

ANEXO III

Modelagem de Descarte do Efluente da Unidade de Remoção de Sulfatos do FPSO Capixaba, no Campo Golfinho, Bacia do Espírito Santo

**Modelagem de Descarte do Efluente
da Unidade de Remoção de Sulfatos
do FPSO Capixaba, no Campo Golfinho,
Bacia do Espírito Santo**

**Revisão 00
Janeiro / 2006**



E&P

ÍNDICE GERAL

RESUMO	1
I INTRODUÇÃO	I-1
I.1 ÁREA DE ESTUDO.....	I-2
I.1.1 PADRÕES DE CIRCULAÇÃO NA REGIÃO.....	I-3
I.1.2 CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DA REGIÃO	I-4
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 DESCRIÇÃO DO MODELO PARALLEL OCEAN CIRCULATION MODEL	II-6
II.3 DOMÍNIO MODELADO E DADOS DE ENTRADA DO MODELO	II-6
II.3.1 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO E BATIMETRIA	II-6
II.3.2 DADOS DE VENTO E MARÉ.....	II-8
II.3.3 ESTRUTURA TERMOHALINA.....	II-9
III CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO	III-1
III.1 CALIBRAÇÃO PARA O NÍVEL DO MAR	III-2
III.2 CALIBRAÇÃO PARA AS CORRENTES	III-2
III.3 RESUMO DA BASE HIDRODINÂMICA UTILIZADA.....	III-6
IV CARACTERÍSTICAS DO DESCARTE DO EFLUENTE DA UNIDADE DE REMOÇÃO DE SULFATOS.....	IV-1
V MODELAGEM DO FATOR DE DILUIÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO	V-1
V.1 DESCRIÇÃO DO MODELO CORMIX.....	V-1
V.2 DADOS DE ENTRADA	V-2
V.3 RESULTADOS DA DILUIÇÃO DO CAMPO PRÓXIMO.....	V-4
VI MODELAGEM DA DISPERSÃO DO EFLUENTE DA UNIDADE DE REMOÇÃO DE SULFATOS NO CAMPO AFASTADO	VI-1
VI.1 DESCRIÇÃO DO MODELO CHEMMAP	VI-1
VI.2 DADOS DE ENTRADA	VI-3
VI.2.1 CAMPO DE CORRENTES.....	VI-3
VI.2.2 DADOS DE VENTO	VI-3

VI.2.3 CARACTERÍSTICAS DO DESCARTE.....	VI-5
VI.3 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS SIMULADOS	VI-5
VI.4 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS	VI-5
VII CONCLUSÕES	VII-1
VIII BIBLIOGRAFIA	VIII-1
IX EQUIPE TÉCNICA.....	IX-1

TABELAS

TABELA	PÁG.
Tabela II.2-1 - Resumo dos dados de entrada do <i>Parallel Ocean Climate Model</i> (POCM).	II-6
Tabela IV-1 - Parâmetros utilizados para a modelagem da pluma do efluente da unidade de remoção de sulfatos do FPSO Capixaba no Campo de Golfinho.	IV-1
Tabela V.2-1 - Valores do perfil médio de densidade para os períodos de verão e inverno, na região do FPSO Capixaba.	V-2
Tabela V.3-1 - Resultados das simulações do campo próximo para o FPSO Capixaba.	V-4
Tabela VI.2.2-1 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento para o ano de 1992, na Bacia de Campos.	VI-4

FIGURAS

FIGURA	PÁG.
Figura I.1-1 - Localização do ponto de descarte, no Campo de Golfinho, Bacia do Espírito Santo.	I-2
Figura I.1.2-1 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento à 10 m no período de verão.	I-5
Figura I.1.2-2 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento à 10 m no período de inverno.	I-5
Figura II.3.1-1 - Grade computacional utilizada nas simulações da circulação hidrodinâmica da Bacia do Espírito Santo.	II-7
Figura II.3.1-2 - Batimetria discretizada do domínio considerado na Bacia do Espírito Santo.	II-8
Figura II.3.3-1 - Campos termohalinos da Climatologia LEVITUS: (a) temperatura no verão; (b) temperatura no inverno; (c) salinidade no verão e (d) salinidade no inverno.	II-9
Figura III.1-1 - Série temporal de maré (azul) e a elevação calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 19 e 21 de agosto de 1992.	III-2
Figura III.2-1 - Séries temporais da elevação FEMAR (azul) e das componentes u (E-W) e v (N-S) dos dados PETROBRAS (azul) e as reproduzidas pelo modelo (vermelho).	III-3
Figura III.2-2 - Espectros de amplitude das componentes u (E-W) (azul) e v (N-S) (vermelho) dos dados de corrente da PETROBRAS.	III-3
Figura III.2-3 - Séries temporais do sinal de baixa frequência das componentes u (E-W) e v (N-S) dos dados de corrente da PETROBRAS (azul) e as calculadas pelo modelo (vermelho), entre os dias 14 e 19 de agosto de 1992.	III-4
Figura III.2-4 - Séries temporais do sinal de baixa frequência das componentes u (E-W) e v (N-S) dos dados PETROBRAS (azul) e calculada pelo modelo (vermelho), entre os dias 22 de julho e 2 de setembro de 1992, utilizados na calibração da corrente média residual.	III-5
Figura III.3-1 - Exemplo ilustrativo de campo de velocidades obtidos com o modelo hidrodinâmico no ano de 1992.	III-6
Figura V.2-1 - Secção vertical de densidade (kg/m^3) ao longo de $19,9^\circ\text{S}$, período de verão. Dados provenientes do Atlas do WOCE.	V-3
Figura V.2-2 - Secção vertical de densidade (kg/m^3) ao longo de $19,9^\circ\text{S}$, período de inverno. Dados provenientes do Atlas do WOCE.	V-3

FIGURA	PÁG.
Figura VI.2.2-1 - Diagrama de dispersão do vento para o ano de 1992, na Bacia de Campos.	VI-4
Figura VI.4-1 - Média das máximas concentrações esperadas ($\mu\text{g/L}$) para a pluma de ANTICHLOR, simulada no período de verão (janeiro a março), após 24 horas, para o FPSO Capixaba no Campo de Golfinho.	VI-6
Figura VI.4-2 - Média das máximas concentrações esperadas ($\mu\text{g/L}$) para a pluma de ANTICHLOR, simulada no período de inverno (junho a agosto), após 24 horas, para o FPSO Capixaba no Campo de Golfinho.	VI-7
Figura VI.4-3 - Média das máximas concentrações esperadas ($\mu\text{g/L}$) para a pluma de VITEC 3.000, simulada no período de verão (janeiro a março), após 24 horas, para o FPSO Capixaba no Campo de Golfinho.	VI-8
Figura VI.4-4 - Média das máximas concentrações esperadas ($\mu\text{g/L}$) para a pluma de VITEC 3.000, simulada no período de inverno (junho a agosto), após 24 horas, para o FPSO Capixaba no Campo de Golfinho.	VI-9

RESUMO

Este relatório apresenta os resultados das simulações numéricas do processo de dispersão da pluma proveniente do descarte do efluente da unidade de remoção de sulfatos do FPSO Capixaba, no Campo de Golfinho, Bacia do Espírito Santo.

A caracterização dos padrões de circulação na região foi obtida a partir da combinação dos resultados de dois modelos. O primeiro, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), implementado para simular as condições na plataforma continental, e o segundo baseado no *Parallel Ocean Climate Model* (POCM) para simular as condições no talude continental e oceano profundo.

Para simular a dispersão da pluma do efluente 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 (margens). Com os resultados das simulações é possível determinar a probabilidade de ocorrência e a concentração dos compostos químicos considerados.

Para a determinação da área de influência do descarte foram conduzidas simulações probabilísticas (campo afastado), considerando a variação sazonal das forçantes meteorológicas e oceanográficas, sendo selecionados para isso os períodos de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto). Para esses períodos, foram realizadas simulações com duração de 24 horas, utilizando a vazão de 310 m³/h. Neste estudo foi simulado o descarte do efluente contendo os produtos Antichlor e Vitec 3.000, comercializados pela Avista Technologies, representada no Brasil pela AcquaLease.

Os resultados deste trabalho mostram que, as maiores concentrações de calculadas correspondem a uma diluição de mais de 3.000 vezes a concentração inicial de 15 ppm (15.000 µg/L) de Antichlor e de 3 ppm (3.000 µg/L) de Vitec 3.000.

I INTRODUÇÃO

Com o objetivo de dar suporte a PETROBRAS no desenvolvimento de Estudos Ambientais na Bacia do Espírito Santo, apresenta-se neste trabalho a modelagem computacional da diluição e dispersão do efluente da unidade de remoção de sulfatos do FPSO Capixaba. Esse efluente é composto de água do mar misturada com os produtos Antichlor e Vitec 3.000. Esta avaliação foi conduzida dividindo o processo em campo próximo e campo afastado. O campo próximo foi simulado utilizando-se o modelo CORMIX¹ 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.

Para a modelagem de transporte e dispersão do efluente foram utilizados dados de vento obtidos da bóia oceanográfica da PETROBRAS localizada no Campo de Albacora, nas coordenadas 22°30'S e 40°W. 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), para simular as condições na plataforma continental, e resultados do *Parallel Ocean Climate Model* (POCM) para simular as condições no talude continental e oceano profundo.

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 o Capítulo III apresenta a calibração do mesmo. No Capítulo IV são apresentadas as características do descarte de Antichlor e de Vitec 3.000.

¹ *Cornell Mixing Zone Expert System.*

No Capítulo V é apresentada a modelagem do fator de diluição do campo próximo. O Capítulo VI descreve o modelo CHEMMAP e os resultados das simulações no campo afastado. Por fim, o Capítulo VII discute os resultados obtidos neste estudo.

I.1 ÁREA DE ESTUDO

As simulações da dispersão do efluente contendo Antichlor e Vitec 3.000 no Campo de Golfinho foram realizadas a partir do FPSO Capixaba (figura I.1-1), cujas coordenadas foram especificadas pela PETROBRAS como 20°00'11,33"S e 39°33'25,73"W (SAD69). Esse ponto está localizado a, aproximadamente, 56 km da costa do Espírito Santo.

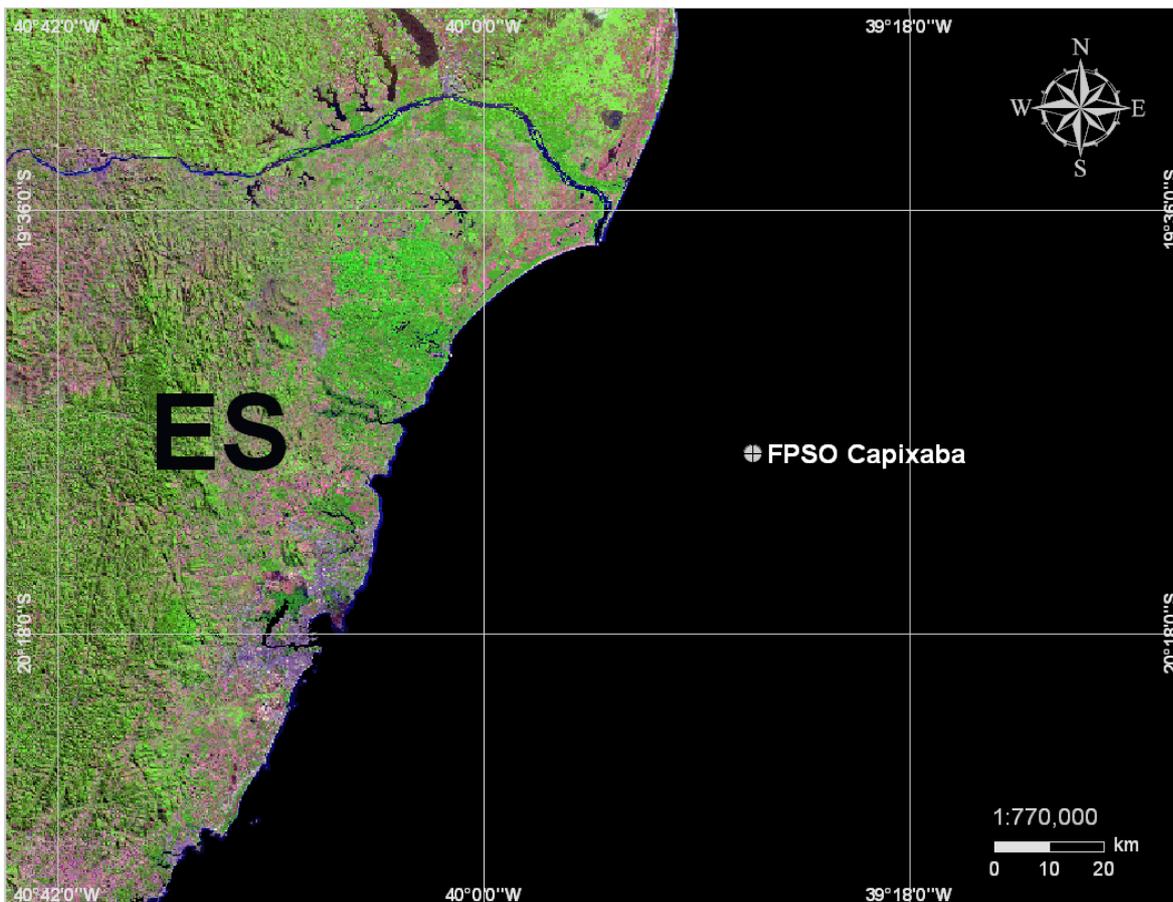


Figura I.1-1 - Localização do ponto de descarte, no Campo de Golfinho, Bacia do Espírito Santo.

I.1.1 Padrões de Circulação na Região

A circulação oceânica nesta área é determinada por forçantes variadas, que se sobrepõem de modo diferenciado, dependendo de fatores morfológicos e dinâmicos locais. Sobre a plataforma há amplificação natural do sinal de maré e intensificação dos padrões meteorológicos locais, *i.e.*, brisa marinha. Sobreposto a estes sinais existe a presença energética da passagem de frentes, com pronunciada causalidade remota. No oceano profundo a composição da passagem de frentes e do fluxo determinado pela Corrente do Brasil (CB) é preponderante. Considerando-se o relativo conhecimento existente sobre a circulação da maré na região, o principal padrão no oceano a ser descrito é a CB.

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), enquanto o outro flui seguindo a linha de quebra da plataforma (Signorini, 1978).

As primeiras medições diretas 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 a formação de vórtices e meandros. 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).

Imagens AVHRR, usadas por Garfield (1990), indicam um padrão de meandramento regular entre o Cabo de São Tomé e Cabo Frio, com a separação ocasional de vórtices ciclônicos. Nos primeiros 100 m da coluna d'água, em algumas regiões sobre o talude continental, a velocidade da corrente pode chegar a 1,0 m/s (Castro & Miranda, 1998).

A corrente que flui para sudoeste durante o verão é reforçada pelos ventos predominantes, que provêm principalmente de nordeste nessa estação, devido à influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). 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). Outra consequência do predomínio dos ventos de NE é a “ressurgência” de águas frias (ACAS) em regiões costeiras. Esses eventos são muito comuns na região de Cabo Frio.

1.1.2 Características Meteorológicas da Região

A circulação atmosférica de baixos níveis na região sudeste do Brasil é dominada pela ação da ASAS, pela passagem de sistemas frontais sobre a região e por circulações locais.

A variabilidade sazonal do padrão de ventos na região sudeste devido ao deslocamento da ASAS é caracterizado pelo predomínio de ventos de nordeste no verão e ventos de leste no inverno. Este padrão é ilustrado na figura I.1.2-1 e na figura I.1.2-2, 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 NCEP². 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.

Os sistemas frontais atuam durante o ano todo sobre o Brasil com frequências maiores nas latitudes mais altas e menores nas latitudes mais baixas, como se pode notar no estudo de Oliveira (1986). 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.*, são regiões onde as frentes podem se intensificar ou se formar (Satyamurty & Mattos, 1989). Em meso e micro escalas, o escoamento de baixos níveis sobre a

² National Centers for Environmental Prediction.

plataforma continental está fortemente influenciado pelo efeito de circulações termicamente induzidas (brisas marinha e terrestre).

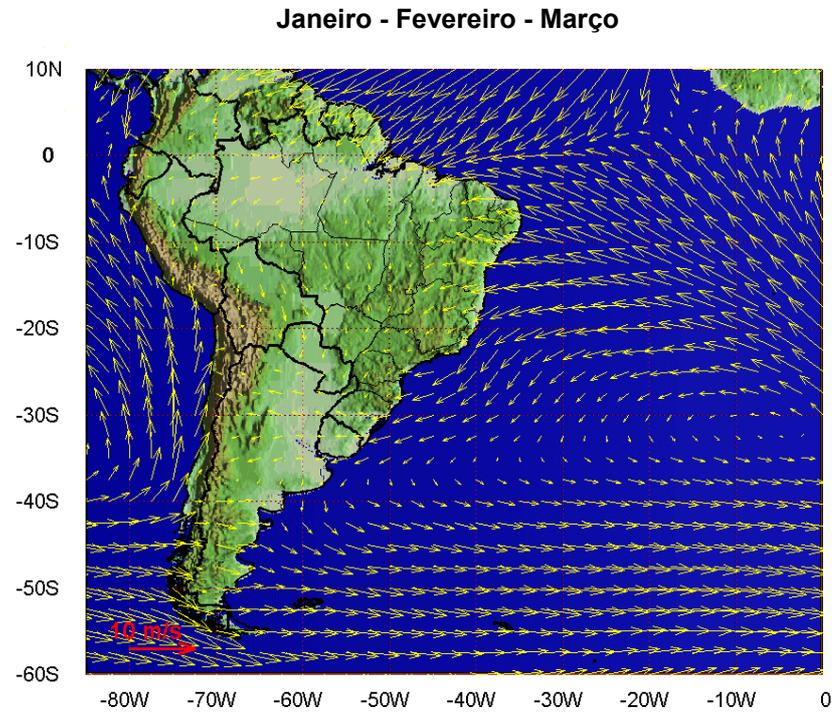


Figura I.1.2-1 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento à 10 m no período de verão.

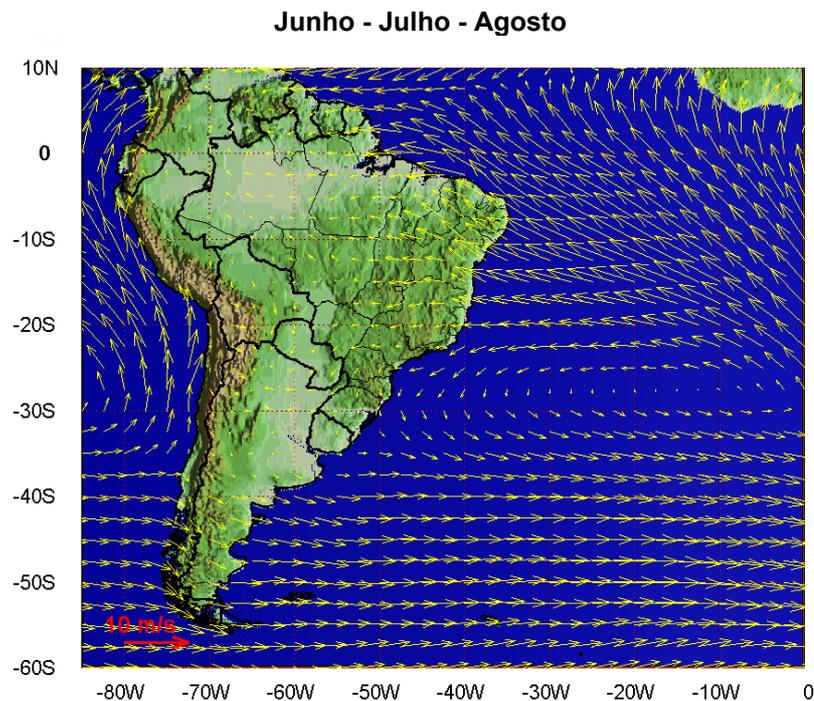


Figura I.1.2-2 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento à 10 m no período de inverno.

II MODELO HIDRODINÂMICO

Nesta etapa do trabalho foi implementada uma estrutura numérica (*i.e.* modelos hidrodinâmicos) visando simular o campo de correntes na plataforma e talude continentais da costa sul-sudeste brasileira, englobando as Bacias do Espírito Santo, Campos e Santos. Neste intuito, foi utilizado o código baseado no POM para simular as condições na plataforma continental e resultados do POCM para simular as condições no talude continental e oceano profundo.

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, obtido via Internet no endereço: www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom.

A formulação deste modelo possui estrutura tridimensional, não linear, com as equações hidrodinâmicas escritas na forma de fluxo, sob as aproximações de Boussinesq e hidrostáticas. Este modelo permite também a utilização de grades curvilíneas, de coordenadas σ na vertical e a resolução das camadas turbulentas de superfície e de fundo, por meio de um submodelo de fechamento turbulento de 2ª ordem.

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

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

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 (η).

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:

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

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:

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

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,

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

$$(L)^{-1} \equiv (\eta - z)^{-1} + (H + z)^{-1} \quad (\text{II.1.1-11})$$

$$\tilde{W} \equiv 1 + E_2 \left(\frac{l}{kL} \right)^2 \quad (\text{II.1.1-12})$$

onde

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

F = parâmetro de Coriolis (s^{-1});

ρ_0 = densidade de referência (kg/m^3);

ρ = 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);

Θ = 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 e sal (m^2/s);

$q^2 / 2$ = 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. 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, η é a elevação do nível do mar e B , um coeficiente, empírico. Nos casos da temperatura e da salinidade, disponibiliza-se esquema que permita advecção através da fronteira, condição esta descrita por:

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

II.2 DESCRIÇÃO DO MODELO PARALLEL OCEAN CIRCULATION MODEL

O modelo hidrodinâmico utilizado para fornecer o campo de correntes ao largo do talude foi o POCM, desenvolvido pelo Office of Naval Research dos Estados Unidos. Este modelo utiliza como forçantes fluxos de calor e ventos gerados pelo ECMWF³.

O modelo POCM é considerado pela comunidade oceanográfica do WOCE⁴ o mais sofisticado para descrever a circulação oceânica, sendo capaz de reproduzir os fluxos da CB que afetam diretamente a Bacia do Espírito Santo. A tabela II.2-1 apresenta um resumo dos dados de entrada utilizados pelo modelo POCM.

O modelo POCM apresenta uma resolução global média de 0,25° e já foi utilizado em vários artigos publicados, como em Tokmakian & Challenor (1999).

Tabela II.2-1 - Resumo dos dados de entrada do Parallel Ocean Climate Model (POCM).

DADOS DE ENTRADA	DESCRIÇÃO
Fluxos de Calor	Dados de reanálise do ECMWF.
Ventos	Dados de reanálise do ECMWF.
Temperatura e Salinidade da água	Interpolados da Climatologia LEVITUS ⁵ , e depois simulado por um período de 33 anos para ajuste dos campos termohalinos

II.3 DOMÍNIO MODELADO E DADOS DE ENTRADA DO MODELO

II.3.1 Discretização do Domínio e Batimetria

A grade final gerada para a região da Bacia do Espírito Santo possui dimensão horizontal máxima de 70x100 pontos, com resolução média de aproximadamente 3.000 m (figura II.3.1-1). A grade geral implementada

³ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.

⁴ World Ocean Circulation Experiment.

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

representou um compromisso entre os objetivos do projeto, a capacidade computacional para o período de execução do modelo e a descrição dos processos hidrodinâmicos relevantes para a região de interesse (forçantes de maré e ventos sobre a plataforma continental, e Corrente do Brasil no talude continental).

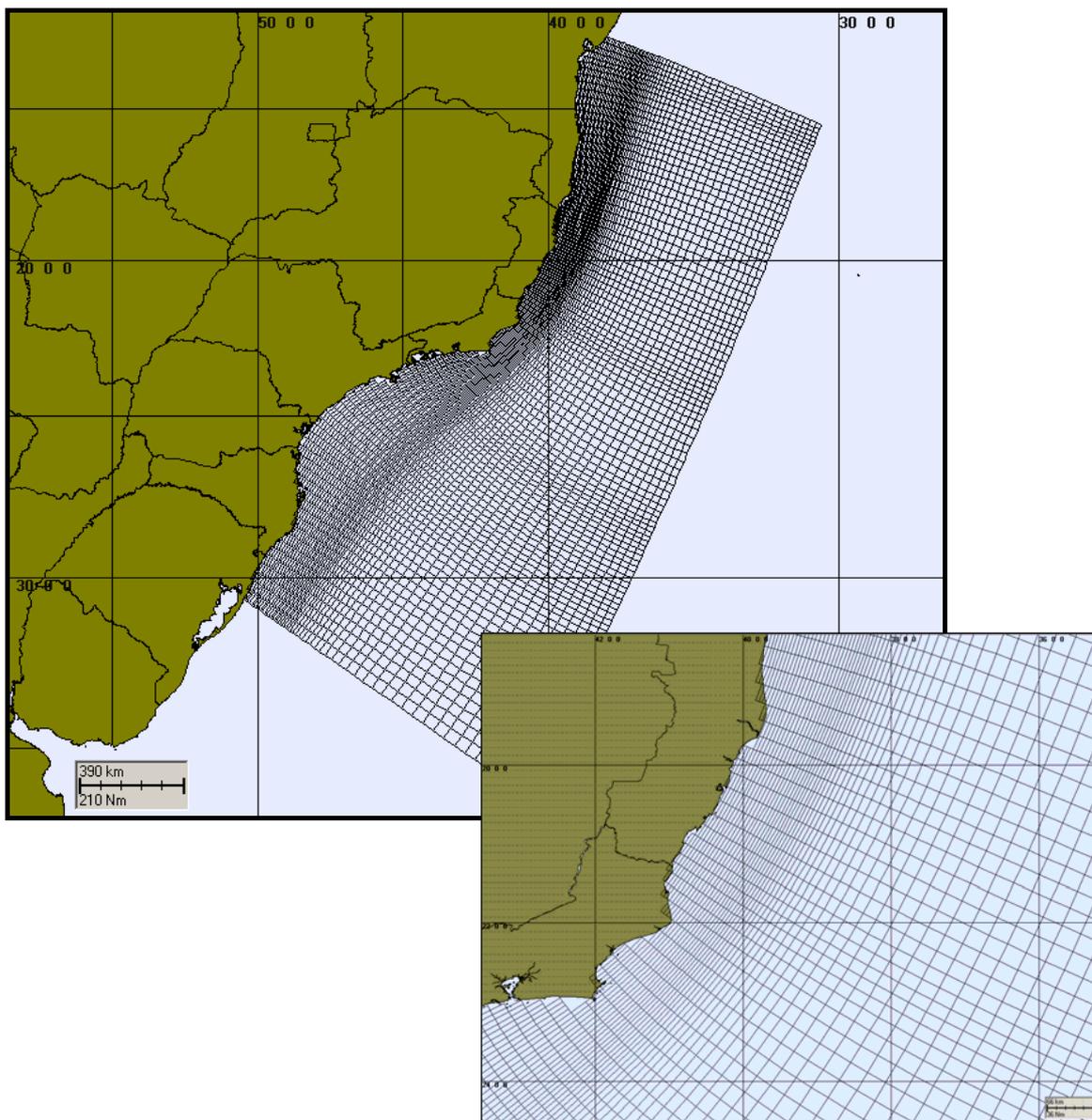


Figura II.3.1-1 - Grade computacional utilizada nas simulações da circulação hidrodinâmica da Bacia do Espírito Santo.

Em relação a discretização da batimetria no domínio modelado, agregam-se às características dinâmicas e morfológicas locais, questões relacionadas à

ausência e/ou baixa qualidade de dados batimétricos/altimétricos da região. Em regiões não hidrografadas ou com baixa qualidade/resolução nos dados foram usados recursos como o georreferenciamento de fotos de satélite, relatos de navegantes, entre outros, para complementar os níveis requeridos à base de dados da **ASA SOUTH AMERICA** na região, visando o ajuste fino da batimetria à linha de costa (figura II.3.1-2).

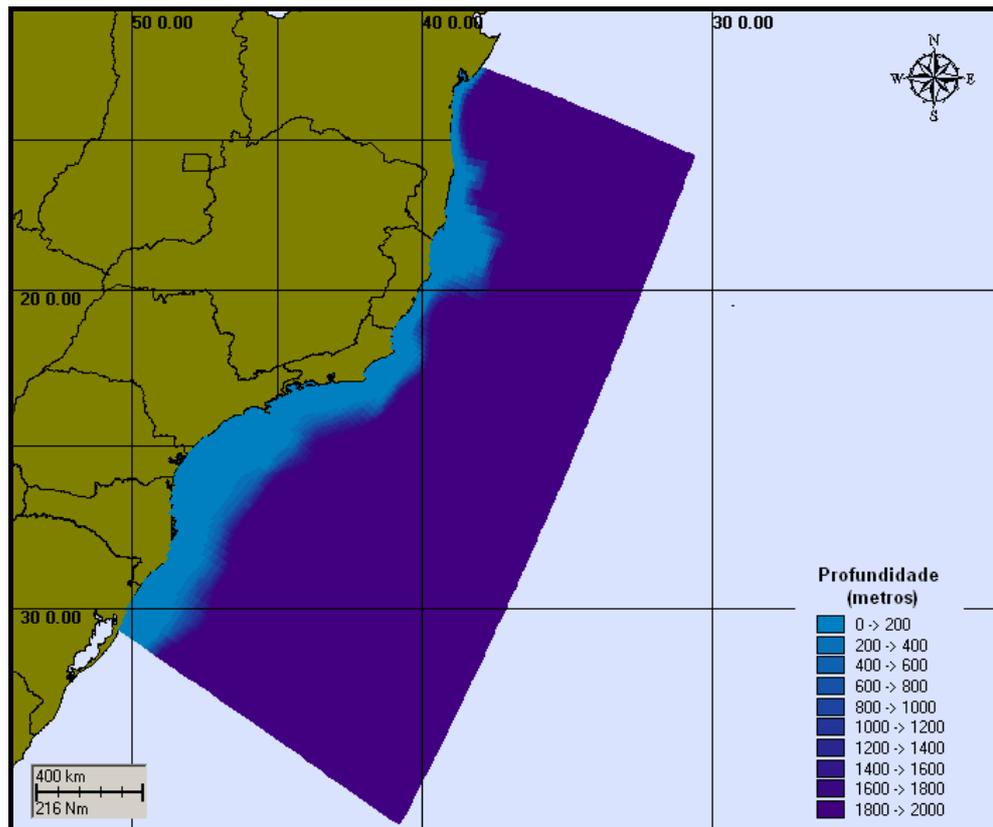


Figura II.3.1-2 - Batimetria discretizada do domínio considerado na Bacia do Espírito Santo.

II.3.2 Dados de Vento e Maré

A modelagem hidrodinâmica utilizou dados de vento provenientes de reanálises do NCEP para o ano de 1992, interpolados na grade.

O campo de elevação do nível do mar foi incorporado ao modelo hidrodinâmico, utilizando-se como forçante nos contornos os dados do modelo global de maré do Center for Space Research da Universidade do Texas - CSR3.

II.3.3 Estrutura Termohalina

Os campos de temperatura e salinidade usados para inicialização do campo baroclínico do POCM foram obtidos através da Climatologia LEVITUS. A figura II.3.3-1 ilustra estes dados para a superfície, nos períodos de verão e inverno.

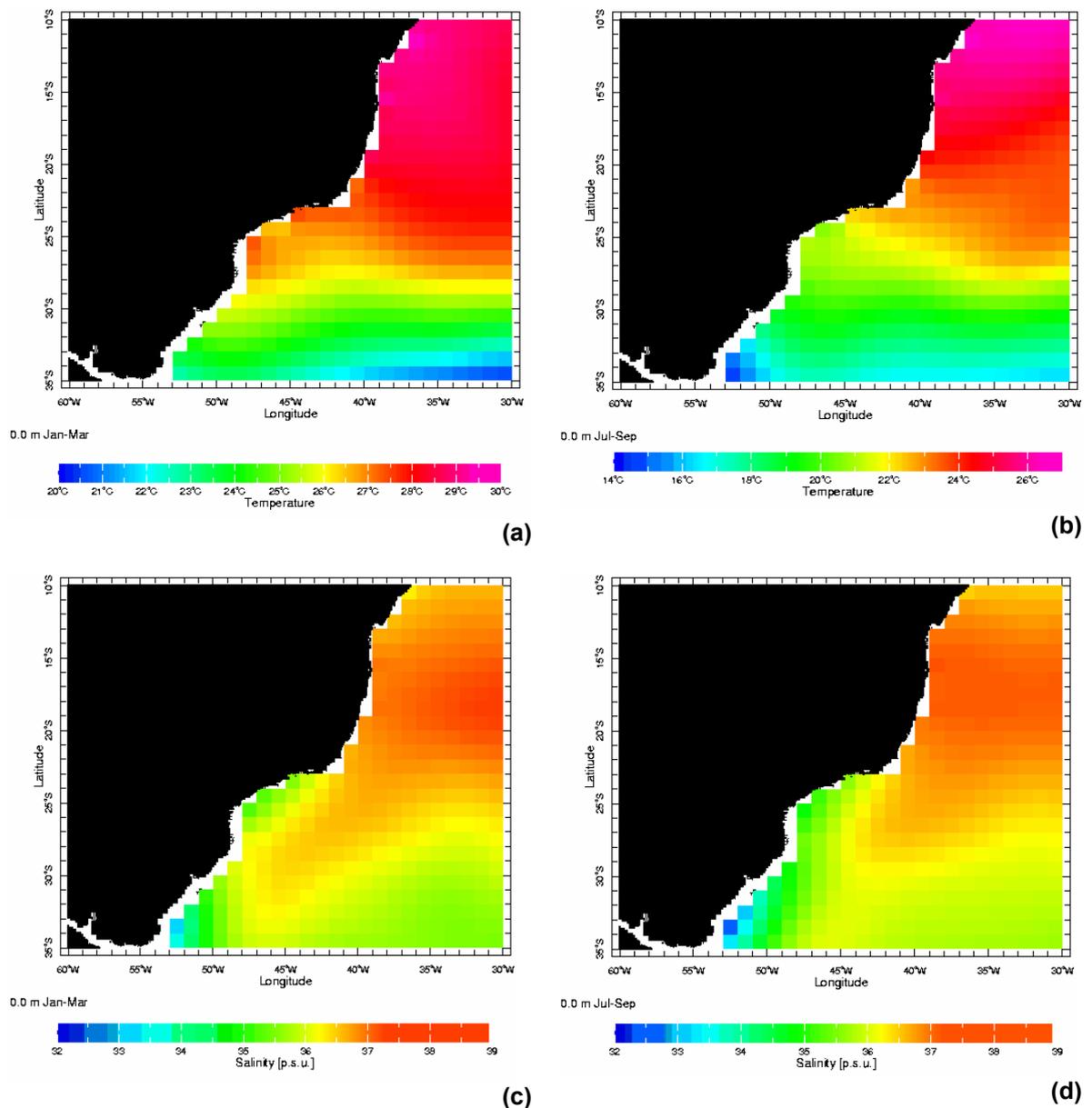


Figura II.3.3-1 - Campos termohalinos da Climatologia LEVITUS: (a) temperatura no verão; (b) temperatura no inverno; (c) salinidade no verão e (d) salinidade no inverno.

III CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO

Para comparação com os resultados do modelo foram selecionados dados de corrente coletados no Ponto C (PC), na Bacia de Campos, cujas coordenadas são 22°43'0,12"S e 41°16'0,12"W, pertencentes ao banco de dados da PETROBRAS. Esses dados abrangem o período compreendido entre 12 de julho e 2 de setembro de 1992.

Para a calibração do nível do mar foi utilizada uma série obtida através de reconstituição harmônica, a partir de constantes fornecidas pela FEMAR⁶ (2000) para a região do Cabo de São Tomé, nas coordenadas 22°07'42"S e 41°03'12"W.

Para a calibração do modelo foi adotada a seguinte metodologia: (1) como no sinal de corrente a energia contida na baixa frequência corresponde a 83,6% da energia da corrente total, optou-se por inicialmente verificar o ajuste do modelo para a baixa frequência; (2) a seguir, verificou-se o erro percentual para a corrente residual média (comparação entre as médias) e, finalmente, (3) verificou-se o ajuste do modelo para a alta frequência associada aos períodos de maré.

Por baixa frequência entendemos os sinais com período acima de 25 horas, incluindo assim a influência de sistemas frontais, e por alta os sinais com período entre 11 e 13 horas, sendo influenciados, principalmente, pela componente de maré.

O coeficiente de ajuste para as séries 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:

$$\frac{RMS}{\bar{A}} \quad (III.1)$$

onde

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

e \bar{A} é o domínio médio do dado, P = previsão e O = observação.

⁶ Fundação de Estudos do Mar.

III.1 CALIBRAÇÃO PARA O NÍVEL DO MAR

Para a calibração do nível do mar, foi realizada uma previsão a partir da tabela de constantes harmônicas da FEMAR para o Cabo de São Tomé. O coeficiente de ajuste obtido para o período de 19 a 21 de agosto de 1992 (figura III.1-1) foi de 13,70%, segundo a equação III.1.

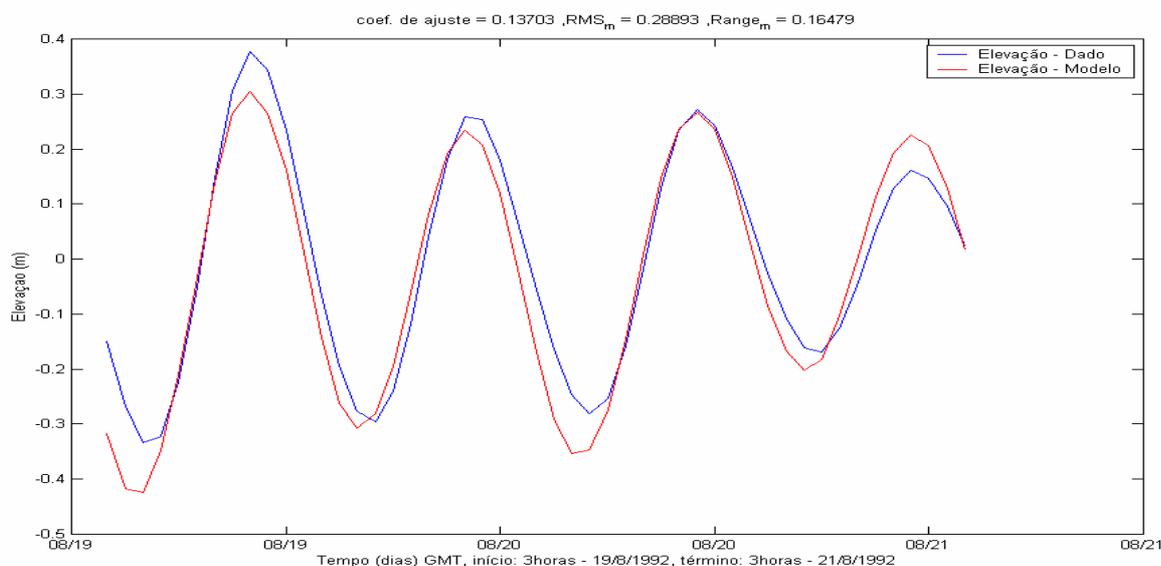


Figura III.1-1 - Série temporal de maré (azul) e a elevação calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 19 e 21 de agosto de 1992.

III.2 CALIBRAÇÃO PARA AS CORRENTES

Estão reproduzidas, na figura III.2-1, as séries temporais dos dados *versus* os resultados do modelo. São apresentados os campos de corrente (componentes u (E-W) e v (N-S)) e, também, a comparação dos resultados de elevação do modelo e a recomposição harmônica da maré.

Especificamente no ponto de medição (PC), o sinal da corrente de baixa frequência, associada à passagem de sistemas frontais, contém 83,6% da energia total do sinal. Sinais de alta frequência (maré semidiurna) são menos intensos em águas profundas, como pode ser observado na figura III.2-2.

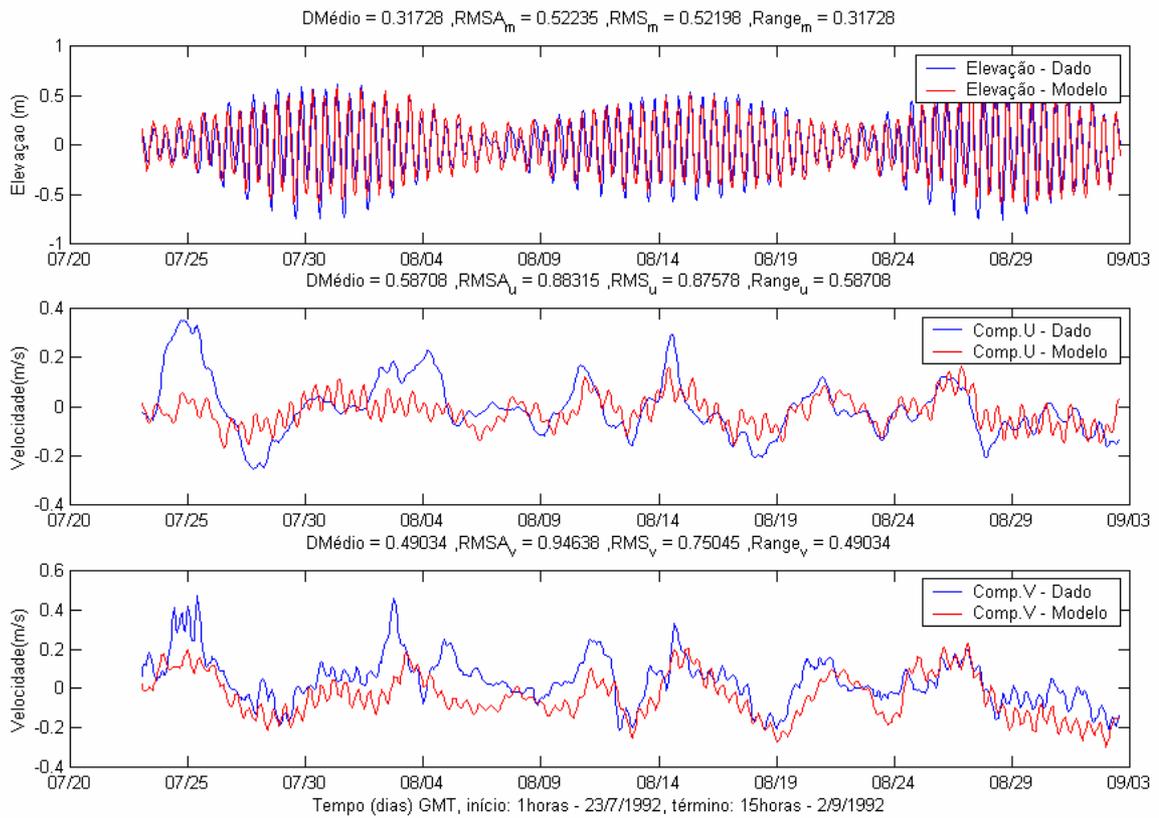


Figura III.2-1 - Séries temporais da elevação FEMAR (azul) e das componentes u (E-W) e v (N-S) dos dados PETROBRAS (azul) e as reproduzidas pelo modelo (vermelho).

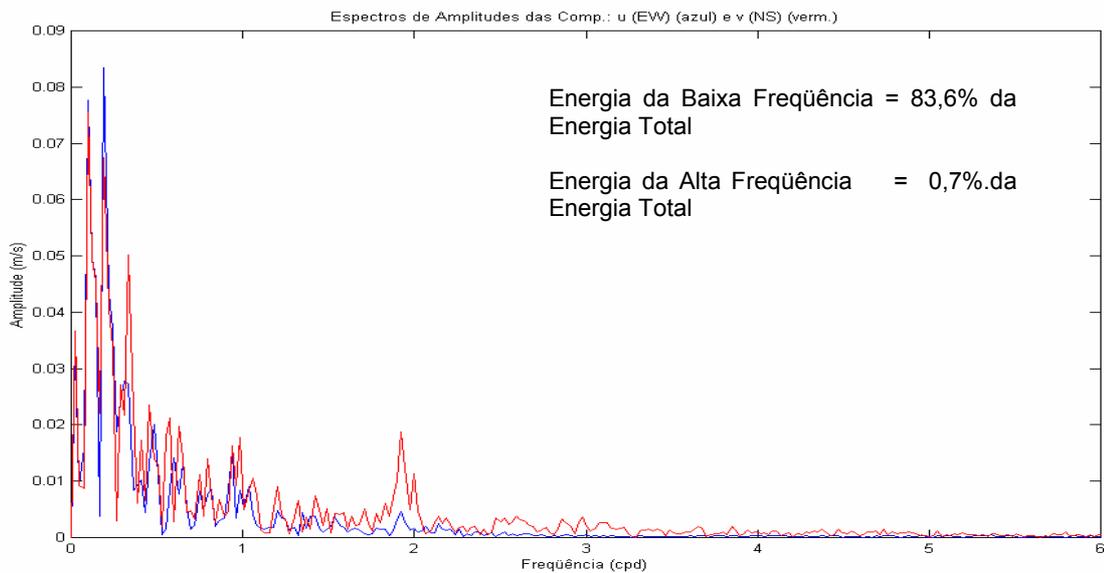
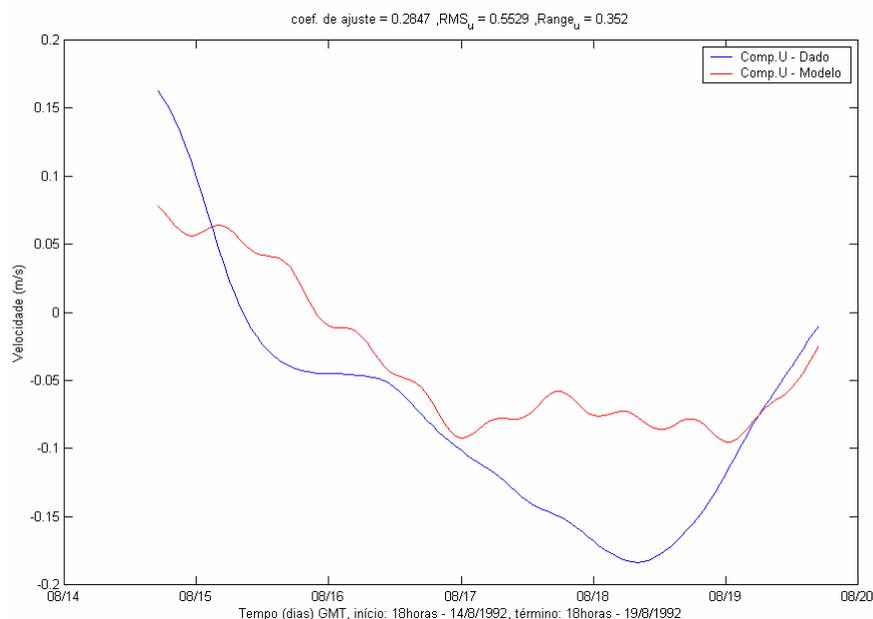
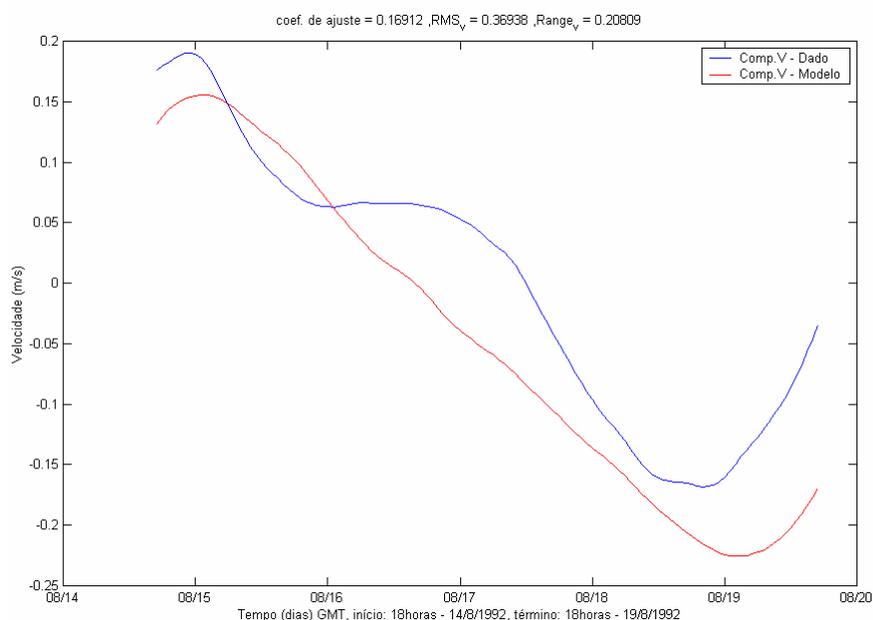


Figura III.2-2 - Espectros de amplitude das componentes u (E-W) (azul) e v (N-S) (vermelho) dos dados de corrente da PETROBRAS.

Deste modo, priorizou-se o ajuste do modelo na baixa frequência. Os coeficientes de ajuste (equação III.1) foram de 28,47% para a componente u e 16,91% para a componente v , considerando o período de 5 dias compreendido entre 14 e 19 de agosto de 1992 às 18 horas (figura III.2-3).



(a)



(b)

Figura III.2-3 - Séries temporais do sinal de baixa frequência das componentes u (E-W) e v (N-S) dos dados de corrente da PETROBRAS (azul) e as calculadas pelo modelo (vermelho), entre os dias 14 e 19 de agosto de 1992.

Na calibração do modelo para a corrente residual média considerou-se a diferença entre a corrente residual média do modelo e dos dados (para o período que se dispunha de dados), e calculou-se o erro percentual relativo à corrente média residual dos dados. Os ajustes obtidos foram de 1,46% para a componente zonal e 7,67% para a meridional. Tal resultado encontra-se ilustrado na figura III.2-4.

Embora com baixa energia relativa neste ponto, observa-se presença significativa do sinal da maré nos dados fornecidos. Para validar o modelo também nessa frequência, foram isolados os sinais de alta frequência (marés) dos dados e do modelo. A comparação para um período de 48 horas, compreendido entre 19 e 21 de agosto de 1992 às 3 horas, forneceu um coeficiente de ajuste de 24,18% para a componente zonal e 18,47% para a componente meridional, conforme a equação III.1.

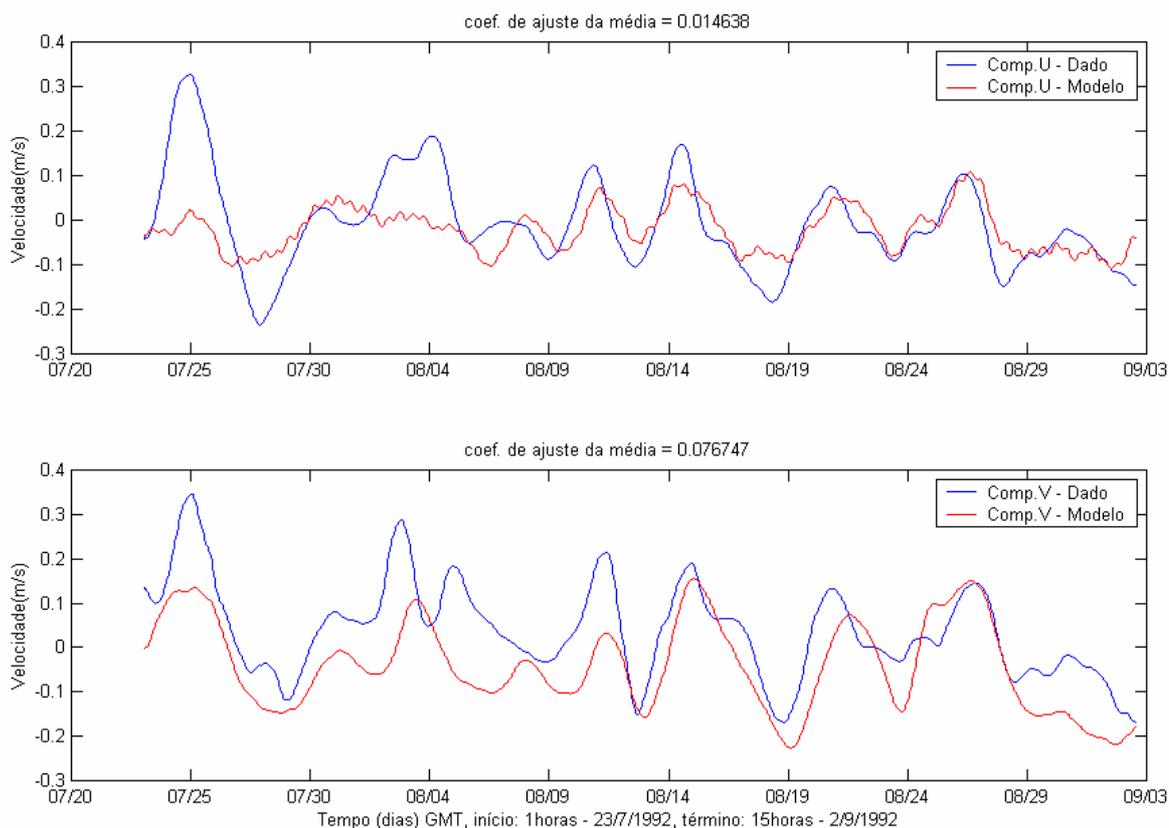


Figura III.2-4 - Séries temporais do sinal de baixa frequência das componentes u (E-W) e v (N-S) dos dados PETROBRAS (azul) e calculada pelo modelo (vermelho), entre os dias 22 de julho e 2 de setembro de 1992, utilizados na calibração da corrente média residual.

III.3 RESUMO DA BASE HIDRODINÂMICA UTILIZADA

Os resultados obtidos através da simulação numérica na Bacia do Espírito Santo encontram-se resumidamente representados na figura III.3-1, que apresenta um instantâneo da corrente de superfície no período considerado para as simulações com o CHEMMAP.

Estes resultados consideram as principais forçantes locais e remotas que apresentam influência significativa nos padrões de circulação observados sobre a plataforma continental e em oceano profundo.

Eles são resumidos basicamente pelas forçantes de bordas artificiais – maré e campos médios de velocidade (efeito remoto) – e sobre o domínio completo, *i.e.* vento (superfície), campo termohalino (na coluna d'água).

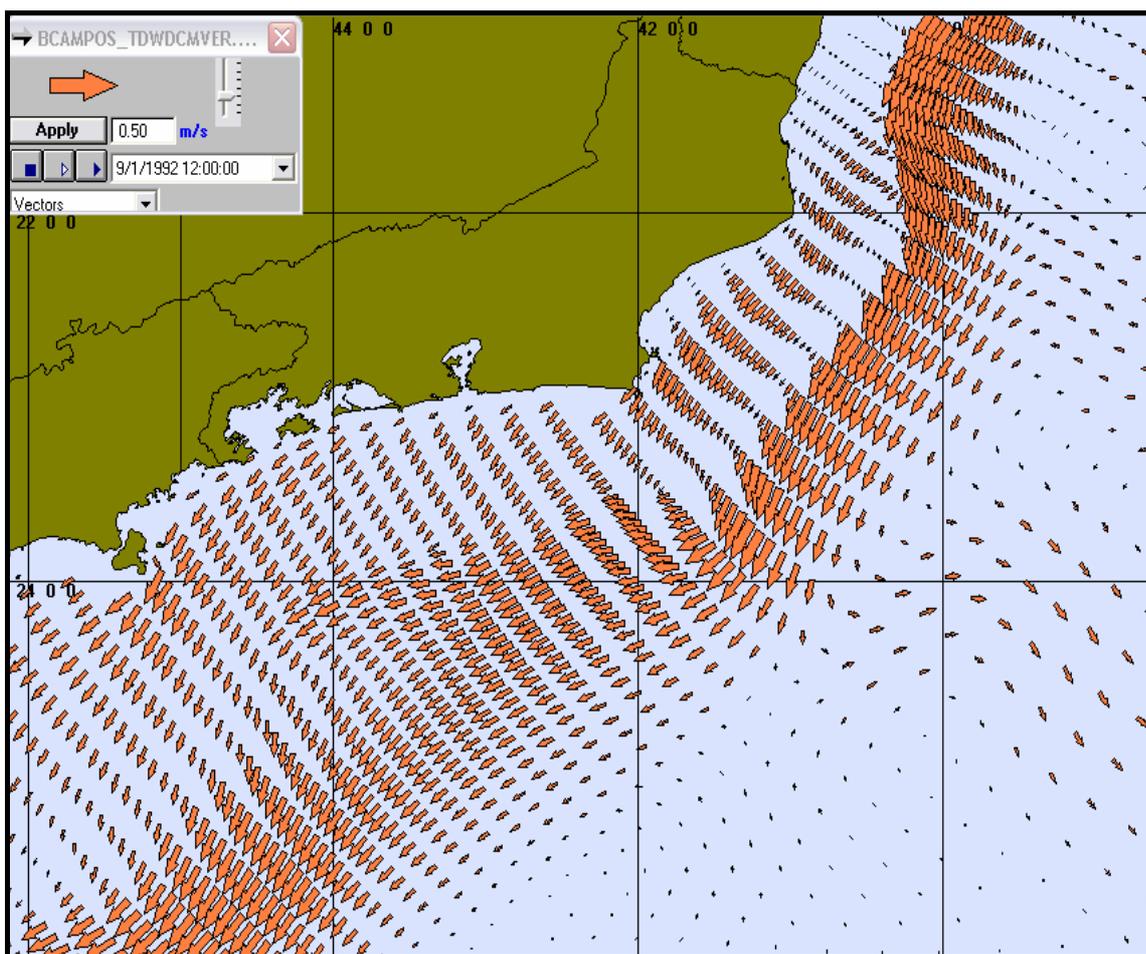


Figura III.3-1 - Exemplo ilustrativo de campo de velocidades obtidos com o modelo hidrodinâmico no ano de 1992.

IV CARACTERÍSTICAS DO DESCARTE DO EFLUENTE DA UNIDADE DE REMOÇÃO DE SULFATOS

Na tabela IV-1 são apresentadas as características do descarte de efluente da unidade de remoção de sulfatos do FPSO Capixaba, no Campo de Golfinho, contendo Antichlor e Vitec 3.000. O Antichlor consiste em um seqüestrante de cloro à base de sais de sulfito. O Vitec 3.000, por sua vez, consiste em inibidor de incrustação à base de sal de ácido fosfórico, hidróxidos alcalinos e ácidos fosfônico, aminotrialkilfosfônico e inorgânico. Como a empresa que comercializa esses produtos não dispõe de todas as propriedades físico-químicas necessárias para a modelagem, nas simulações de Antichlor e Vitec 3.000, foram utilizadas as propriedades conhecidas dos produtos, fornecidas pela PETROBRAS, acrescidas das propriedades de sulfito de sódio e de fosfato de sódio, presentes em maior proporção nestes dois produtos, respectivamente.

O efluente será continuamente descartado, com uma vazão de 310 m³/h, através de uma tubulação de 0,508 m, posicionada a, aproximadamente, 5,5 m acima da superfície, em local com lâmina d'água de 1.340 m. A densidade do efluente é de 1.028,52 kg/m³. O Antichlor e o Vitec 3.000 são descartados nas concentrações de 15 mg/L e de 3 mg/L, respectivamente.

Tabela IV-1 - Parâmetros utilizados para a modelagem da pluma do efluente da unidade de remoção de sulfatos do FPSO Capixaba no Campo de Golfinho.

PARÂMETROS PARA MODELAGEM DA PLUMA	
Diâmetro da tubulação	2"
Orientação da tubulação	vertical
Posição do ponto de descarte	20°00'11,33"S e 39°33'25,73"W
Profundidade local no ponto de descarte*	1.340 m
Altura do descarte	5,5 m
Vazão do efluente	310 m ³ /h
Densidade do efluente	1.028,51 kg/m ³
Concentração de lançamento	15 mg/L (Antichlor) 3 mg/L (Vitec 3.000)

V 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.

V.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 Antichlor e Vitec 3.000 na Bacia do Espírito Santo. 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.

V.2 DADOS DE ENTRADA

As simulações foram divididas entre os períodos de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto), de forma a reproduzir a variabilidade sazonal das forçantes meteorológicas e oceanográficas na região de estudo. O campo de correntes utilizados para as simulações do comportamento da pluma do efluente no campo próximo foi obtido a partir do modelo hidrodinâmico apresentado no Capítulo II. No ponto de descarte, a intensidade média da corrente é de 0,12 m/s para o período de verão e de 0,09 m/s no inverno.

As características, do descarte e do efluente que será descartado, utilizadas nas simulações do campo próximo, encontram-se descritas no Capítulo IV.

As figuras V.2-1 e V.2-2 apresentam o campo de densidade médio da água do mar (seção na latitude 19,9°S) calculado para o verão e o inverno, com base em dados de temperatura e salinidade obtidos do Atlas Eletrônico do WOCE⁷. Estes dados foram analisados, filtrados e interpolados no espaço. A tabela V.2-1 mostra os valores de densidade, extraídos para a posição do FPSO Capixaba, utilizados como dados de entrada no CORMIX.

Tabela V.2-1 - Valores do perfil médio de densidade para os períodos de verão e inverno, na região do FPSO Capixaba.

PROFUNDIDADE (m)	DENSIDADE (Kg/m ³)	
	VERÃO	INVERNO
0	1.023,90	1.024,78
10	1.024,04	1.024,84
25	1.024,20	1.025,06
50	1.024,89	1.025,46
100	1.025,99	1.026,22
200	1.027,19	1.027,31
500	1.029,13	1.028,99
1.000	1.031,91	1.032,14

⁷ World Ocean Circulation Experiment – II.

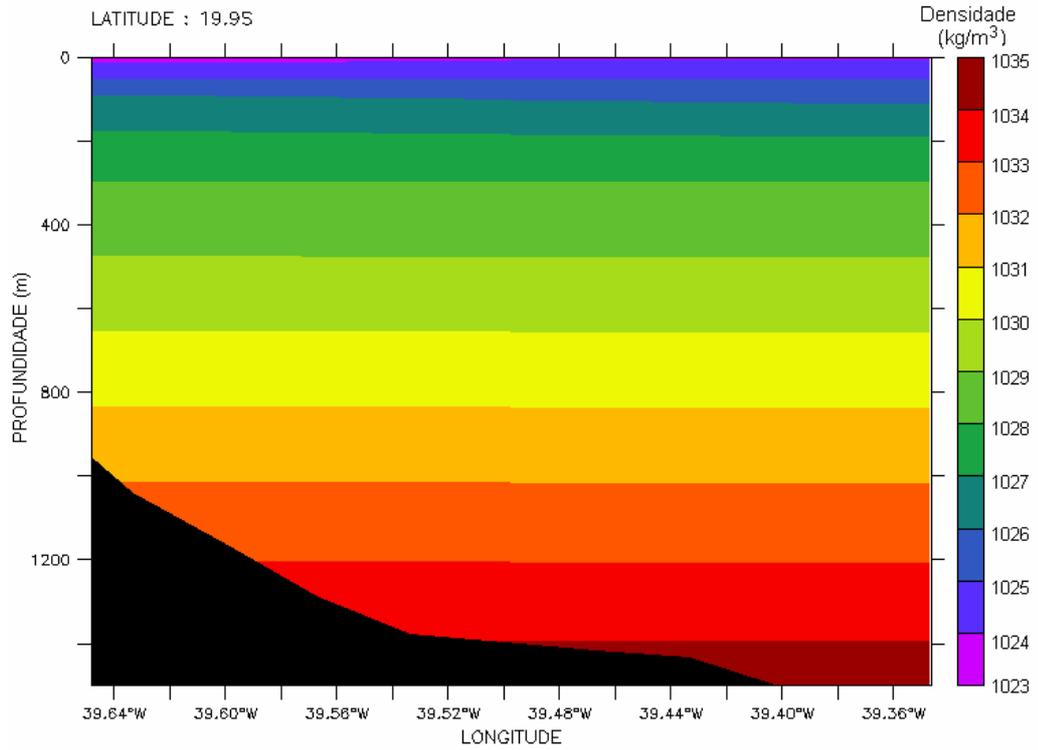


Figura V.2-1 - Secção vertical de densidade (kg/m^3) ao longo de 19,9°S, período de verão. Dados provenientes do Atlas do WOCE.

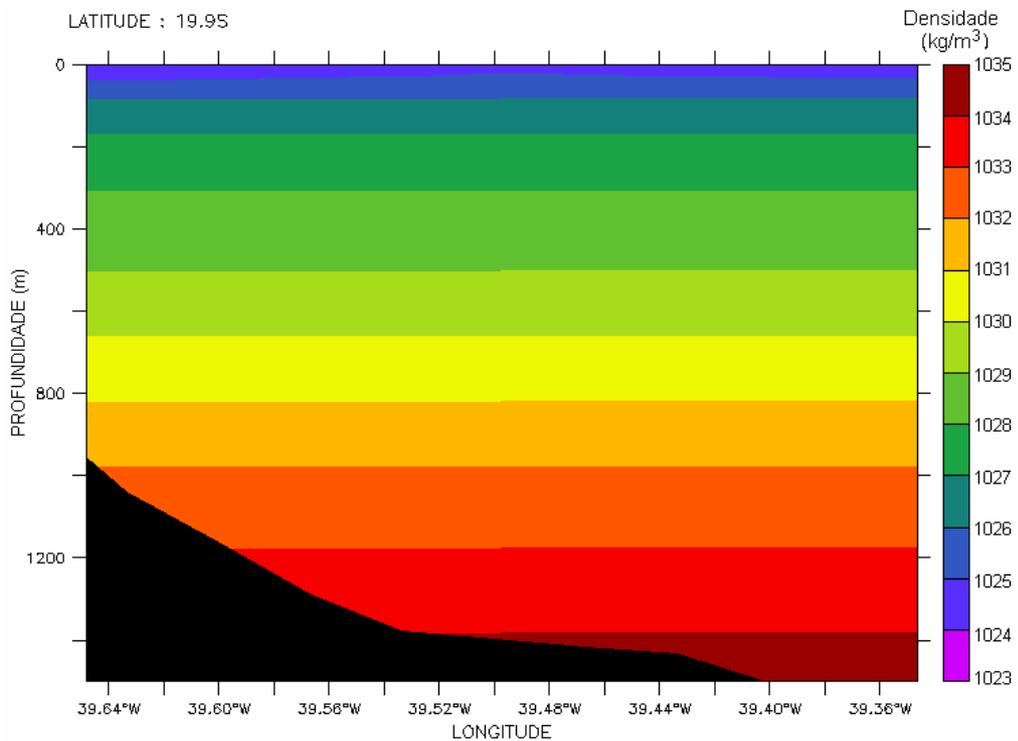


Figura V.2-2 - Secção vertical de densidade (kg/m^3) ao longo de 19,9°S, período de inverno. Dados provenientes do Atlas do WOCE.

V.3 RESULTADOS DA DILUIÇÃO DO CAMPO PRÓXIMO

A tabela V.3-1 apresenta os resultados das simulações no campo próximo. Observa-se que a diluição é maior no período de verão (409,9 vezes) do que no período de inverno (367,6 vezes).

Tabela V.3-1 - Resultados das simulações do campo próximo para o FPSO Capixaba.

PARÂMETROS	VALORES	
	VERÃO	INVERNO
Diluição	409,9	367,6
Largura da pluma (m)	24,4	26,8
Comprimento da zona de mistura (m)	59,0	41,0

VI MODELAGEM DA DISPERSÃO DO EFLUENTE DA UNIDADE DE REMOÇÃO DE SULFATOS NO CAMPO AFASTADO

Na modelagem do campo afastado foi utilizado o modelo CHEMMAP, desenvolvido pela **Applied Science Associates (ASA), Inc.** para previsão da trajetória e transformações biogeoquímicas (*trajectory and fates*) de produtos químicos, incluindo as substâncias flutuantes, as que afundam, as substâncias solúveis e as misturas de produtos.

VI.1 DESCRIÇÃO DO MODELO CHEMMAP

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 tri-dimensional, simulando separadamente a mancha superficial, as parcelas na coluna d'água, parcelas do composto químico puro, 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 sendo 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 formulação de Stokes (*Stokes Law*). 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 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, de modo que as simulações de comportamento da pluma sejam 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 de ventos e correntes associadas. Como critério de parada das simulações, o modelo permite selecionar um limite (*e.g.* CENO, limite legal, etc.) acima do qual as

probabilidades e concentrações esperadas sejam registradas. Cinco tipos de resultados são produzidos para cada elemento de grade, os quais podem ser apresentados em mapas de contorno:

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

VI.2 DADOS DE ENTRADA

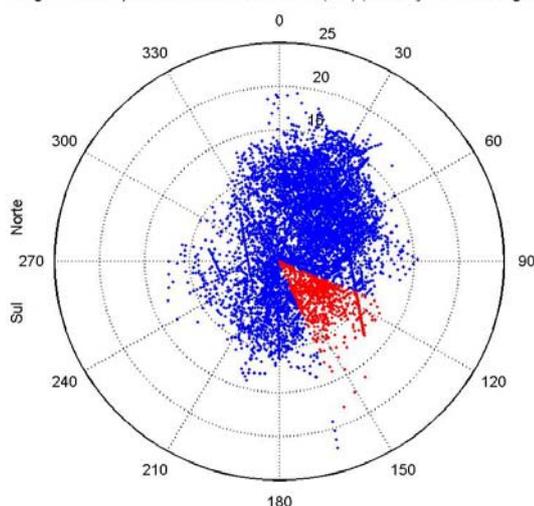
VI.2.1 Campo de Correntes

Os campos de correntes utilizados na modelagem do transporte e dispersão do Antichlor e do Vitec 3.000 foram gerados a partir da modelagem hidrodinâmica, como descrito no Capítulo II. Para avaliar a sazonalidade das forçantes ambientais nos padrões de circulação e transporte, foram definidos dois campos hidrodinâmicos de 3 meses: verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto).

VI.2.2 Dados de Vento

Na modelagem do campo afastado, foram utilizados dados de vento medidos por uma bóia oceanográfica localizada no campo de Albacora, Bacia de Campos (ASA, 2005). Esses dados foram fornecidos pelo Centro de Pesquisas da PETROBRAS (CENPES), para o ano de 1992, com intervalo de amostragem de 3 horas. A figura VI.2.2-1 apresenta o diagrama de dispersão para a série temporal fornecida, onde foi adotada a convenção meteorológica, *i.e.* a direção do vento corresponde à direção de onde este vem.

Diagrama de dispersão dos vetores de vento (m/s) (convenção meteorológica)



Percentual de ventos neste setor (%): 11.0096

Figura VI.2.2-1 - Diagrama de dispersão do vento para o ano de 1992, na Bacia de Campos.

A tabela VI.2.2-1 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento para os dados fornecidos. Observa-se que os ventos mais freqüentes são de NE (17,4%) e NNE (16,9%). Os ventos com velocidades médias máximas (9,8 m/s) vieram de NNE; e os ventos mais fortes registrados foram provenientes de SSE (22,3 m/s) e N (19,3 m/s). Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 14,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

Tabela VI.2.2-1 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento para o ano de 1992, na Bacia de Campos.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	%	Dir.méd.
0,0- 1,0	9	13	7	9	11	15	21	13	14	17	10	8	8	10	9	3	177	2,0	156
1,0- 2,0	10	24	15	18	20	25	8	7	20	29	17	19	15	13	10	12	262	3,0	153
2,0- 3,0	18	17	15	24	28	39	24	18	28	45	26	15	16	11	17	27	368	4,2	147
3,0- 4,0	24	27	39	55	66	36	43	90	73	42	16	18	10	12	20	28	599	6,8	126
4,0- 5,0	27	49	113	91	46	53	78	65	47	49	19	25	9	12	19	30	732	8,4	95
5,0- 6,0	30	45	105	129	49	107	108	53	64	40	24	13	6	4	26	20	823	9,4	97
6,0- 7,0	75	113	102	154	87	76	54	61	48	43	22	17	10	2	14	28	906	10,3	74
7,0- 8,0	61	124	123	154	104	28	43	44	51	32	27	12	15	6	10	24	858	9,8	65
8,0- 9,0	93	210	382	225	52	38	38	33	47	59	13	19	6	3	10	36	1264	14,4	51
9,0-10,0	105	135	146	142	26	49	19	17	46	17	2	7	11	2	4	28	756	8,6	48
10,0-11,0	94	150	167	90	17	25	11	5	30	14	0	4	6	0	0	30	643	7,3	38
11,0-12,0	85	149	100	66	11	6	17	11	7	6	1	0	2	0	0	14	475	5,4	36
12,0-13,0	57	147	78	26	11	5	12	7	5	3	0	2	2	0	0	11	366	4,2	32
13,0-14,0	26	101	60	15	12	0	0	5	0	4	0	2	0	0	0	9	234	2,7	32
14,0-15,0	14	83	34	2	6	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	141	1,6	30
15,0-16,0	7	65	21	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94	1,1	26
16,0-17,0	2	17	8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0,3	29
17,0-18,0	3	8	7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0,2	28
18,0-19,0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0,1	9
19,0-20,0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,0	21
20,0-21,0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,0	162
21,0-22,0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,0	163
22,0-23,0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,0	163
Total	746	1477	1522	1200	547	502	477	436	480	401	177	161	116	75	139	300	8756		
Porc.	8,5	16,9	17,4	13,7	6,2	5,7	5,4	5,0	5,5	4,6	2,0	1,8	1,3	0,9	1,6	3,4			
Vel.méd.	9,0	9,8	8,6	7,5	6,4	5,9	5,9	5,9	6,0	5,6	4,8	5,2	5,3	3,6	4,6	6,9			
Vel.máx.	19,3	18,0	17,6	14,8	15,3	12,6	16,3	22,3	13,0	14,1	11,4	13,1	12,4	9,9	9,7	13,8			
Percts (0,9)	12,0	14,0	12,0	10,0	10,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	7,0	8,0	9,0	7,0	7,6	11,0			

VI.2.3 Características do Descarte

As informações sobre o descarte, utilizadas nas simulações do campo afastado, foram descritas no Capítulo IV.

VI.3 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS SIMULADOS

As simulações para a determinação da dispersão e diluição do Antichlor e do Vitec 3.000 na Bacia do Espírito Santo 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 (junho a agosto).

Para incorporar essas variabilidades, cada cenário probabilístico foi composto por uma série de 30 simulações com o modelo CHEMMAP, com duração de 24 horas, divididas em períodos de verão e inverno. O comportamento da pluma de efluentes descartada na região foi estudado através de simulações realizadas com uma vazão constante de 310 m³/h, ao longo de 1 dia.

VI.4 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS

Nas simulações probabilísticas, para a determinação da área de influência do efluente, 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 30 simulações calcula-se a média de todas as máximas obtidas. Cabe ressaltar que a área ilustrada nas figuras representa a média das máximas concentrações obtidas em todas as 30 simulações, e não à posição da pluma em um determinado instante de tempo.

Os valores máximos de concentração para o Antichlor e o Vitec 3.000, durante o período de verão foram de 3,02 µg/L e de 0,60 µg/L, respectivamente.

Para o período de inverno o valor máximo de concentração para o Antichlor foi de 4,49 $\mu\text{g/L}$, e de 0,89 $\mu\text{g/L}$ para o Vitec 3.000.

As figuras VI.4-1 e VI.4-2, a seguir, mostram as curvas de contorno das plumas de dispersão para as médias das máximas concentrações de Antichlor nos períodos de verão e inverno, após 24 horas. O limite de corte adotado nestas figuras corresponde à diluição de 10.000 vezes a concentração inicial, i.e. 1,5 $\mu\text{g/L}$. Observa-se que as maiores concentrações calculadas correspondem a uma diluição de mais de 3.000 vezes a concentração inicial de 15 ppm (15.000 $\mu\text{g/L}$). No verão, a pluma apresenta 235 m de comprimento e 296 m de largura, com área total de abrangência de 57.677 m^2 . No período de inverno a pluma apresenta dimensões de 307 m de comprimento e de largura, e área total de abrangência de 71.300 m^2 .

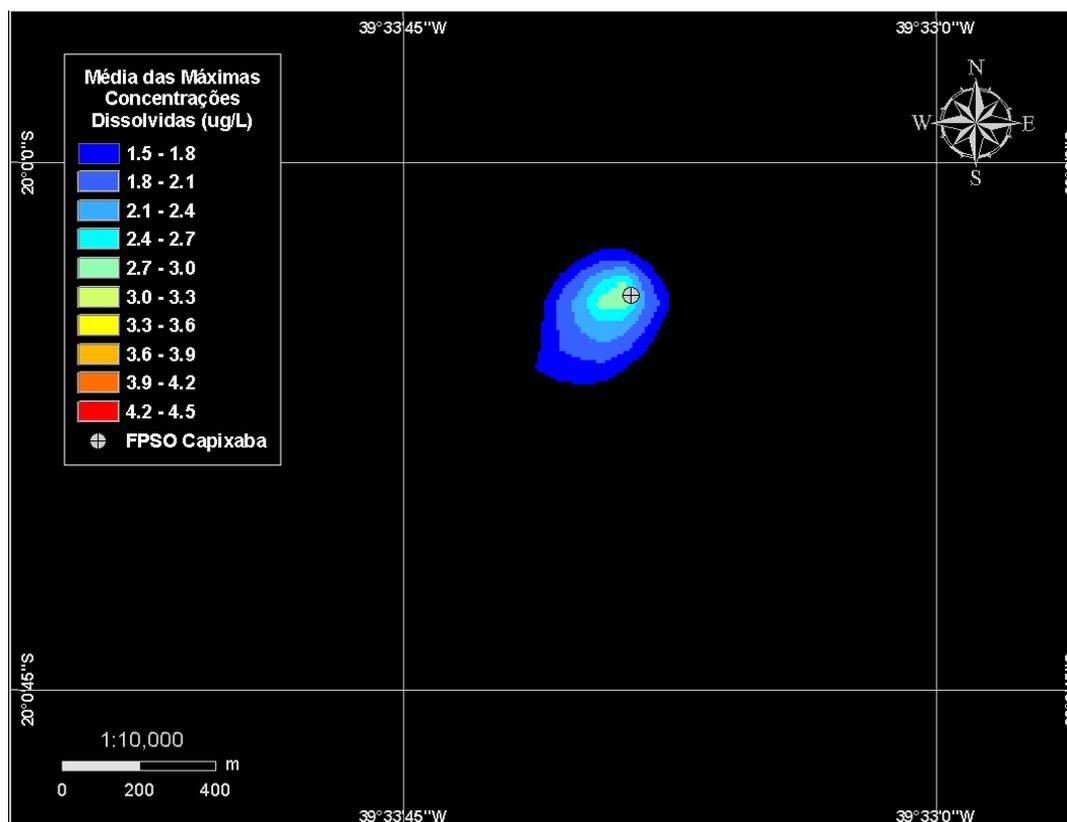


Figura VI.4-1 - Média das máximas concentrações esperadas ($\mu\text{g/L}$) para a pluma de ANTICHLOR, simulada no período de verão (janeiro a março), após 24 horas, para o FPSO Capixaba no Campo de Golfinho.

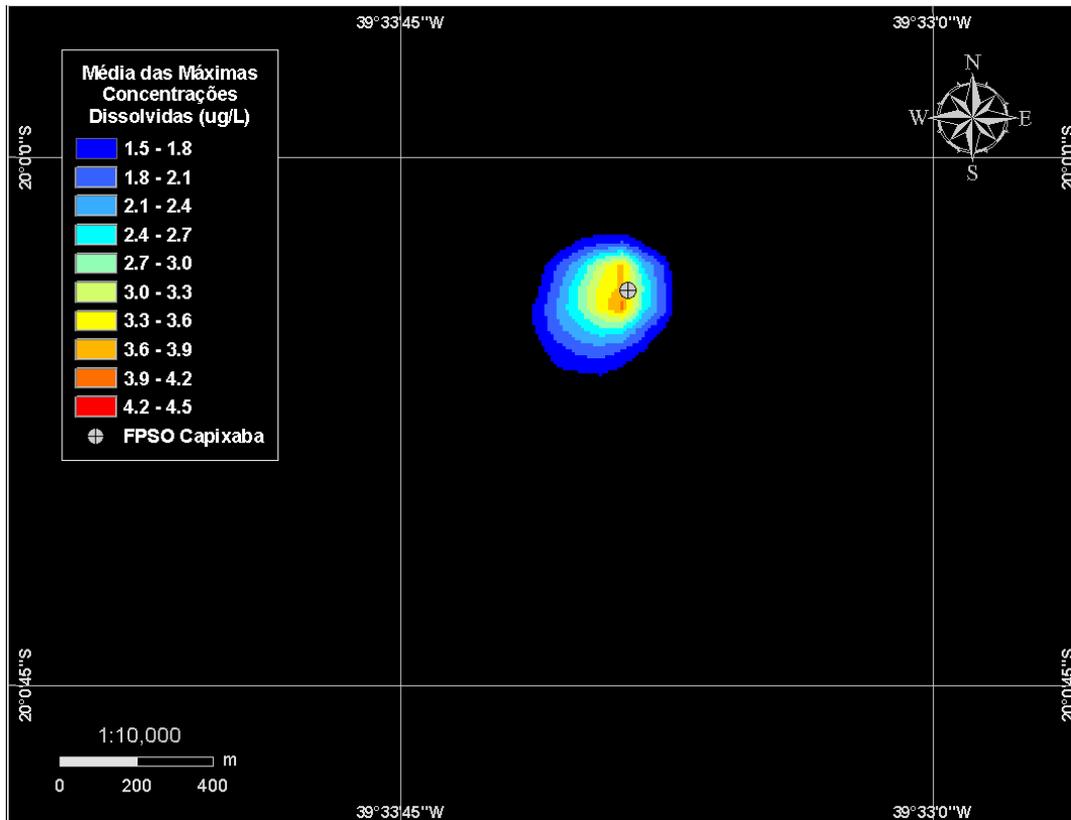


Figura VI.4-2 - Média das máximas concentrações esperadas ($\mu\text{g/L}$) para a pluma de ANTICHLOR, simulada no período de inverno (junho a agosto), após 24 horas, para o FPSO Capixaba no Campo de Golfinho.

As figuras VI.4-3 e VI.4-4, a seguir, mostram as curvas de contorno das plumas de dispersão para as médias das máximas concentrações de Vitec 3.000 nos períodos de verão e inverno, após 24 horas. O limite de corte adotado nestas figuras corresponde à diluição de 10.000 vezes a concentração inicial, i.e. $0,3 \mu\text{g/L}$. Observa-se que as maiores concentrações calculadas correspondem a uma diluição de mais de 3.000 vezes a concentração inicial de 3 ppm ($3.000 \mu\text{g/L}$). No verão, a pluma possui 255 m de comprimento e 313 m de largura, com área total de abrangência de 55.491 m^2 . No período de inverno a pluma apresenta dimensões de 302 m de comprimento e 310 m de largura, e área total de abrangência de 71.964 m^2 .

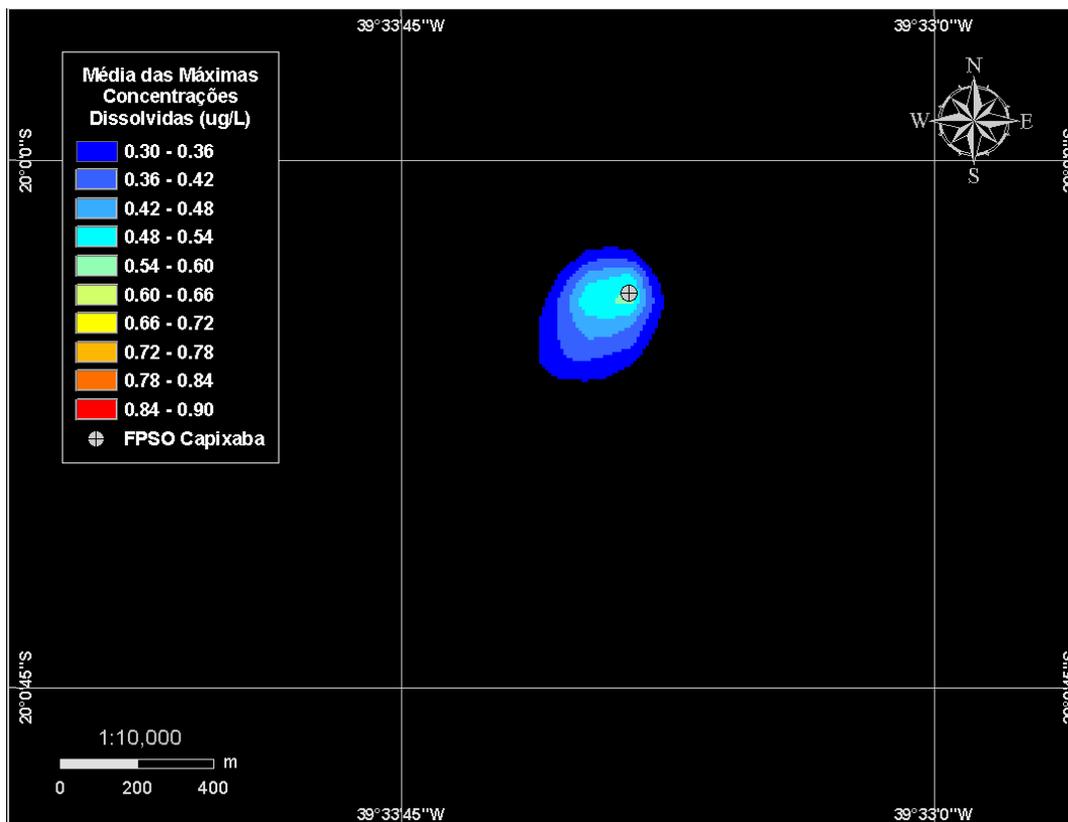


Figura VI.4-3 - Média das máximas concentrações esperadas ($\mu\text{g/L}$) para a pluma de VITEC 3.000, simulada no período de verão (janeiro a março), após 24 horas, para o FPSO Capixaba no Campo de Golfinho.

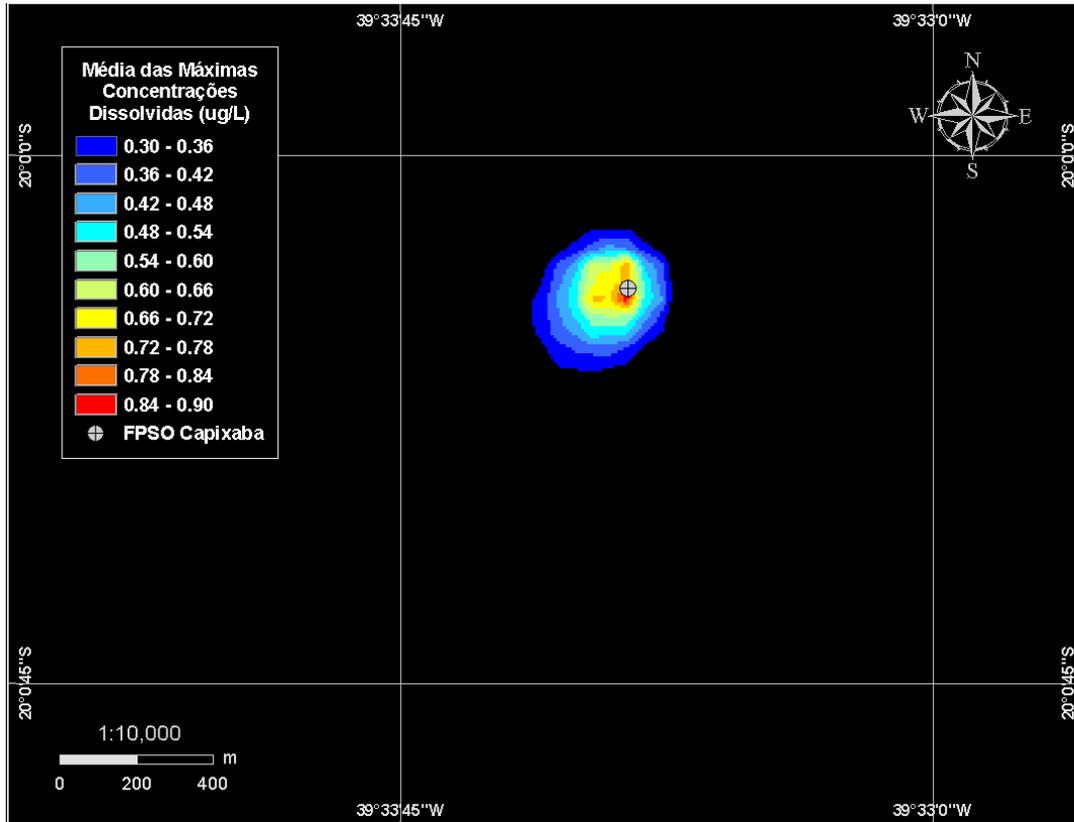


Figura VI.4-4 - Média das máximas concentrações esperadas ($\mu\text{g/L}$) para a pluma de VITEC 3.000, simulada no período de inverno (junho a agosto), após 24 horas, para o FPSO Capixaba no Campo de Golfinho.

VII CONCLUSÕES

A partir do melhor entendimento técnico-científico da dinâmica local, foi possível definir a área de influência da pluma do descarte de seqüestrante de cloro e inibidor de incrustação, proveniente do descarte do efluente da unidade de remoção de sulfatos do FPSO Capixaba no Campo de Golfinho, Bacia do Espírito Santo.

Os resultados das simulações para o campo próximo mostraram diluições de 367 vezes (no período de inverno) a 409 vezes (no período de verão).

Com o objetivo de dar suporte e orientar o desenvolvimento de possíveis trabalhos de monitoramento ambiental na área do empreendimento, neste relatório foram apresentados resultados da pluma proveniente do descarte de Antichlor e Vitec 3.000 com concentrações até 10.000 vezes inferiores à concentração de lançamento. Os resultados das simulações apresentaram diluições maiores que 3.000 vezes a concentração de lançamento. As simulações apresentaram plumas com áreas de abrangência de 71.300 m² (inverno) e 57.677 m² (verão) para o Antichlor, e 71.164 m² (inverno) e 55.491 m² (verão) para o Vitec 3.000. Neste contexto, o sentido preferencial de deslocamento da pluma foi para sudoeste, de acordo com a dinâmica na região que é influenciada pela Corrente do Brasil.

VIII BIBLIOGRAFIA

ASA (APPLIED SCIENCE ASSOCIATES, INC.), 2002. CHEMMAP Technical Manual, Narragansett, RI.

ASA (APPLIED SCIENCE ASSOCIATES SOUTH AMERICA.), 2005. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para o FPSO Capixaba – Campo de Golfinho - Bacia do Espírito Santo. Relatório Técnico. São Paulo. 107pp.

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.

CASTRO FILHO, B.M.C. & L.B. MIRANDA, 1998. Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf located between 4°N and 34°S. **The Sea**. John Wiley & Sons, Inc. 11: p. 209-251.

CLIMANÁLISE, 1996. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. Edição comemorativa de 10 anos. Outubro.

DELVIGNE, G.A.L. & C.E. SWEENEY. 1988. Natural dispersion of oil. **Oil & Chemical Pollution 4** (1988): p. 281-310.

EVANS, D.L. & S.R. SIGNORINI, 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., 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, Calgary, Alberta, Canada, p. 243-270.

GARFIELD III, N., 1990. The Brazil Current at subtropical latitudes. Tese de Doutorado, University of Rhode Island. 121pp.

HESS, K.W. & K.T. BOSLEY, 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.

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.

JIRKA, G.H.; R.L. DONEKER & S.W. HINTON, 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.

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.

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.

OLIVEIRA, A.S., 1986. **Interações entre Sistemas Frontais na América do Sul e Convecção na Amazônia**. INPE-4008-TDL/239.

SATYAMURTI, P. & L.F. MATTOS, 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. 1.875-1.886.

TOKMAKIAN. R.T. & P.G CHALLENGOR, 1999. On the joint estimation of model and satellite sea surface height anomalies. **Ocean Modelling**, 1, 39-52.

IX EQUIPE TÉCNICA

Equipe da Empresa Consultora Applied Science Consultoria Ltda.

Profissional	Ana Carolina da Rocha
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	325047
Responsável pela(s) Capítulo (s)	IV, V, VI e VII
Assinatura	_____

Profissional	Andrea Gallo Xavier
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	58617
Responsável pela(s) Capítulo (s)	TODAS
Assinatura	_____

Profissional	André Paim Ferraz Rodrigues
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	618096
Responsável pela(s) Capítulo (s)	VII
Assinatura	_____

Profissional	Carlos Eduardo Simão
Empresa	ASA Consultoria
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	434226
Responsável pela(s) Capítulo (s)	VII
Assinatura	

Profissional	Daniel Constantino Zacharias
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	638533
Responsável pela(s) Capítulo (s)	I, II e III
Assinatura	

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

Profissional	José Edson Pereira
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	326336
Responsável pela(s) Capítulo (s)	I, II e III
Assinatura	

Profissional	Maria Regina Fonseca Guimarães
Empresa	ASA Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	434231
Responsável pela(s) Capítulo (s)	I, II e III
Assinatura	

Profissional	Marco Antônio Corrêa
Empresa	ASA Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	434236
Responsável pela(s) Capítulo (s)	I, II e III
Assinatura	

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