem ser atribuídos dados em formato de texto, valores numéricos ou arquivos a partir de *links* externos.

O sistema CHEMMAP inclui os seguintes modelos: um modelo tridimensional de deriva e intemperismo (*trajectory and fates*), um modelo de impactos biológicos e um modelo probabilístico.

Para a elaboração de cenários de deriva deve ser definido um conjunto de duas grades computacionais, sobrepostas ao mapa digital da área de estudo. Uma das grades, compreendendo apenas a região de água, define o campo de circulação, podendo neste caso ser baseada em resultados de um modelo hidrodinâmico implementado na região de estudo. A outra grade pode ser compatível com o modelo OILMAP (grade *land-water*) ou ser compatível com o modelo SIMAP (grade *habitat/depth*) ambos desenvolvidos, também, pela **ASA**. A grade *land-water* define quais as células ou blocos correspondem à área de terra e quais à área de água, com a interface definida pela linha de costa. A linha de costa é representada por uma série de blocos que limita a extensão em que a mancha de químicos pode se movimentar em uma determinada direção, dependendo do tipo de costa (costões rochosos, praias, etc.). A grade *habitat/depth* alia a mesma funcionalidade da grade *land-water*, com informações de batimetria na área definida como água e os *habitats* correspondentes aos determinados tipos de costa (bancos de corais, manguezais, etc.).

O modelo de trajetória estima a distribuição do produto (massa e concentração) na superfície da água, em linhas de costa, na coluna d'água e nos sedimentos. O modelo tem estrutura tridimensional que simula, separadamente, a mancha superficial, as parcelas na coluna d'água, as parcelas do composto químico puro, as parcelas adsorvidas ao material particulado em suspensão e as parcelas dissolvidas (ASA, 2002).

Os processos biogeoquímicos simulados são: espalhamento, advecção, dispersão, evaporação-volatilização, entranhamento, dissolução, partição, sedimentação, adsorção e degradação.

O modelo utiliza propriedades físico-químicas para simular a trajetória e o destino da pluma de efluentes descartados em superfície ou na coluna d'água. As propriedades incluem densidade, pressão de vapor, solubilidade na água, taxa de degradação, coeficientes de partição adsorvido e dissolvido ( $K_{ow}$ ,  $K_{oc}$ ), viscosidade e tensão superficial. Essas propriedades e outras, requeridas pelo modelo para simular o transporte e destino do material descartado, estão contidas



no banco de dados químicos do CHEMMAP. O banco de dados engloba uma variedade de informações na forma de texto e descritores numéricos com o qual o usuário pode identificar e caracterizar o produto químico ou a mistura. O modelo é capaz de simular derrames de substâncias puras, produtos em soluções aquosas ou hidrofóbicas, ou substâncias em emulsões (*i.e.* mistura de material particulado em suspensão em base aquosa). Além do mais, o banco de dados inclui características que definem as misturas e as soluções.

A massa do produto químico simulado é transportada pelo campo tridimensional de correntes determinado pelo modelo hidrodinâmico, considerando marés, vento, correntes oceânicas e o movimento vertical determinado pelo empuxo (*buoyancy*) e dispersão.

O modelo também é capaz de simular a adsorção de produtos a partículas de sedimentos em suspensão, resultando na sedimentação de materiais, calculada a partir da Lei de Stokes. Partículas sedimentadas podem sofrer ressuspensão, uma vez que a velocidade no fundo ultrapasse o limite de erosão.

A pluma de efluentes é simulada segundo uma abordagem Lagrangiana, com uma série de partículas (*spillets*) representando a massa total do composto químico de interesse. A cada passo de tempo, as partículas deslocam-se de acordo com o movimento do campo hidrodinâmico, sofrem reações biogeoquímicas e são transferidas para o próximo intervalo de tempo.

Para determinar a trajetória e o destino da mancha na superfície, no caso de manchas superficiais, o modelo estima o espalhamento superficial, o transporte da mancha (advectivo e difusivo), o entranhamento na coluna d'água e a evaporação.

O espalhamento é simulado utilizando-se o algoritmo de Fay (1971) e o entranhamento é modelado segundo Delvigne & Sweeney (1988). As manchas superficiais interagem com a linha de costa, depositando material de acordo com o tipo de costa e a viscosidade do material. Os algoritmos utilizados são aqueles desenvolvidos para derrames de óleo, como descrito em French *et al.* (1999).

Utilizando-se o CHEMMAP no modo probabilístico é possível considerar a variabilidade das forçantes ambientais. As simulações de comportamento da pluma são realizadas através de variadas condições meteorológicas e

oceanográficas dentro do período de disposição de dados ambientais. Tanto os ventos quanto as correntes, ou ambos, podem variar estocasticamente.

No modo probabilístico, várias simulações são realizadas para cada cenário de descarte. Usando séries de dados de ventos e correntes para uma locação, o modelo seleciona aleatoriamente a data do descarte e as condições ambientais associadas. Como critério de parada das simulações, o modelo permite selecionar um limite (e.g. CENO, limite legal) acima do qual as probabilidades e concentrações esperadas sejam registradas. Cinco tipos de resultados são produzidos para cada parcela do químico ou mistura que se encontra na superfície da água, em linhas de costa, na coluna d'água e ou nos sedimentos, os quais podem ser apresentados em mapas de contorno:

- probabilidade de qualquer quantidade exceder o limite de concentração;
- tempo decorrido para que seja excedido o limite de concentração;
- média das máximas concentrações (ou massa) esperadas;
- pior caso (máxima concentração/massa) que pode ocorrer (e.g. pico de exposição no tempo e máximo de todas as simulações sob todas as condições ambientais simuladas);
- data e hora inicial da simulação para reproduzir o pior caso de um determinado elemento e ou local.

### V.1.1 **Formulação do Modelo**

A massa do produto químico simulado é transportada pelo campo tridimensional de correntes determinado pelo modelo hidrodinâmico, considerando marés, vento, correntes oceânicas e o movimento vertical determinado pelo empuxo (*buoyancy*) e dispersão. No CHEMMAP, a pluma do produto químico é considerada como um conjunto de partículas lagrangianas contendo, cada uma delas, massa conhecida. O vetor posição ( $X_t$ ) de uma dada partícula, num determinado instante de tempo  $t$ , é definido como:

$$X_t = X_{t-1} + \Delta t(U_t + D_t + R_t) \quad (\text{V.1.1-1})$$

onde

$\Delta t$  = passo de tempo (s);

$X_{t-1}$  = vetor posição no passo de tempo anterior;

$U_t$  = soma das componentes da velocidade advectiva nas três dimensões no instante  $t$  (m/s);

$D_t$  = soma das componentes da velocidade difusiva nas três dimensões no instante  $t$  (m/s);

$R_t$  = velocidade vertical das partículas na coluna d'água (m/s).

As velocidades difusivas são movimentos de subescala que não são explicitamente simulados pelo transporte da corrente ou pelo empuxo. A magnitude das componentes de  $D_t$  são proporcionais aos coeficientes de dispersão vertical e horizontal (Okubo, 1971) através da formulação *random walk* (Bear & Verruijt, 1987). Valores típicos de coeficientes de dispersão horizontal encontram-se dentro da faixa de 0,1 m<sup>2</sup>/s, em águas estuarinas, a valores maiores ou iguais a 10 m<sup>2</sup>/s em regiões oceânicas. O coeficiente de dispersão vertical, baseado em Thorpe (1984), é considerado em função da velocidade do vento na camada de mistura de onda, aproximadamente, 1,5 vezes a altura da onda. Esta, por sua vez, é calculada através do algoritmo de CERC (1984). Em águas profundas, valores típicos para o coeficiente de dispersão vertical são da ordem de 0,0001 m<sup>2</sup>/s, ou ainda menores.

O termo responsável pelo empuxo ( $R_t$ ), tanto para cima quanto para baixo, é causado pela diferença relativa na densidade (e na força gravitacional) entre as partículas (sólidas, líquidas ou bolhas de gás) e a água adjacente. Este termo é calculado através da Lei de Stokes, na qual a velocidade de subida ou de afundamento aumenta em função da diferença de densidade entre a partícula e a água, e em proporção ao quadrado do diâmetro da partícula. Desta forma, para uma pluma flutuante, quanto menos denso o químico e quanto maior a partícula, mais rápido a pluma se aproxima da superfície. Em contrapartida, quanto mais denso este for e quanto maior a partícula, mais rápido a pluma afundará.

O modelo simula ainda a adsorção de produtos a partículas de sedimentos em suspensão, resultando na sedimentação de materiais. Neste caso, a Lei de Stokes é utilizada para calcular as velocidades verticais das partículas do químico

puro, ou partículas de sedimento em suspensão adsorvidas aos químicos. Se a velocidade de subida ou de afundamento supera a mistura turbulenta, as partículas irão flutuar ou se depositar no fundo. Partículas depositadas podem ser ressuspendidas, caso a velocidade da corrente supere 0,2 m/s.

Se as correntes de superfície, fornecidas pelo modelo hidrodinâmico (ou dados observacionais), não são forçadas pelo vento, então a velocidade de deriva devida ao vento,  $u_{wc}$  e  $v_{wc}$  (m/s), componentes Leste-Oeste e Norte-Sul, respectivamente, são:

$$u_{wc} = C_w u_w \quad (V.1.1-2)$$

$$v_{wc} = C_w v_w \quad (V.1.1-3)$$

onde

$u_w$  = componente Leste-Oeste da velocidade do vento (m/s);

$v_w$  = componente Norte-Sul da velocidade do vento (m/s);

$C_w$  = fator de deriva (%).

O fator de deriva,  $C_w$ , é constante (Lange & Hühnerfuss, 1978), podendo variar entre 2,5 e 4,5%, baseado em observações. O valor *default* no modelo é 3,5%.

O ângulo de deriva é no sentido anti-horário da direção do vento (Hemisfério Sul). Assim, a velocidade de deriva devida ao vento,  $u_{wd}$  e  $v_{wd}$  (m/s), componentes Leste-Oeste e Norte-Sul, respectivamente, são:

$$u_{wd} = u_{wc} \cos \theta + v_{wc} \operatorname{sen} \theta \quad (V.1.1-4)$$

$$v_{wd} = -u_{wc} \operatorname{sen} \theta + v_{wc} \cos \theta \quad (V.1.1-5)$$

onde

$u_{wc}$  = componente Leste-Oeste da velocidade devida à deriva do vento (m/s);

$v_{wc}$  = componente Norte-Sul da velocidade devida à deriva do vento (m/s);

$\theta$  = ângulo de deriva ( $^\circ$ ) constante ( $\theta = C_a$ ). O valor *default* é zero.

De maneira alternativa, um algoritmo desenvolvido por Youssef (1993) e Youssef & Spaulding (1993) é utilizado no transporte induzido pelo vento na camada de mistura de onda de regiões oceânicas. Seus resultados mostram que o fator de deriva devido ao vento na superfície da água,  $C_{wo}$ , está relacionado à velocidade do vento ( $w$ ):

$$C_{wo} = 3,9088 - 0,031885w \quad (\text{V.1.1-6})$$

A deriva do vento varia entre 3% e 4% a velocidade do vento, respectivamente, para ventos com velocidade de 30 m/s a ventos fracos. De forma similar, o ângulo de deriva na superfície da água,  $C_{ao}$ , está relacionado à velocidade do vento ( $w$ ):

$$C_{ao} = 23,627 - 7,97 \log(w) \quad (\text{V.1.1-7})$$

Com o aumento da profundidade, o fator de deriva do vento diminui, enquanto o ângulo de deriva aumenta (Youssef, 1993; Youssef & Spaulding, 1993). Dessa forma, há um cisalhamento entre as águas superficiais e subsuperficiais, que faz com que as partículas se distanciem e se separem da pluma superficial. Essas funções se baseiam em formulações empíricas ajustadas aos resultados de seus modelos:

$$C_{wz} = \exp(k_{w1}w + 0,7768) \quad (\text{V.1.1-8})$$

$$k_{w1} = 1/[24,289/w - 5,26] \quad (\text{V.1.1-9})$$

$$C_{az} = k_{w2} \log_{10}(w) + k_{w3} \quad (\text{V.1.1-10})$$

$$k_{w2} = -27,28w^{-1/2} - 6,5 \quad (\text{V.1.1-11})$$

$$k_{w3} = 49,545w^{-1/2} + 23,9 \quad (\text{V.1.1-12})$$

onde

$C_{wz}$  = fator de deriva do vento;

$C_{az}$  = ângulo de deriva do vento na profundidade  $z$ ;

$k_{w1}, k_{w2}, k_{w3}$  = constantes.

Para calcular o destino e a trajetória de uma pluma superficial de um produto flutuante, o modelo leva em consideração o transporte da pluma, o espalhamento superficial, o entranhamento na coluna d'água e a evaporação.

O espalhamento ocorre devido à dois processos, modelados separadamente por algoritmos previamente desenvolvidos para manchas de óleo: (1) o balanço entre as forças gravitacional, inércia, viscosidade e tensão superficial, que aumenta a real extensão de cada partícula (espalhamento gravitacional); e (2) espalhamento e cisalhamento da corrente, que afastam as partículas umas das outras (Elliott, 1986; Lehr, 1996). Um conjunto teórico de equações para o espalhamento gravitacional foi desenvolvido quase que simultaneamente por Fay (1971) e por Houtt (1972), com uma abordagem similar. Mackay *et al.* (1980) modificaram o modelo de Fay-Houtt através da formulação de mancha espesso-fina, através de uma formulação empírica baseada no comportamento de espalhamento terminal (Fay, 1971). Estas assumem que a mancha espessa contém entre 80 a 90% da massa total associada à mancha.

No modelo CHEMMAP, as partículas na superfície da água aumentam de diâmetro de acordo com o algoritmo empírico desenvolvido por Mackay *et al.* (1980). A taxa de mudança da área superficial, para o espalhamento da mancha espessa, em m<sup>2</sup>/s, é definida por:

$$\frac{dA}{dt} = K_1 A^{1/3} \left( \frac{V}{A} \right)^{4/3} \quad (\text{V.1.1-13})$$

onde

- A = área superficial da mancha (m<sup>2</sup>);
- K<sub>1</sub> = taxa de espalhamento constante (s<sup>-1</sup>);
- V = volume da superfície da mancha (m<sup>3</sup>);
- t = tempo (s).

A análise de sensibilidade deste algoritmo demonstrou que a solução é sensível ao número de partículas utilizadas. Com o objetivo de minimizar esta dependência, Kolluru (1992) derivou uma formulação, normalizando a solução para diferentes números de partículas superficiais.

A taxa de mudança da área superficial de uma única partícula,  $\dot{A}_{tk}$  (m<sup>2</sup>/s), é dada por:

$$\frac{dA_{th}}{dt} = K_1 A_{th}^{1/3} \left( \frac{V_s}{A_{th}} \right)^{4/3} \left( \frac{R_s}{R_e} \right)^{4/3} \quad (\text{V.1.1-14})$$

onde

$A_{th}$  = área superficial de uma partícula (m<sup>2</sup>);

$K_1$  = taxa de espalhamento constante (s<sup>-1</sup>);

$V_s$  = volume de óleo de uma partícula (m<sup>3</sup>);

$R_s$  = raio de uma partícula (m);

$R_e$  = raio efetivo da superfície da mancha (m).

O raio efetivo da mancha superficial,  $R_e$  (m), (Kolluru, 1992) é dado por:

$$R_e = \left[ \left( \frac{1}{\pi} \right) \sum_{n=1}^N A_{tk} \right]^{1/2} \quad (\text{V.1.1-15})$$

onde

$N$  = número de partículas usadas para representar a mancha superficial.

No CHEMMAP, as partículas movem-se individualmente e podem tanto se separar, quanto convergir, dependendo das correntes superficiais. O algoritmo de transporte inclui, ainda, um termo de difusão turbulenta aleatória, cuja função é separar as partículas e induzir o espalhamento.

Adicionalmente, se o produto flutuando na superfície entrinha na coluna d'água, ele se dispersara verticalmente para baixo, em uma água que se move a uma velocidade mais lenta devido a resposta das forçantes meteorológicas. Caso estas partículas entranhadas voltem a superfície, elas estarão numa posição posterior à pluma da superfície, o que faz com que a pluma seja mais alongada na direção do vento.

Os processos de entranhamento são modelados utilizando-se a formulação de Delvigne & Sweeney (1988) que, explicitamente, representa índices de injeção de óleo para dentro da coluna d'água por gotículas de óleo. O tamanho da partícula entranhada diminui com altos níveis de energia turbulenta e baixa viscosidade.

Plumas superficiais interagem com a linha de costa, dependendo das características e do tipo do material simulado e linha de costa. Os algoritmos utilizados para estes cálculos são os mesmos desenvolvidos para modelagens de óleo, em especial os desenvolvidos por French *et al.* (1999).

A dissolução de substâncias puras e de químicos de uma mancha de um solvente hidrofóbico ou de gotículas em suspensão (*i.e.* para formulações nas quais o produto está dissolvido em, ou está adsorvido à um solvente hidrofóbico) é tratada como o fluxo de massa através da área superficial da pluma ou gotícula (French *et al.* 1996a,b, 1999). O modelo desenvolvido por Mackay & Leinonem (1977) é utilizado para a dissolução da pluma superficial. A pluma (partículas) é considerada como uma placa circular e achatada, com o fluxo de massa relacionado à solubilidade e à temperatura (Hines & Maddox, 1985). Este assume uma camada não estratificada, com a maior resistência à transferência de massa a uma região estagnada hipotética (camada de água) próxima à pluma. Para gotículas em subsuperfície, a dissolução é considerada como um fluxo de massa através da área superficial da gotícula (tratada como uma esfera), num algoritmo análogo ao de Mackay & Leinonem (1977).

A taxa de dissolução de um químico puro ou solvente,  $\dot{N}_{i,d}$  (mols/s), é definida por:

$$\dot{N}_{i,d} = d \frac{N_{i,d}}{dt} = K_d (x_i C_i^s - C_i^w) A \quad (\text{V.1.1-16})$$

onde

$i$  =  $i$ -ésima componente;

$A$  = área superficial da pluma ou partícula ( $\text{cm}^2$ );

$K_d$  = coeficiente de transferência de dissolução da massa (cm/s);



$x_i$  = fração molar da fase solvente do componente (1,0 para químicos puros);

$C_i^s$  = solubilidade do produto puro da componente  $i$  (mols/cm<sup>3</sup>);

$C_i^w$  = concentração do componente  $i$  na fase aquosa (mols/cm<sup>3</sup>).

Para químicos dissolvidos em solventes hidrofóbicos, a solubilidade do componente puro ( $C_i^s$ ) é definida por:

$$C_i^s = \frac{C_i^o}{P_i} \quad (\text{V.1.1-17})$$

onde

$P_i$  = coeficiente de particionamento solvente-água para a componente  $i$ ;

$C_i^o$  = concentração da componente na fase solvente.

O coeficiente de transferência de massa para uma pluma superficial pode ser considerado similar à transferência de massa em uma placa achatada (Hines & Maddox, 1985). O coeficiente de transferência de dissolução da massa,  $K_{d_s}$  (m/s), é:

$$K_{d_s} = \frac{Sh D_{AB}}{L} \quad (\text{V.1.1-18})$$

onde

$Sh$  = número de Sherwood médio;

$L$  = diâmetro da pluma superficial (m);

$D_{AB}$  = coeficiente de difusão a 25 °C (m<sup>2</sup>/s).

Para o cálculo de  $D_{AB}$ , utiliza-se o método de Hayduk & Laudie (Lyman *et al.*, 1982 *apud* Hines & Maddox, 1985).

$$D_{AB} = \left[ \frac{RT}{(\mu_w^{1,14}) (V_B^{0,589})} \right] \quad (\text{V.1.1-19})$$

onde

$R$  = constante universal dos gases ( $8,206 \times 10^{-5}$  atm-m<sup>3</sup>/mol-K);

$T$  = temperatura (K);

$\mu_w$  = viscosidade da água a 25 °C (cp);

$V'_B$  = volume molar de Le Bas (cm<sup>3</sup>/mols).

A viscosidade da água varia com a temperatura e com a seguinte equação, ajustada à dados empíricos:

$$\mu_w = \exp \left[ -24,71 + \left( \frac{4,209}{T} \right) + 0,04527T - 0,00003376T^2 \right] \quad (\text{V.1.1-20})$$

O volume molar de Le Bas de químicos orgânicos e inorgânicos representativos, foram obtidos através da regressão do peso molecular, a seguir:

$$\text{Inorgânicos: } V'_B = 2,8047(MW^{0,651}) \quad (\text{V.1.1-21})$$

$$\text{Orgânicos: } V'_B = 4,9807(MW^{0,6963}) \quad (\text{V.1.1-22})$$

onde

$MW$  = peso molecular (g/mol).

Os volumes molares para os químicos orgânicos e inorgânicos foram obtidos em Mackay *et al.* (1992).

O número de Sherwood médio é obtido através da equação:

$$Sh = 0,578Sc^{1/3} Re_L^{1/2} \quad (\text{V.1.1-23})$$

onde

$Sc$  = número do Schmidt;

$Re_L$  = número de Reynolds.

O número de Schmidt é definido por:

$$Sc = \frac{\gamma}{D_{AB}} \quad (V.1.1-24)$$

$$\gamma = 10^{-6} \frac{\mu_w}{\rho_w} \quad (V.1.1-25)$$

onde

$\gamma$  = viscosidade cinemática da água (m<sup>2</sup>/s);

$\rho_w$  = densidade da água (g/cm<sup>3</sup>).

O número de Reynolds é definido por:

$$Re_L = \frac{U_w L}{\gamma} \quad (V.1.1-26)$$

onde

$U_w$  = velocidade do vento (m/s);

O coeficiente de transferência de massa para gotículas de sub-superfície é similar à transferência de massa para gotículas esféricas (Hines & Maddox, 1985). O coeficiente de transferência de dissolução da massa,  $K_{d_{ss}}$  (m/s), é definido por:

$$K_{d_{ss}} = \frac{Sh D_{AB}}{d} \quad (V.1.1-27)$$

onde

$Sh$  = número de Sherwood médio;

$d$  = diâmetro da gotícula (m);

$D_{AB}$  = coeficiente de difusão a 25 °C (m<sup>2</sup>/s).

O número de Sherwood médio, para este caso, é definido como:

$$Sh = 2 + 0,552 Re_d^{0,5} Sc^{1/3} \quad (V.1.1-28)$$

onde

$Sc$  = número do Schmidt;

$Re_d$  = número de Reynolds baseado no diâmetro da gotícula.

Com o número de Reynolds,  $Re_d$ , definido por:

$$Re_d = \frac{Wd}{\gamma} \quad (V.1.1-29)$$

onde

$W$  = velocidade resultante atuando na gotícula (m/s);

Uma vez que a dissolução ocorreu, o químico na coluna d'água é tratado como parcialmente dissolvido e parcialmente adsorvido à partículas de sedimento em suspensão. Assume-se, então, um particionamento de proporções constantes entre estas frações (baseado na teoria de equilíbrio linear, utilizando-se o  $K_{oc}$  do químico em questão). Sólidos descartados na forma particulada se dissolvem e são, então, particionados entre as formas dissolvida e particulada na coluna d'água, através do equilíbrio de particionamento.

A razão entre as concentrações adsorvidas,  $C_a$ , e dissolvidas,  $C_{dis}$ , é calculada através da teoria padrão equilíbrio de particionamento, a seguir:

$$\frac{C_a}{C_{dis}} = K_{oc} C_{ss} \quad (V.1.1-30)$$

onde

$K_{oc}$  = coeficiente de partição entre o carbono orgânico e a água (adimensional);

$C_{ss}$  = concentração de materiais particulados em suspensão na coluna d'água, expresso como a massa do particulado pelo volume da água.

A massa total da fração adsorvida,  $C_a / (C_a + C_{dis})$ , afunda através da coluna d'água, a uma taxa de sedimentação  $V_s$ . Assume-se que o químico se adsorve a partículas de silte de 50  $\mu\text{m}$  e densidade de 1,0512  $\text{g/cm}^3$ . Através da Lei de Stokes, a taxa de sedimentação é de aproximadamente 3 m/dia na água do mar (densidade de 1,024  $\text{g/cm}^3$ ) e águas calmas.

Assume-se que a sedimentação não ocorra em águas nas quais as ondas são influenciadas pelo fundo (*i.e.* ondas de águas rasas ou transicionais, ao contrário ondas de águas profundas).

A altura e o período das ondas são calculados com base em CERC (1984). O comprimento de onda é calculado através do período e da profundidade. As ondas passam de águas profundas à transicionais e, posteriormente, à ondas de águas rasas, quando a profundidade for menor que a metade do comprimento da onda (CERC, *op.cit.*).

A evaporação é calculada de acordo com a Lei de Raoult. A taxa de evaporação por unidade de área,  $E$  ( $\text{g/m}^2\text{h}$ ), de um químico fluando na superfície (Mackay & Matsugu, 1973), é definida por:

$$E = \frac{K_e MW P_{vp}}{RT} \quad (\text{V.1.1-31})$$

onde

$K_e$  = coeficiente de transferência de massa por evaporação ( $\text{m/h}$ );

$MW$  = peso molecular ( $\text{g/mol}$ );

$P_{vp}$  = pressão de vapor ( $\text{atm}$ );

$R$  = constante universal dos gases ( $8,206 \times 10^{-5} \text{ atm}\cdot\text{m}^3/\text{mol}\cdot\text{K}$ );

$T$  = temperatura ( $\text{K}$ ).

A temperatura é considerada a mesma definida para a superfície da água. O coeficiente de transferência de massa por evaporação,  $K_e$  ( $\text{m/h}$ ), é definido por (Mackay & Matsugu, 1973):

$$K_e = 0,0292U^{0,78} L^{-0,11} Sc_a^{-0,67} \quad (\text{V.1.1-32})$$

onde

- $U$  = velocidade do vento a 10 m de altura (m/h);  
 $L$  = diâmetro da pluma ou partícula flutuante (m);  
 $Sc_a$  = número do Schmidt para o químico no ar.

O número de Schmidt para o químico no ar é obtido através da divisão da viscosidade cinemática do ar ( $0,15 \text{ cm}^2/\text{s}$ ) pela difusividade do químico no ar,  $D_{ar}$ , baseado em Thibodeaux (1979):

$$D_{ar} = D_{ref} SQRT\left(\frac{MW_{ref}}{MW}\right) \quad (\text{V.1.1-33})$$

onde

- $D_{ref}$  = difusividade no ar de um químico de referência ( $\text{cm}^2/\text{s}$ );  
 $MW_{ref}$  = peso molecular de um químico de referência (g/mol).

Os químicos de referência são: o cumene para  $MW > 100 \text{ g/mol}$  ( $D_{ar} = 0,0556$  e  $MW_{ref} = 120$ ; Mackay & Matsugu, 1973) e o pentano para  $MW \leq 100 \text{ g/mol}$  ( $D_{ar} = 0,071$  e  $MW_{ref} = 72,15$ ; Kawamura & Mackay, 1987).

A volatilização de químicos dissolvidos para a atmosfera é função da pressão de vapor e da solubilidade. O CHEMMAP utiliza o procedimento esquematizado por Lyman *et al.* (1982 *apud* Hines & Maddox, 1985), baseado em na Lei de Henry e no fluxo de massa. A profundidade de volatilização para as substâncias dissolvidas é limitada a camada de mistura superior, estimada a partir da profundidade de difusão ou como metade da altura da onda, estimada a partir da velocidade do vento (CERC, 1984).

A Lei de Henry utiliza a constante da Lei de Henry. Caso esta não tenha sido especificada, ela é calculada através do vapor de pressão do químico (que por sua vez está fortemente relacionado com a temperatura), solubilidade e peso molecular (Lyman *et al.* 1982 *apud* Hines & Maddox, 1985), dado por:

1) Cálculo da constante da Lei de Henry ( $H$ ):

$$H = \frac{P_{vp}}{(S / MW)} \quad (\text{V.1.1-34})$$

onde

$P_{vp}$  = pressão de vapor (atm);

$S$  = solubilidade (mg/L);

$MW$  = peso molecular (g/mol).

2) Para  $H < 3 \times 10^{-7}$ , a volatilização pode ser desprezada.

3) Para  $H > 3 \times 10^{-7}$ , calcula-se a constante adimensional da Lei de Henry ( $H'$ ):

$$H' = \frac{H}{RT} \quad (\text{V.1.1-35})$$

onde

$R$  = constante universal dos gases ( $8,206 \times 10^{-5}$  atm-m<sup>3</sup>/mol-K);

$T$  = temperatura (K).

4) Cálculo do coeficiente de mudança da fase líquida ( $K_5$ , cm/h):

$$K_5 = 20 \sqrt{\frac{44}{MW}} \quad (\text{V.1.1-36})$$

5) Cálculo do coeficiente de mudança da fase gasosa ( $K_6$ , cm/h):

$$K_6 = 3.000 \sqrt{\frac{18}{MW}} \quad (\text{V.1.1-37})$$

6) Cálculo do coeficiente de transferência de massa total ( $K_7$ , cm/h):

$$K_7 = \frac{(H' K_5 K_6)}{(H' K_6 + K_5)} \quad (\text{V.1.1-38})$$

A taxa de transferência de massa da coluna d'água para a atmosfera passa a ser, então:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{K_7 m}{d} \quad (\text{V.1.1-39})$$

na qual  $m$  é a massa do poluente, considerada igualmente distribuída na profundidade  $d$ . A profundidade de volatilização para substâncias dissolvidas é limitada, no máximo, a metade da altura da onda, ou a profundidade de difusão  $d$ :

$$d = \sqrt{2D_z \Delta t} \quad (\text{V.1.1-40})$$

onde

$D_z$  = difusividade vertical ( $\text{m}^2/\text{s}$ );

$\Delta t$  = passo de tempo do modelo (s).

Um modelo de dispersão atmosférica é incorporado ao CHEMMAP com a função de estimar as concentrações das substâncias simuladas no ar, até uma camada de 2 m de altura (*i.e.* até aproximadamente a altura que uma pessoa possa ser exposta à estas). O fluxo de massa para a atmosfera é rastreado através de uma abordagem lagrangiana, análoga ao transporte na água. A substância é transportada no ar pelo vento, e sofre degradação de acordo com as taxas especificadas.

A massa se dispersa horizontalmente devido à turbulência, através de uma taxa constante especificada (coeficiente de dispersão horizontal), ou através do algoritmo de Gifford (1961), descrito em Csanady (1973). O coeficiente de dispersão horizontal calculado pelo modelo é função da velocidade do vento e da estabilidade do ar, definida como moderadamente estável, ligeiramente estável, neutra, ligeiramente instável e moderadamente instável, baseadas em Turner (1970).

A massa também é dispersada para cima pela turbulência, que é dependente da velocidade do vento. A aproximação básica utiliza a teoria da camada



planetária e a teoria de comprimento de mistura (descrito em vários livros de dinâmica dos fluidos, e.g. Holton, 1979). Nesta teoria, a variação vertical da velocidade e atrito é definida por uma lei logarítmica. Esta fornece a seguinte relação:

$$Dz = L^2 \frac{du}{dz} \quad (\text{V.1.1-41})$$

onde

$Dz$  = taxa de mistura vertical;

$L$  = comprimento de mistura;

$\frac{du}{dz}$  = cisalhamento da velocidade vertical.

Esta pode ser aproximada como:

$$Dz = zU^* \quad (\text{V.1.1-42})$$

$$U^* = \sqrt{\frac{bs}{\rho_{ar}}} \quad (\text{V.1.1-43})$$

onde

$bs$  = tensão do fundo;

$\rho_{ar}$  = densidade do ar ( $\text{g/cm}^3$ ).

Em resumo:

$$Dz = zW_v(Cd)^{1/2} \quad (\text{V.1.1-44})$$

onde

$W_v$  = velocidade do vento a 10 m (m/h);

$Cd$  = atrito do fundo ( $\sim 0,0013$ ).

Esta fornece o coeficiente de difusão turbulenta, calculado a partir da velocidade do vento, e que permite a resolução do termo de difusão:

$$D_z * d(dC / dz) / dz \quad (V.1.1-45)$$

onde

$C$  = concentração do químico no ar, especificado na interface devido ao fluxo com a água.

Considera-se que a bioturbação nos primeiros 10 cm do sedimento misture completamente a massa do químico sedimentado, na escala de tempo de interesse (dias a semanas), de forma que a concentração seja calculada, simplesmente, como a massa pela área dividida por 10 cm. As concentrações do contaminante no sedimento são distribuídas entre as formas adsorvidas e dissolvidas através do equilíbrio de particionamento, como na coluna d'água. A razão de particulados para água intersticial é considerada como 0,45 (CERC, 1984).

A degradação é estimada através da taxa de decaimento constante especificada para ambiente em que a massa se encontre (*i.e.* na atmosfera, superfície ou coluna d'água ou sedimento). O algoritmo de decaimento é dado por:

$$M_t = M_0 e^{-kt} \quad (V.1.1-46)$$

onde

- $t$  = tempo (dias);
- $M_t$  = massa remanescente no instante  $t$ ;
- $M_0$  = massa descartada no instante 0;
- $k$  = taxa de decaimento instantâneo ( $\text{dia}^{-1}$ ).

A meia-vida,  $t(1/2)$ , do químico no ambiente é calculado através da equação:  $M_t / M_0 = 0,5 = e^{-kt(1/2)}$ , que pode ser reagrupada como:

$$t(1/2) = -\ln(0,5) / K = 0,693 / K \quad (V.1.1-47)$$

ou

$$k = 0,693 / t(1/2) \quad (V.1.1-48)$$

## V.2 DADOS DE ENTRADA

Os conjuntos de dados de entrada e parâmetros do modelo que definem um cenário são:

- ✓ localização geográfica do ponto de derrame;
- ✓ data e horário;
- ✓ duração do derrame;
- ✓ volume derramado;
- ✓ profundidade de descarte;
- ✓ tipo de produto;
- ✓ duração da simulação;
- ✓ opções de resposta (e.g. barreiras);
- ✓ campo de correntes;
- ✓ arquivo de dados meteorológicos;
- ✓ concentração de sedimentos em suspensão;
- ✓ temperatura, salinidade e densidade do corpo d'água receptor;
- ✓ opções de saída;
- ✓ parâmetros de simulação:
  - fator de vento;
  - número de partículas;
  - coeficiente de dispersão horizontal;
  - coeficiente de dispersão vertical;
  - passo de tempo do modelo.

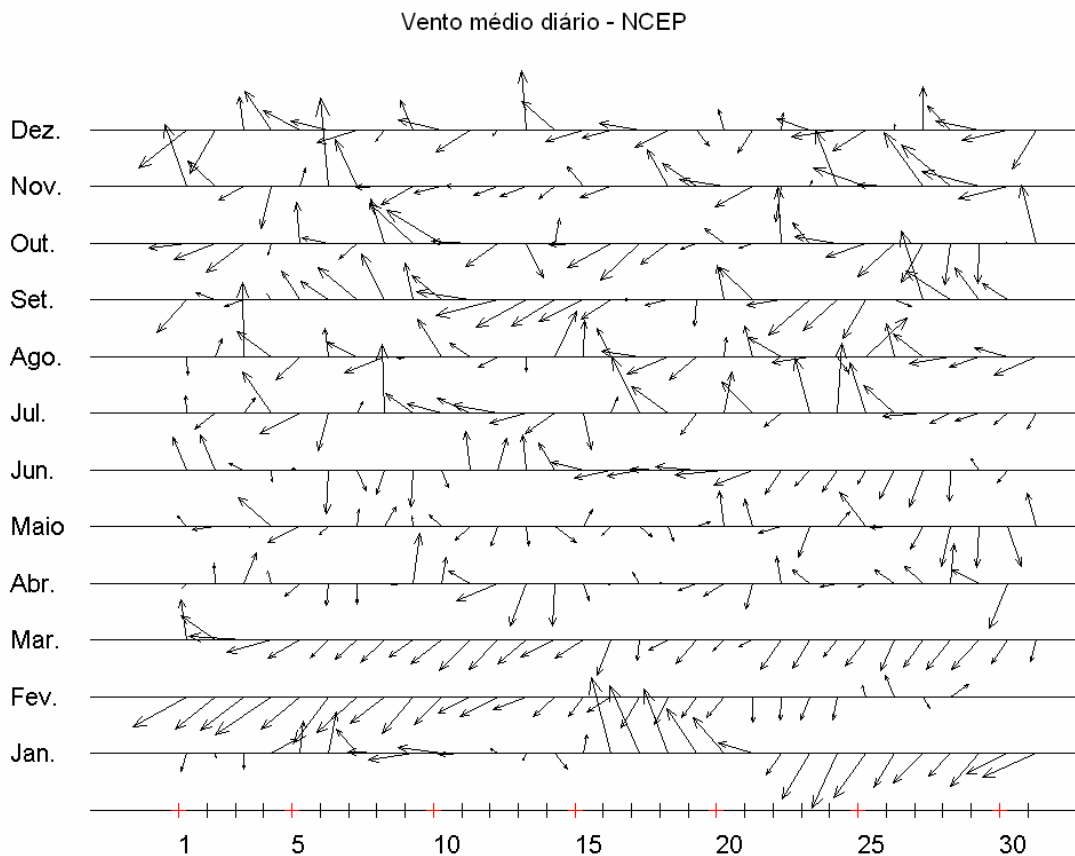
Os resultados de cada simulação correspondem, então, a um único cenário, definido pelo arquivo de entrada de dados e parâmetros do modelo.

## V.2.1 Correntes

O campo hidrodinâmico de cada período, utilizado para as simulações do comportamento da pluma, foram obtidos a partir do modelo hidrodinâmico apresentado no Capítulo II.

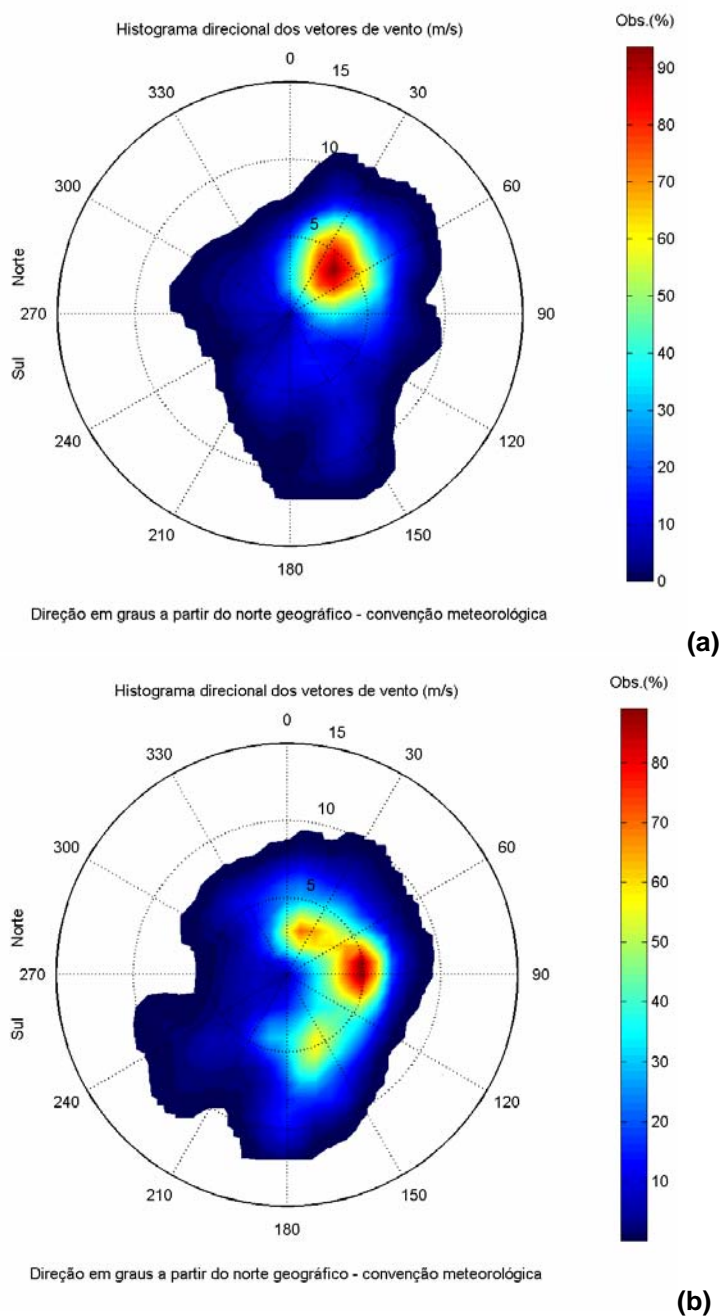
## V.2.2 Vento

Para a modelagem de foi utilizado um conjunto de dados de vento proveniente das reanálises dos modelos meteorológicos NCEP e NCAR, referentes ao quadrilátero cujas coordenadas centrais são 23,8°S e 45,0°W. Os dados utilizados são referentes ao período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992. A figura V.2.2-1 apresenta o *stick plot* dos valores médios diários desses dados.



**Figura V.2.2-1** - Diagrama *stick plot* dos valores médios diários de dados de vento NCEP durante o período de janeiro a dezembro de 1992 (convenção vetorial).

A figura V.2.2-2 apresenta os histogramas direcionais dos dados de vento (NCEP) para para os períodos de (a) verão e (b) inverno. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. A intensidade é apresentada em (m/s) e a escala de cores representa o número de observações (N.Obs.).



**Figura V.2.2-2 - Histograma direcional dos vetores de vento para (a) verão (janeiro a março) e (b) inverno (junho a agosto), Bacia de Santos.**

A tabela V.2.2-1 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento NCEP para o período de verão. Observa-se que os ventos mais freqüentes são provenientes de NE (25,3%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de SSE (6,8 m/s) e S (5,1 m/s); e os ventos mais fortes registrados também foram provenientes de SSE (11,3 m/s) e S (10,9 m/s). Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 10,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela V.2.2-1 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de verão.**

Ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento.																			
Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção meteorológica.																			
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Porc.	Dir. méd.
0,0- 1,0	2	3	6	7	11	2	1	0	1	1	1	3	3	4	1	2	48	2,2	53
1,0- 2,0	10	26	20	11	22	16	3	5	4	1	3	4	5	1	1	8	140	6,4	56
2,0- 3,0	20	51	58	40	25	10	10	5	7	2	2	6	3	4	8	8	259	11,9	46
3,0- 4,0	28	44	100	71	30	17	11	19	8	3	3	0	7	2	2	12	362	16,6	54
4,0- 5,0	24	81	122	67	30	12	16	15	11	26	3	2	1	2	8	10	430	19,7	52
5,0- 6,0	16	102	88	106	43	26	14	7	15	8	0	0	1	4	4	2	436	20,0	58
6,0- 7,0	2	65	99	36	25	13	9	9	4	5	0	0	1	0	0	1	269	12,3	54
7,0- 8,0	0	20	29	31	7	3	4	17	4	0	0	0	0	0	0	0	115	5,3	71
8,0- 9,0	0	14	23	13	0	0	3	22	1	0	0	0	0	0	0	0	76	3,5	76
9,0-10,0	0	0	8	0	0	0	0	18	1	0	0	0	0	0	0	0	27	1,2	135
10,0-11,0	0	0	0	0	0	0	0	13	5	0	0	0	0	0	0	0	18	0,8	164
11,0-12,0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0,2	163
Total	102	406	553	382	193	99	71	134	61	46	12	15	21	22	24	43	2184		
Porc.	4,7	18,6	25,3	17,5	8,8	4,5	3,3	6,1	2,8	2,1	0,5	0,7	1,0	1,0	1,1	2,0			
Vel. Méd.	3,6	4,8	4,9	4,8	4,1	4,2	4,6	6,8	5,1	4,5	2,7	2,2	2,6	3,2	3,5	3,2			
Vel. Máx.	6,3	8,9	9,6	8,9	7,7	8,0	8,2	11,3	10,9	6,7	4,0	4,4	6,2	6,0	5,6	6,1			
Percts. (0,9)	5,0	6,0	7,0	7,0	6,0	6,0	6,4	10,0	8,4	5,9	4,0	4,0	4,4	5,0	5,0	4,0			

A tabela V.2.2-2 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento NCEP para o período de inverno. Observa-se que os ventos mais freqüentes são provenientes das direções E (13,6%) e SSE (12,2%). Os ventos com velocidades médias máximas e os mais fortes registrados vieram de S (6,3 m/s / 10,7 m/s) e SW (6,0 m/s / 10,4 m/s). Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 9,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela V.2.2-2 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de inverno.**

Ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento.																			
Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção meteorológica.																			
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Porc.	Dir. méd.
0,0- 1,0	4	5	3	1	1	7	4	5	2	1	1	0	0	14	4	1	53	2,4	342
1,0- 2,0	11	11	15	12	2	12	5	3	7	1	3	8	2	1	10	4	107	4,8	53
2,0- 3,0	37	42	27	21	24	15	18	1	10	5	3	1	4	6	3	9	226	10,2	47
3,0- 4,0	36	55	53	36	51	29	31	36	22	17	5	4	4	1	4	15	399	18,1	77
4,0- 5,0	26	22	33	73	83	42	44	40	29	32	1	2	1	1	12	442	20,0	99	
5,0- 6,0	29	32	44	69	108	67	33	77	21	8	3	2	0	1	11	17	522	23,6	92
6,0- 7,0	20	19	18	16	22	20	36	52	29	4	10	0	0	1	3	4	254	11,5	119
7,0- 8,0	3	2	4	9	10	0	1	26	19	4	7	2	0	0	0	0	87	3,9	150
8,0- 9,0	0	5	3	0	0	0	0	23	29	0	3	4	0	0	0	0	67	3,0	173
9,0-10,0	0	0	0	0	0	0	0	7	23	0	2	0	0	0	0	0	32	1,4	180
10,0-11,0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	3	0	0	0	0	0	19	0,9	188
Total	166	193	200	237	301	192	172	270	207	72	41	23	11	25	36	62	2208		
Porc.	7,5	8,7	9,1	10,7	13,6	8,7	7,8	12,2	9,4	3,3	1,9	1,0	0,5	1,1	1,6	2,8			
Vel. méd.	4,0	3,9	4,1	4,5	4,7	4,4	4,5	5,7	6,3	4,4	6,0	4,3	3,1	1,8	3,3	4,0			
Vel. máx.	7,6	8,3	8,1	7,5	7,3	7,0	7,2	9,4	10,7	7,6	10,4	9,0	4,3	6,2	6,4	6,2			
Percts. (0,9)	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	8,0	9,0	6,0	9,0	8,0	3,4	4,0	5,0	5,0			

## V.3 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS SIMULADOS

### V.3.1 Cenários Probabilísticos

As simulações para a determinação da dispersão e diluição da água produzida no campo afastado foram realizadas utilizando-se o modelo CHEMMAP no modo probabilístico. Como neste modo é considerada a variabilidade das forçantes ambientais, as simulações de comportamento da pluma são realizadas através da variação das condições meteorológicas e oceanográficas, divididas em duas condições principais correspondendo aos períodos de verão (janeiro a março) e inverno (julho a setembro).

Para incorporar essas variabilidades, cada cenário probabilístico foi composto por uma série de 20 simulações com o modelo CHEMMAP, com duração de 24 horas (critério de parada das simulações), divididas em dois períodos: verão e inverno.

Nas simulações probabilísticas, para a determinação da área de influência do descarte de água produzida, as múltiplas trajetórias das plumas foram utilizadas para a produção de curvas de contorno para as máximas concentrações esperadas de cada componente químico em cada ponto de grade. Ou seja, ao final de cada uma das simulações, registra-se o máximo valor de concentração na coluna d'água para cada ponto de grade, e ao final de todas as 20 simulações calcula-se a média de todas as máximas obtidas.

Os compostos químicos considerados nas simulações do descarte de água produzida foram benzeno, tolueno e fenóis totais, conforme descrito no Capítulo III.

Como critério ambiental, foram utilizadas as concentrações limites estabelecidas na legislação para Águas Salinas de Classe 1 (CONAMA nº 357/05). Para viabilizar a apresentação dos resultados, como critério de corte na apresentação dos resultados foi adotada a concentração correspondente à diluição de 10.000 vezes o critério ambiental.

---

### **V.3.2 Cenários Determinísticos**

A análise dos resultados das simulações probabilísticas permitiu identificar os cenários determinísticos críticos de verão e inverno. Para essas simulações foram considerados como mais críticos os cenários que apresentaram as maiores concentrações, nas proximidades do ponto de descarte, dos compostos simulados.

Como critério de corte na apresentação dos resultados das simulações determinísticas, também foi utilizada a diluição de 10.000 vezes a concentração do critério ambiental.



## VI MODELAGEM DO DESCARTE DE ÁGUA PRODUZIDA

A seguir são apresentados os resultados das simulações de campo próximo e campo afastado para a modelagem do descarte de água produzida no Campo de Mexilhão.

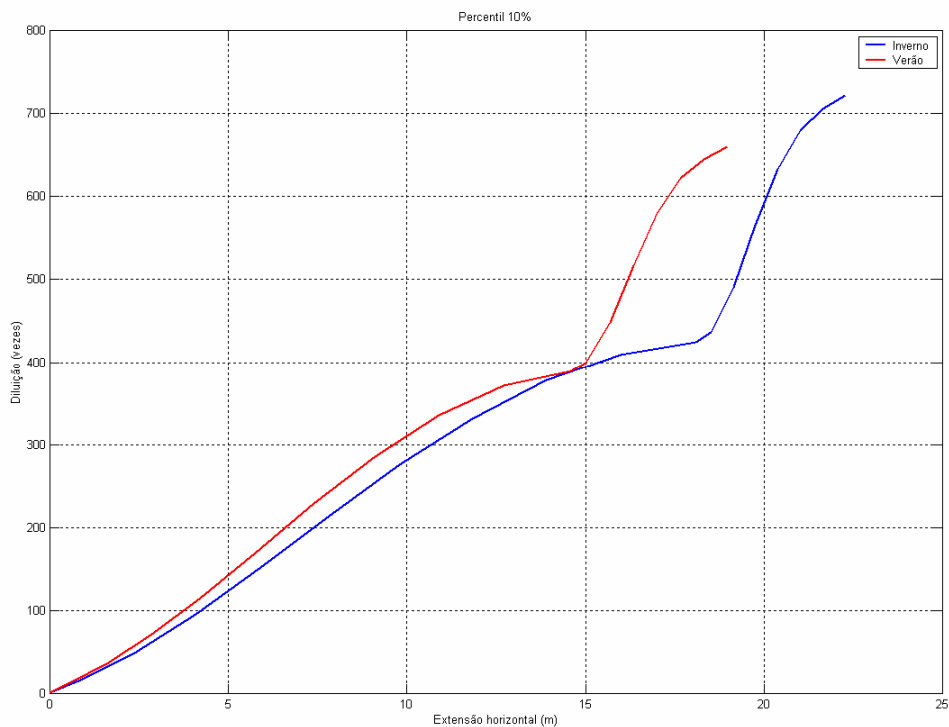
### VI.1 RESULTADOS DA DILUIÇÃO DO CAMPO PRÓXIMO

A tabela VI.1-1 apresenta os resultados das simulações no campo próximo para a água produzida no Campo de Mexilhão. Observa-se que a diluição é maior no período de inverno (722 vezes) do que no período de verão (660 vezes). Salienta-se que o comprimento da zona de mistura, região do corpo receptor onde ocorre a diluição inicial de um efluente, variou de 19 m (verão) a 22 m (inverno).

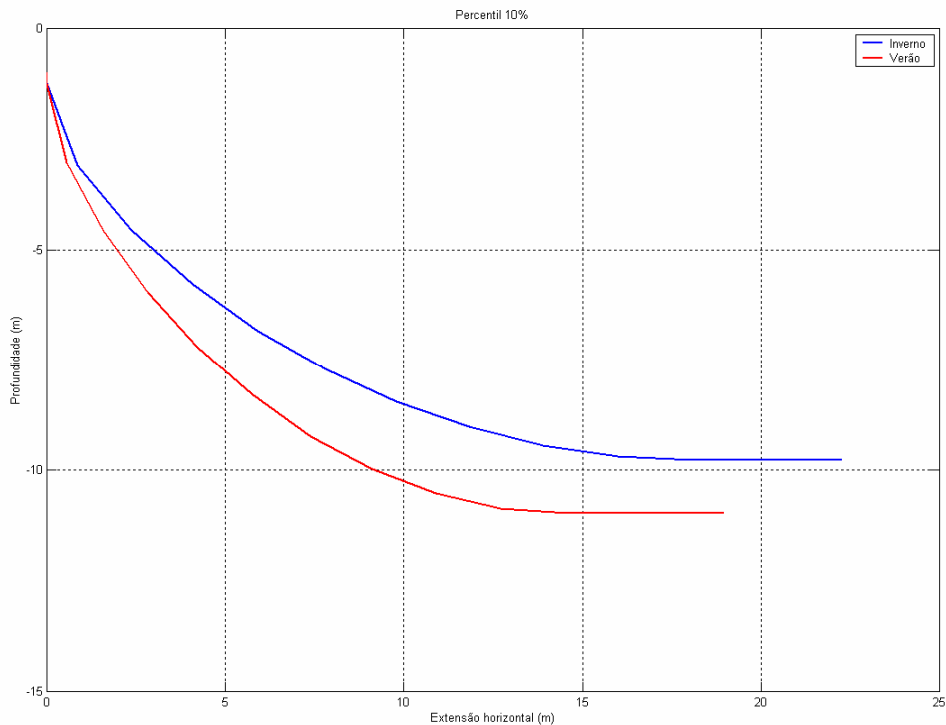
**Tabela VI.1-1 - Resultados das simulações do campo próximo.**

PARÂMETROS	VALORES	
	VERÃO	INVERNO
Diluição	660,4	721,9
Espessura da pluma (m)	4,6	4,3
Comprimento da zona de mistura (m)	19,0	22,3
Profundidade terminal da pluma (m)	11,0	9,8

As figuras VI.1-1 e VI.1-2 apresentam, respectivamente, as diluições e as profundidades da pluma de água produzida em relação às distâncias a partir do ponto de lançamento baseado nos resultados do campo próximo, calculados nos períodos de verão e inverno. Observa-se que a diluição aumenta à medida que a pluma/jato se afasta do ponto de descarte. Após atingir a profundidade máxima, devido à quantidade de movimento do jato do efluente, o empuxo faz com que a pluma seja alçada até uma região de equivalência com a densidade do meio. No caso, a profundidade máxima é equivalente à profundidade terminal, sendo de, aproximadamente, 11 m no período de verão, a cerca de 19 m do ponto de descarte. No período de inverno a profundidade máxima e terminal atingida é de, aproximadamente, 10 m a cerca de 22 m do ponto de descarte.



**Figura VI.1-1** - Diluição em relação à distância do ponto de descarte da pluma de água produzida nos períodos de verão e inverno.



**Figura VI.1-2** - Profundidades em relação à distância do ponto de descarte da pluma de água produzida nos períodos de verão e inverno.

A tabela VI.1-2 apresenta as concentrações iniciais dos componentes, as concentrações correspondentes à diluição no final do campo próximo e as concentrações limites da legislação ambiental (Resolução do CONAMA nº 357/05). No campo próximo, todos os compostos simulados apresentaram concentrações inferiores ao critério ambiental, dentro da zona de mistura, a uma distância de cerca de 1 m do ponto de lançamento.

**Tabela VI.1-2 - Concentrações dos compostos simulados no ponto de lançamento, valores correspondentes à diluição no campo próximo e limite da legislação.**

COMPONENTES	CONCENTRAÇÃO NO PONTO DE LANÇAMENTO ( $\mu\text{g/L}$ )	CONCENTRAÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO ( $\mu\text{g/L}$ )		LIMITE RESOLUÇÃO CONAMA 357/05 ART. 18 ( $\mu\text{g/L}$ )
		VERÃO	INVERNO	
Benzeno	10.200	15,44	14,13	700
Tolueno	2.310	3,50	3,20	215
Fenóis totais	2.000	3,03	2,78	60

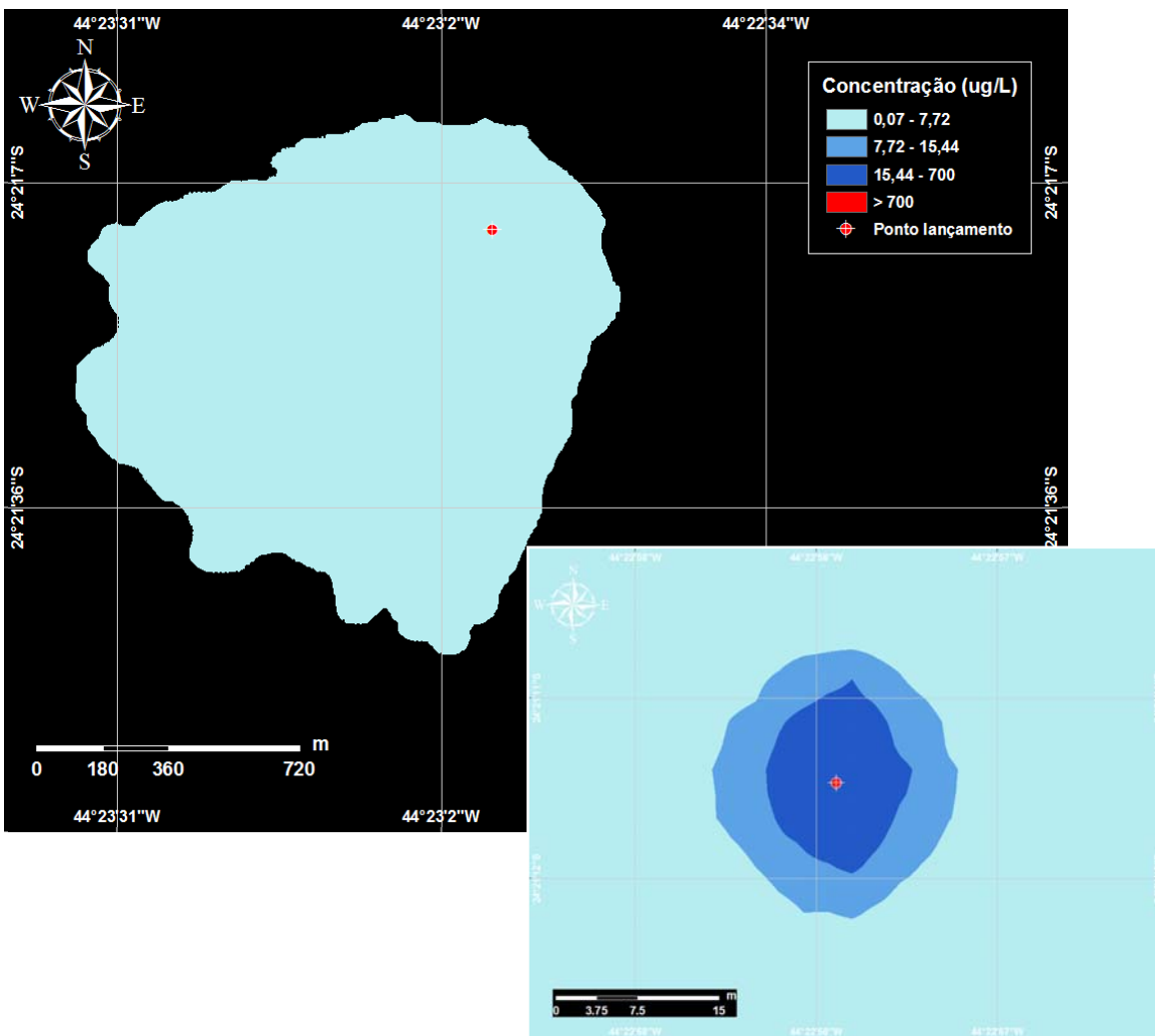
## VI.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS

A seguir, são apresentadas as curvas de contorno das plumas de dispersão para as médias das máximas concentrações dos componentes químicos simulados para o Campo de Mexilhão. Para viabilizar a apresentação dos resultados, os contornos das plumas de água produzida apresentados nas figuras estendem-se até a concentração correspondente à diluição de 10.000 vezes o critério ambiental. Cabe ressaltar que a área ilustrada nas figuras representa a média das máximas concentrações obtidas em todas as 20 simulações, e não corresponde à posição da pluma em um determinado instante de tempo. A tabela VI.2-1 apresentada os valores das concentrações máximas obtidas para essas simulações, às distâncias de 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento.

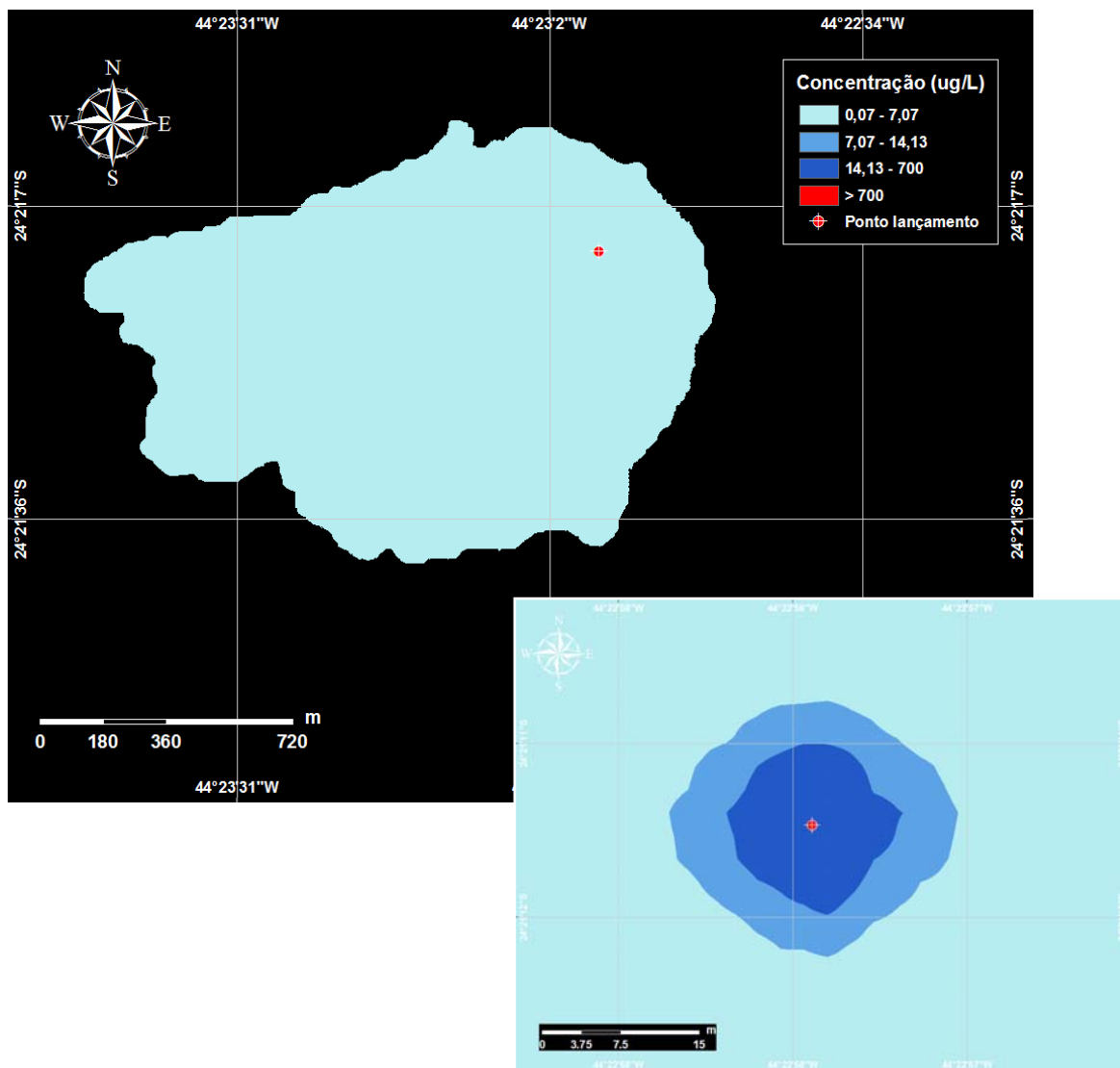
**Tabela VI.2-1 - Máximas concentrações obtidas para os parâmetros inorgânicos à 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno.**

COMPONENTES	CONCENTRAÇÃO A 100 m (µg/L)		CONCENTRAÇÃO A 250 m (µg/L)		CONCENTRAÇÃO A 500 m (µg/L)	
	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
Benzeno	1,250	1,250	0,330	0,360	0,150	0,160
Tolueno	0,260	0,280	0,073	0,078	0,032	0,036
Fenóis totais	0,200	0,240	0,057	0,063	0,030	0,032

As figuras VI.2-1 e VI.2-2 apresentam os resultados das simulações probabilísticas para o benzeno, nos períodos de verão e inverno, respectivamente. O limite de corte adotado nestas figuras corresponde à diluição de 10.000 vezes a concentração do critério ambiental, ou seja, 0,07 µg/L.

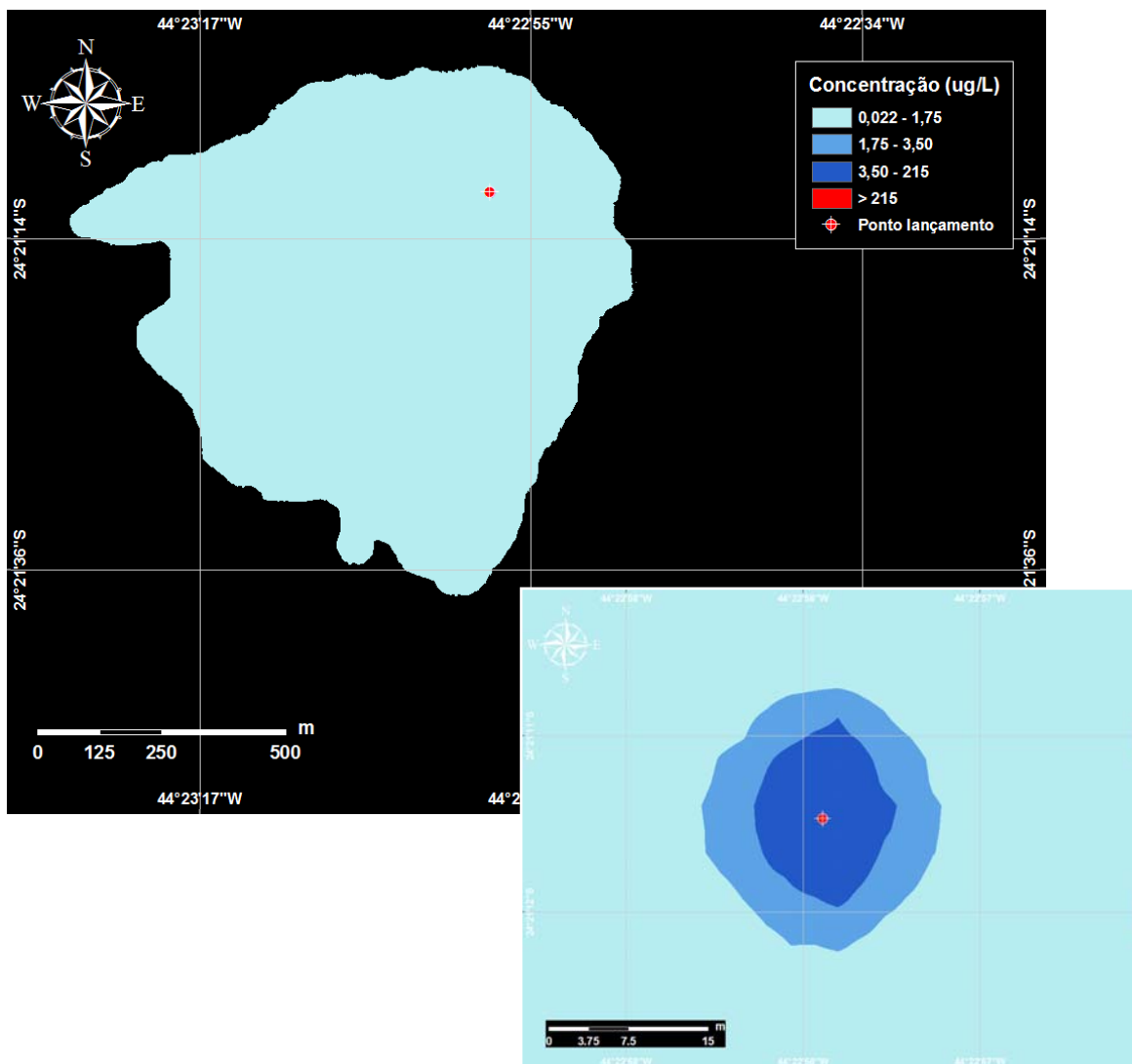


**Figura VI.2-1 - Concentrações máximas esperadas (µg/L) para a pluma de BENZENO, simulada no período de verão, após 24 horas.**

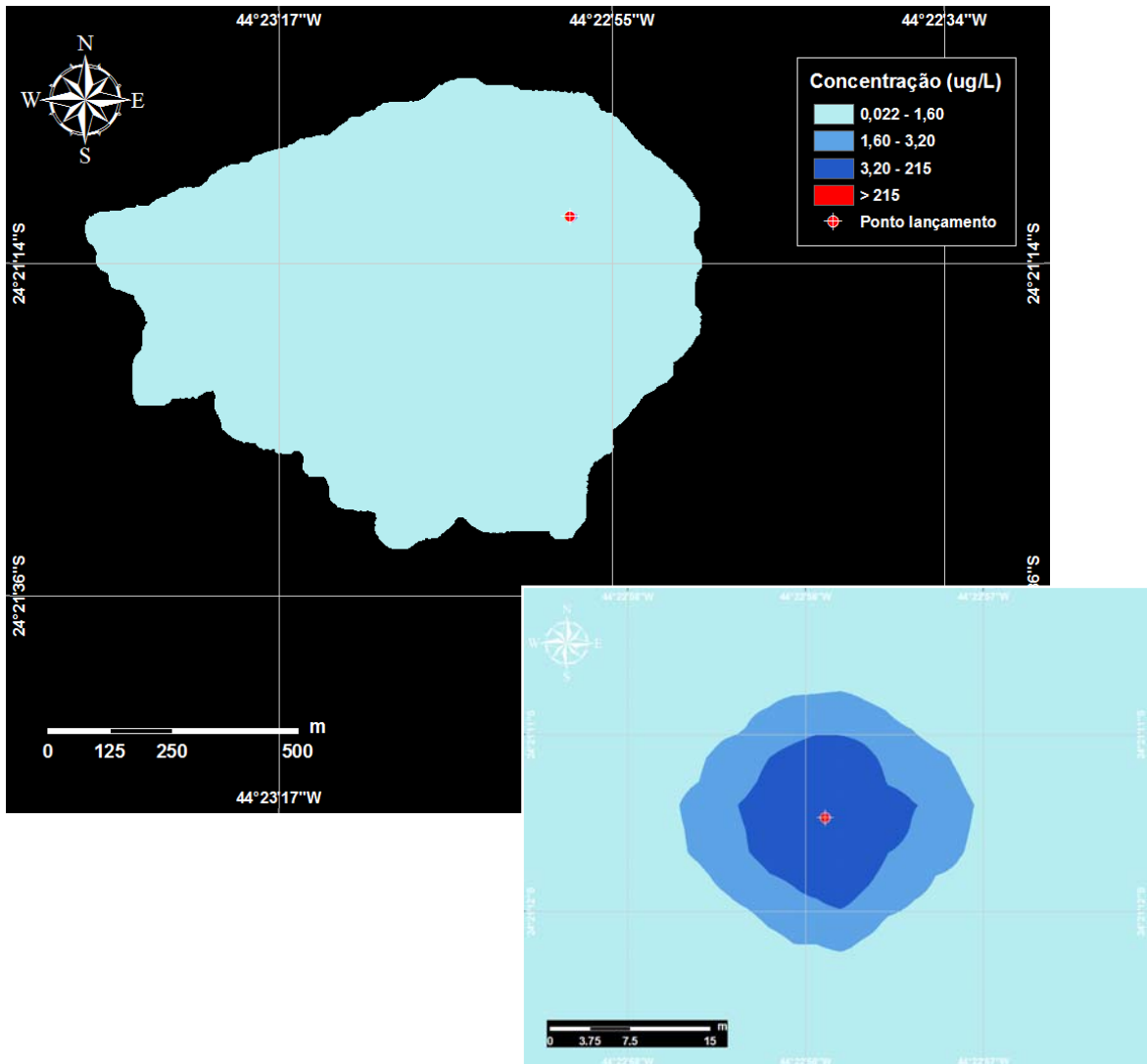


**Figura VI.2-2** - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de BENZENO, simulada no período de inverno, após 24 horas.

As figuras VI.2-3 e VI.2-4 apresentam os resultados das simulações probabilísticas para o tolueno, nos períodos de verão e inverno, respectivamente. O limite de corte adotado nestas figuras corresponde à diluição de 10.000 vezes a concentração do critério ambiental, ou seja,  $0,0215 \mu\text{g/L}$ .

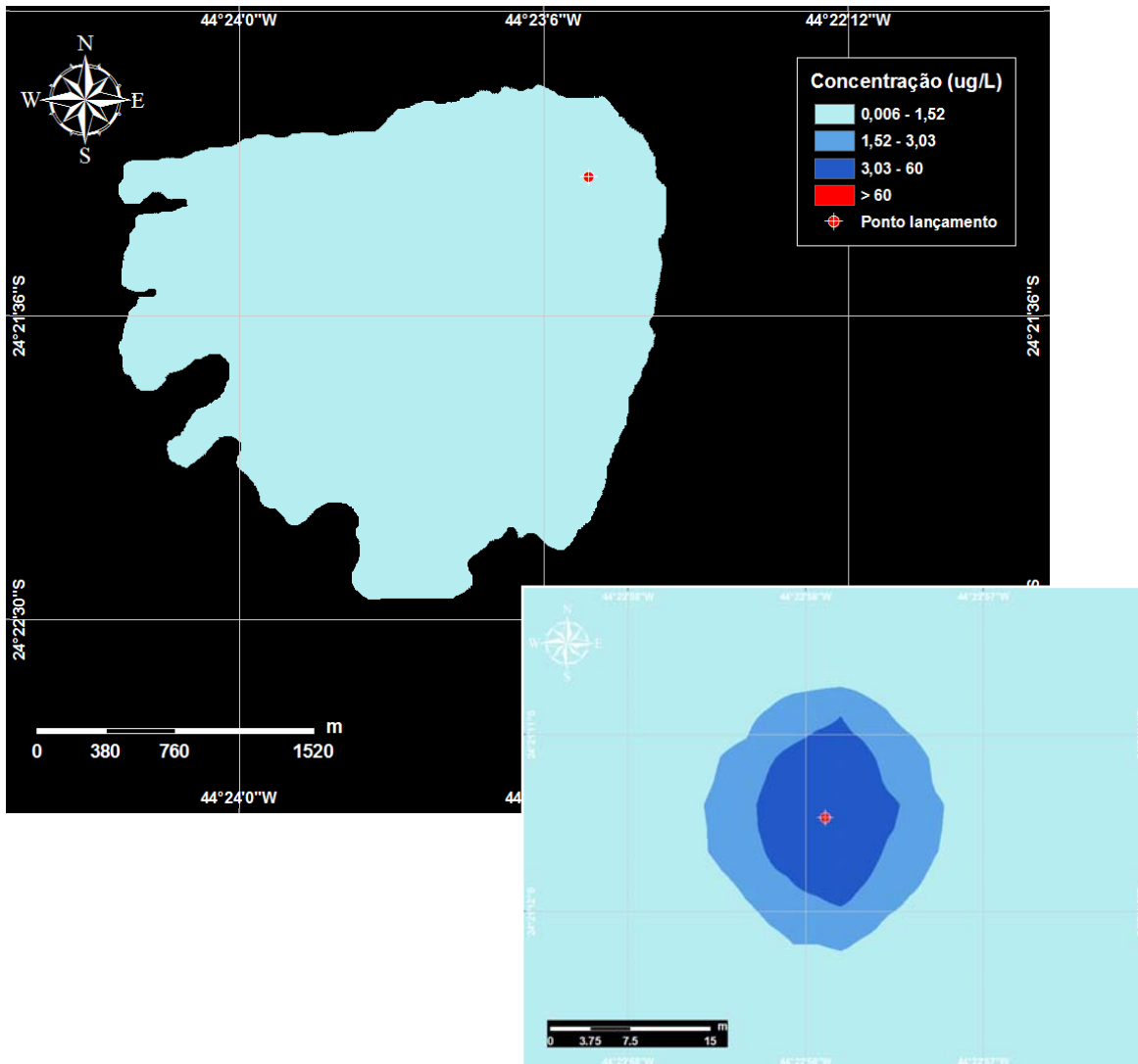


**Figura VI.2-3** - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de TOLUENO, simulada no período de verão, após 24 horas.



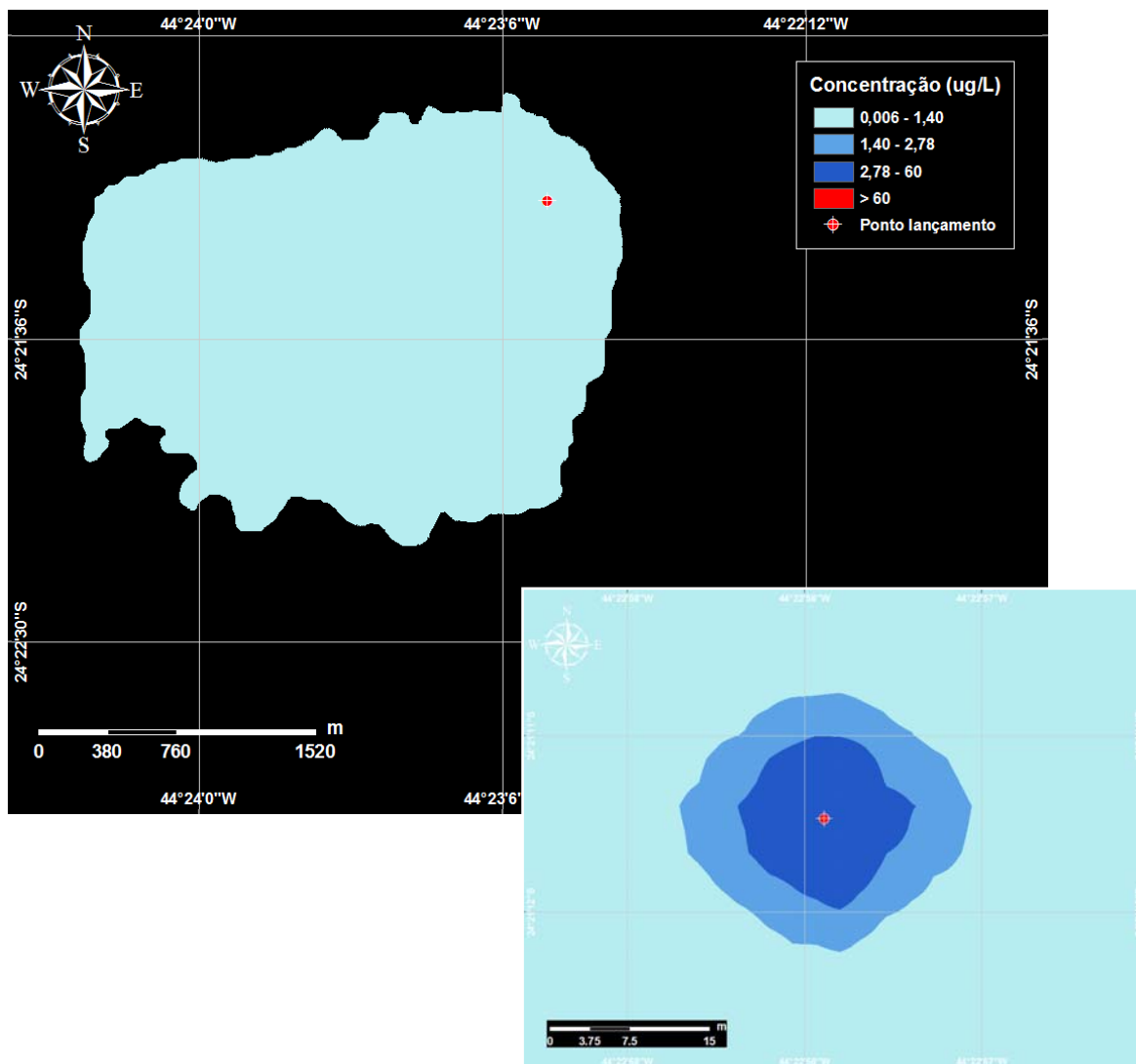
**Figura VI.2-4** - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de TOLUENO, simulada no período de inverno, após 24 horas.

As figuras VI.2-5 e VI.2-6 apresentam os resultados das simulações probabilísticas para os fenóis totais, nos períodos de verão e inverno, respectivamente. O limite de corte adotado nestas figuras corresponde à diluição de 10.000 vezes a concentração do critério ambiental, ou seja,  $0,006 \mu\text{g/L}$ .



**Figura VI.2-5 -** Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de FENÓIS TOTAIS, simulada no período de verão, após 24 horas.





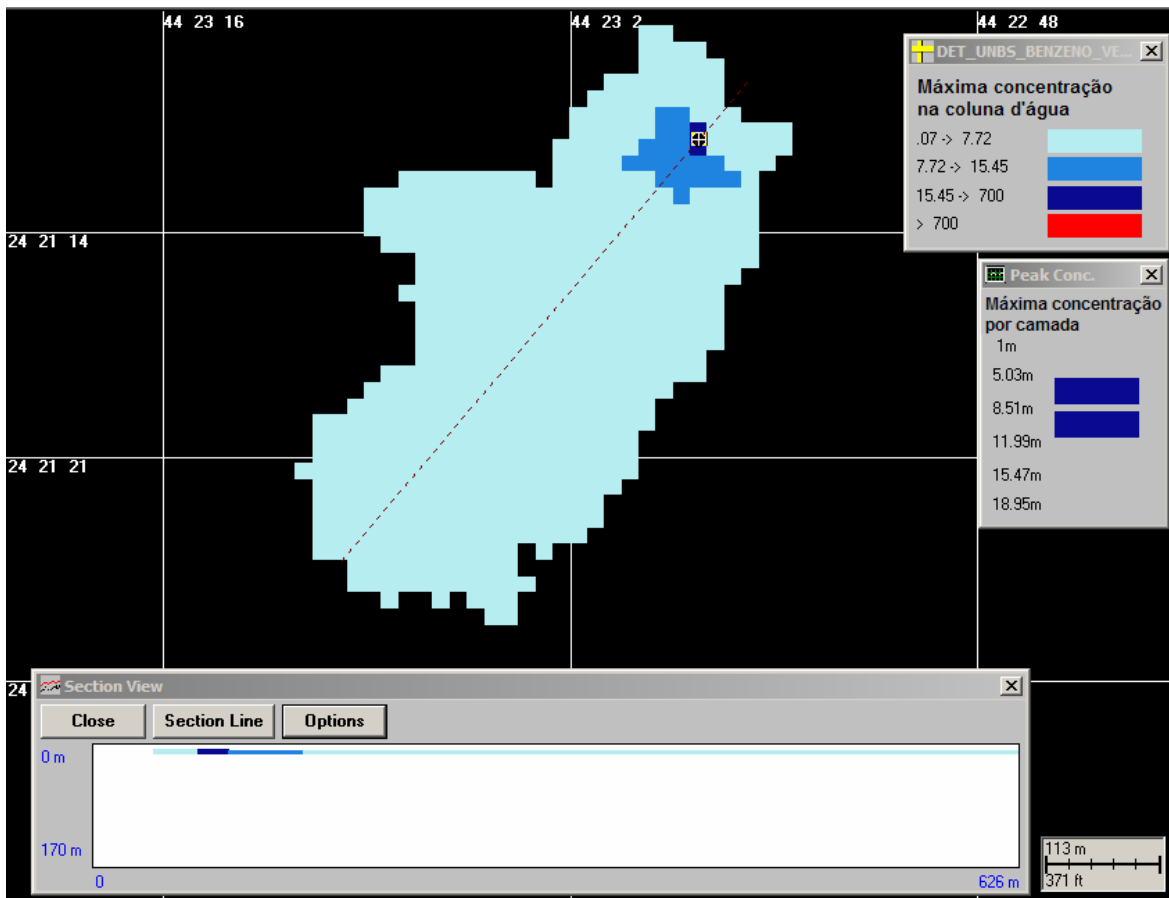
**Figura VI.2-6** - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de FENÓIS TOTAIS, simulada no período de inverno, após 24 horas.

### VI.3 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS

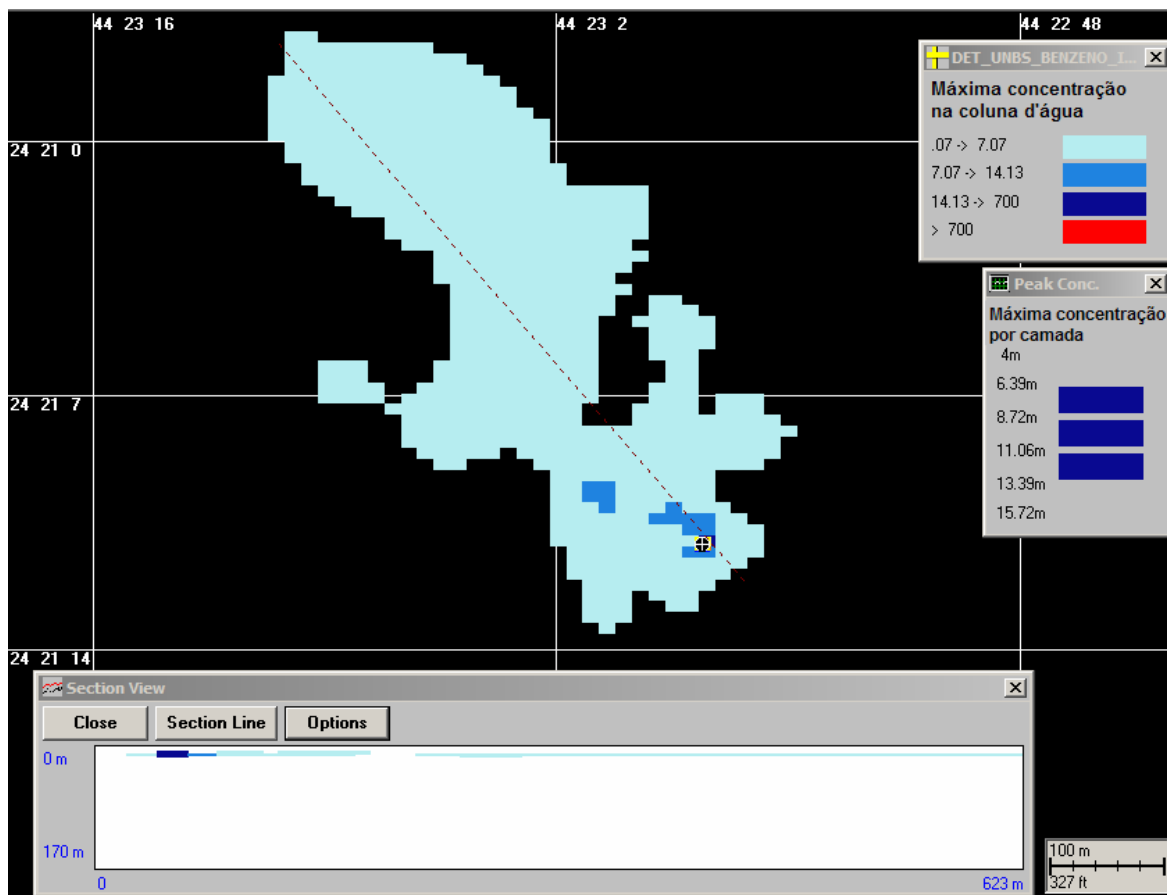
A seguir, são apresentados os resultados das simulações de pior caso de verão e de inverno para o Campo de Mexilhão. Para essas simulações foram considerados como mais críticos os cenários que apresentaram as maiores concentrações, nas proximidades do ponto de descarte, dos compostos simulados. Nas figuras são apresentados os contornos de concentração (até a diluição de 10.000 vezes o critério ambiental), uma seção transversal (demarcada

por uma linha pontilhada sobre a pluma) com o perfil vertical de concentrações, e as máximas concentrações por camada (intervalos de profundidades) 24 horas após o instante inicial das simulações.

As figuras VI.2-1 e VI.2-2 apresentam os resultados das simulações determinísticas críticas para o benzeno, nos períodos de verão e inverno, respectivamente. O limite de corte adotado nestas figuras corresponde à diluição de 10.000 vezes a concentração do critério ambiental, ou seja, 0,07  $\mu\text{g/L}$ .

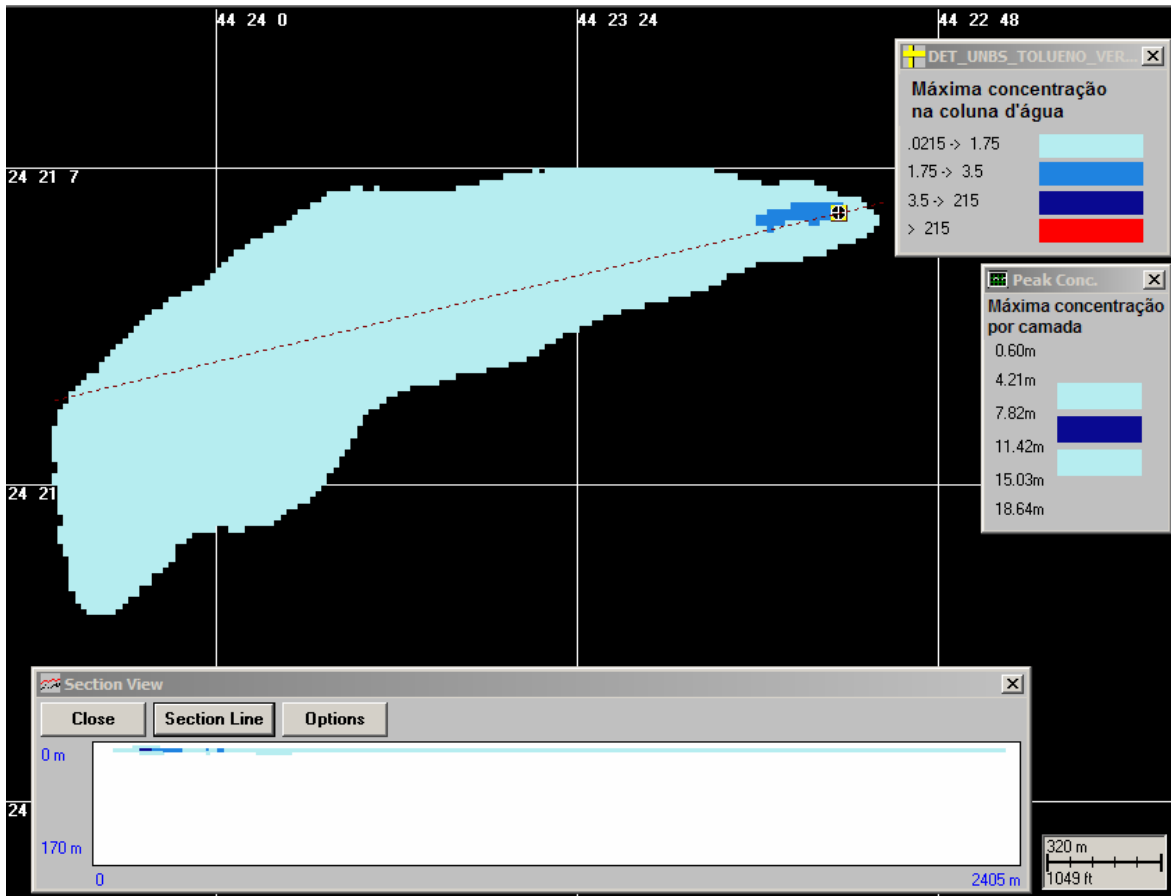


**Figura VI.3-1** - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de BENZENO, simulada no período de verão, após 24 horas.

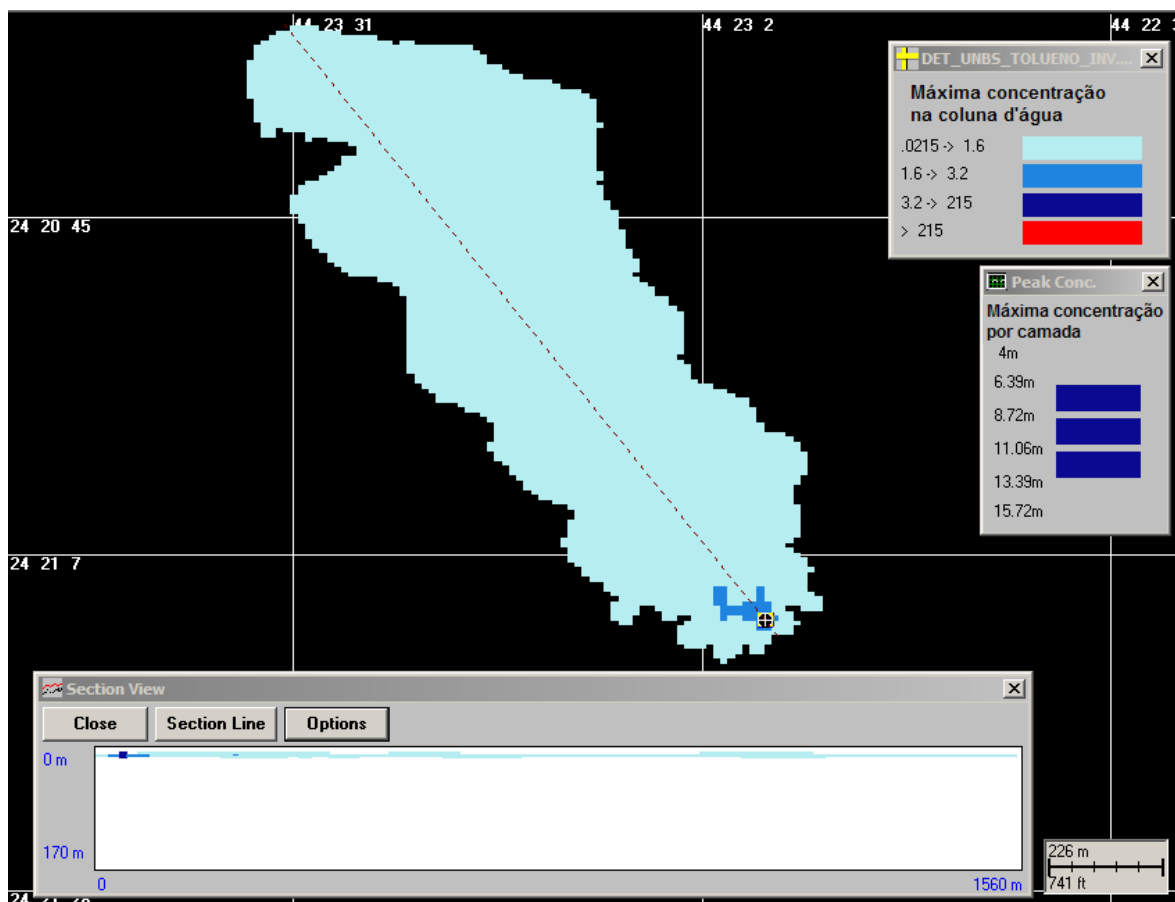


**Figura VI.3-2** - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de BENZENO, simulada no período de inverno, após 24 horas.

As figuras VI.3-3 e VI.3-4 apresentam os resultados das simulações probabilísticas para o tolueno, nos períodos de verão e inverno, respectivamente. O limite de corte adotado nestas figuras corresponde à diluição de 10.000 vezes a concentração do critério ambiental, ou seja,  $0,0215 \mu\text{g/L}$ .

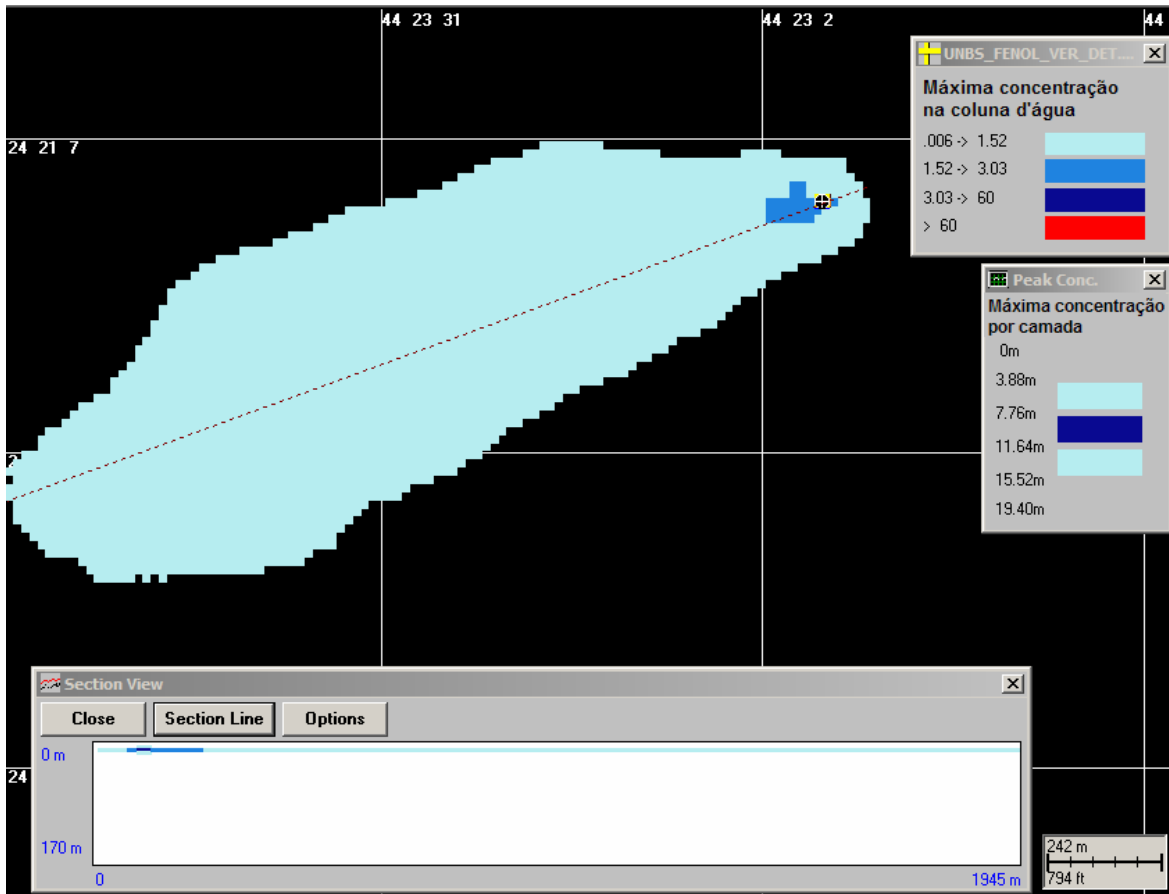


**Figura VI.3-3** - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de TOLUENO, simulada no período de verão, após 24 horas.

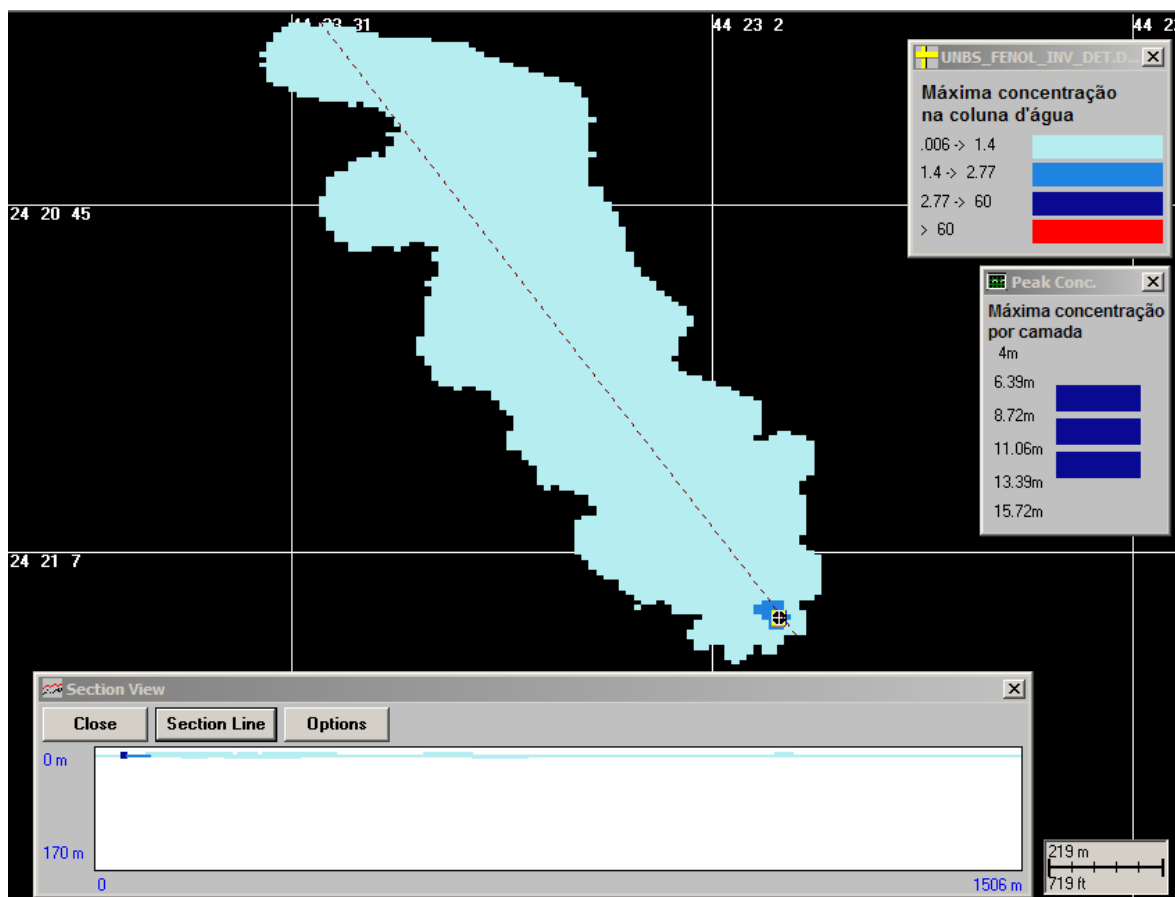


**Figura VI.3-4** - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de TOLUENO, simulada no período de inverno, após 24 horas.

As figuras VI.3-5 e VI.3-6 apresentam os resultados das simulações probabilísticas para os fenóis totais, nos períodos de verão e inverno, respectivamente. O limite de corte adotado nestas figuras corresponde à diluição de 10.000 vezes a concentração do critério ambiental, ou seja,  $0,006 \mu\text{g/L}$ .



**Figura VI.3-5** - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de FENÓIS TOTAIS, simulada no período de verão, após 24 horas.



**Figura VI.3-6** - Concentrações máximas esperadas ( $\mu\text{g/L}$ ) para a pluma de FENÓIS TOTAIS, simulada no período de inverno, após 24 horas.

## VI.4 RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA MODELAGEM DE ÁGUA PRODUZIDA

Os resultados das simulações para o campo próximo da água produzida no Campo de Mexilhão mostraram diluições de 660 vezes no verão e de 722 vezes no inverno, com profundidade terminal da pluma de, aproximadamente, 10 m para ambos os períodos simulados.

A tabela VI.4-1 apresenta um resumo dos resultados obtidos em função das concentrações no ponto de lançamento, no final do campo próximo e os valores de concentração e diluição a 100, 250 e 500 m.

**Tabela VI.4-1 - Concentrações dos parâmetros químicos simulados e diluição da água produzida, no ponto de lançamento, no final do campo próximo e a 100, 250 e 500 m, calculadas para o descarte no Campo de Mexilhão.**

COMPONENTES	CONC. NO PONTO DE LANÇAMENTO (µg/L)	CONCENTRAÇÃO NO FINAL DO CAMPO PROXIMO (µg/L)		CONCENTRAÇÃO A 100 m (µg/L)		CONCENTRAÇÃO A 250 m (µg/L)		CONCENTRAÇÃO A 500 m (µg/L)	
		VER	INV	VER	INV	VER	INV	VER	INV
Benzeno	10.200	15,44	14,13	1,250	1,250	0,330	0,360	0,150	0,160
Tolueno	2.310	3,50	3,20	0,260	0,280	0,073	0,078	0,032	0,036
Fenóis totais	2.000	3,03	2,78	0,200	0,240	0,057	0,063	0,030	0,032



## VII CONCLUSÕES

Neste relatório são apresentados os estudos realizados para a determinação da diluição e dispersão das plumas de água produzida no Campo de Mexilhão, descartadas a partir da Plataforma PMLX-1, Bacia de Santos.

Como critério ambiental foram adotadas as concentrações limite existentes na legislação, referentes à Resolução CONAMA nº 357/05 para Águas Salinas Classe 1.

Como critério de parada das simulações foi utilizada a duração de 24 horas. Com o objetivo de dar suporte e orientar o desenvolvimento de futuros trabalhos de monitoramento ambiental na área do empreendimento, na apresentação dos resultados foi utilizada a diluição de 10.000 vezes o critério ambiental.

Para avaliação da diluição e dispersão da água produzida e descartada a partir da Plataforma PMLX-1, foram considerados três parâmetros: benzeno, tolueno e fenóis. Ressalta-se que as informações de concentração utilizadas representam valores médios e foram baseadas em dados existentes para a Bacia de Campos, uma vez que a Plataforma PMLX-1 ainda não entrou em operação e não existem dados suficientes para a Bacia de Santos. Portanto, os cenários modelados são mais críticos que o esperado para o Campo de Mexilhão, visto que a água produzida nesse campo é formada por, aproximadamente, 20 l/d de água de formação com menos de 5 ppm de TOG e diluída em mais de 100 toneladas de água condensada do sistema de MEG, ou seja, é basicamente um campo de gás.

Os resultados das simulações para o campo próximo mostraram diluições de 660 vezes e profundidade terminal da pluma de 11 m (no período de verão) e 722 vezes e profundidade terminal de 9,8 m (no período de inverno). Salienta-se que o comprimento da zona de mistura, região do corpo receptor onde ocorre a diluição inicial de um efluente, variou de 19 m (verão) a 22 m (inverno). No campo próximo, todos os compostos simulados apresentaram concentrações inferiores ao critério ambiental, dentro da zona de mistura, a uma distância de cerca de 1 m do ponto de lançamento.

Os resultados das simulações para o campo afastado indicaram que, a aproximadamente 500 m do ponto de lançamento, todos os compostos atingiram valores de concentração referentes à diluição de 1.667 até 6.700 vezes o critério ambiental. A cerca de 100 m do ponto de lançamento, todos os compostos atingiram uma diluição de 10.000 vezes a concentração inicial de lançamento.

## VIII BIBLIOGRAFIA

- ASA (APPLIED SCIENCE ASSOCIATES, INC.). 2002. CHEMMAP Technical Manual, Narragansett, RI.
- BEAR, J. & A. VERRUIJT, 1987. Modeling groundwater flow and pollution with computer programs for sample cases. **Kluwer Academic Publishers**.
- BLUMBERG, A.F. & MELLOR, G.L. 1987. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In: N.S. Heaps (Ed.), Coastal and Estuarine Sciences 4: Three-dimensional Coastal Ocean Models. **American Geophysical Union**, p. 1-16.
- BRASIL. 2005. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 18 mar. 2005.
- CASTRO FILHO, B.M.C. & MIRANDA, L.B. 1998. Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf located between 40° N and 34° S. The Sea. **John Wiley & Sons**, Inc. 11: p. 209-251.
- CERC, 1984. Shore protection manual, Vol. I. Coastal Engineering Research Center, Department of the Army, Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, MS, p. 115-134 apêndices.
- CLIMANÁLISE. 1996. Boletim de Monitoramento e Análise Climática. **Edição comemorativa de 10 anos**. Outubro.
- CSANADY, G.T., 1973. Turbulent diffusion in the environment. **D. Reidel Publishing Company**, Dordrecht, Holland, 74p.
- DELVIGNE, G.A.L. & SWEENEY, C.E. 1988. Natural dispersion of oil. **Oil & Chemical Pollution** 4 (1988): p. 281-310.
- ELLIOTT, A.J. 1986. Shear diffusion and the spread of oil in the surface layers of the North Sea. **Dt. Hydrog**: p.113-137.

---

EVANS, D.L. & SIGNORINI, S.R. 1985. Vertical structure of the Brazil Current. **Nature**, 315, p. 48-50.

FAY, J.A. 1971. Physical Processes in the Spread of Oil on a Water Surface. In: **Proceedings at Joint Conference and Control of Oil Spills**, Washington, D.C., June 15-17.

FEMAR. 2000. Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. Fundação de Estudos do Mar. Rio de Janeiro. 281pp.

FRENCH, D., 2001. Chemical Spill Model (CHEMMAP) for Forecasts/Hindcasts and Environmental Risk Assessment. In: Proceedings of the 24th Arctic and Marine Oilspill (AMOP) Technical Seminar, Edmonton, Alberta, Canada, June 12-14, 2001, Environment Canada, pp.825-846.

FRENCH, D., M. REED, K. JAYKO, S. FENG, H.M. RINES, S. PAVIGNANO, T. ISAJI, S. PUCKETT, A. KELLER, F.W. FRENCH III, D. GIFFORD, J. MCCUE, G. BROWN, E. MACDONALD, J. QUIRK, S. NATZKE, R. BISHOP, M. WELSH, M. PHILLIPS & B.S. INGRAM, 1996a. The CERCLA type A natural resource damage assessment model for coastal and marine environments (NRDAM/CME), Technical Documentation, Vol.I - V. Final Report, submitted to the Office of Environmental Policy and Compliance, U.S. Dept. of the Interior, Washington, DC, April, 1996, Contract No. 14-0001-91-C-11.

FRENCH, D.P., H.M. RINES, T. OPISHINSKI & J. MCCUE, 1996b. Validation and Sensitivity Analysis: The CERCLA Type A Natural Resource Damage Assessment Models for Coastal and Marine Environments (NRDAM/CME) and for the Great Lakes Environments (NRDAM/GLE) Final Report, Submitted to the Office of Environmental Policy and Compliance, U.S. Dept. of the Interior, Washington, DC, April, 1996. Contract N°. 14-01-0001-91-C-11.

- FRENCH, D., H. SCHUTTENBERG, & T. ISAJI, 1999. Probabilities of oil exceeding thresholds of concern: examples from an evaluation for Florida Power and Light. In: **Proceedings: AMOP 99 Technical Seminar**, June 2-4, 1999, Calgary, Alberta, Canada, pp. 243-270.
- FRENCH, D., N. WHITTIER, M. WARD, & C. SANTOS, 2002. Spill Hazard Evaluation for Chemicals Shipped in Bulk Using Modeling. In: **Proceedings, Sixth International Marine Environmental Seminar**, Trondheim, Norway, September 2-4, 2002.
- GIFFORD, F.A., 1961. **Nuclear Safety** 2:47.
- HESS, K.W. & BOSLEY, K.T. 1992. Methodology for Validation of a Tampa Bay Circulation Model. **Proceedings, 2nd International Conference on Estuarine and Coastal Modeling**, Tampa, Florida, November 11-13, 1991. p. 83-94.
- HINES, A.L. & R.N. MADDOX, 1985. Mass transfer fundamentals and application, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 542p.
- HOLTON, J.R., 1979. An Introduction to Dynamic Meteorology. **International Geophysics Series**, Vol 23, Academic Press NY.
- HOULT, D. P., 1972. Oil spreading on the sea. **Ann. Rev. Fluid Mech.**, p.341-368.
- JIRKA, G.H.; DONEKER, R.L. & HINTON, S.W. 1996. User's manual for CORMIX. A hydrodynamic mixing zone model and decision support system for pollutant discharges into surface waters. **U.S. Environmental Protection Agency**. 152pp.
- KAWAMURA, P. & D. MACKAY, 1987. The evaporation of volatile liquids. **J Hazardous Materials**, 15:343-364.
- KOLLURU, V.S., 1992. Influence of Number of Spilllets on Spill Model Predictions. Applied Science Associates Internal Report, 1992.

- LANGE, P. & H. HÜHNERFUSS, 1978. Drift response of mono-molecular slicks to wave and wind action. **Journal of Physical Oceanography**, v. 8, p. 142-150.
- LEHR, W., 1996. Progress in Oil Spread Modeling, in Proceedings of the 19th Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar, Environment Canada, pp. 889-894.
- LIMA, J.A.M. 1997. Oceanic Circulation on the Brazilian Shelf Break and Continental Slope at 22°S. Tese de doutorado. University of New South Wales, Austrália.
- LYMAN, C.J., W.F. REEHL, & D.H. ROSENBLATT, 1982. **Handbook of Chemical Property Estimation Methods**. McGraw-Hill Book Co., New York, 960p.
- MACKAY, D. & R.S. MATSUGU, 1973. Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, Vol. 51, pp. 434-439.
- MACKAY, D. & P.J. LEINONEN, 1977. Mathematical model of the behavior of oil spills on water with natural and chemical dispersion. Prepared for Fisheries and Environment Canada. Economic and Technical Review Report EPS-3-EC-77-19, 39p.
- MACKAY, D., S. PATERSON & K. TRUDEL, 1980. A Mathematical Model Of Oil Spill Behavior. Department of Chemical and Applied Chemistry, University of Toronto, Canada
- MACKAY, D., W.Y. SHIU, & K.C. MA, 1992. **Illustrated Handbook of Physical-Chemical Properties and Environmental Fate for Organic Chemicals**, Vol. I-IV. Lewis Publ., Chelsea, Michigan.
- MELLOR, G.L. & YAMADA, T. 1982. Development of a turbulence closure models for geophysical fluid problems. **Rev. Geophys. Space Phys.**, 20, n. 4, p. 851-875.

- MIRANDA, L.B. de & CASTRO FILHO, B.M. 1979. Condições do movimento geostrófico das águas adjacentes a Cabo Frio (RJ). **Bolm. Inst. Oceanogr.**, S. Paulo, 28(2):79-93.
- OKUBO, A., 1971. Oceanic diffusion diagrams. **Deep Sea Research**, v. 8, p. 789-802.
- SATYAMURTI, P. & MATTOS, L.F. 1989. Climatological lower trophospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. **Mon. Wea. Rev.**, 108:410-520.
- SIGNORINI, S.S. 1978. On the Circulation and volume transport of the Brazil Current between Cape of São Tomé and Guanabara Bay. **Deep Sea Res.**, 25, p. 481-490.3.
- STRAMMA, L.; IKEDA Y. & PETERSEN, R.G. 1990. Geostrophic transport in the Brazil Current region, **Deep-Sea. Res.**, 37(12): p. 1875-1886.
- THIBODEAUX, L.J. 1979. **Chemodynamics: Environmental Movement of Chemicals in Air, Water, and Soil**. John Wiley & Sons, NY 501p.
- THORPE S. A., 1984. On the determination of  $K_v$  in the near surface ocean from acoustic measurements of bubbles. **American Meteorological Society**, pp. 861-863.
- TOMCZAK, M. & GODFREY, S.J. 1994. Regional Oceanography: an Introduction. **Pergamon Press**, New York, 422 p.
- TURNER, D.B. 1970. Workbook of atmospheric dispersion estimates. Report PB-191 482. Research Triangle Park, North Carolina: Office of Air Programs, U.S. Environmental Protection Agency.

---

YOUSSEF, M., 1993. The behavior of the near ocean surface under the combined action of waves and currents in shallow water. PhD Dissertation, Department of Ocean Engineering, University of Rhode Island, Narragansett, RI.

YOUSSEF, M. & M.L. SPAULDING, 1993. Drift current under the action of wind waves. In: **Proceedings of the 16th Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar**, Calgary, Alberta, Canada, p. 587-615.



## **IX EQUIPE TÉCNICA**

### ***Equipe da Empresa Consultora Applied Science Consultoria Ltda.***

<b>Profissional</b>	Ana Carolina da Rocha
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	325047
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	TODAS
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Daniel Constantino Zacharias
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	638533
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	VI
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Eduardo Yassuda
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	060.184.738.5
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	94066
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	TODAS
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Gabriel Clauzet
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	1031373
<b>Responsável pela(s) Capítulo(s)</b>	I e II
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	José Edson Pereira
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	326336
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	I e II
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Hemerson Everaldo Tonin
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	1658739
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	I e II
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Maria Regina Fonseca Guimarães
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	434231
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	I e II
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Marco Antonio Corrêa
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda.
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	434236
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	IV, V e VI
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Maurício Person Lammardo
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda.
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	272165
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	III, IV, V e VI
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Rafael Bonanata da Rocha
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda.
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	434253
<b>Responsável pela(s) Capítulo(s)</b>	VI
<b>Assinatura</b>	_____



***CADASTRO TÉCNICO FEDERAL IBAMA  
EQUIPE TÉCNICA DA ASA SOUTH AMERICA***



		<b>Ministério do Meio Ambiente</b> <b>Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</b>			
<b>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL          CERTIFICADO DE REGISTRO</b>					
Nr. Registro Atual:	Nr. Registro Anterior:	CPF/CNPJ:	Válido até:		
<b>325047</b>		<b>216.695.528-29</b>	<b>31/03/2007</b>		
Nome/Razão Social/Endereço <b>Ana Carolina da Rocha</b> <b>R. Canuto Saraiva, 358 - apto43</b> <b>Mooca</b> <b>SAO PAULO/SP</b>					
Este certificado comprova o registro no  <p style="text-align: center;"><b>Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</b></p> <p><b>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</b></p> <p>Controle da Poluição Gestão Ambiental</p>					
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente: 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.  <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;"><b>ay2w.2cpd.ff1e.nbk8</b></p>			

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)



**Ministério do Meio Ambiente**  
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis



**CADASTRO TÉCNICO FEDERAL**  
**CERTIFICADO DE REGISTRO**

Nr. Registro Atual: <b>638533</b>	Nr. Registro Anterior:	CPF/CNPJ: <b>278.359.648-21</b>	Válido até: <b>31/03/2007</b>
--------------------------------------	------------------------	------------------------------------	----------------------------------

Nome/Razão Social/Endereço  
**Daniel Constantino Zacharias**  
Rua Fernando Falcao, 817  
Mooca  
SAO PAULO/SP  
03180-001

Este certificado comprova o registro no

**Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental**

**Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0**

Qualidade do Ar  
Qualidade da Água  
Recursos Hídricos

<p>Observações:</p> <p>1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente:</p> <p>2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema.</p> <p>3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente.</p> <p>4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.</p>	<p>A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.</p> <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;"><b>k3fg.alo1.mmt0.1kal</b></p>
--	--



 <b>Ministério do Meio Ambiente</b> <b>Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</b>			
<b>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL          CERTIFICADO DE REGISTRO</b>			
Nr. Registro Atual:	Nr. Registro Anterior:	CPF/CNPJ:	Válido até:
<b>94066</b>		<b>094.409.448-11</b>	<b>31/03/2007</b>
Nome/Razão Social/Endereço <b>EDUARDO AYRES YASSUDA</b> <b>R. Purpurina, 155 cj 95</b> <b>Vila Madalena</b> <b>SAO PAULO/SP</b> <b>05435-030</b>			
Este certificado comprova o registro no  <p style="text-align: center;"><b>Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</b></p> <p><b>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</b></p> <p>Gestão Ambiental          Recursos Hídricos          Qualidade da Água</p>			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente: 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.  <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;"><b>znj3.se3b.ofo1.f1th</b></p>	

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

		<b>Ministério do Meio Ambiente</b> <b>Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</b>			
<b>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL          CERTIFICADO DE REGISTRO</b>					
Nr. Registro Atual:		Nr. Registro Anterior:		CPF/CNPJ:	
<b>1031373</b>				<b>188.764.658-20</b>	
Válido até:					
<b>31/03/2007</b>					
Nome/Razão Social/Endereço					
<b>Gabriel Clauzet</b> <b>Rua Sapé, 227</b> <b>Vila Diva</b> <b>CARAPICUIBA/SP</b> <b>06350-090</b>					
Este certificado comprova o registro no					
<b>Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</b>					
<b>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</b>					
Auditoria Ambiental Ecossistemas Terrestres e Aquáticos Educação Ambiental Gestão Ambiental Recursos Hídricos					
Observações:			A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.		
1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente: 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.			<b>Autenticação</b>  <b>r3hg.yrov.imaj.mypa</b>		

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

		<b>Ministério do Meio Ambiente</b> <b>Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</b>			
<b>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL</b> <b>CERTIFICADO DE REGULARIDADE</b>					
Nr. de Cadastro:		CPF/CNPJ:		Emitido em:	
<b>1658739</b>		<b>110.606.928-56</b>		<b>14/11/2006</b>	
				Válido até:	
				<b>14/02/2007</b>	
Nome/Razão Social/Endereço					
<b>Hemerson Everaldo Tonin</b> <b>R. Dona Antonia de Queiros, 469 - ap. 405</b> <b>Consolacao</b> <b>SAO PAULO/SP</b> <b>01307-010</b>					
Este certificado comprova a regularidade no					
<b>Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</b>					
<b>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</b>					
Controle da Poluição Ecossistemas Terrestres e Aquaticos Gestão Ambiental Qualidade da Água Recursos Hídricos					
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente: 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.			A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.		
<b>Autenticação</b>  <b>5wo7.4egr.u5bm.mado</b>					

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

		<b>Ministério do Meio Ambiente</b> <b>Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</b>			
<b>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL</b> <b>CERTIFICADO DE REGISTRO</b>					
Nr. Registro Atual:		Nr. Registro Anterior:		CPF/CNPJ:	
<b>326336</b>				<b>075.522.238-55</b>	
Válido até:					
<b>31/03/2007</b>					
Nome/Razão Social/Endereço					
<b>José Edson Rodrigues Pereira</b> <b>Rua Purpurina, 155 - cj.95</b> <b>Vila Madalena</b> <b>SAO PAULO/SP</b> <b>05435-030</b>					
Este certificado comprova o registro no					
<b>Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</b>					
<b>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</b>					
Gestão Ambiental					
Observações:			A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.		
1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente:			Autenticação  <b>qnv0.cjgp.xlwy.zqbo</b>		
2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema.					
3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente.					
4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.					

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

		<b>Ministério do Meio Ambiente</b> <b>Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</b>			
<b>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL          CERTIFICADO DE REGISTRO</b>					
Nr. Registro Atual:	Nr. Registro Anterior:	CPF/CNPJ:	Válido até:		
<b>434231</b>		<b>118.305.938-89</b>	<b>31/03/2007</b>		
Nome/Razão Social/Endereço					
<b>Maria Regina Fonseca Guimarães</b> <b>Rua Purpurina, 155 - cj 95</b> <b>Vila Madalena</b> <b>SAO PAULO/SP</b> <b>05435-030</b>					
Este certificado comprova o registro no					
<b>Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</b>					
<b>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</b>					
Controle da Poluição Ecossistemas Terrestres e Aquáticos Educação Ambiental Qualidade da Água Recursos Hídricos					
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente: 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.			A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.		
<b>Autenticação</b>  <b>tfe5.z796.pil0.sdyf</b>					

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

		<b>Ministério do Meio Ambiente</b> <b>Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</b>			
<b>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL</b> <b>CERTIFICADO DE REGISTRO</b>					
Nr. Registro Atual: <b>434236</b>		Nr. Registro Anterior:		CPF/CNPJ: <b>096.540.398-00</b>	
				Válido até: <b>31/03/2007</b>	
Nome/Razão Social/Endereço <b>MARCO ANTONIO CORREA</b> <b>AV. ENG. HEITOR ANTONIO EIRAS GARCIA 943</b> <b>JARDIM BONFIGLIOLI</b> <b>SAO PAULO/SP</b> <b>05588-001</b>					
Este certificado comprova o registro no  <p style="text-align: center;"><b>Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</b></p> <p><b>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</b></p> <p>Controle da Poluição  Ecosistemas Terrestres e Aquáticos  Qualidade da Água  Recursos Hídricos</p>					
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente: 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.			A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.  <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;"><b>vzmm.anuv.3xuv.wozp</b></p>		

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

		<b>Ministério do Meio Ambiente</b> <b>Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</b>			
<b>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL</b> <b>CERTIFICADO DE REGISTRO</b>					
Nr. Registro Atual:		Nr. Registro Anterior:		CPF/CNPJ:	
<b>272165</b>				<b>266.829.718-42</b>	
Válido até:					
<b>31/03/2007</b>					
Nome/Razão Social/Endereço					
<b>Maurício Person Lammardo</b> <b>R. Canuto Saraiva, 358 apto43</b> <b>Mooca</b> <b>SAO PAULO/SP</b> <b>03113-010</b>					
Este certificado comprova o registro no					
<b>Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</b>					
<b>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</b>					
Controle da Poluição Ecossistemas Terrestres e Aquáticos Gestão Ambiental Recursos Hídricos Qualidade da Água					
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente: 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.			A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.		
<b>Autenticação</b>  <b>clx5.4mzs.94nd.86s9</b>					

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 <b>Ministério do Meio Ambiente</b> <b>Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</b>			
<b>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL</b> <b>CERTIFICADO DE REGISTRO</b>			
Nr. Registro Atual:	Nr. Registro Anterior:	CPF/CNPJ:	Válido até:
<b>434253</b>		<b>281.684.768-32</b>	<b>31/03/2007</b>
Nome/Razão Social/Endereço <b>Rafael Bonanata da Rocha</b> <b>R. Barão de Campos Gerais, 63, ap. 51</b> <b>Real Parque</b> <b>SAO PAULO/SP</b> <b>05684-000</b>			
Este certificado comprova o registro no  <p style="text-align: center;"><b>Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</b></p> <p><b>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</b></p> Auditoria Ambiental Controle da Poluição Gestão Ambiental Qualidade da Água Ecossistemas Terrestres e Aquáticos Recursos Hídricos			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente: 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.  <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;"><b>u3g0.adh4.nsyb.57ay</b></p>	

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)