

Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para o Campo de Camarupim, Bacia do Espírito Santo

Revisão 00

Julho/ 2007



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-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 DESCRIÇÃO DO MODELO PARALLEL OCEAN CIRCULATION MODEL	II-6
II.3 DOMÍNIO MODELADO E DADOS DE ENTRADA DO MODELO	II-7
II.3.1 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO E BATIMETRIA	II-7
II.3.2 DADOS DE VENTO E MARÉ.....	II-9
II.3.3 ESTRUTURA TERMOHALINA.....	II-10
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 MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO	IV-1
IV.1 MODELO OILMAP	IV-1
IV.1.1 FORMULAÇÃO DO MODELO	IV-4
IV.2 DADOS DE ENTRADA	IV-16
V MODELAGEM DE DERIVA DE ÓLEO PARA UM POTENCIAL ACIDENTE NO CAMPO DE CAMARUPIM.....	V-1
V.1 DADOS DE ENTRADA	V-1
V.1.1 CAMPO DE CORRENTES.....	V-2
V.1.2 DADOS DE VENTO	V-2
V.1.3 PONTO DE RISCO E VOLUMES	V-5
V.1.4 CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO UTILIZADO.....	V-5
V.2 CRITÉRIO DE PARADA ADOTADO NAS SIMULAÇÕES	V-6

V.3	RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS.....	V-7
VI	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PARA UM POTENCIAL ACIDENTE NO CAMPO DE CAMARUPIM.....	VI-1
VI.1	SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS.....	VI-1
VI.2	CENÁRIOS DETERMINÍSTICOS CRÍTICOS.....	VI-24
VII	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	VII-1
VIII	BIBLIOGRAFIA.....	VIII-1
IX	EQUIPE TÉCNICA.....	IX-1

TABELAS

TABELA	PÁG.
Tabela I.1.1-1 - Amplitude (cm) e fase local (°) das principais componentes harmônicas para a estação maregráfica Barra do Itapemirim (ES). Fonte: FEMAR (2000).	I-4
Tabela II.2-1 - Resumo dos dados de entrada do <i>Parallel Ocean Climate Model</i> (POCM).	II-7
Tabela V.1.2-1 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento para o período de verão do ano de 1992, no Campo de Albacora.	V-4
Tabela V.1.2-2 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento para período de inverno do ano de 1992, no Campo de Albacora.	V-4
Tabela V.1.3-1 - Coordenadas (SAD 69) do ponto de risco localizado no Campo de Camarupim, Bacia do Espírito Santo.	V-5
Tabela V.1.4-1 - Tipo de óleo utilizado nas simulações.	V-6
Tabela V.1.4-2 - Características do óleo tipo ESS-123.	V-6
Tabela V.3-1 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames do óleo para o Campo de Camarupim (FPSO Cidade de São Mateus).	V-7
Tabela VI.1-1 - Extensão da linha de costa com probabilidade de ser atingida pelo derrame de óleo para o Campo de Camarupim, simulados em condições de verão e inverno.	VI-21
Tabela VI.1-2 - Resumo dos resultados da modelagem probabilística de pior caso ocorrendo durante os meses de verão e inverno para o Campo de Camarupim.	VI-22
Tabela VI.1-3 - Percentual de simulações com toque na costa para os cenários de verão.	VI-22
Tabela VI.1-4 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo durante os períodos de verão e inverno, no Campo de Camarupim.	VI-23
Tabela VI.2-1 - Resumo do cenário determinístico críticos de verão e inverno.	VI-24

FIGURAS

FIGURA	PÁG.
Figura I.1-1 - Localização do ponto de risco no Campo de Camarupim, Bacia do Espírito Santo.	I-2
Figura I.1.1-1 - Mapa cotidal de amplitude (cores) e fase (linhas) para a componente M_2 .	I-5
Figura I.1.2-1 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento à 10 m no período de verão.	I-7
Figura I.1.2-2 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento à 10 m no período de inverno.	I-7
Figura I.1.1-3 - 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-8
Figura II.3.1-1 - Grade computacional utilizada nas simulações da circulação hidrodinâmica da região sul-sudeste brasileira.	II-8
Figura II.3.1-2 - Base batimétrica para modelagem hidrodinâmica.	II-8
Figura II.3.1-3 - Batimetria discretizada do domínio considerado na região sul-sudeste brasileira.	II-9
Figura II.3.3-1 - Campos termohalinos da Climatologia LEVITUS no: (a) temperatura e (b) salinidade no verão; (c) temperatura e (d) salinidade no inverno.	II-10
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	PÁG.
Figura V.1-1 - Grade definindo os contornos de terra (grade <i>land-water</i>) para a modelagem de deriva de óleo no Campo de Camarupim.	V-1
Figura V.1.2-1 - Diagrama <i>stick plot</i> dos valores médios diários de dados de vento durante o período de janeiro a dezembro de 1992 (convenção vetorial).	V-2
Figura V.1.2-2 - Histograma direcional dos vetores de vento para (a) verão (Jan.-Mar.) e (b) inverno (Jun.-Ago.), Campo de Albacora.	V-3
Figura VI.1-1 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_8M3_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m ³ (instantâneo) após 30 dias de simulação.	VI-2
Figura VI.1-2 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_200M3_6H. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m ³ (instantâneo), após 6 horas de simulação.	VI-3
Figura VI.1-3 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_200M3_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m ³ (instantâneo), após 30 dias de simulação.	VI-4
Figura VI.1-4 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_12H. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 111.291 m ³ (durante 24 horas), após 12 horas de simulação.	VI-5
Figura VI.1-5 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_36H. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 111.291 m ³ (durante 24 horas), após 36 horas de simulação.	VI-6
Figura VI.1-6 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_60H. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 111.291 m ³ (durante 24 horas), após 60 horas de simulação.	VI-7
Figura VI.1-7 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_31D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 111.291 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias.	VI-8
Figura VI.1-8 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_31D_SHORE. Probabilidades de toque na costa para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 111.291 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias.	VI-9

FIGURA	PÁG.
Figura VI.1-9 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_31D_SHOREMED. Volume médio de óleo por km de costa para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 111.291 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias.	VI-10
Figura VI.1-10 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_31D_SHOREMAX. Volume máximo de óleo por km de costa para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses verão (janeiro a março), com derrame de 111.291 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias.	VI-11
Figura VI.1-11 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_8M3_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m ³ (instantâneo), após 30 dias de simulação.	VI-12
Figura VI.1-12 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_200M3_6H. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m ³ (instantâneo), após 6 horas de simulação.	VI-13
Figura VI.1-13 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_200M3_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m ³ (instantâneo), após 30 dias de simulação.	VI-14
Figura VI.1-14 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_12H. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 111.291 m ³ (durante 24 horas), após 12 horas de simulação.	VI-15
Figura VI.1-15 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_36H. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 111.291 m ³ (durante 24 horas), após 36 horas de simulação.	VI-16
Figura VI.1-16 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_60H. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 111.291 m ³ (durante 24 horas), após 60 horas de simulação.	VI-17
Figura VI.1-17 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_31D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 111.291 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias.	VI-18
Figura VI.1-18 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_31D_SHORE. Probabilidades de toque na costa para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 111.291 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias.	VI-19

FIGURA	PÁG.
Figura VI.1-19 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_31D_SHOREMED. Volume médio de óleo por km de costa para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 111.291 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias.	VI-20
Figura VI.1-20 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_31D_SHOREMAX. Volume máximo de óleo por km de costa para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 111.291 m ³ (durante 24 horas), após 31 dias.	VI-20
Figura VI.2-1 - Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido no Campo de Camarupim, no período de verão.	VI-25
Figura VI.2-2 - Balanço de massa para o cenário de pior caso de vazamento no verão, no Campo de Camarupim.	VI-26
Figura VI.2-3 - Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido a no Campo de Camarupim, no período de inverno.	VI-27
Figura VI.2-4 - Balanço de massa para o cenário de pior caso de vazamento no inverno, no Campo de Camarupim.	VI-28
Figura VI.2-5 - Diagrama <i>stick plot</i> dos vetores de vento para o cenário determinístico crítico de inverno, a partir do início da simulação até o primeiro toque na costa.	VI-29
Figura VI.2-6 - Cenário DET_FPSO_CAMARUPIM_PC_INV_0H. Contornos de espessura de óleo na água, no instante inicial da simulação, para o cenário determinístico crítico de inverno no Campo de Camarupim. Condições meteorológicas e oceanográficas: vento S e corrente WSW.	VI-30
Figura VI.2-7 - Cenário DETFPSO_CAMARUPIM_PC_INV_6H. Contornos de espessura de óleo na água, após 6 horas, para o cenário determinístico crítico de inverno no Campo de Camarupim. Condições meteorológicas e oceanográficas: vento S e corrente WSW.	VI-31
Figura VI.2-8 - Cenário DET_FPSO_CAMARUPIM_PC_INV_12H. Contornos de espessura de óleo na água, após 12 horas, para o cenário determinístico crítico de inverno no Campo de Camarupim. Condições meteorológicas e oceanográficas: vento SSE e corrente WSW.	VI-32
Figura VI.2-9 - Cenário DET_FPSO_CAMARUPIM_PC_INV_28H. Contornos de espessura de óleo na água, após 28 horas, para o cenário determinístico crítico de inverno no Campo de Camarupim. Condições meteorológicas e oceanográficas: vento ESE e corrente NW.	VI-33

RESUMO

O sistema de modelos OILMAP da *Applied Science Associates (ASA), Inc.* foi utilizado para definir a área potencialmente ameaçada por derramamentos de óleo, decorrentes de um potencial acidente com o FPSO Cidade de São Mateus, localizado no Campo de Camarupim, na 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.

Foram conduzidas simulações probabilísticas para determinar contornos de probabilidade da mancha atingir a área de estudo a partir de 3 (três) classes de derrame, como definido na Resolução CONAMA nº 293/01: pequeno, com 8 m³; médio, com 200 m³; e pior caso, com 111.291 m³ derramados ao longo de 24 horas, correspondente ao afundamento da unidade FPSO Cidade de São Mateus. A partir dos resultados dessas simulações probabilísticas foram selecionados os cenários determinísticos críticos para condições de verão e inverno, utilizando como critério o menor tempo de chegada do óleo na costa.

Os resultados da modelagem revelaram uma forte correlação entre a trajetória de uma mancha simulada e o padrão de circulação na região. As condições meteorológicas e oceanográficas da região onde se localiza a Bacia do Espírito Santo mostram que, sobre a plataforma, o padrão de circulação predominante está relacionado ao campo de vento e à maré, com eventuais intrusões da Corrente do Brasil (CB). A partir do talude, e em oceano profundo, os mesmos padrões são observados, mas com predomínio sensível de correntes médias superficiais para sul-sudoeste, relacionadas à presença da CB.

Para as simulações de volume de pior caso, simulados por 31 dias, a probabilidade de toque na costa foi de 40-50% no verão e de 30-40% no inverno. O tempo mínimo de toque da mancha de óleo na costa (no município de Linhares) foi de 28 e 39 horas para o inverno e verão, respectivamente.

Este trabalho representa uma iniciativa pioneira da PETROBRAS na caracterização ambiental e utilização do estado-da-arte em ferramentas computacionais para a modelagem hidrodinâmica e do transporte e dispersão de óleo no mar, decorrente de potenciais acidentes com derramamento de petróleo na Bacia do Espírito Santo.

I INTRODUÇÃO

Com o objetivo de dar suporte a PETROBRAS no desenvolvimento de Estudos Ambientais na Bacia do Espírito Santo, apresenta-se este trabalho de modelagem computacional da trajetória e intemperismo de óleo decorrente de um potencial acidente com derramamento de petróleo a partir do FPSO Cidade de São Mateus, localizado no Campo de Camarupim.

As modelagens foram conduzidas através da utilização de um sistema de modelos conhecido como OILMAP, desenvolvido pela **Applied Science Associates (ASA), Inc.** A **ASA** tem mais de 20 anos de experiência com utilização de ferramentas computacionais para estudos de impacto ambiental causados por acidentes com petróleo.

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) caracterização físico-química do óleo.

Para a modelagem de transporte da mancha de óleo foi utilizado um conjunto de dados de vento proveniente das reanálises dos modelos meteorológicos NCEP e NCAR¹. 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.

O Capítulo I discute o propósito do estudo e fornece informações sobre a área de estudo. O Capítulo II descreve o modelo hidrodinâmico e o Capítulo III apresenta a calibração do mesmo. O Capítulo IV descreve o modelo OILMAP utilizado na modelagem dos cenários acidentais de óleo. O Capítulo V apresenta

¹ *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) e *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), disponibilizados pelo *Climate Diagnostics Center* (CDC) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

os cenários simulados, suas características e os dados de entrada. Os resultados das simulações probabilísticas e determinísticas são apresentados no Capítulo VI. Por fim, o Capítulo VII apresenta as considerações finais para o presente estudo.

I.1 ÁREA DE ESTUDO

A figura I.1-1 apresenta a localização do FPSO Cidade de São Mateus, localizado no Campo de Camarupim, Bacia do Espírito Santo, onde foram feitas simulações para um potencial acidente com petróleo.

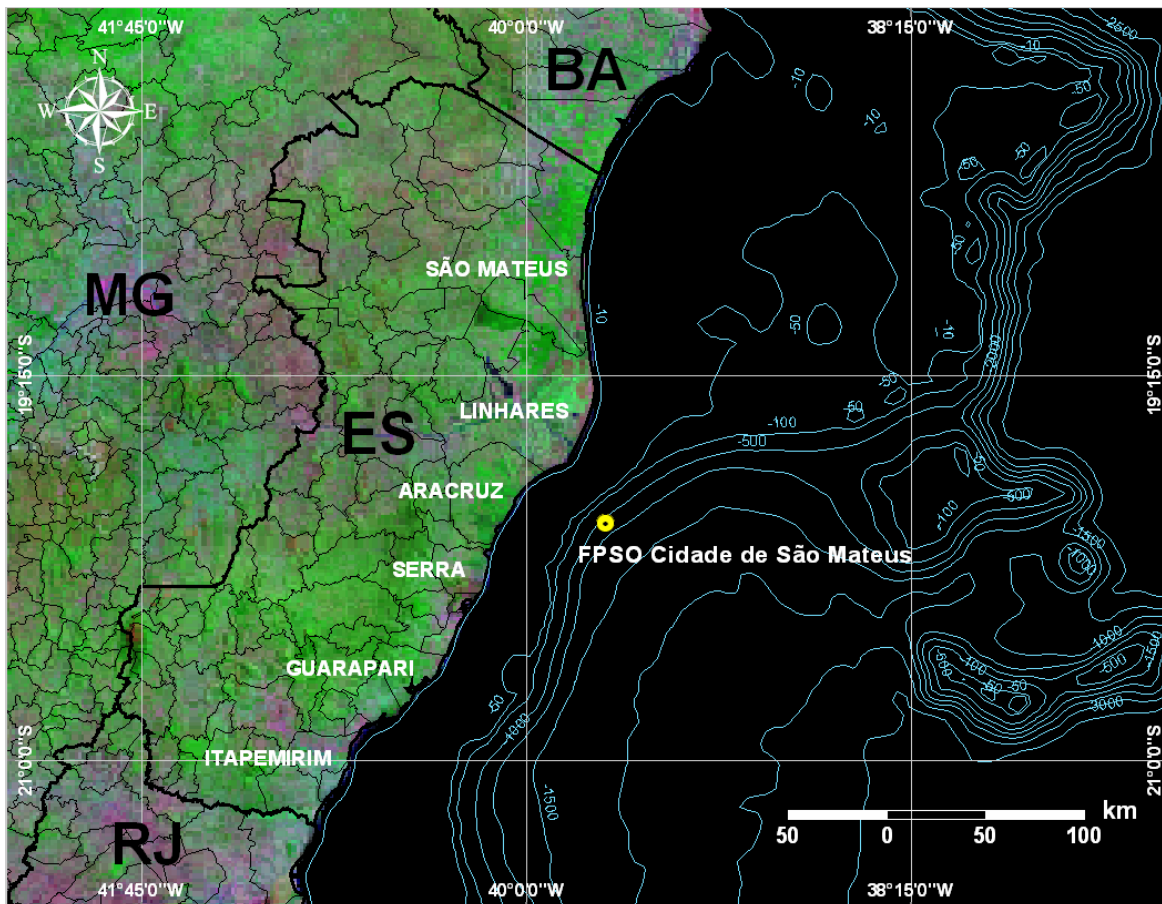


Figura I.1-1 - Localização do ponto de risco no Campo de Camarupim, Bacia do Espírito Santo.

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.

A maré astronômica na região é predominantemente semidiurna, conforme indicam as constantes harmônicas para a para a estação maregráfica Barra do Itapemirim da FEMAR² (21°00,4'S e 40°48,5'W), apresentadas na tabela I.1.1-1. Observa-se que as principais componentes para a região são M_2 e S_2 , com amplitudes de 42,1 cm e 19,6 cm, respectivamente. A componente M_{sf} tem amplitude de 9,7 cm e todas as demais componentes apresentam amplitude inferior a 8 cm.

A figura I.1.1-1 apresenta o mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude de maré para a costa sul-sudeste brasileira (CSR3³). Observa-se ser esta uma região de pequena resposta a forçante astronômica da maré, fato esperado pela relativamente pequena largura da plataforma continental. Exceção feita ao platô de Abrolhos e região interna da Bacia de Santos, onde há evidente amplificação do sinal de maré.

Com relação à Corrente do Brasil, sabe-se que parte significativa de seu fluxo passa através dos canais dos Bancos de Abrolhos e se divide 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).

² Fundação de Estudos do Mar.

³ Center for Space Research da Universidade do Texas (www.csr.utexas.edu).

Tabela I.1.1-1 - Amplitude (cm) e fase local (°) das principais componentes harmônicas para a estação maregráfica Barra do Itapemirim (ES). Fonte: FEMAR (2000).

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação :		BARRA DO ITAPEMIRIM – ES			
Localização :		No atracadouro da Vila da Barra			
Organ. Responsável :		DHN			
Latitude :		21° 00,4' S	Longitude :		40° 48,5' W
Período Analisado :		02/09/62 a 03/10/62		Nº de Componentes : 35	
Análise Harmônica :		Método Tidal Liverpool Institute			
Classificação :		Maré Semidiurna.			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		III H 19 min	Nível Médio (Zo):		73 cm acima do NR.
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :		135 cm acima do NR.	Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :		96 cm acima do NR
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :		12 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :		51 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	1,6	148
Ssa	-	-	N ₂	6,3	107
Mm	5,9	152	NU ₂	1,2	107
Mf	-	-	M ₂	42,1	095
MTM	-	-	L ₂	3,4	070
Msf	9,7	327	T ₂	1,2	104
Q ₁	2,0	075	S ₂	19,6	104
O ₁	8,1	210	K ₂	5,3	104
M ₁	0,2	105	MO ₃	1,1	139
P ₁	2,1	173	M ₃	0,7	069
K ₁	6,3	173	MK ₃	1,4	311
J ₁	0,7	056	MN ₄	1,3	056
OO ₁	1,8	311	M ₄	3,0	096
MNS ₂	-	-	SN ₄	0,5	004
2N ₂	0,8	118	MS ₄	2,0	117
Referências de Nível: RN-2 na porta da Igreja da Vila.					
Obs: Outros Períodos: 28/09/78 a 12/10/78; 08/07/93 a 17/08/93; 08/11/94 a 10/12/94; 13/03/95 a 04/04/95.					

Código BNDO: 40290

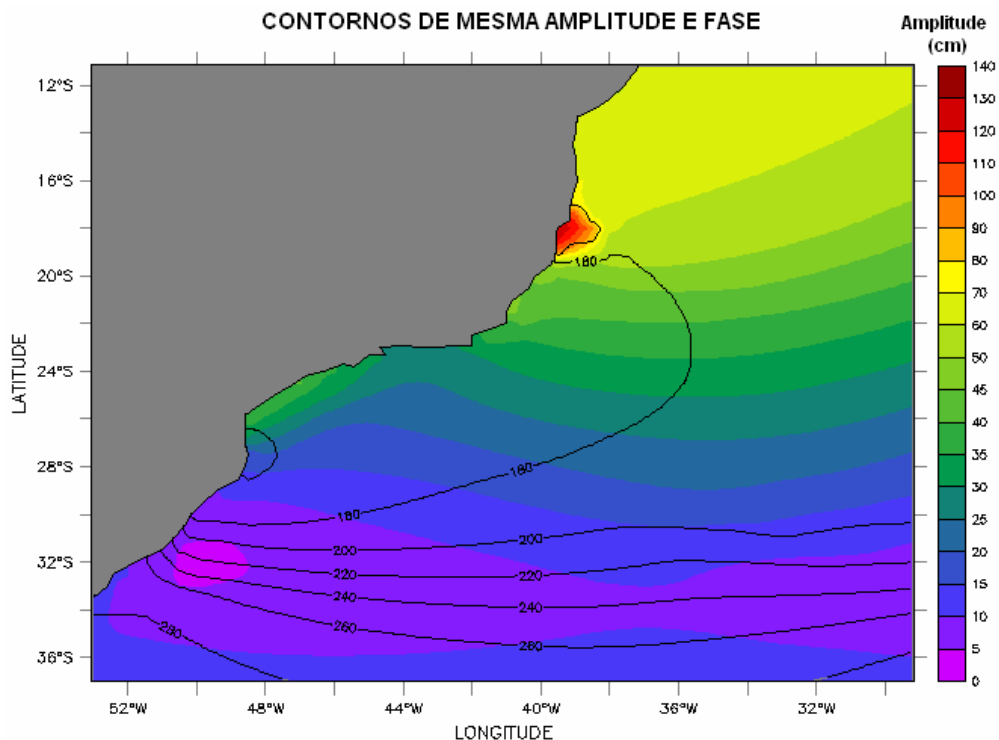


Figura I.1.1-1 - Mapa cotidal de amplitude (cores) e fase (linhas) para a componente M_2 .

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 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 Alta Subtropical do Atlântico Sul (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 NCEP. 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 o Boletim de Monitoramento e Análise Climática (Climanálise, 1996), que apresentou uma estatística de sistemas frontais que atuaram no litoral do Brasil entre os anos de 1975 a 1984 e 1987 a 1995, a média ficou entre 4 e 7 sistemas mensais atuando sobre a costa do sudeste brasileiro, com valores máximos nos meses de inverno e valores mínimos nos meses de verão. A figura I.1.1-3 ilustra um instantâneo do vento NCEP/NCAR a 10 m de altura para a América do Sul, em situação de deslocamento de um sistema frontal.

Janeiro - Fevereiro - Março

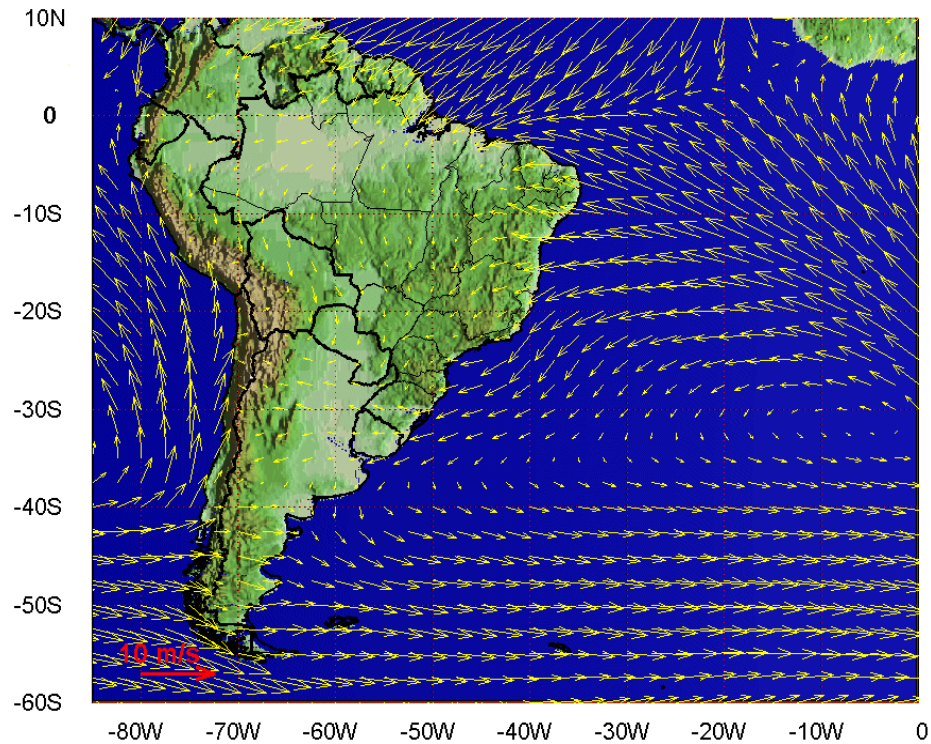


Figura I.1.2-1 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento à 10 m no período de verão.

Junho - Julho - Agosto

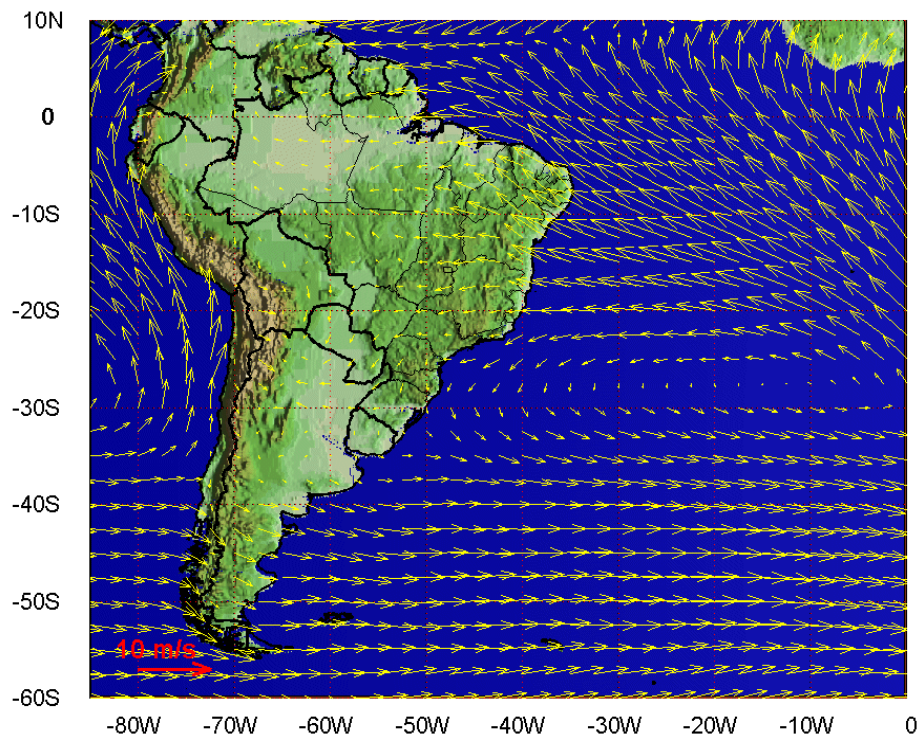


Figura I.1.2-2 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento à 10 m no período de inverno.

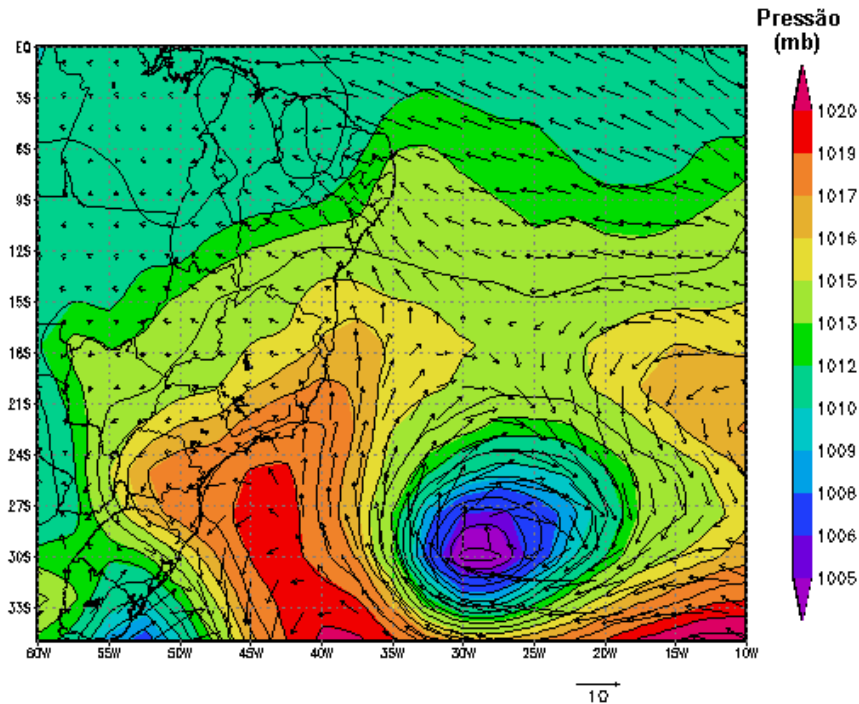


Figura I.1.1-3 - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos das reanálises do NCEP para o dia 15 de junho de 2003, às 18GMT (deslocamento de um sistema frontal).

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

II MODELO HIDRODINÂMICO

Nesta etapa do trabalho foi implementada uma estrutura numérica (*i.e.* modelos hidrodinâmicos), visando simular os campos 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.

O campo de correntes obtido foi o resultado de uma soma ponderada dos vetores de velocidade obtidos a partir de simulações com o POM e o POCM, para os períodos de verão e inverno. Em região de plataforma continental foi considerado um peso maior aos resultados do POM, que diminuiu em direção à região de águas profundas, onde o peso maior foi dado aos resultados do POCM.

II.1 DESCRIÇÃO DO PRINCETON OCEAN MODEL

O modelo numérico hidrodinâmico utilizado para a simular as condições na plataforma continental 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:

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

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});

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);
- 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. 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:

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

II.2 DESCRIÇÃO DO MODELO PARALLEL OCEAN CIRCULATION MODEL

O modelo hidrodinâmico utilizado para fornecer o campo de correntes no talude continental e oceano profundo foi o POCM, desenvolvido pelo Office of Naval Research dos Estados Unidos. Este modelo utiliza como forçantes fluxos de calor e ventos gerados pelo ECMWF⁴.

O modelo POCM é considerado pela comunidade oceanográfica do WOCE⁵ o mais sofisticado para descrever a circulação oceânica, sendo capaz de reproduzir os fluxos da CB que afetam diretamente a região sudeste. 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).

⁴ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.

⁵ World Ocean Circulation Experiment.

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 ⁶ , 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 sul-sudeste brasileira possui dimensão horizontal máxima de 70x100 pontos, com resolução média de aproximadamente 5 km (figura II.3.1-1). A grade geral implementada 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 CB no talude continental).

Os dados de profundidade projetados no modelo hidrodinâmico e subsequentemente inseridos no modelo de óleo são provenientes de bases de dados da **ASA**, obtidas nesta região através da digitalização de cartas náuticas da DHN⁷. Para a região da plataforma continental, os pontos digitalizados foram extraídos das cartas náuticas da DHN números 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 do ETOPO 2, do NGDC/NOAA⁸, reamostrada para um espaçamento de 10'. Esses pontos encontram-se ilustrados na figura II.3.1-2.

⁶ <http://ingrid.ldgo.columbia.edu/SOURCES/.LEVITUS94>.

⁷ Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha.

⁸ *National Geophysical Data Center da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).*

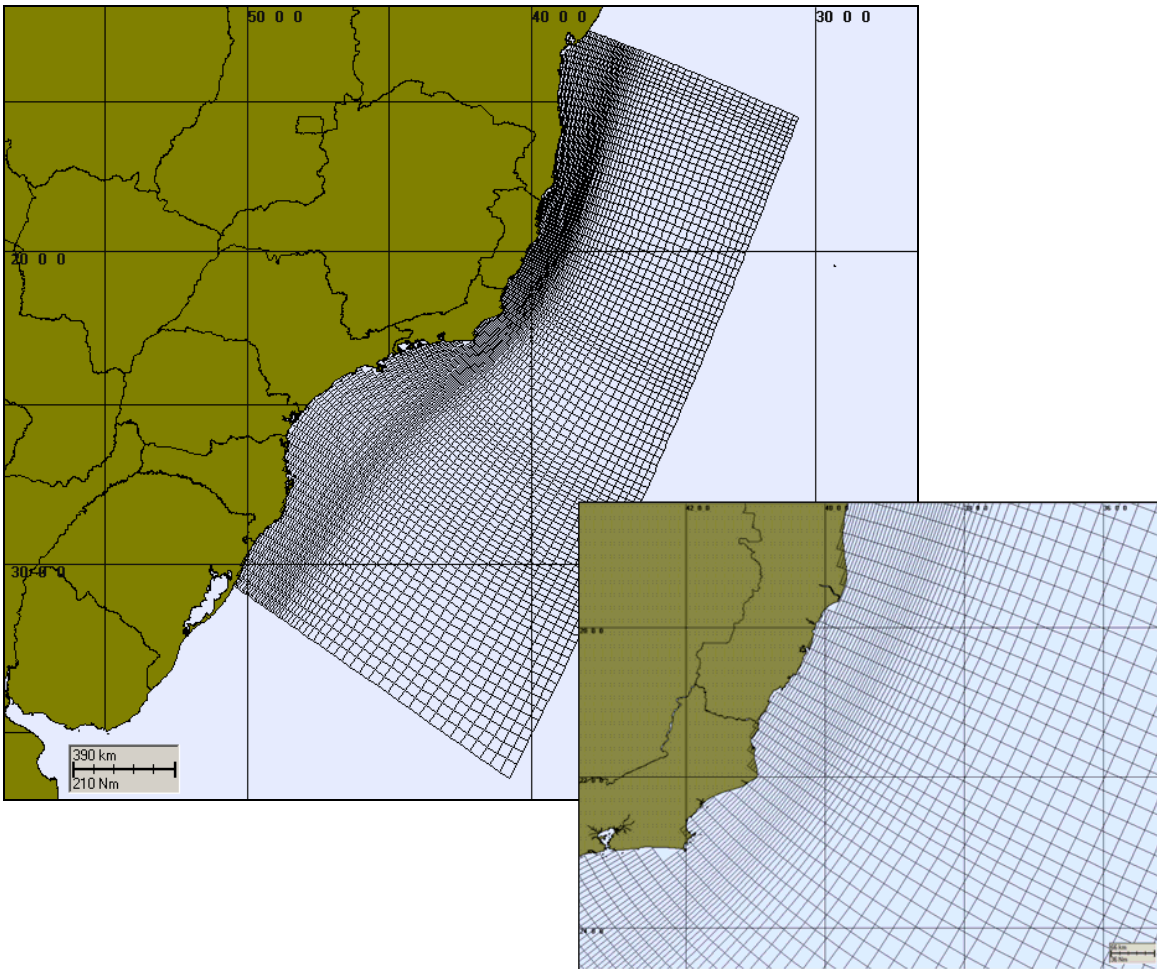


Figura II.3.1-1 - Grade computacional utilizada nas simulações da circulação hidrodinâmica da região sul-sudeste brasileira.

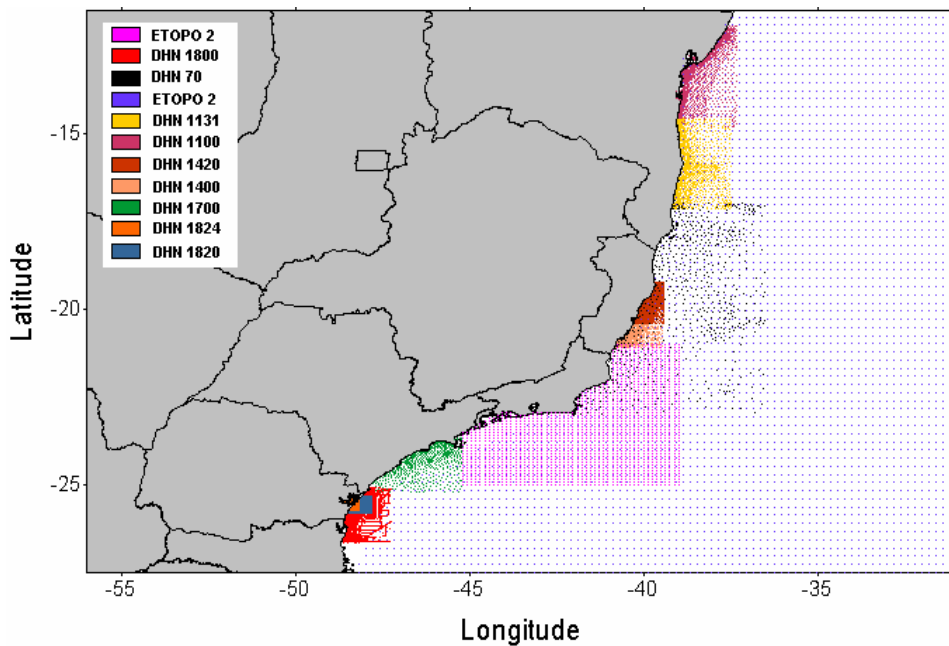


Figura II.3.1-2 - Base batimétrica para modelagem hidrodinâmica.

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.3.1-3).

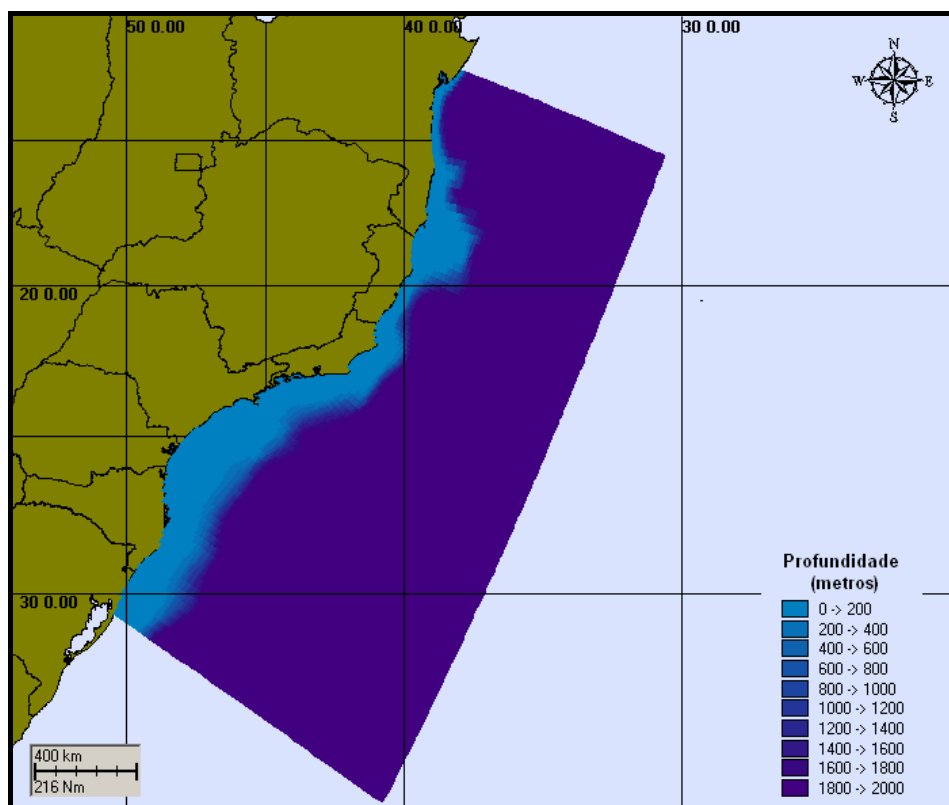


Figura II.3.1-3 - Batimetria discretizada do domínio considerado na região sul-sudeste brasileira.

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.

Nos contornos abertos foram utilizados campos (provenientes do CSR3) 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 .

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.

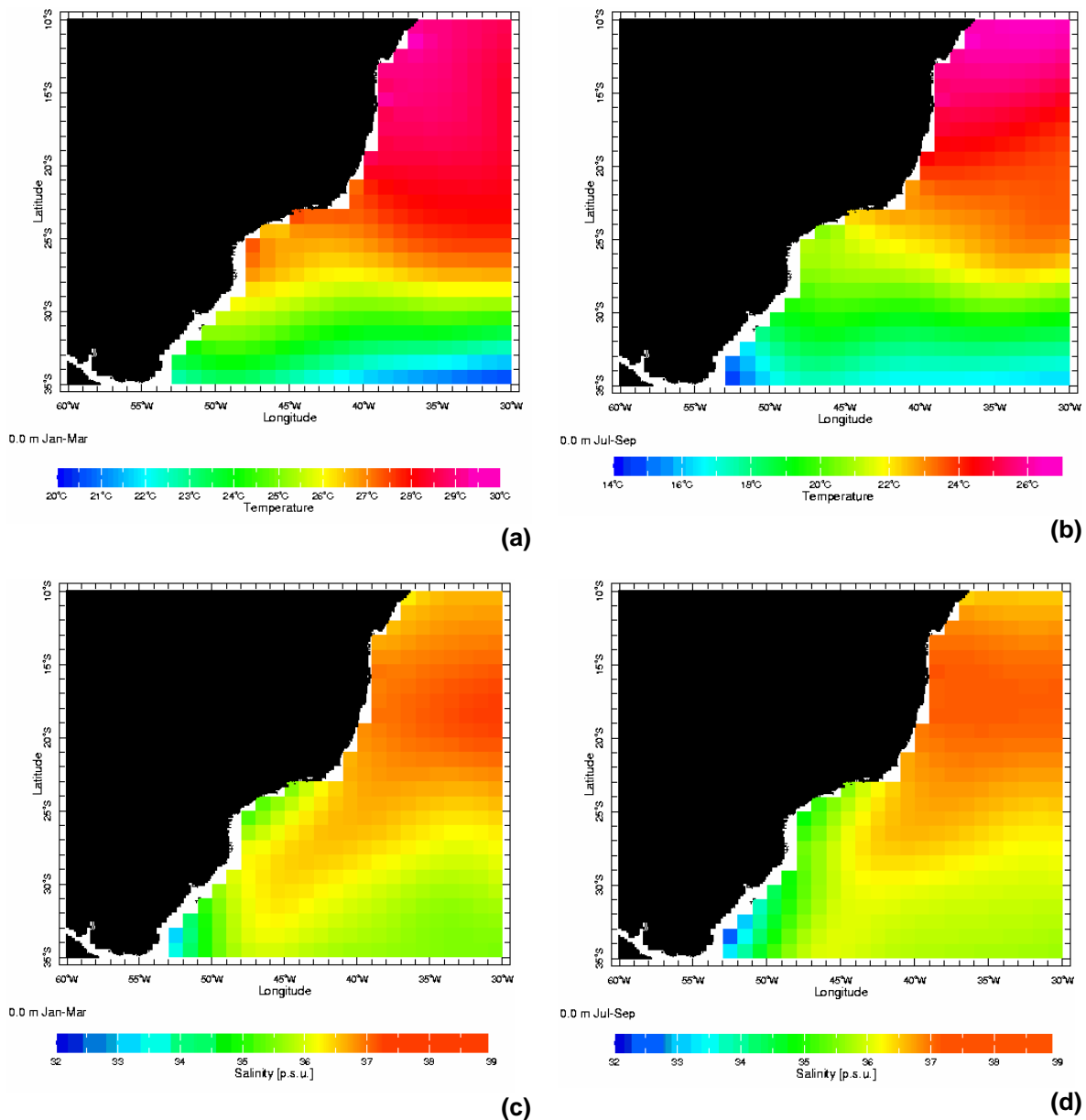


Figura II.3.3-1 - Campos termohalinos da Climatologia LEVITUS no: (a) temperatura e (b) salinidade no verão; (c) temperatura e (d) salinidade no inverno.

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 FEMAR 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 25h, incluindo assim a influência de sistemas frontais, e por alta os sinais com período entre 11h e 13h, sendo influenciado 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.

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.

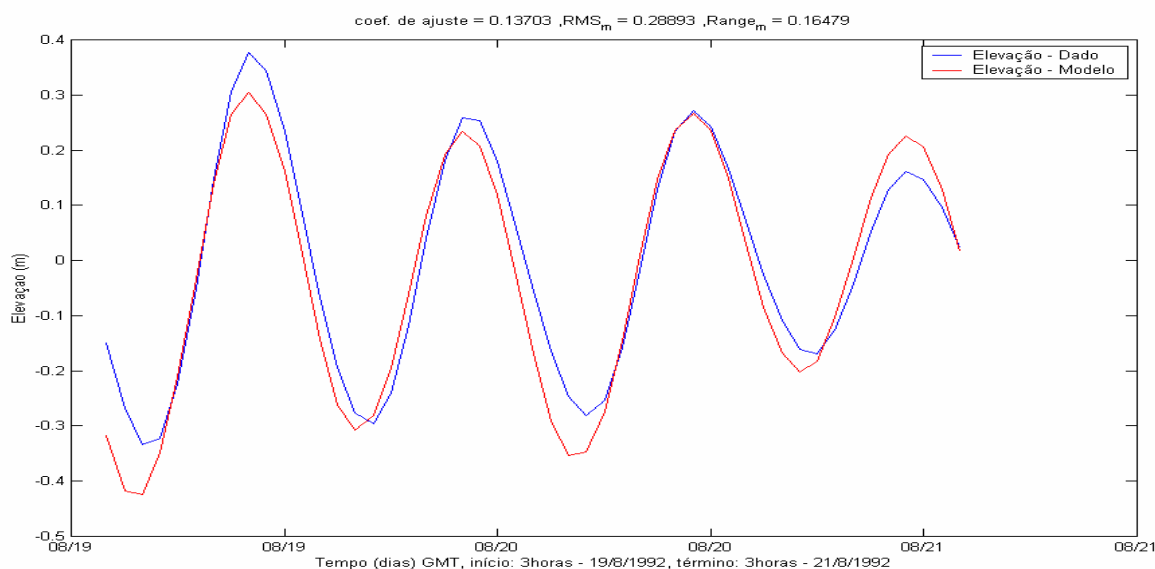


Figura III.1-1 - Série temporal de maré (azul) e a elevação calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 19 e 21 de agosto de 1992.

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.

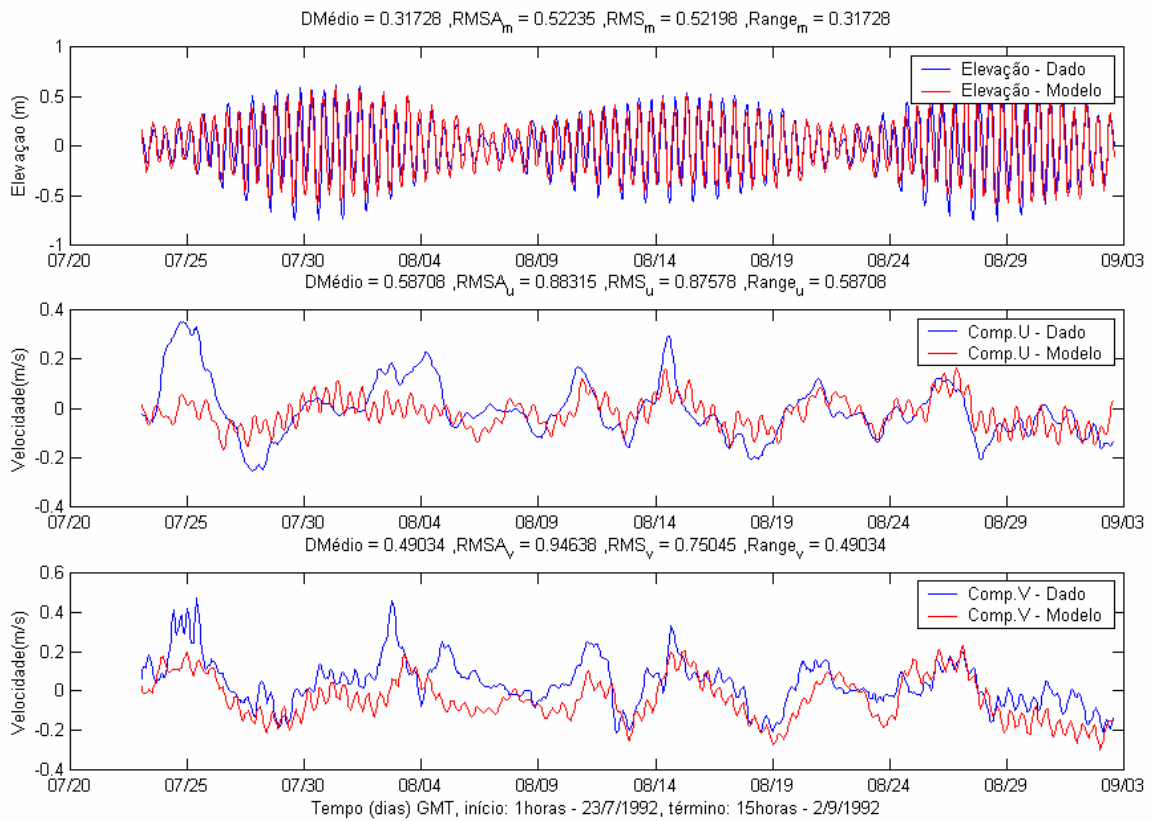


Figura III.2-1 - Séries temporais da elevação FEMAR (azul) e das componentes u (E-W) e v (N-S) dos dados PETROBRAS (azul) e as reproduzidas pelo modelo (vermelho).

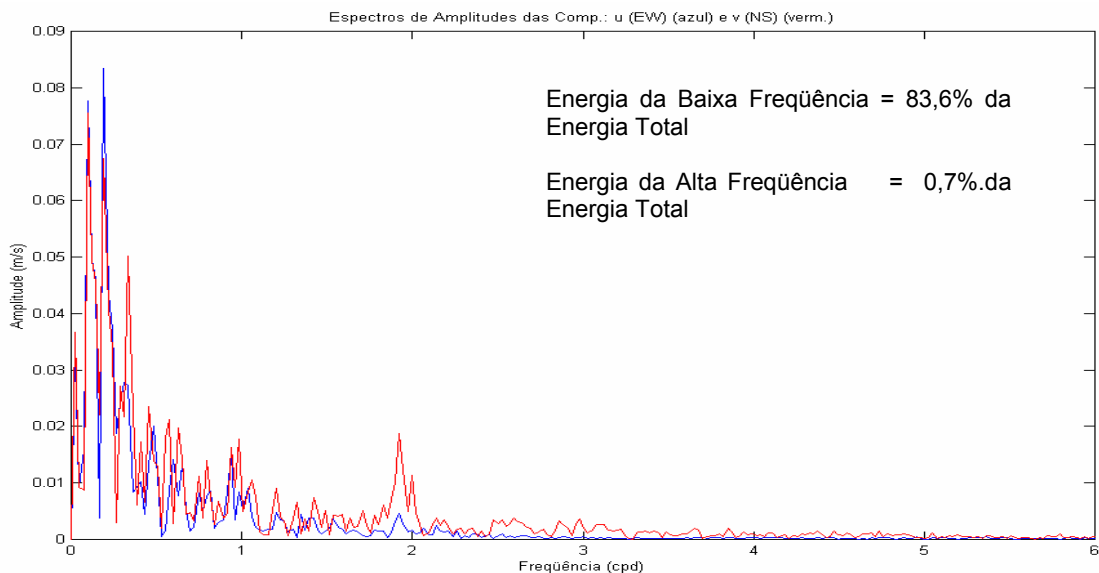
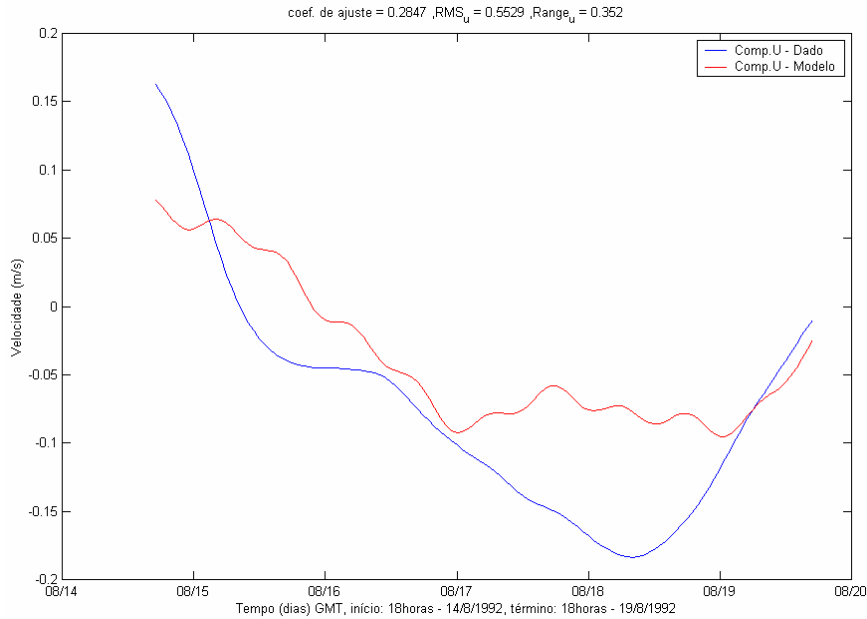
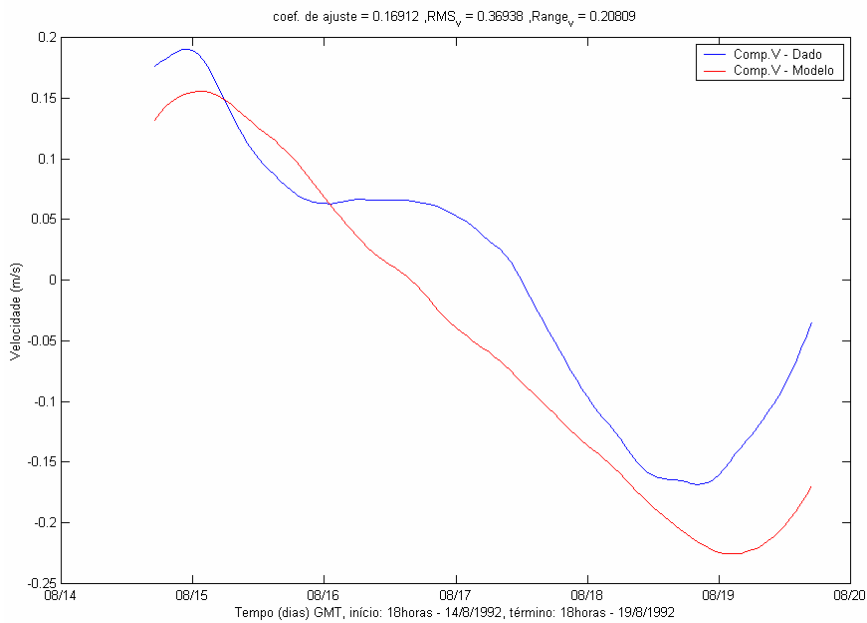


Figura III.2-2 - Espectros de amplitude das componentes u (E-W) (azul) e v (N-S) (vermelho) dos dados de corrente da PETROBRAS.

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.

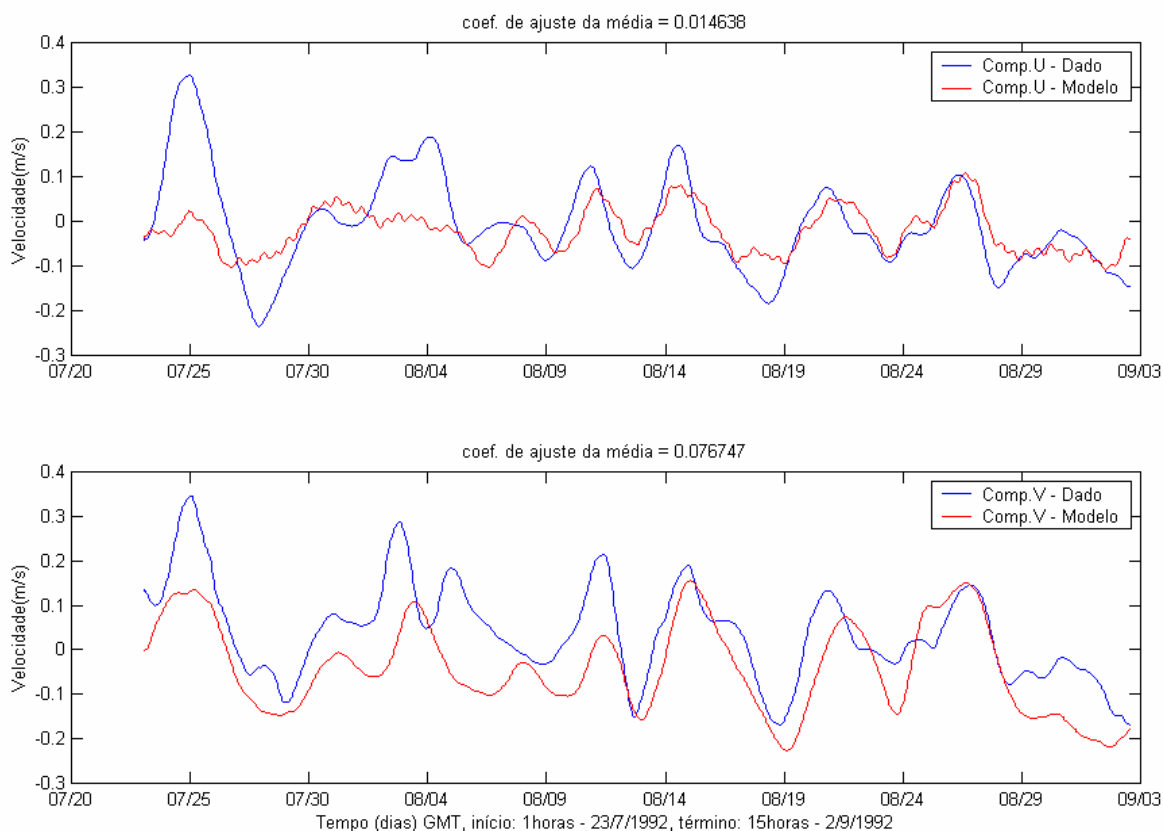


Figura III.2-4 - Séries temporais do sinal de baixa frequência das componentes u (E-W) e v (N-S) dos dados PETROBRAS (azul) e calculada pelo modelo (vermelho), entre os dias 22 de julho e 2 de setembro de 1992, utilizados na calibração da corrente média residual.

III.3 RESUMO DA BASE HIDRODINÂMICA UTILIZADA

Os resultados obtidos através da simulação numérica na costa sul-sudeste brasileira 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 modelo de óleo.

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).

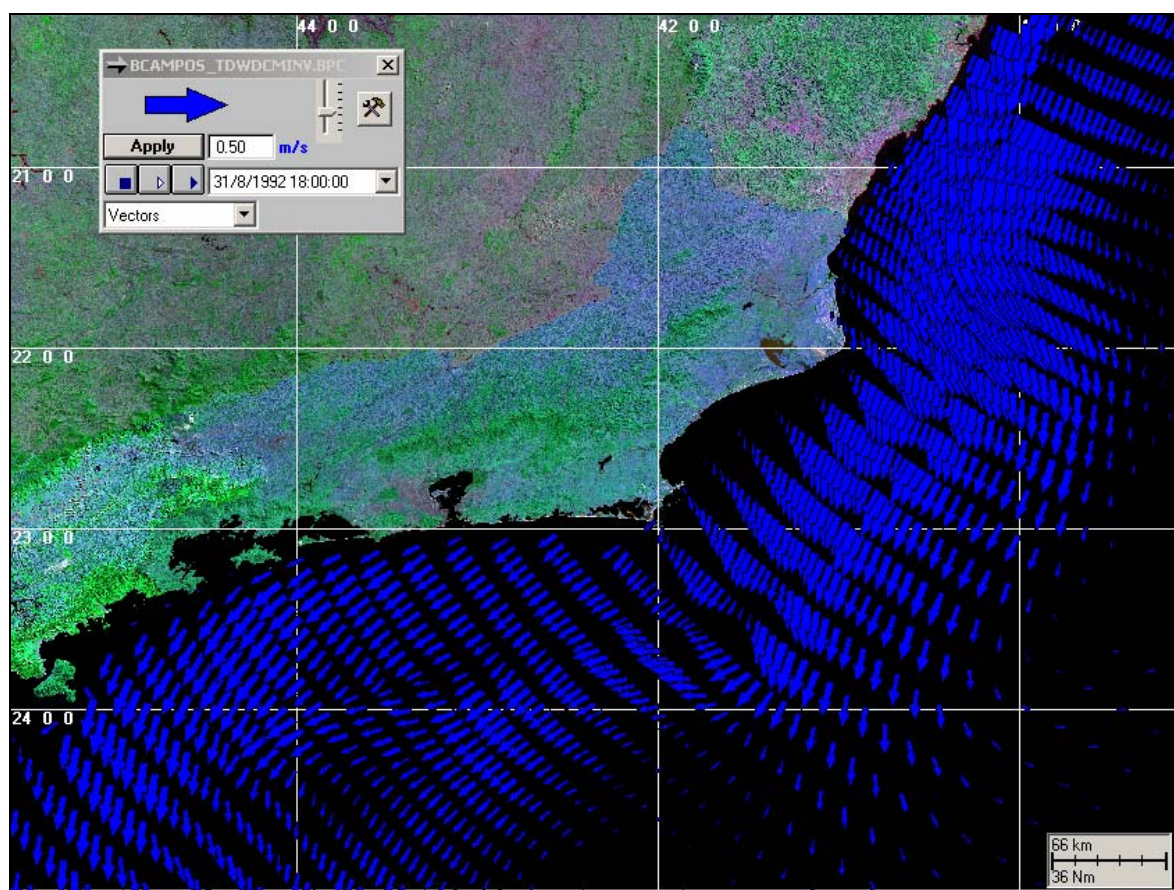


Figura III.3-1 - Exemplo ilustrativo de campo de velocidades obtidos com o modelo hidrodinâmico no ano de 1992.

IV MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO

Na modelagem do derrame de óleo foi utilizado o modelo OILMAP, desenvolvido pela **ASA**. Este modelo é uma ferramenta utilizada para o acompanhamento e previsão do deslocamento e transformações químicas (*trajectory and fates*) de qualquer tipo de óleo derramado em acidentes com petróleo.

O OILMAP é um sistema de modelos, que pode ser utilizado em Planos de Contingência (Lima *et al.*, 2003, ASA 2003a,b,c), Planos de Emergência com acompanhamento em tempo real (Pereira *et al.*, 2005), Planos de Emergência Individuais (ASA, 2003d, 2004), Relatório de Controle Ambiental (ASA, 2005a) e Estudos de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) no Brasil (ASA, 2005b) e em qualquer região do mundo (Jayko & Howlett, 1992; Spaulding *et al.*, 1992a,b).

IV.1 MODELO OILMAP

O OILMAP 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 da situação em estudo. Através de sua interface gráfica, o OILMAP 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 óleos registrados no banco de dados; apresentar dados contidos em objetos georreferenciados (GIS); e determinar o impacto ambiental em recursos naturais. As funções do GIS 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 OILMAP inclui os seguintes modelos: um modelo de deriva e intemperismo (*trajectory and fates*) para óleo de superfície e subsuperfície, um

modelo de resposta a derramamento de óleo, modelo probabilístico, e um modelo receptor que através do método inverso localiza a origem do derramamento a partir de informações da posição da mancha.

Para elaboração de cenários de deriva para acidentes com petróleo 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 (*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 óleo pode se movimentar em uma determinada direção, dependendo do tipo de costa (e.g. manguezais, costões rochosos, praias, etc.).

O modelo de deriva de óleo prevê o transporte e intemperismo do óleo a partir de derrames instantâneos e contínuos. As estimativas demonstram a localização e concentração do óleo de superfície *versus* o tempo. O modelo estima a variação temporal da cobertura de área, espessura da mancha e viscosidade do óleo. O modelo também estima o balanço da massa de óleo ou a quantidade de óleo sobre a superfície do mar, na coluna de água, evaporado, na costa, e fora da área de estudo *versus* o tempo. Os processos de transformações biogeoquímicas no modelo incluem dispersão, evaporação, entranhamento ou arrastamento, dispersão natural ou por suspensão e emulsificação. Em versão opcional, o OILMAP pode também calcular as interações do óleo com a camada de sedimentos e, no balanço de massa, a sedimentação associada a este processo.

A advecção e a dispersão são os processos físicos associados ao deslocamento e espalhamento do óleo, resultantes da ação combinada do vento, das ondas, da maré e dos fluxos induzidos por gradiente de densidade. O processo de advecção é modelado usando uma formulação lagrangiana e o processo de dispersão é modelado usando uma formulação do tipo *random walk*. A dispersão e o espalhamento da mancha são representados no modelo pela formulação espesso-fino de Mackay *et al.* (1980a, 1982), utilizando-se a abordagem de mancha espessa dos mesmos autores.

O processo de evaporação baseia-se na formulação analítica parametrizada em termos de exposição à evaporação (Mackay *et al.*, 1980b, 1982). O modelo de Exposição à Evaporação (Stiver & Mackay, 1984) é uma aproximação analítica para a previsão do volume evaporado. O modelo utiliza informações da curva de destilação para estimar os parâmetros necessários à equação analítica.

Os processos de entranhamento e arrastamento 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 coeficiente de entranhamento ou arrastamento, como uma função da viscosidade do óleo, baseia-se em Delvigne & Hulsen (1994).

O processo de emulsificação do óleo, em função de perdas de evaporação e alterações na porcentagem de água na mistura, baseia-se em Mackay *et al.* (1980a, 1982) e depende da composição do óleo e do estado do mar. O método de emulsificação de Mackay *et al.* (1982) é implementado pelo usuário através dos valores dos parâmetros de entrada do coeficiente de viscosidade do *mousse* e uma taxa de emulsificação que podem ser usados para diminuir a taxa em que a emulsificação está prevista para ocorrer.

A interação do óleo com o litoral e a linha de costa é modelada com base em uma versão simplificada de Reed *et al.* (1989), que formula o problema em termos de uma capacidade de retenção dependendo do tipo da costa e de um índice de remoção exponencial.

Utilizando-se o OILMAP em modo probabilístico, é possível considerar a variabilidade das forçantes ambientais. As simulações de derrame são realizadas através da variação aleatória do início do mesmo dentro do período para o qual se dispõe de dados meteorológicos e oceanográficos. Tanto os ventos quanto as correntes, ou ambos, podem variar estocasticamente. As múltiplas trajetórias são, então, utilizadas para a produção de curvas de contorno, demonstrando a probabilidade da presença de óleo em cada ponto da grade computacional (área de estudo). As probabilidades de presença de óleo e tempo de deslocamento da mancha podem ser correlacionadas a recursos naturais armazenados no banco de dados (GIS), de forma a auxiliar na avaliação de impactos ambientais em termos da probabilidade da presença de óleo em recursos importantes.

IV.1.1 Formulação do Modelo

O sistema OILMAP inclui um modelo de trajetória e intemperismo (*trajectory and fates*) para óleo de superfície que prevê o transporte e a degradação do óleo a partir de derrames instantâneos e contínuos.

No OILMAP, a mancha de óleo é considerada como um conjunto de partículas lagrangianas contendo, cada uma delas, massa conhecida. O vetor posição (\vec{X}_t) de uma dada partícula, num determinado instante t , é definido como:

$$\vec{X}_t = \vec{X}_{t-\Delta t} + \Delta t \vec{U}_{oil} \quad (\text{IV.1.1-1})$$

onde

- Δt = passo de tempo (s);
- $\vec{X}_{t-\Delta t}$ = posição em $t - \Delta t$;
- \vec{U}_{oil} = velocidade da mancha (m/s).

A velocidade advectiva da partícula, \vec{U}_{oil} (m/s), é definida por:

$$\vec{U}_{oil} = \vec{U}_w + \vec{U}_t + \vec{U}_r + \alpha \vec{U}_e + \beta \vec{U}_p \quad (\text{IV.1.1-2})$$

onde

- \vec{U}_w = componente da velocidade devido ao vento e às ondas (m/s);
- \vec{U}_t = componente da velocidade devido às correntes de maré (m/s);
- \vec{U}_r = componente da velocidade devido ao fluxo residual (m/s);
- \vec{U}_e = componente da velocidade devido ao fluxo de Ekman (m/s);
- \vec{U}_p = componente da velocidade devido ao *blowout* (m/s);
- α = 0 para derrame de superfície, 1 para sub-superfície;
- β = 0 para derrame sem *blowout*, 1 para *blowout*.

A componente da velocidade advectiva devida às correntes de maré, \vec{U}_t , e ao fluxo residual, \vec{U}_r , são provenientes do modelo hidrodinâmico. A velocidade de

deriva devida ao vento, u_{wc} e v_{wc} (m/s), componentes Leste-Oeste e Norte-Sul, respectivamente, são:

$$u_{wc} = C_1 u_w \quad (\text{IV.1.1-3})$$

$$v_{wc} = C_1 v_w \quad (\text{IV.1.1-4})$$

onde

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

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

C_1 = fator de deriva (%).

O fator de deriva, C_1 , é constante (Lange & Hühnerfuss, 1978), podendo variar entre 1,0 e 4,5%, baseado em observações. Valores de 3 a 3,5% são mais freqüentemente utilizados para ventos moderados em áreas de mar aberto. Valores menores são mais utilizados em zonas costeiras protegidas, como estuários e baías. O valor *default* no modelo é 3,5%. Se as correntes de superfície, fornecidas pelo modelo hidrodinâmico (ou dados observacionais), já são forçadas pelo vento, então o fator de deriva deve ser reduzido.

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:

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

$$v_{wd} = u_{wc} \operatorname{sen} \theta + v_{wc} \cos \theta \quad (\text{IV.1.1-6})$$

onde

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

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

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

Utilizando a formulação *random walk* para a dispersão horizontal, é possível simular os processos dispersivos que ocorrem numa escala de movimento inferior à escala de resolução do campo de corrente fornecido pelos dados e ou modelo

hidrodinâmico (Okubo, 1971; Okubo & Ozmidov, 1970). As componentes da velocidade de dispersão da mancha, u_{dd} e v_{dd} , (m/s), são definidas (Bear & Verruijt, 1987) por:

$$u_{dd} = \gamma \sqrt{\frac{6D_x}{\Delta t}} \quad (\text{IV.1.1-7})$$

$$v_{dd} = \gamma \sqrt{\frac{6D_y}{\Delta t}} \quad (\text{IV.1.1-8})$$

onde

D_x = coeficiente de dispersão horizontal na direção Leste-Oeste (m^2/s);

D_y = coeficiente de dispersão horizontal na direção Norte-Sul (m^2/s);

Δt = passo de tempo (s);

γ = número aleatório entre (-1) e (1).

Os coeficientes de dispersão horizontal nas direções Leste-Oeste (D_x) e Norte-Sul (D_y) são, geralmente, iguais.

O processo de espalhamento da mancha é representado pela formulação espesso-fino de Mackay *et al.* (1980a,b, 1982), utilizando-se a abordagem de mancha espessa. O OILMAP modela apenas a mancha espessa que contém mais de 90% da massa associada a mancha. A taxa de mudança da área superficial para o espalhamento da mancha espessa (Mackay *et al.*, 1980a), \bar{A}_{tk} (m^2/s), é definido por:

$$\bar{A}_{tk} = \frac{dA_{tk}}{dt} = K_1 A_{tk}^{1/3} \left(\frac{V_m}{A_{tk}} \right)^{4/3} \quad (\text{IV.1.1-9})$$

onde

A_{tk} = área superficial da mancha (m^2);

K_1 = taxa de espalhamento constante (s^{-1});

V_m = volume da superfície da mancha (m^3);

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 (m^2/s), é dada por:

$$\tilde{A}_{tk} = \frac{dA_{tk}}{dt} = K_1 A_{tk}^{1/3} \left(\frac{V_m}{A_{tk}} \right)^{4/3} \left(\frac{R_s}{R_e} \right)^{4/3} \quad (\text{IV.1.1-10})$$

onde

A_{tk} = área superficial de uma partícula (m^2);

K_1 = taxa de espalhamento constante (s^{-1});

V_m = volume de óleo de uma partícula (m^3);

R_s = raio de uma partícula (m);

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

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

$$R_e \left[\left(\frac{1}{\pi} \right) \sum_{n=1}^N A_{tk} \right]^{1/2} \quad (\text{IV.1.1-11})$$

onde

A_{tk} = área superficial de uma partícula (m^2);

N = número de partículas usadas para representar a superfície da mancha.

O processo de evaporação baseia-se na formulação analítica parametrizada em termos de exposição à evaporação (Mackay *et al.*, 1980b, 1982).

O modelo de Exposição à Evaporação (Stiver & Mackay, 1984) é uma aproximação analítica para a previsão do volume evaporado. O modelo utiliza informações da curva de destilação do óleo (curva PEV) para estimar os

parâmetros necessários a esta equação analítica. A fração evaporada, F_v , é definida por:

$$F_v = \frac{\ln[1 + B(T_G/T)\theta \exp(A - BT_0/T)]}{[T/BT_G]} \quad (\text{IV.1.1-12})$$

onde

- T_0 = ponto de ebulição inicial (K);
- T_G = gradiente da curva de destilação modificada;
- T = temperatura do ambiente (K);
- A, B = constantes adimensionais;
- θ = exposição à evaporação.

A exposição à evaporação, θ , é definida por:

$$\theta = \left(\frac{K_m A_t}{V_0} \right) \quad (\text{IV.1.1-13})$$

onde

- K_m = coeficiente de transferência de massa (m/s);
- A = área da mancha (m²);
- t = tempo (s);
- V_0 = volume do derrame de óleo (m³).

Dados da curva de destilação (T_0 , T_G , A , B), para óleo cru, podem ser obtidos no Environment Canada's Oil Catalog (Whiticar *et al.*, 1992), ou através dos seguintes procedimentos:

1. T_0 (ponto de ebulição inicial) e T_G (gradiente) são obtidos plotando-se a temperatura de ebulição (T_B) com a fração do volume destilado (F_v) para um determinado tipo de óleo, como se segue:

$$T_B = T_0 + T_G F_v \quad (\text{IV.1.1-14})$$

2. A (ponto de intersecção com o eixo y) e B (declividade) são obtidos plotando-se o logaritmo natural da constante da Lei de Henry, H , com a temperatura de ebulição (T_B). A constante da Lei de Henry, H , é definida como a razão da concentração do óleo na fase de vapor com a fase líquida. É uma constante adimensional obtida através de experimentos em laboratórios e definida por:

$$H = PV / RT \quad (\text{IV.1.1-15})$$

onde

P = pressão do vapor do óleo (atm);

V = volume do óleo (m^3);

R = constante universal dos gases;

T = temperatura ambiente (K).

H é comumente fornecido em unidades de atm - m^3/mol , devendo ser dividido por RT para adimensionalizá-lo. A relação entre H e T_B é:

$$\ln H = A - B \left(\frac{T_B}{T} \right) \quad (\text{IV.1.1-16})$$

Os valores de A e B são fornecidos no banco de dados do OILMAP e variam de 1 a 20 e de 7 a 18, respectivamente.

Os processos de entranhamento e arrastamento são modelados utilizando-se a formulação de Delvigne & Sweeney (1988) que, explicitamente, representa índices de injeção de óleo para dentro da coluna de água por gotículas de óleo. O coeficiente de entranhamento ou arrastamento, como uma função da viscosidade do óleo, baseia-se em Delvigne & Hulslen (1994).

Delvigne & Sweeney (1988) desenvolveram uma relação para a taxa de entranhamento do óleo como uma função do tamanho da partícula de óleo, Q_d ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$), expressa como:

$$Q_d = C * D_d^{0,57} S F d^{0,7} \Delta d \quad (\text{IV.1.1-17})$$

onde

C^* = constante empírica de entranhamento que depende do tipo de óleo e do estado do tempo;

D_d = energia dissipada da arrebentação da onda por unidade de área superficial (J/m^2);

S = fração da superfície do mar coberta pelo óleo;

F = fração da superfície do mar atingida pela arrebentação das ondas;

d = diâmetro da partícula de óleo (m);

Δd = intervalo de diâmetro da partícula de óleo (m).

A constante de entranhamento, C^* , foi ajustada aos dados relatados em Delvigne & Hulsen (1994) como:

$$C^* = \exp(a \ln(\mu / \rho) + b) \quad (\text{IV.1.1-18})$$

onde

μ = viscosidade do óleo (cP);

ρ = densidade do óleo (g/cm^3);

$a = -0,1023$, $b = 07,572$ para $(\mu / \rho) < 132$ cSt;

$a = -1,8927$, $b = 16,313$ para $(\mu / \rho) > 132$ cSt.

O diâmetro médio da partícula, d_{50} (μm), é definido por:

$$d_{50} = 1818(E)^{-0,5} \left(\frac{\mu}{\rho_0} \right)^{0,34} \quad (\text{IV.1.1-19})$$

onde

E = taxa de dissipação da energia da onda por unidade de volume (J/m^3s), com 10^3 a 10^4 para ondas em zona de arrebentação, 1 a 10 para camada superficial, 10^{-1} a 1 para estuários e 10^{-4} a 10^{-2} para oceano profundo;

μ = viscosidade do óleo (cP);

ρ = densidade do óleo (g/cm^3).

O processo de entranhamento é muito sensível aos valores mínimo (d_{\min}) e máximo (d_{\max}) do diâmetro da partícula (μm), sendo:

$$d_{\min} = 0,1d_{50} \quad (\text{IV.1.1-20})$$

$$d_{\max} = 2,0d_{50} \quad (\text{IV.1.1-21})$$

A energia dissipada da onda, D_d (J/m^2), é:

$$D_d = 3,4 \times 10^{-3} \rho_w g H^2 \quad (\text{IV.1.1-22})$$

onde

ρ_w = densidade da água (kg/m^3);

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

H = raiz quadrada média da altura da arrebentação da onda (m).

A fração da superfície marinha impactada pela arrebentação das ondas por unidade de tempo, F , é:

$$F = 0,032(U_w - U_t)/T_w \quad (\text{IV.1.1-23})$$

onde

U_w = velocidade do vento 10 m acima da superfície do mar (m/s);

U_t = valor limite do vento para a quebra da onda ($\sim 5 \text{ m}/\text{s}$);

T_w = período de onda significativo (s).

O total da massa que sofre entranhamento na coluna d'água, M_e (kg), é:

$$M_e = A dt \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} Q_d dd \quad (\text{IV.1.1-24})$$

onde

A = área superficial da mancha (m^2);

dt = passo de tempo (s);

Q_d = taxa de entranhamento ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

A profundidade de intrusão, z_m (m), é:

$$z_m = 1,5H_b \quad (\text{IV.1.1-25})$$

onde

H_b = altura da quebra da onda (m).

A velocidade de ascensão para cada tamanho de gotícula, W_i (m/s), é:

$$W_i = d_i^2 g (1 - \rho_0 / \rho_w) / 18\nu_w \quad (\text{IV.1.1-26})$$

onde

d_i = diâmetro da gotícula (m);

g = constante gravitacional (m/s^2);

ρ_0 = densidade do óleo (kg/m^3);

ρ_w = densidade da água (kg/m^3);

ν_w = viscosidade da água (m^2/s).

Esta relação usa a Lei de Stokes e é válida para baixos valores de números de Reynolds ($R_e < 20$).

A profundidade de mistura para cada tamanho de partícula, Z_i (m), é:

$$Z_i = \max\left(\frac{D_v}{W_i}, Z_m\right) \quad (\text{IV.1.1-27})$$

onde

D_v = coeficiente de dispersão vertical (m^2/s).

O coeficiente de dispersão vertical, D_v (m^2/s), é definido como:

$$D_v = 0,0015W_{10} \quad (\text{IV.1.1-28})$$

onde

W_{10} = velocidade do vento a 10 m de altura (m/s).

A fração da massa que volta à superfície para cada tamanho de partícula, R_i , é dada por:

$$R_i = \frac{W_i dt}{Z_i} \quad (\text{IV.1.1-29})$$

onde

dt = passo de tempo (s).

O processo de emulsificação do óleo, em função de perdas de evaporação e alterações na porcentagem de água na mistura, baseia-se em Mackay *et al.* (1980a, 1982) e depende da composição do óleo e do estado do mar.

O método de emulsificação de Mackay *et al.* (1982) é implementado pelo usuário através dos valores dos parâmetros de entrada do coeficiente de viscosidade do *mousse* e uma taxa de emulsificação, que podem ser usados para diminuir a taxa em que a emulsificação está prevista para ocorrer.

O aumento exponencial do algoritmo da formação do *mousse* é apresentado em Mackay *et al.* (1980a, 1982). A taxa de água que é incorporada ao óleo, \tilde{F}_{wc} (s^{-1}), é dada por:

$$\tilde{F}_{wc} = \frac{dF_{wc}}{dt} = C_1 U_w^2 \left(1 - \frac{F_{wc}}{C_2} \right) \quad (\text{IV.1.1-30})$$

onde

U_w = velocidade do vento (m/s);

C_1 = constante empírica (2×10^{-6} para o óleo emulsificado; 0 para outros);

C_2 = constante que controla a quantidade máxima de água (0,7 para óleo combustível pesado e óleo cru);

F_{wc} = fração máxima de água no óleo (valor de entrada para caracterização do óleo) (s^{-1}).

A viscosidade do óleo emulsificado, μ (cP), é dada por:

$$\mu = \mu_0 \exp\left(\frac{2,5F_{wc}}{1 - C_0 F_{wc}}\right) \quad (\text{IV.1.1-31})$$

onde

μ_0 = viscosidade inicial do óleo (cP);

F_{wc} = fração máxima de água no óleo;

C_0 = constante de emulsificação ($\sim 0,65$).

O efeito da evaporação na viscosidade, μ (cP), é dada por:

$$\mu = \mu_0 \exp(C_4 F_v) \quad (\text{IV.1.1-32})$$

onde

μ_0 = viscosidade inicial do óleo (cP);

C_4 = constante (1 para óleo leve e 10 para óleo pesado);

F_v = fração evaporada da superfície da mancha.

A interação do óleo com o litoral e linha de costa é modelada com base em uma versão simplificada de Reed *et al.* (1989), que formula o problema em termos de uma capacidade de retenção dependendo do tipo da costa e de um índice de remoção exponencial. Estes processos foram parametrizados no OILMAP da seguinte forma:

- A grade que representa a linha de costa do OILMAP (grade *land-water*) pode conter diferentes informações sobre as capacidades de retenção de óleo para cada elemento de grade. A deposição ocorre quando uma partícula de óleo cruza a linha de costa e termina quando a capacidade de absorção da superfície especificada é atingida. As partículas de óleo que posteriormente atingem um elemento de grade costeira já saturada não permanecem na superfície da costa;

- O óleo depositado na linha de costa é exponencialmente removido com o tempo, retornando à coluna d'água numa maré enchente suficientemente alta para umedecer a superfície com o óleo, aliada a ação do vento;
- A fração de massa disponível para deposição na linha de costa, F_{sh} , é:

$$F_{sh} = \frac{A_{lg}}{A_s} \quad (\text{IV.1.1-33})$$

onde

A_{lg} = área de um elemento de grade;

A_s = área de uma partícula na superfície.

- A massa é depositada na grade costeira apenas se o total de massa acumulada é menor do que a capacidade de absorção de determinado elemento de grade. Esta capacidade de absorção para um determinado tipo de costa i , $M_{h,i}$ (kg), é:

$$M_{h,i} = \rho_0 t_i W_i L_{gi} \quad (\text{IV.1.1-34})$$

onde

i = parâmetro do tipo de costa;

ρ_0 = densidade do óleo depositado (kg/m^3);

t_i = espessura máxima do óleo que pode ser depositada na costa
(varia de acordo com o tipo de costa e viscosidade do óleo);

W_i = largura do elemento de grade atingido pelo óleo;

L_{gi} = comprimento do elemento de grade atingido pelo óleo.

- A massa de óleo restante na costa em qualquer instante, M_R (kg), é

$$M_R = M_0 (1 - \exp[-t/T]) \quad (\text{IV.1.1-35})$$

onde

M_0 = massa inicial do óleo depositado na costa (kg);

t = tempo (dias);

T = tempo de remoção dependente do tipo de costa (dias).

IV.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;
- ✓ tipo de óleo;
- ✓ duração da simulação;
- ✓ opções de resposta (e.g., barreiras, sobrevôo, dispersantes);
- ✓ campo de correntes;
- ✓ arquivo de dados meteorológicos;
- ✓ opções de saída;
- ✓ parâmetros de simulação:
 - número de partículas,
 - fator de vento,
 - coeficiente de dispersão horizontal,
 - passo de tempo do modelo,
 - passo de tempo do arquivo de saída.

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

V MODELAGEM DE DERIVA DE ÓLEO PARA UM POTENCIAL ACIDENTE NO CAMPO DE CAMARUPIM

As simulações de deriva de óleo no FPSO Cidade de São Mateus, Campo de Camarupim, utilizaram a base hidrodinâmica descrita no Capítulo II e a grade *land-water* descrita a seguir. A PETROBRAS definiu o óleo, aqui denominado ESS-123, como o óleo que ocorre na região.

V.1 DADOS DE ENTRADA

Para a elaboração dos cenários de deriva para acidentes com petróleo no FPSO Cidade de São Mateus, Campo de Camarupim, foi definida uma grade *land-water* com dimensões de 250x250 pontos (figura V.1-1).

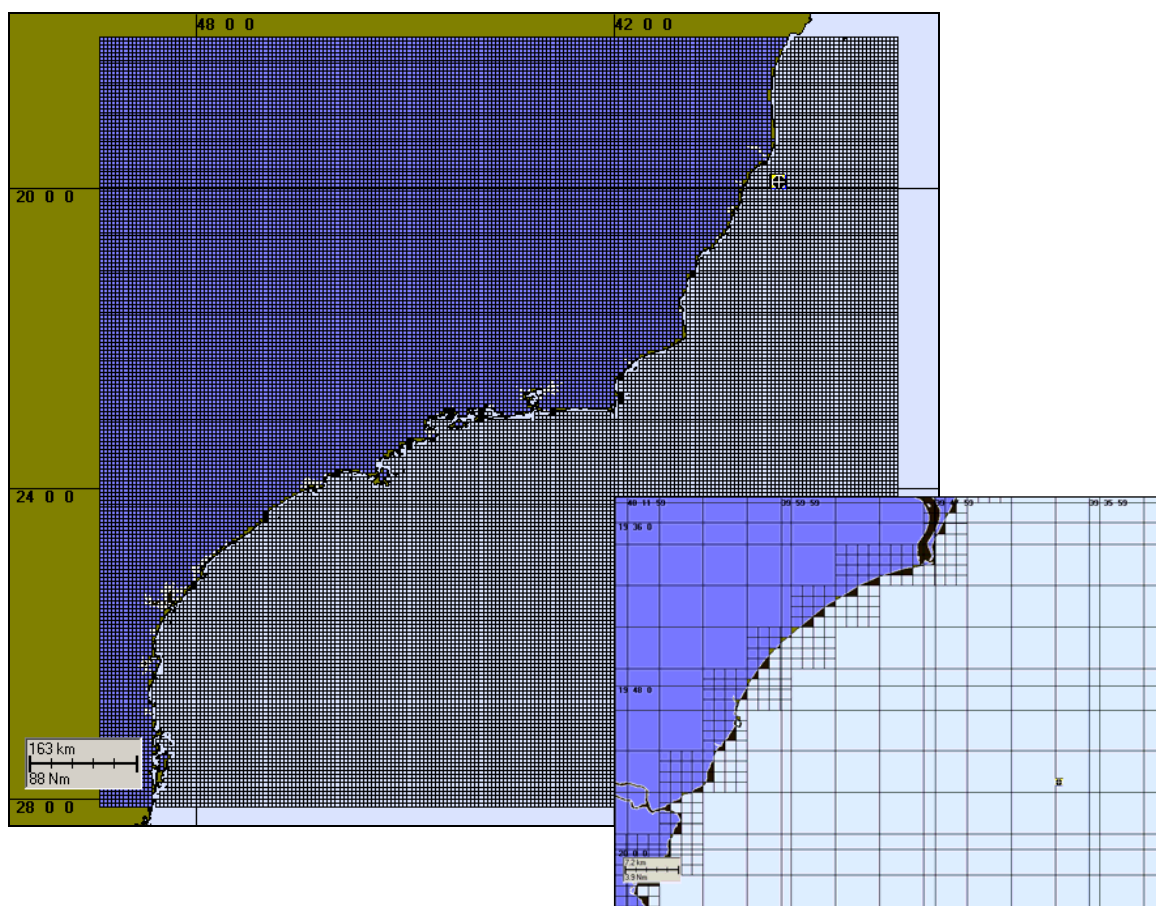


Figura V.1-1 - Grade definindo os contornos de terra (grade *land-water*) para a modelagem de deriva de óleo no Campo de Camarupim.

V.1.1 Campo de Correntes

Os campos de correntes utilizados na modelagem do transporte e dispersão de óleo 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: para verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto).

V.1.2 Dados de Vento

Para a modelagem de deriva de óleo foram utilizados dados de vento medidos por uma bóia oceanográfica localizada no Campo de Albacora, Bacia de Campos, nas coordenadas 22°30'S e 40°W. Esses dados foram fornecidos pelo Centro de Pesquisas da PETROBRAS (CENPES), para o ano de 1992, com intervalo de amostragem de 3 horas. Há algumas lacunas nos dados, como indica a figura V.1.2-1, que apresenta o *stick plot* dos valores médios diários para os mesmos. Para sua utilização na modelagem, estes dados foram interpolados.

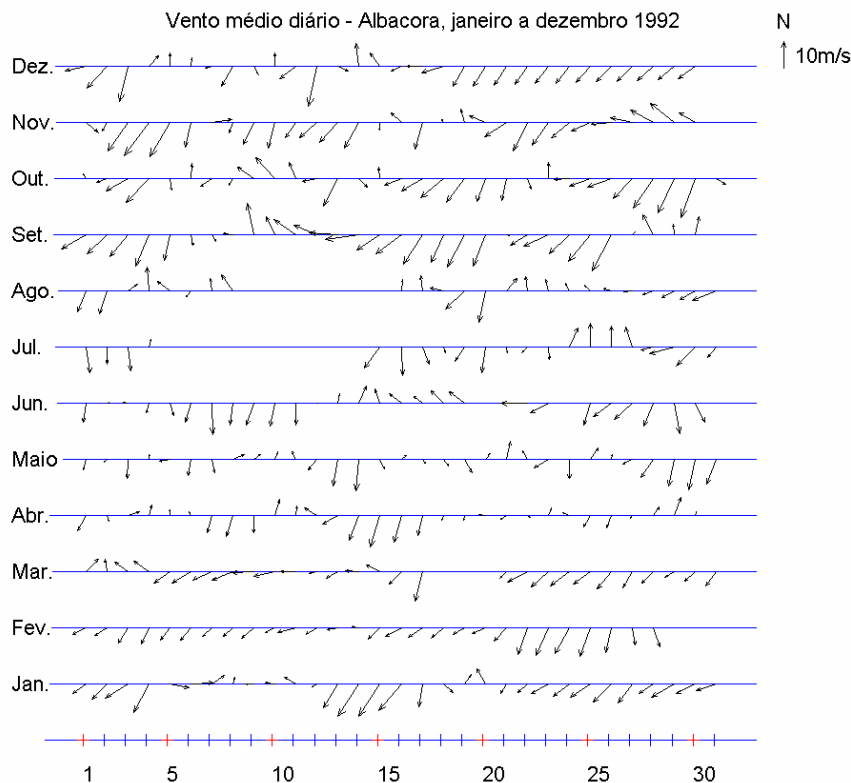


Figura V.1.2-1 - Diagrama *stick plot* dos valores médios diários de dados de vento durante o período de janeiro a dezembro de 1992 (convenção vetorial).

A figura V.1.2-2 apresenta os histogramas direcionais dos dados de vento para os períodos de (a) verão (janeiro a março) e (b) inverno (junho a agosto). 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.). Observam-se ventos predominantes de leste-nordeste nos meses de verão, e dos quadrantes norte e leste, nos meses de inverno.

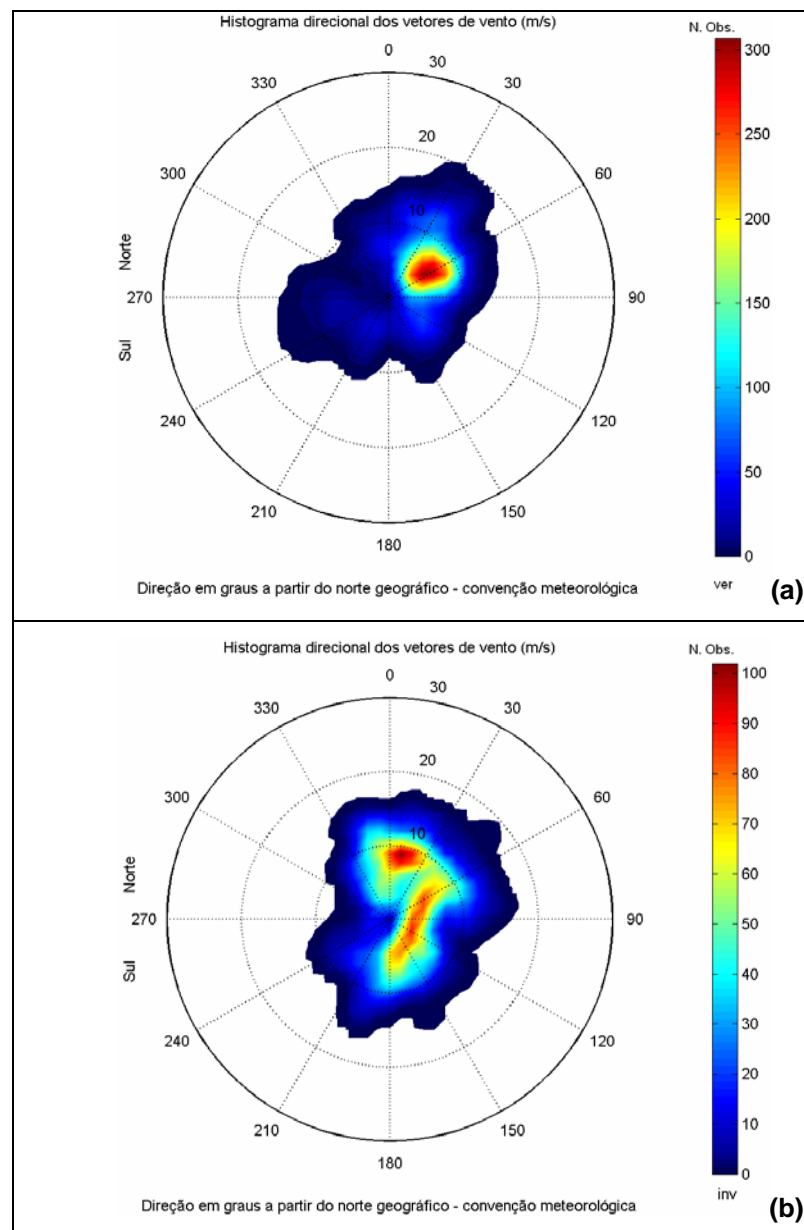


Figura V.1.2-2 - Histograma direcional dos vetores de vento para (a) verão (Jan.-Mar.) e (b) inverno (Jun.-Ago.), Campo de Albacora.

A tabela V.1.2-1 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento para o período de verão. As intensidades estão em (m/s) e as direções são apresentadas em graus a partir do Norte geográfico seguindo a convenção meteorológica. Observa-se que os ventos mais freqüentes são provenientes das direções NNE, NE e ENE (14,8%, 24,8% e 26,9%). Os ventos mais fortes registrados foram provenientes de NNE e NE (17,5 m/s).

Tabela V.1.2-1 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento para o período de verão do ano de 1992, no Campo de Albacora.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	%	Dir. méd.
0,0- 1,0	0	1	1	1	0	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8	0,4	85
1,0- 2,0	1	1	1	3	4	7	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	22	1,0	70
2,0- 3,0	1	3	5	10	14	6	2	0	2	1	1	1	2	1	2	0	51	2,3	82
3,0- 4,0	0	4	24	23	10	9	6	1	8	1	1	0	1	1	1	1	91	4,2	76
4,0- 5,0	4	26	79	38	18	13	6	9	3	17	2	5	2	0	0	4	226	10,3	64
5,0- 6,0	5	24	72	85	13	22	17	5	0	10	5	4	2	0	2	2	268	12,3	64
6,0- 7,0	27	42	51	107	18	16	17	5	0	3	6	6	5	0	3	7	313	14,3	56
7,0- 8,0	10	35	84	97	32	8	9	4	0	5	4	5	9	1	2	4	309	14,1	55
8,0- 9,0	11	25	75	126	18	6	7	0	0	8	1	6	1	2	0	4	290	13,3	57
9,0-10,0	9	24	44	50	10	2	1	1	0	0	1	2	4	0	0	8	156	7,1	44
10,0-11,0	6	27	34	28	2	0	0	2	0	0	0	3	7	0	0	6	115	5,3	35
11,0-12,0	11	38	21	10	3	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	1	88	4,0	31
12,0-13,0	12	55	17	10	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	97	4,4	29
13,0-14,0	1	7	11	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	21	1,0	30
14,0-15,0	0	4	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0,6	36
15,0-16,0	0	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0,4	33
16,0-17,0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0,2	38
17,0-18,0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0,4	35
Total	98	324	542	598	142	92	66	28	14	45	22	35	37	6	12	39	2090		
Porc.	4,5	14,8	24,8	26,9	6,5	4,2	3,0	1,3	0,6	2,1	1,0	1,6	1,7	0,3	0,5	1,8			
Vel. méd.	8,4	9,0	7,7	7,2	6,1	5,0	5,8	6,2	3,3	5,6	6,3	7,5	8,0	5,2	4,6	7,6			
Vel. máx.	13,4	17,5	17,5	12,9	11,8	9,8	9,3	11,3	4,6	8,7	11,3	13,4	12,3	8,7	7,2	11,8			
Percts. (0,9)	12,0	12,0	11,0	9,0	9,0	7,0	8,0	9,7	4,0	8,0	8,3	10,0	10,8	8,0	7,0	10,0			

A tabela V.1.2-2 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento para o período de inverno. Os ventos mais freqüentes foram de ENE, NNE e N (8,9%, 9,0% e 11,1%) e os ventos mais intensos observados foram provenientes de NE (16,5 m/s).

Tabela V.1.2-2 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento para período de inverno do ano de 1992, no Campo de Albacora.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	%	Dir. méd.	
0,0- 1,0	4	1	1	3	3	4	4	8	5	5	1	3	6	5	5	0	58	2,6	191	
1,0- 2,0	2	3	0	3	5	5	4	3	1	2	5	11	6	4	5	4	63	2,9	256	
2,0- 3,0	5	3	0	3	2	3	3	1	0	1	1	5	2	1	6	7	43	1,9	341	
3,0- 4,0	10	8	4	12	34	22	30	22	4	3	1	1	0	1	4	8	164	7,4	103	
4,0- 5,0	11	5	12	29	8	10	11	20	21	2	1	2	1	0	6	11	150	6,8	97	
5,0- 6,0	13	5	15	25	9	4	15	9	24	6	7	1	0	0	5	8	146	6,6	96	
6,0- 7,0	26	10	16	22	8	10	19	9	22	5	8	1	0	0	1	14	171	7,7	77	
7,0- 8,0	16	17	10	8	1	4	14	12	14	5	8	3	0	0	0	14	126	5,7	79	
8,0- 9,0	42	44	26	26	3	1	8	16	24	11	4	2	0	0	5	20	232	10,5	37	
9,0-10,0	45	53	25	22	9	0	6	13	11	2	0	0	0	0	0	11	197	8,9	36	
10,0-11,0	28	17	21	20	8	0	2	3	9	7	0	1	0	0	0	16	132	6,0	35	
11,0-12,0	13	7	4	14	4	0	1	0	3	5	0	0	0	0	0	8	59	2,7	36	
12,0-13,0	21	16	5	4	1	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	13	64	2,9	11	
13,0-14,0	9	4	3	5	4	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	3	32	1,4	33	
14,0-15,0	0	6	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0,4	34	
15,0-16,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16,0-17,0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,0	49	
Total	245	199	144	197	100	64	117	117	138	60	36	30	15	11	37	137	1647			
Porc.	11,1	9,0	6,5	8,9	4,5	2,9	5,3	5,3	6,3	2,7	1,6	1,4	0,7	0,5	1,7	6,2				
Vel. méd.	8,4	8,8	8,2	7,3	5,9	4,1	5,3	5,7	6,7	7,4	5,5	3,3	1,3	1,1	3,6	7,8				
Vel. máx.	13,9	14,4	16,5	14,9	14,4	12,3	11,3	13,9	11,8	13,9	8,7	10,3	4,6	3,1	8,7	13,9				
Percts. (0,9)	12,0	12,0	10,1	11,0	10,5	6,1	8,0	9,0	9,0	11,5	7,9	7,5	2,0	2,4	8,0	12,0				

V.1.3 Ponto de Risco e Volumes

As coordenadas do ponto de risco (FPSO Cidade de São Mateus) foram especificadas pela PETROBRAS conforme a tabela V.1.3-1

Tabela V.1.3-1 - Coordenadas (SAD 69) do ponto de risco localizado no Campo de Camarupim, Bacia do Espírito Santo.

PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	LÂMINA D'ÁGUA (m)
FPSO Cidade de São Mateus	19°28'46,19"S	39°44'05,92" W	800

Fonte: PETROBRAS.

Os volumes utilizados nas simulações foram definidos segundo a Resolução CONAMA⁹ n° 293/01 (Brasil, 2001):

- Pequeno: 8 m³;
- Médio: 200 m³;
- Pior caso: 111.291 m³.

O volume de pior caso foi definido como o volume resultante do afundamento da unidade FPSO considerando os volumes do tanque de carga, das linhas e vasos de processo, linhas submarinas e tanques de combustível. Nas simulações de pior caso o derrame de todo o volume foi considerado ao longo de 24 horas.

Nas simulações realizadas com os volumes pequeno (8 m³) e médio (200 m³), considerou-se o vazamento de todo o volume de óleo instantaneamente, ou seja, no instante inicial da simulação.

V.1.4 Características do Produto Utilizado

Com base nas informações disponíveis para a área em estudo foram realizadas simulações com o óleo ESS-123 (tabela V.1.4-1).

⁹ Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Tabela V.1.4-1 - Tipo de óleo utilizado nas simulações.

NOME	GRAU API
ESS-123	40,9

Fonte: PETROBRAS.

As características definidas para o óleo cru tipo ESS-123, utilizado nas simulações, são apresentadas na tabela V.1.4-2.

Tabela V.1.4-2 - Características do óleo tipo ESS-123.

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	ESS-123
Densidade	0,817 g/cm ³
Viscosidade dinâmica a 25°C	5,673 cP
Tensão interfacial	30 Din/cm
Conteúdo máximo de água	70%
Ponto de ebulição inicial	370 K
Gradiente da curva de evaporação	490
Constante de evaporação A	8,2
Constante de evaporação B	12,2

V.2 CRITÉRIO DE PARADA ADOTADO NAS SIMULAÇÕES

O critério de parada adotado nas simulações foi o tempo de 30 dias para o acompanhamento de cada partícula, ou seja, as simulações com volume de pior caso (afundamento do FPSO com derrame ao longo de 24 horas) foram de 31 dias, com o acompanhamento de cada partículas por 30 dias. No caso das simulações com volumes pequeno (8 m³) e médio (200 m³), onde o derrame é instantâneo, a duração foi de 30 dias.

Salienta-se que não foi adotado nenhum corte de espessuras nas simulações e apresentações de resultados.

V.3 RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS

As simulações probabilísticas foram realizadas através da variação aleatória do momento de início do derrame dentro do período para o qual se dispunha de dados de vento (1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992), divididas em dois períodos correspondendo ao verão (janeiro a março) e ao inverno (junho a agosto).

Para que se pudesse incorporar a variabilidade das forçantes meteorológicas e oceanográficas, foi realizada com o modelo OILMAP uma série de 300 simulações em cada cenário probabilístico.

A tabela V.3-1 apresenta os cenários simulados neste estudo para o FPSO Cidade de São Mateus. Observa-se que para as simulações com volume médio também foi considerado o tempo de 6 horas e que nas simulações com volume de pior caso também foram considerados os tempos intermediários de 12, 36 e 60 horas.

Tabela V.3-1 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames do óleo para o Campo de Camarupim (FPSO Cidade de São Mateus).

CENÁRIOS	PRODUTO (ÓLEO)	VOLUME (m ³)	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO DE SIMULAÇÃO
FPSO_CAMARUPIM_VER_8M3_30D	ESS-123	8	Verão	30 dias
FPSO_CAMARUPIM_VER_200M3_6H	ESS-123	200	Verão	6 horas
FPSO_CAMARUPIM_VER_200M3_30D	ESS-123	200	Verão	30 dias
FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_12H	ESS-123	111.291	Verão	12 horas
FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_36H	ESS-123	111.291	Verão	36 horas
FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_60H	ESS-123	111.291	Verão	60 horas
FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_31D	ESS-123	111.291	Verão	31 dias
FPSO_CAMARUPIM_INV_8M3_30D	ESS-123	8	Inverno	30 dias
FPSO_CAMARUPIM_INV_200M3_6H	ESS-123	200	Inverno	6 horas
FPSO_CAMARUPIM_INV_200M3_30D	ESS-123	200	Inverno	30 dias
FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_12H	ESS-123	111.291	Inverno	12 horas
FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_36H	ESS-123	111.291	Inverno	36 horas
FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_60H	ESS-123	111.291	Inverno	60 horas
FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_31D	ESS-123	111.291	Inverno	31 dias

VI RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PARA UM POTENCIAL ACIDENTE NO CAMPO DE CAMARUPIM

VI.1 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS

O modelo OILMAP foi utilizado para simular os cenários descritos no Item V.3 e produzir as curvas de contorno, demonstrando a probabilidade da presença de óleo em cada ponto da área de estudo. Para incorporar a variabilidade das forçantes oceanográficas e meteorológicas foram realizadas 300 simulações considerando os padrões de circulação e transporte obtidos através da modelagem hidrodinâmica (Capítulo II) e o campo de ventos apresentado no Sub-item V.1.2, para o ano de 1992.

As figuras VI.1-1 a VI.1-20 apresentam os contornos de probabilidade da presença de óleo na água e na costa, além dos volumes médios e máximos por km de costa, para os cenários de acidentes no Campo de Camarupim ocorrendo durante os meses de verão e inverno. Praticamente em todas as simulações a mancha deslocou-se para sudoeste, seguindo a orientação da Corrente do Brasil. Todas as simulações realizadas não levam em conta as ações provenientes de Planos de Contingência e Planos de Ações Emergenciais.

Cabe aqui ressaltar que em todas as ilustrações de contornos de probabilidade de óleo na água, o valor correspondente ao limite superior dos intervalos da escala de cores está incluído na classe. Assim, por exemplo, no intervalo de probabilidade de 10-20% estão incluídas as probabilidades superiores a 10% e menores ou iguais a 20%.

As figuras VI.1-1 a VI.1-10 apresentam os resultados das simulações probabilísticas simuladas durante o verão.

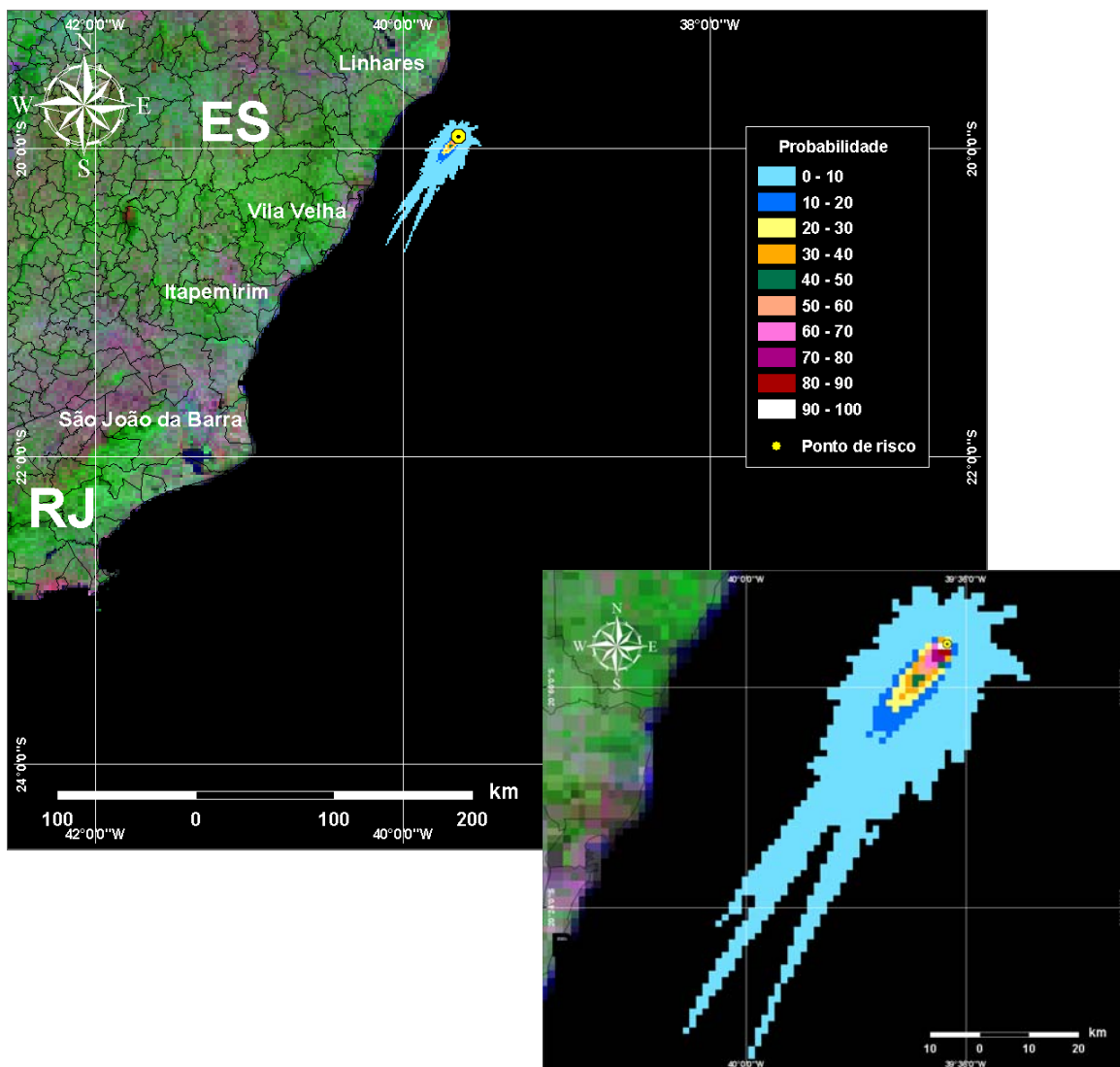


Figura VI.1-1 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_8M3_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m^3 (instantâneo) após 30 dias de simulação.

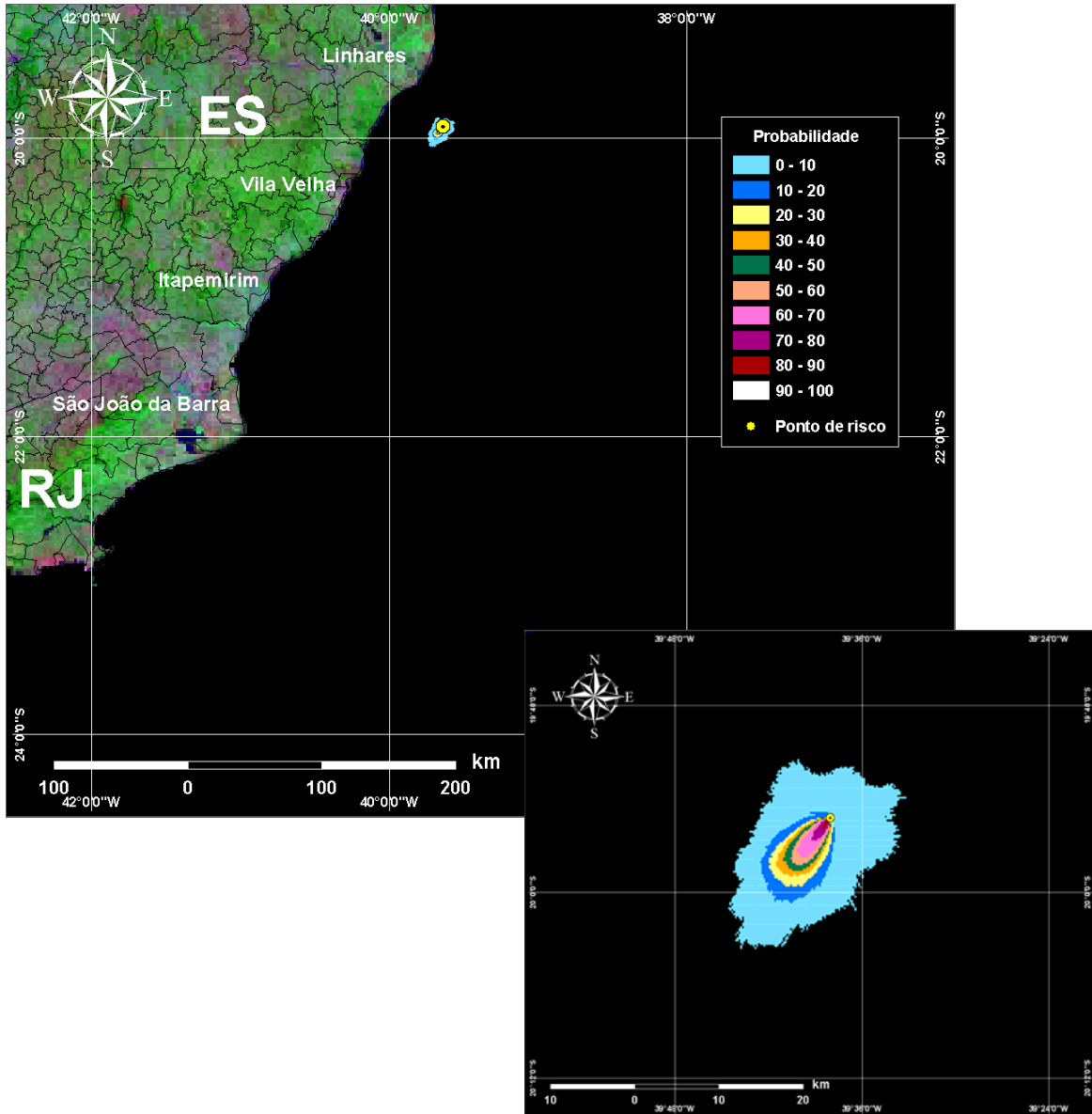


Figura VI.1-2 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_200M3_6H. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m³ (instantâneo), após 6 horas de simulação.

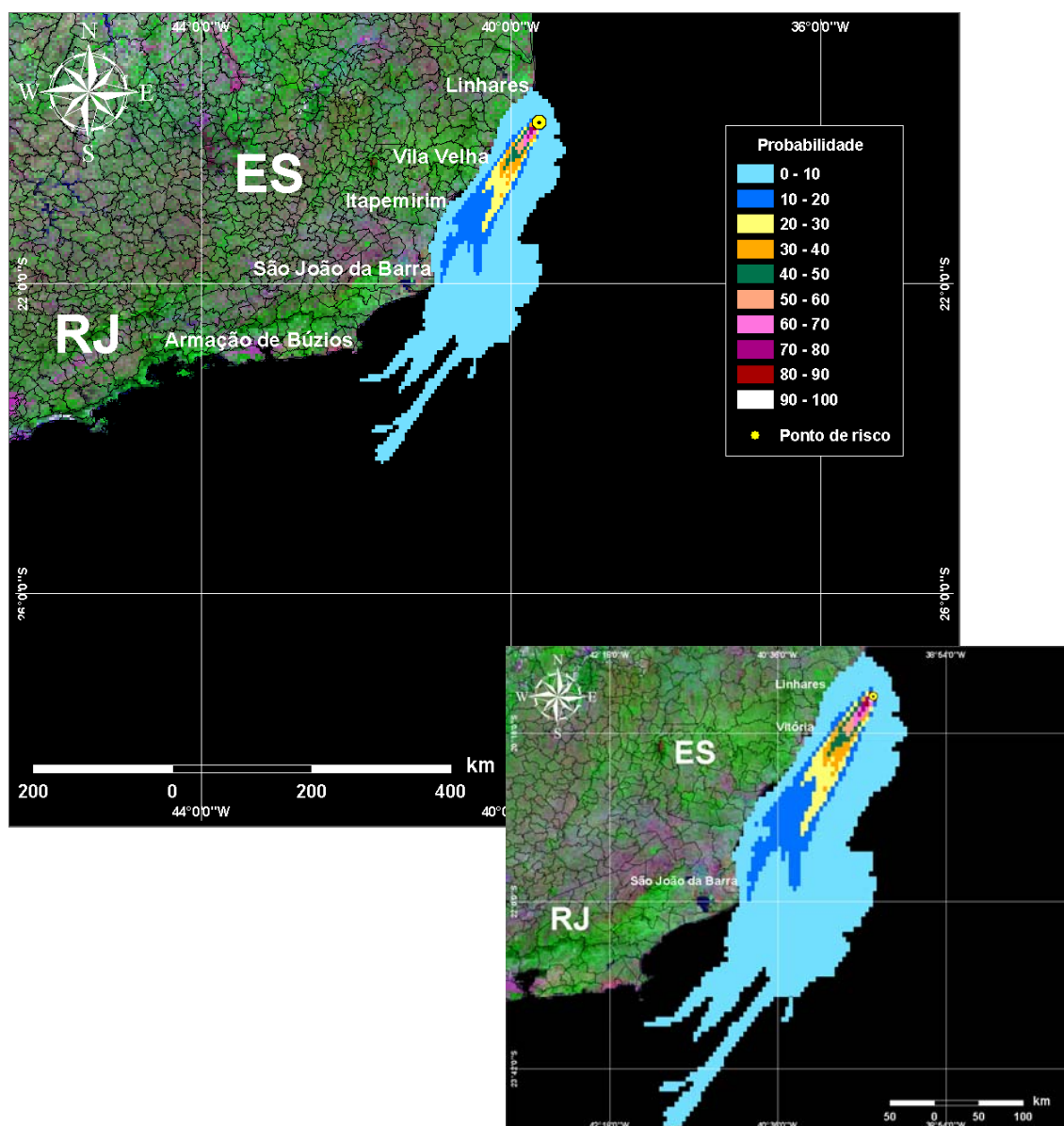


Figura VI.1-3 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_200M3_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m³ (instantâneo), após 30 dias de simulação.

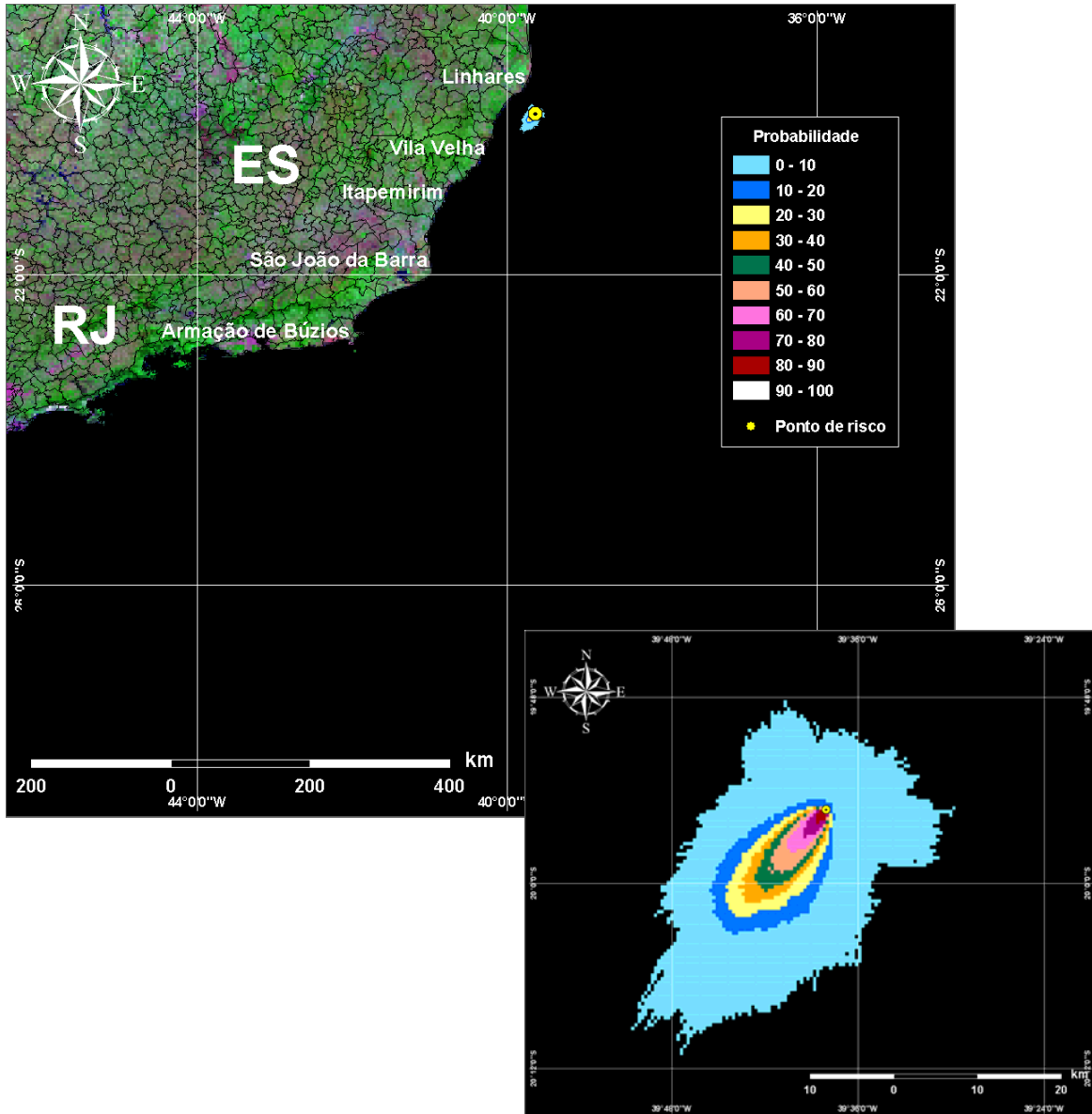


Figura VI.1-4 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_12H. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 111.291 m³ (durante 24 horas), após 12 horas de simulação.

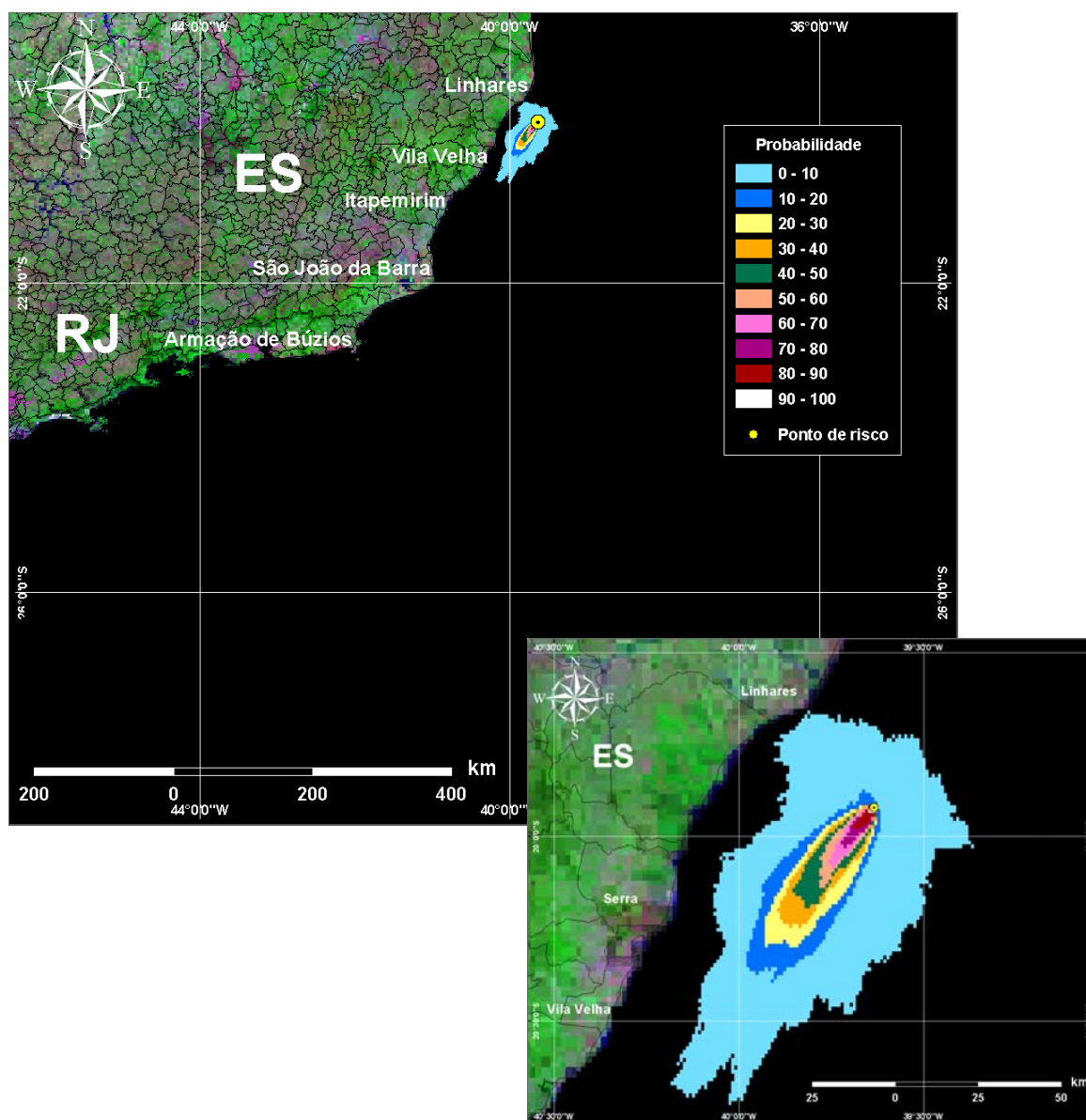


Figura VI.1-5 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_36H. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 111.291 m³ (durante 24 horas), após 36 horas de simulação.

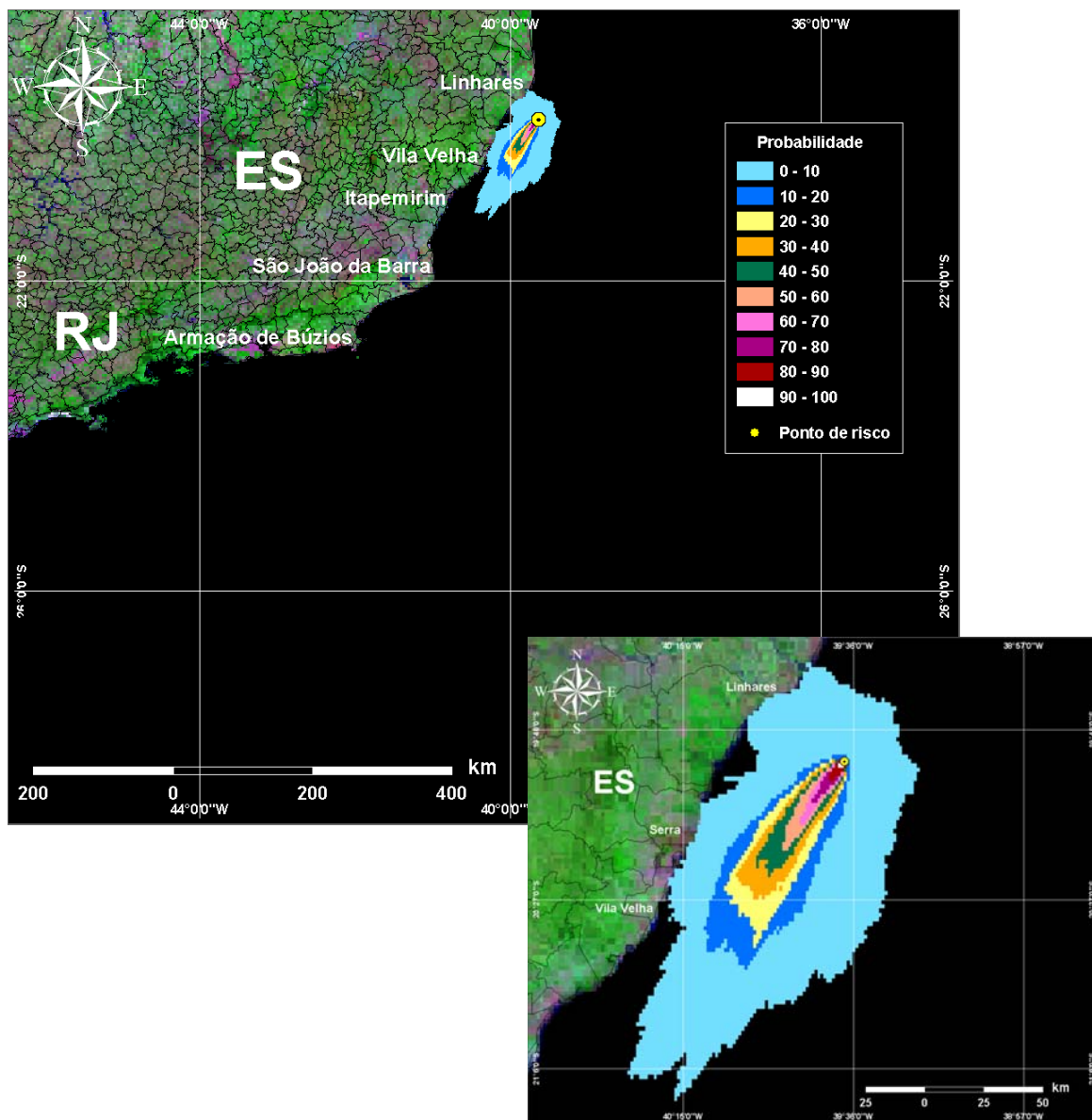


Figura VI.1-6 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_60H. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 111.291 m³ (durante 24 horas), após 60 horas de simulação.

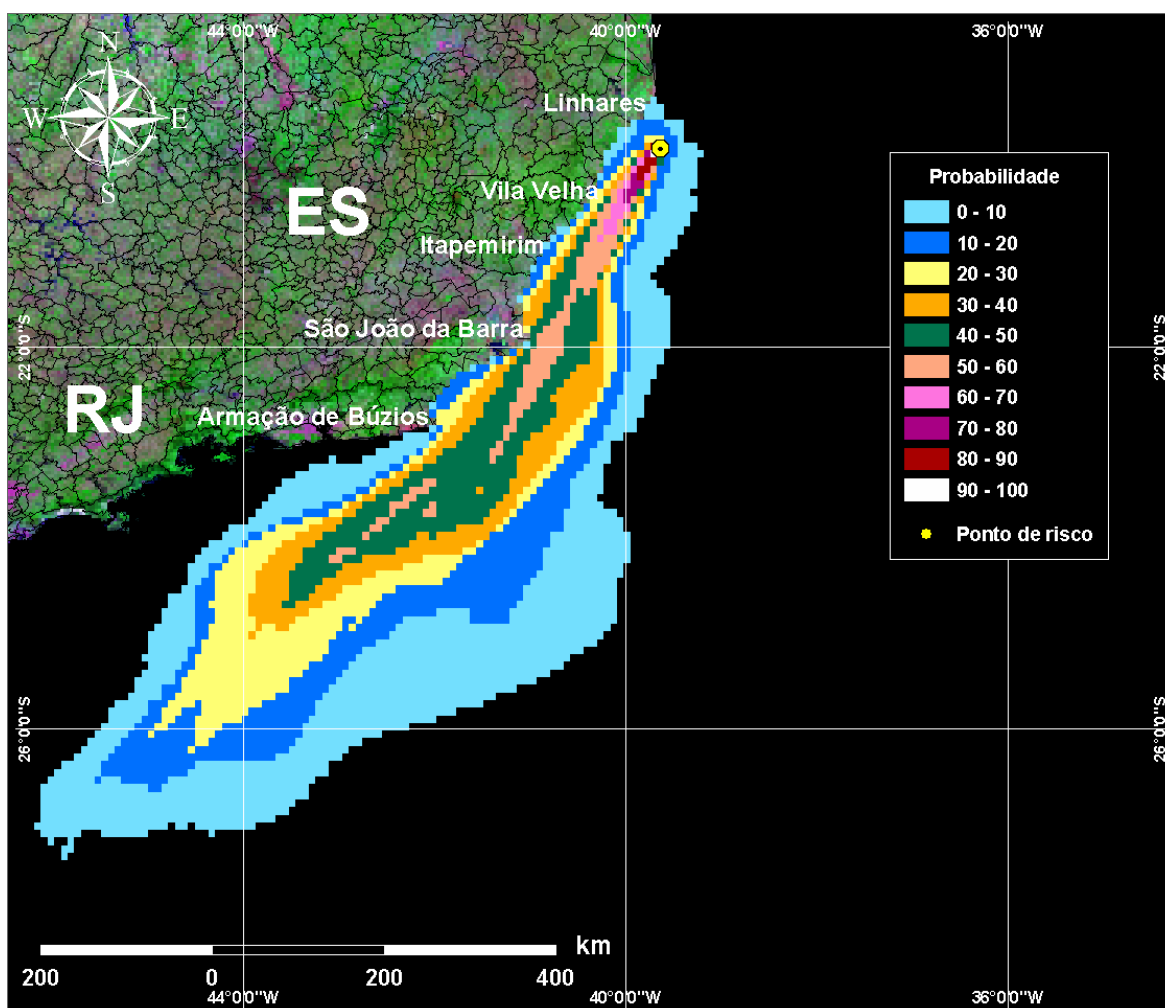


Figura VI.1-7 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_31D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 111.291 m³ (durante 24 horas), após 31 dias.

Na figura VI.1-8 é apresentada a região da linha de costa com probabilidade de toque, em condições de verão. A probabilidade de toque estende-se por uma faixa de cerca de 550 km entre os municípios de Linhares (ES) e Arraial do Cabo (RJ). Observa-se que a maior probabilidade de toque (40-50%) na costa está concentrada no município de Campos dos Goytacazes (RJ).

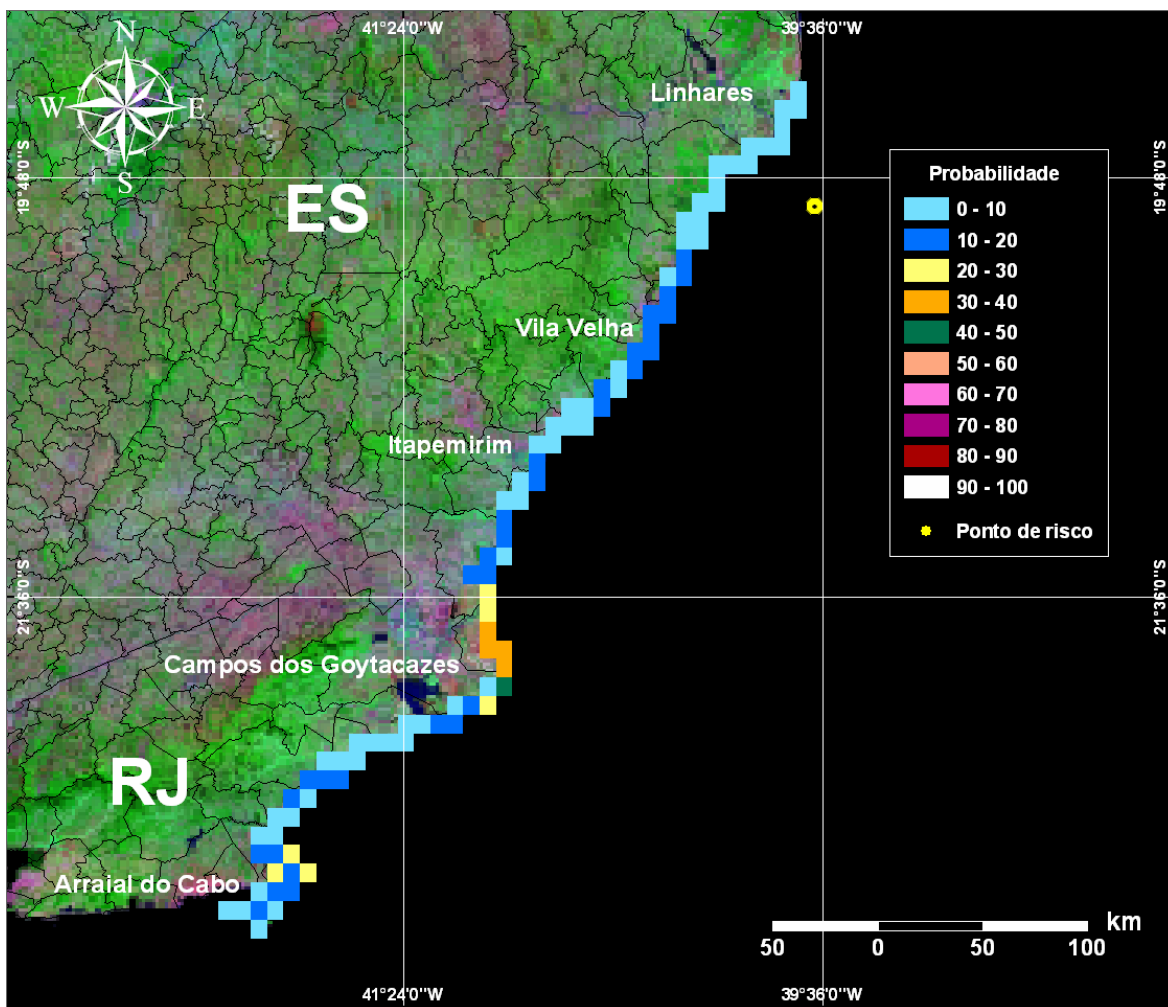


Figura VI.1-8 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_31D_SHORE. Probabilidades de toque na costa para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 111.291 m³ (durante 24 horas), após 31 dias.

A figura VI.1-9 apresenta o volume médio de óleo por km de costa atingida para simulações em condições de verão, para um derrame de 111.291 m³ ao longo de 24 horas e um período de simulação de 31 dias. Observa-se que os municípios de Linhares e Aracruz (ES) apresentam os maiores valores de volume médio de óleo por km de costa (646-715 m³/km).

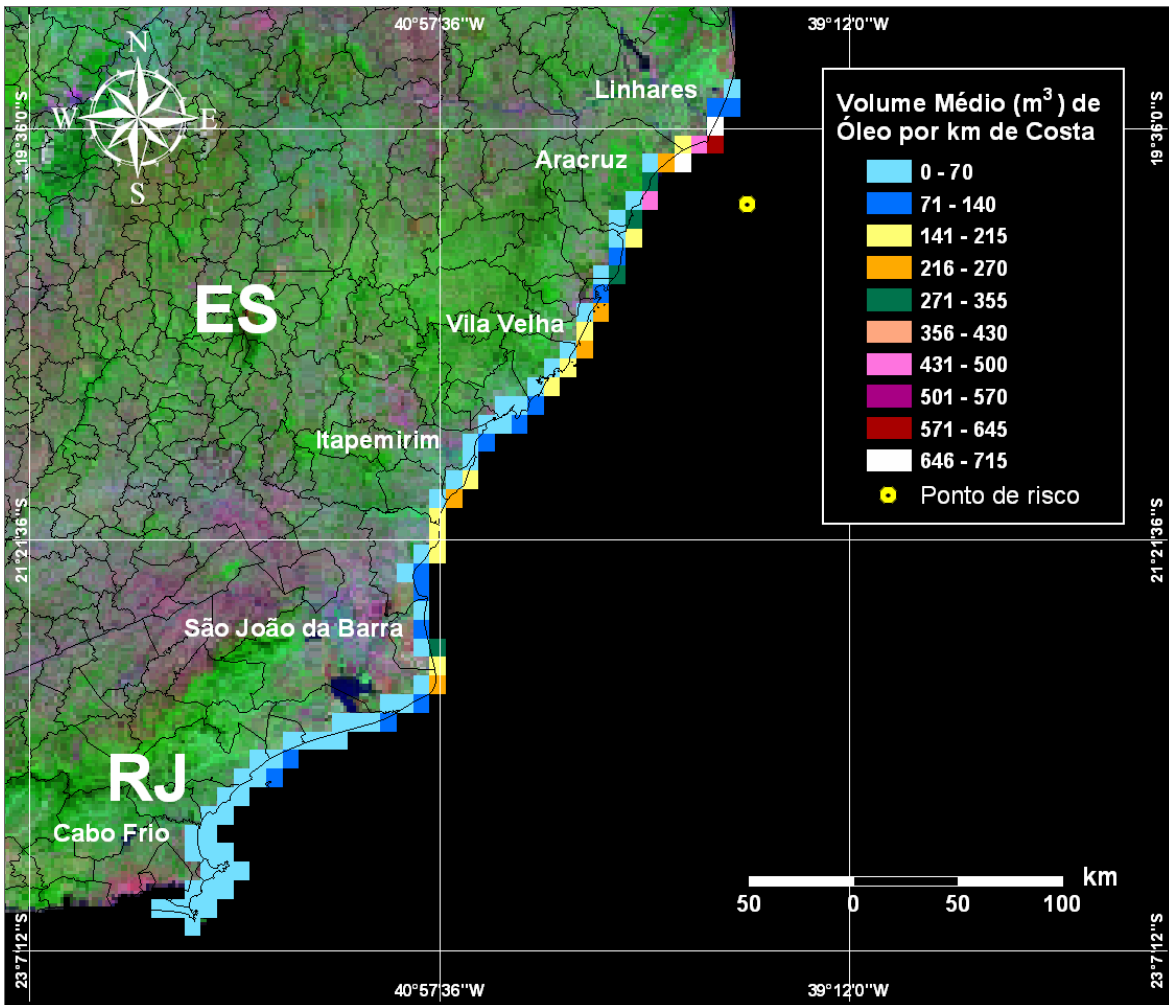


Figura VI.1-9 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_31D_SHOREMED. Volume médio de óleo por km de costa para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 111.291 m³ (durante 24 horas), após 31 dias.

A figura VI.1-10 apresenta o volume máximo de óleo por km de costa atingida para simulações em condições de verão, para um derrame de 111.291 m³ ao longo de 24 horas e um período de simulação de 31 dias. Observa-se que o município de Linhares (ES) também apresenta os maiores valores de volume máximo de óleo por km de costa (2.796-3.106 m³/km).

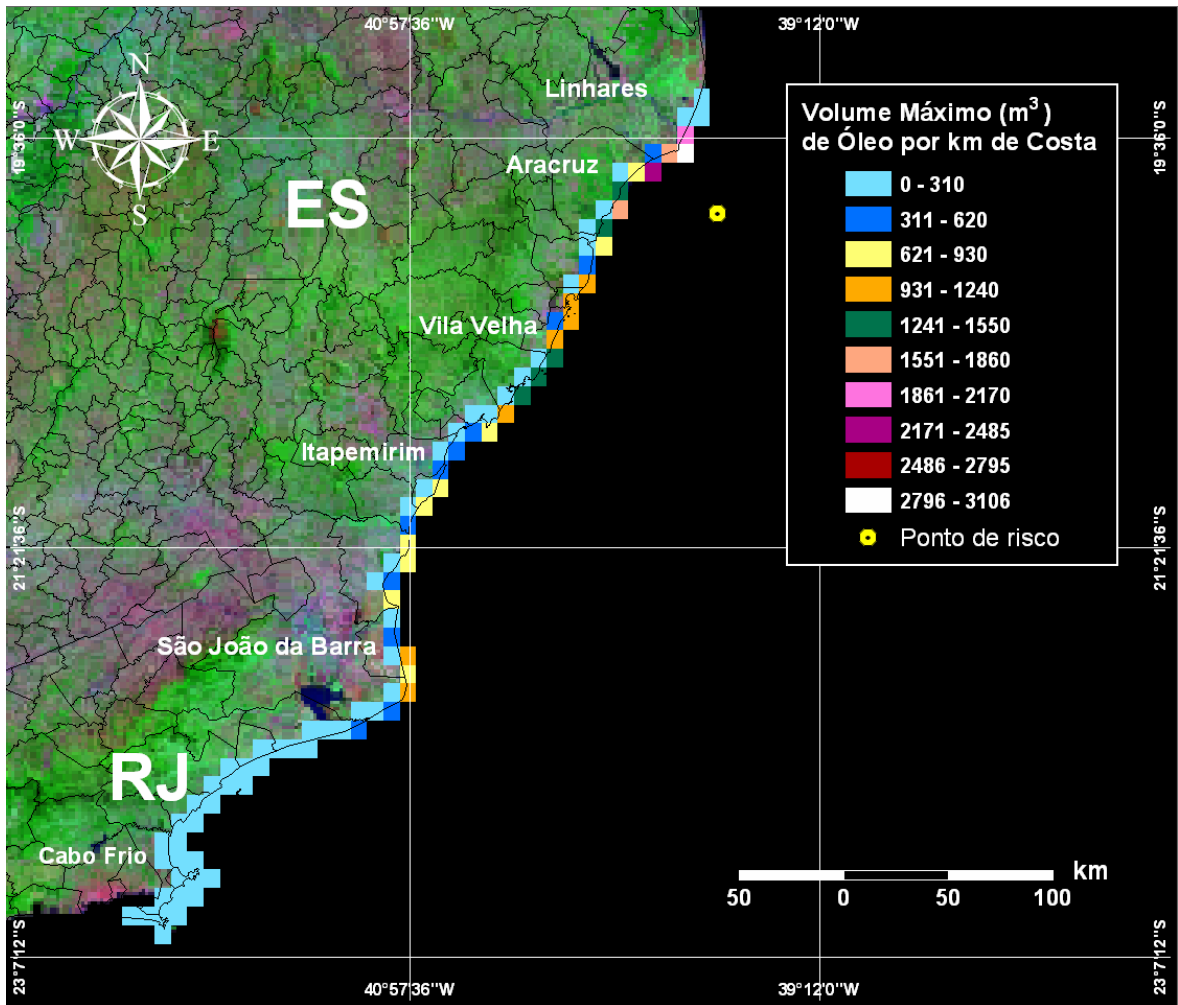


Figura VI.1-10 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_31D_SHOREMAX. Volume máximo de óleo por km de costa para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses verão (janeiro a março), com derrame de 111.291 m³ (durante 24 horas), após 31 dias.

As figuras VI.1-10 a VI.1-20 apresentam os resultados das simulações probabilísticas simuladas durante o inverno.

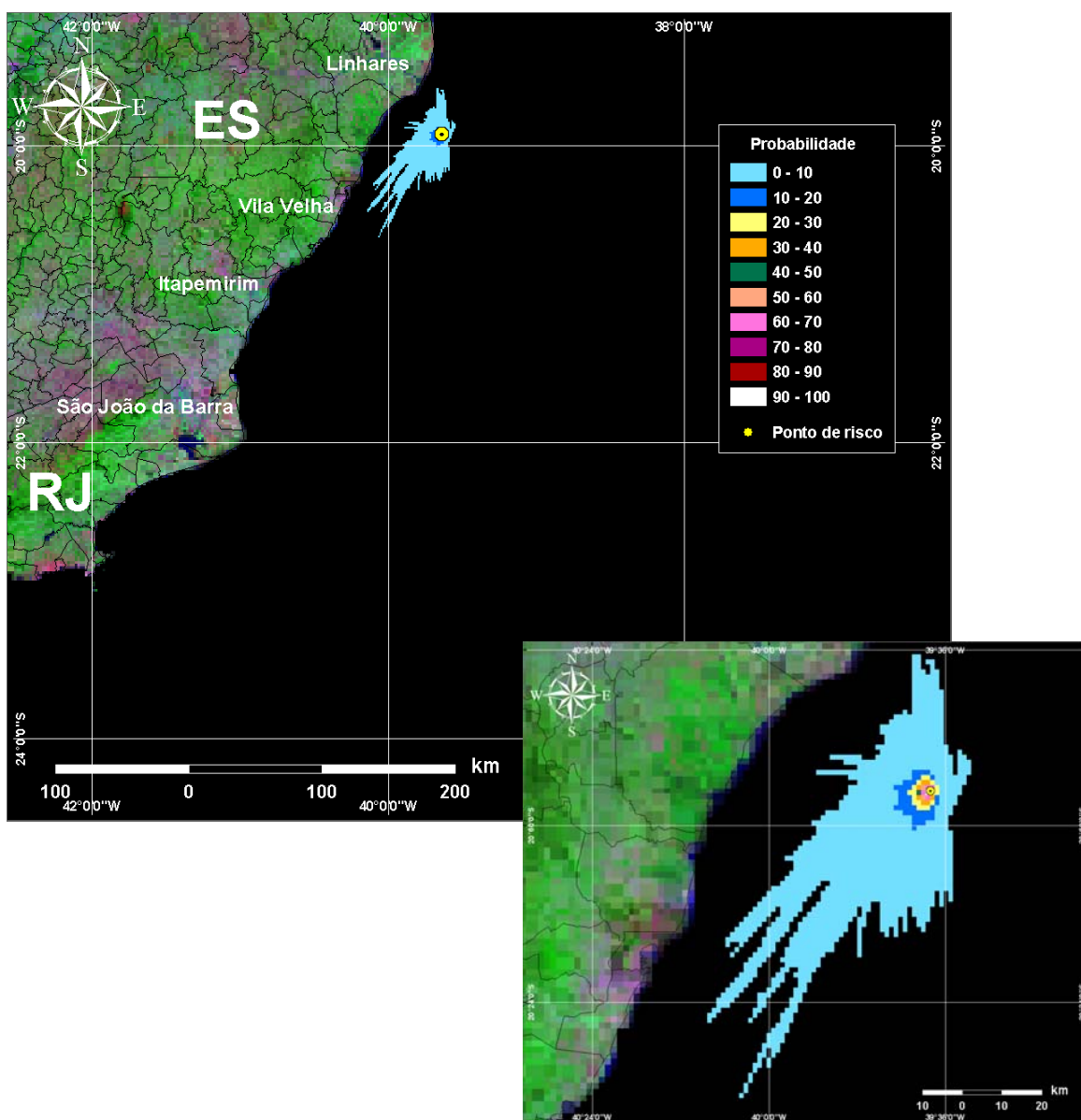


Figura VI.1-11 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_8M3_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m³ (instantâneo), após 30 dias de simulação.

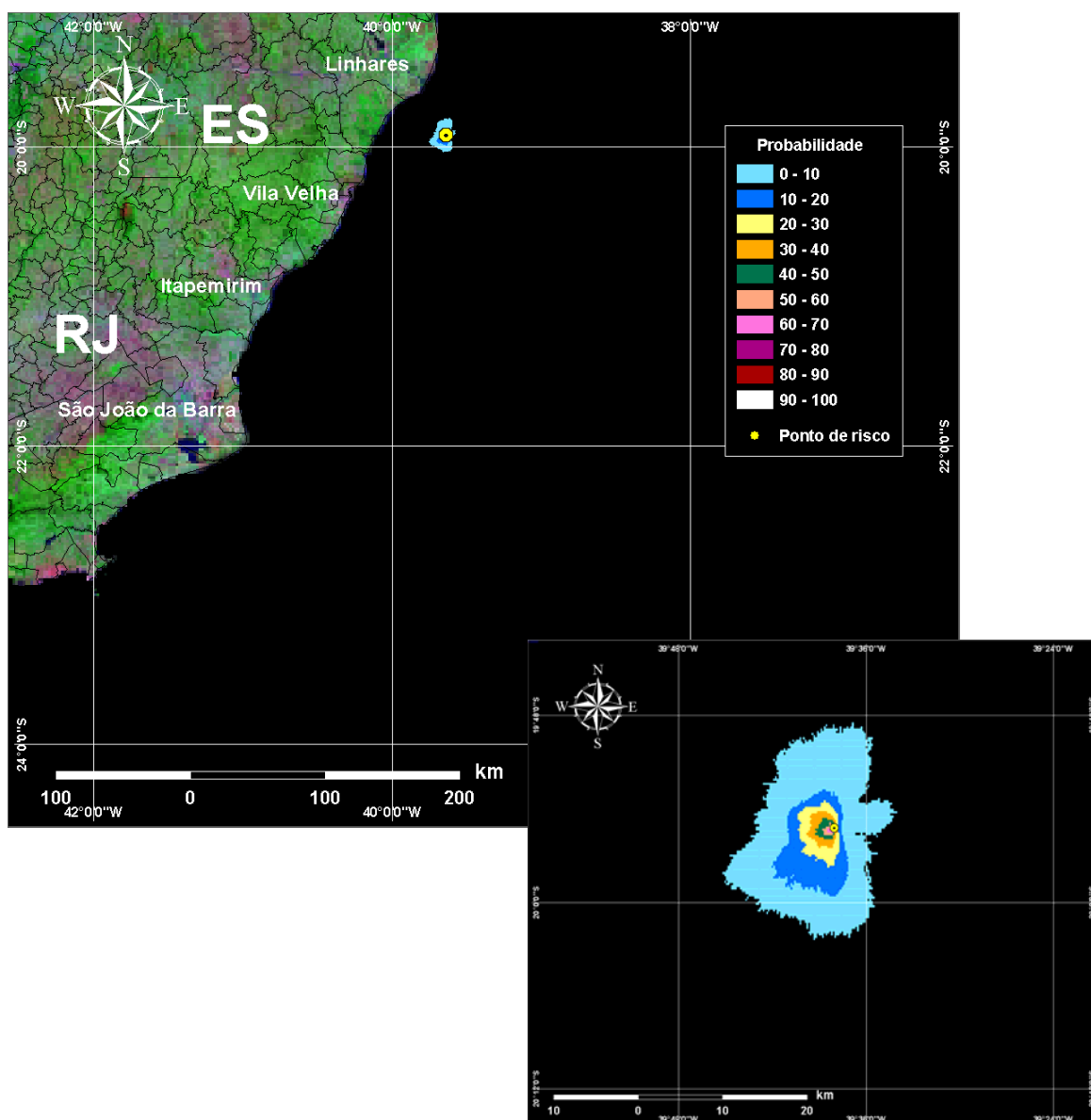


Figura VI.1-12 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_200M3_6H. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ (instantâneo), após 6 horas de simulação.

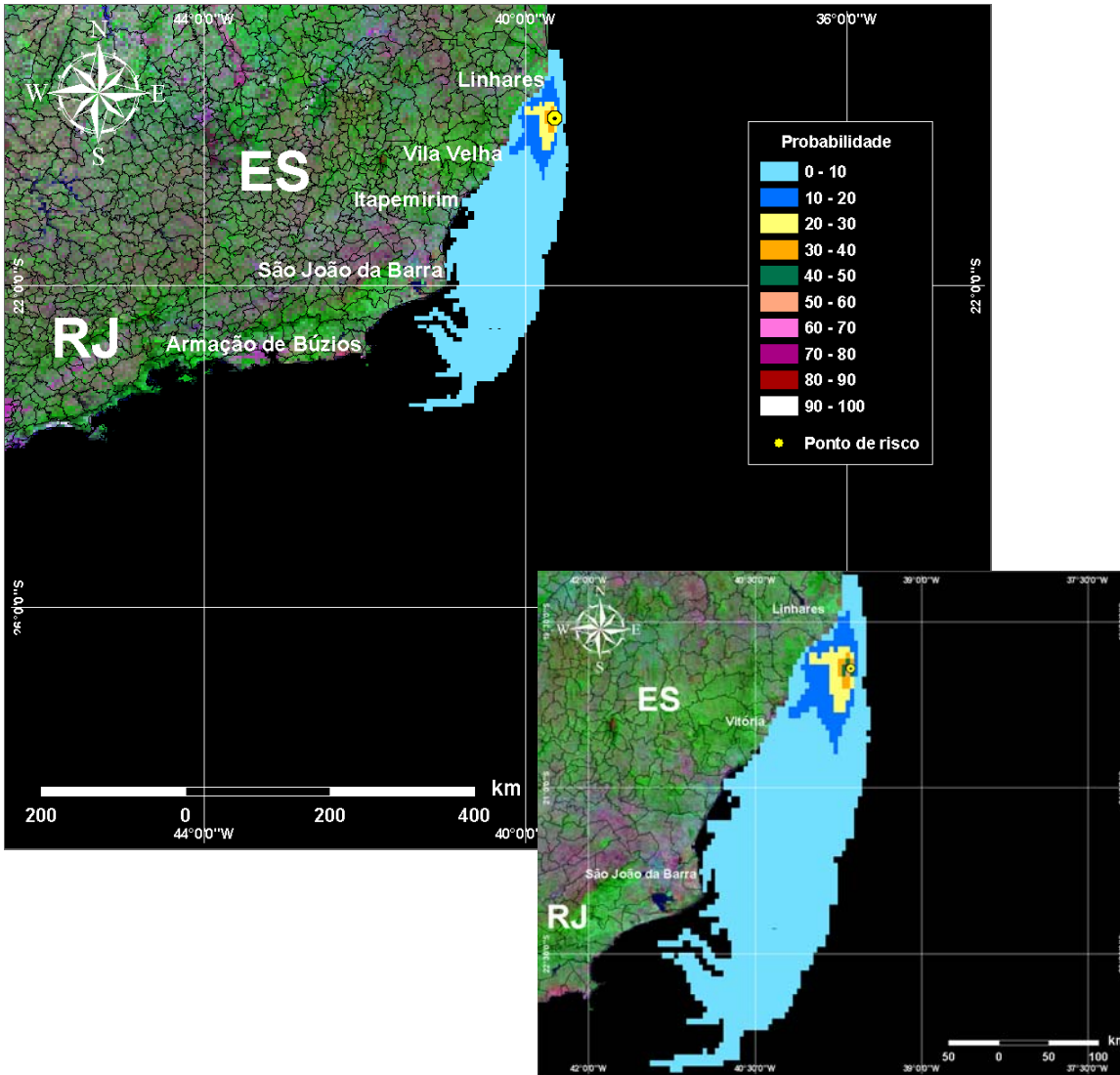


Figura VI.1-13 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_200M3_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ (instantâneo), após 30 dias de simulação.

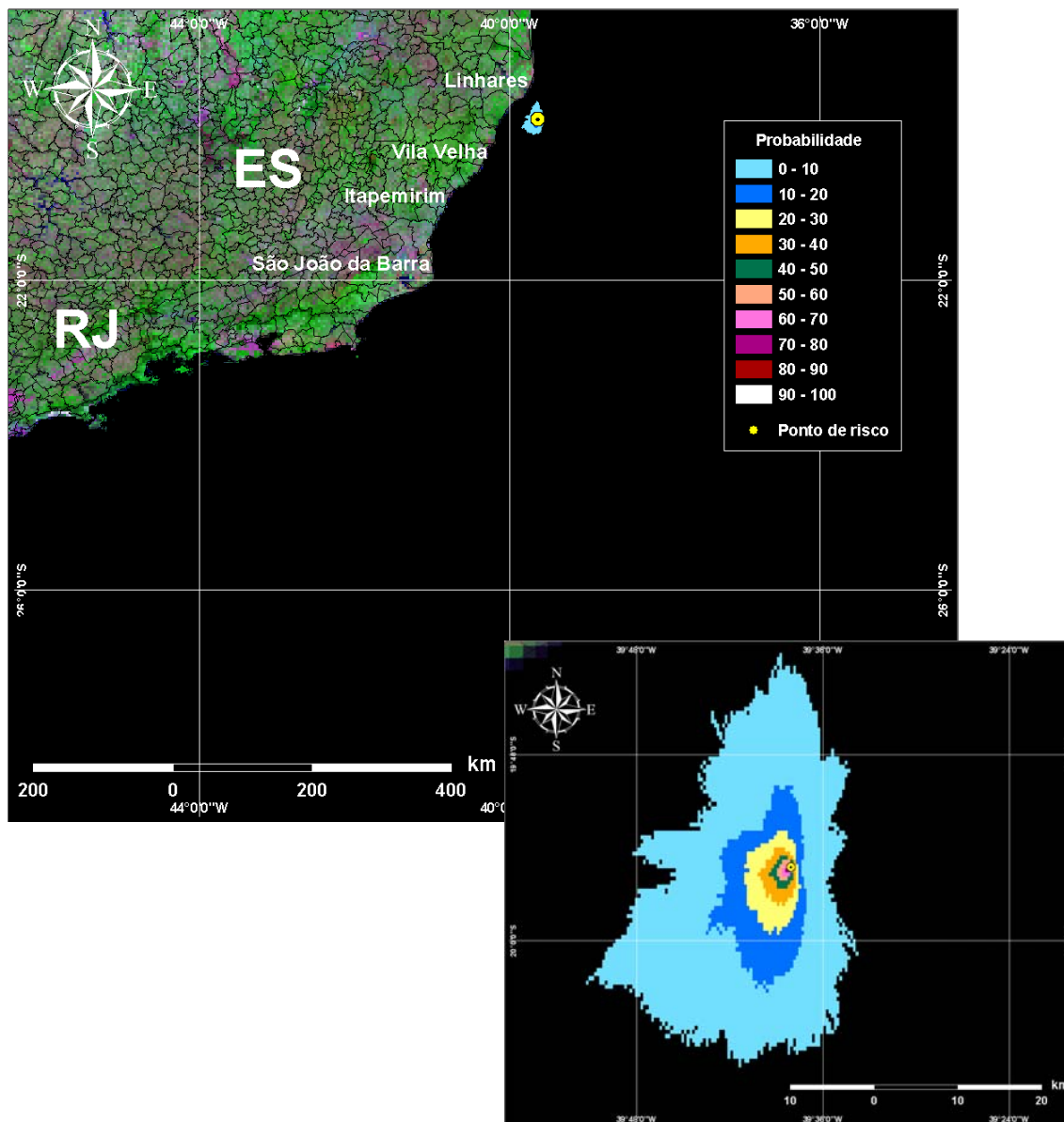


Figura VI.1-14 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_12H. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 111.291 m^3 (durante 24 horas), após 12 horas de simulação.

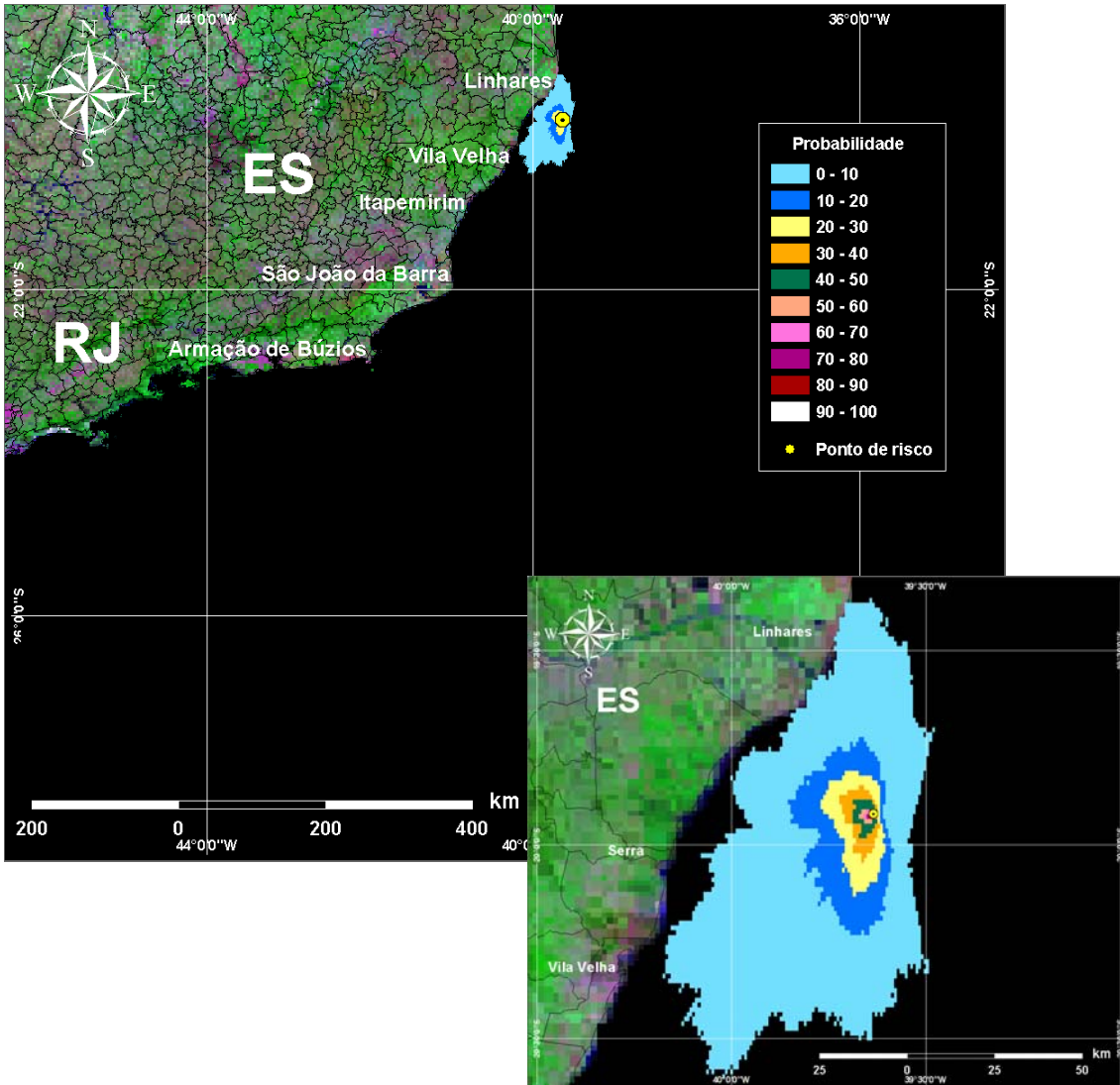


Figura VI.1-15 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_36H. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 111.291 m³ (durante 24 horas), após 36 horas de simulação.

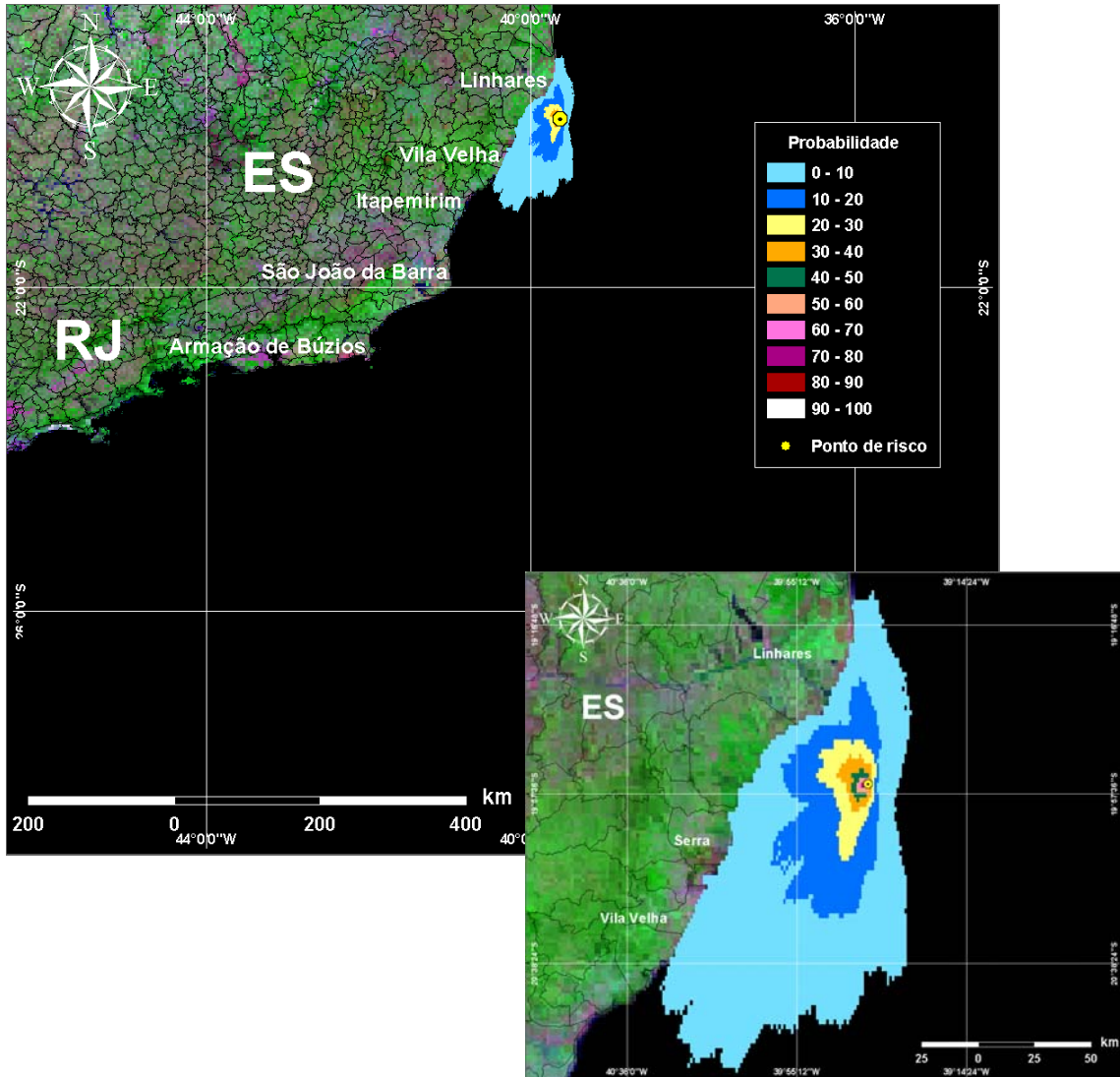


Figura VI.1-16 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_60H. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 111.291 m³ (durante 24 horas), após 60 horas de simulação.

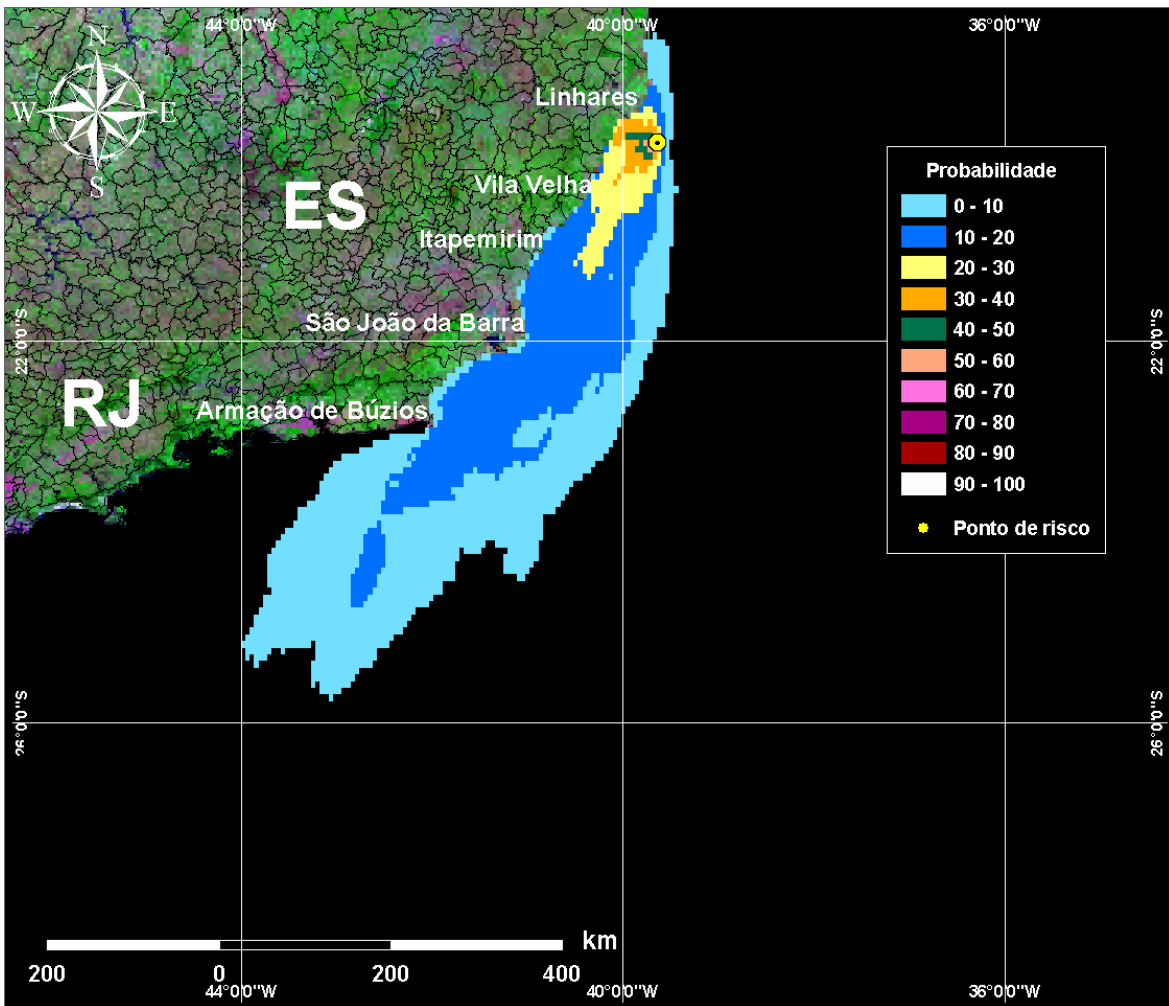


Figura VI.1-17 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_31D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 111.291 m³ (durante 24 horas), após 31 dias.

Na figura VI.1-18 é apresentada a região da linha de costa com probabilidade de toque, em condições de inverno. A probabilidade de toque estende-se por uma faixa de, aproximadamente, 590 km entre os municípios de São Mateus (ES) e Arraial do Cabo (RJ). Observa-se que a maior probabilidade de toque (30-40%) na costa está concentrada no município de Aracruz (ES).

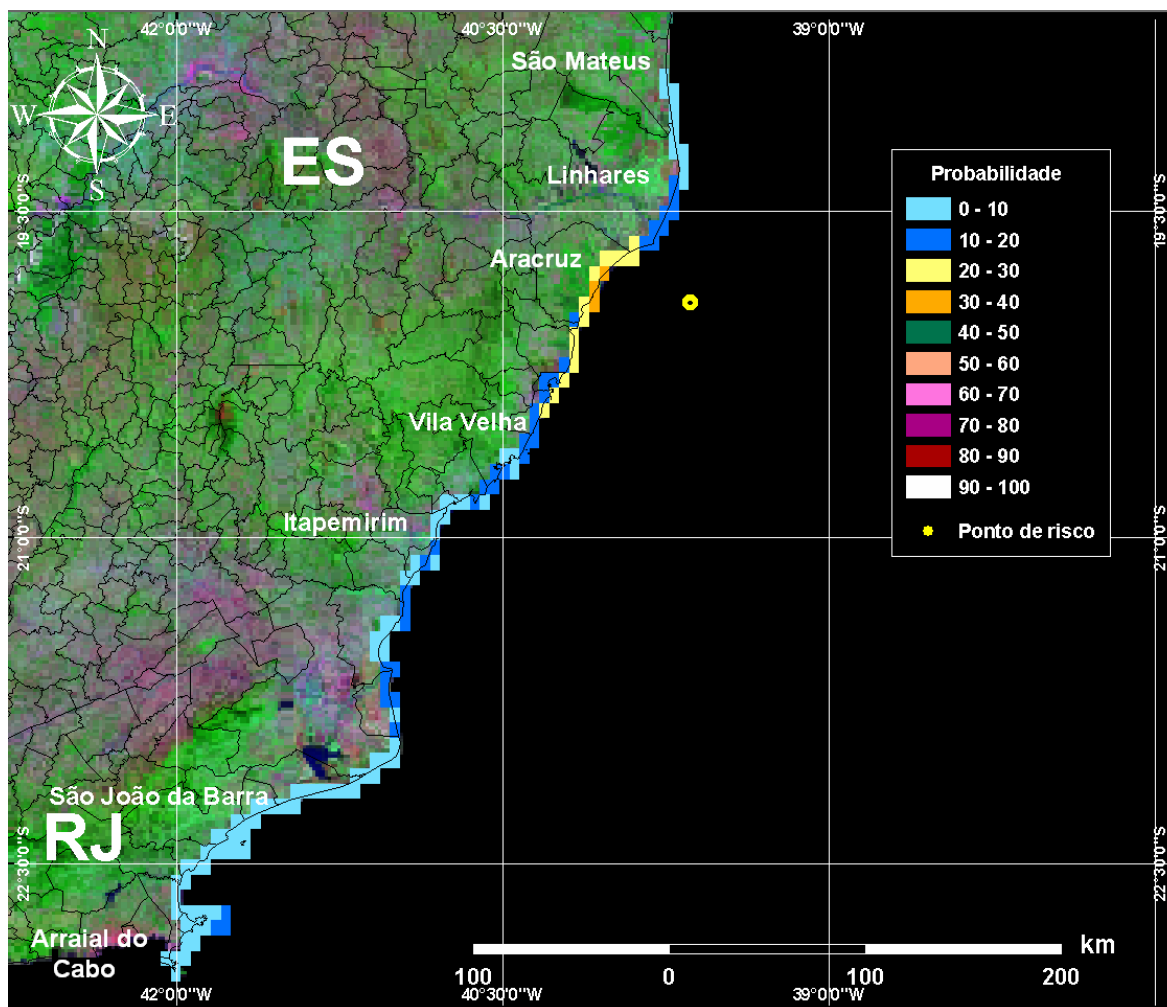


Figura VI.1-18 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_31D_SHORE. Probabilidades de toque na costa para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 111.291 m³ (durante 24 horas, após 31 dias).

A figura VI.1-19 apresenta o volume médio de óleo por km de costa atingida para simulações em condições de inverno, para um derrame de 111.291 m³ ao longo de 24 horas e um período de simulação de 31 dias. Observa-se que o município de São Mateus (ES), apresenta os maiores valores de volume médio de óleo por km de costa (1.741-1.929 m³/km).

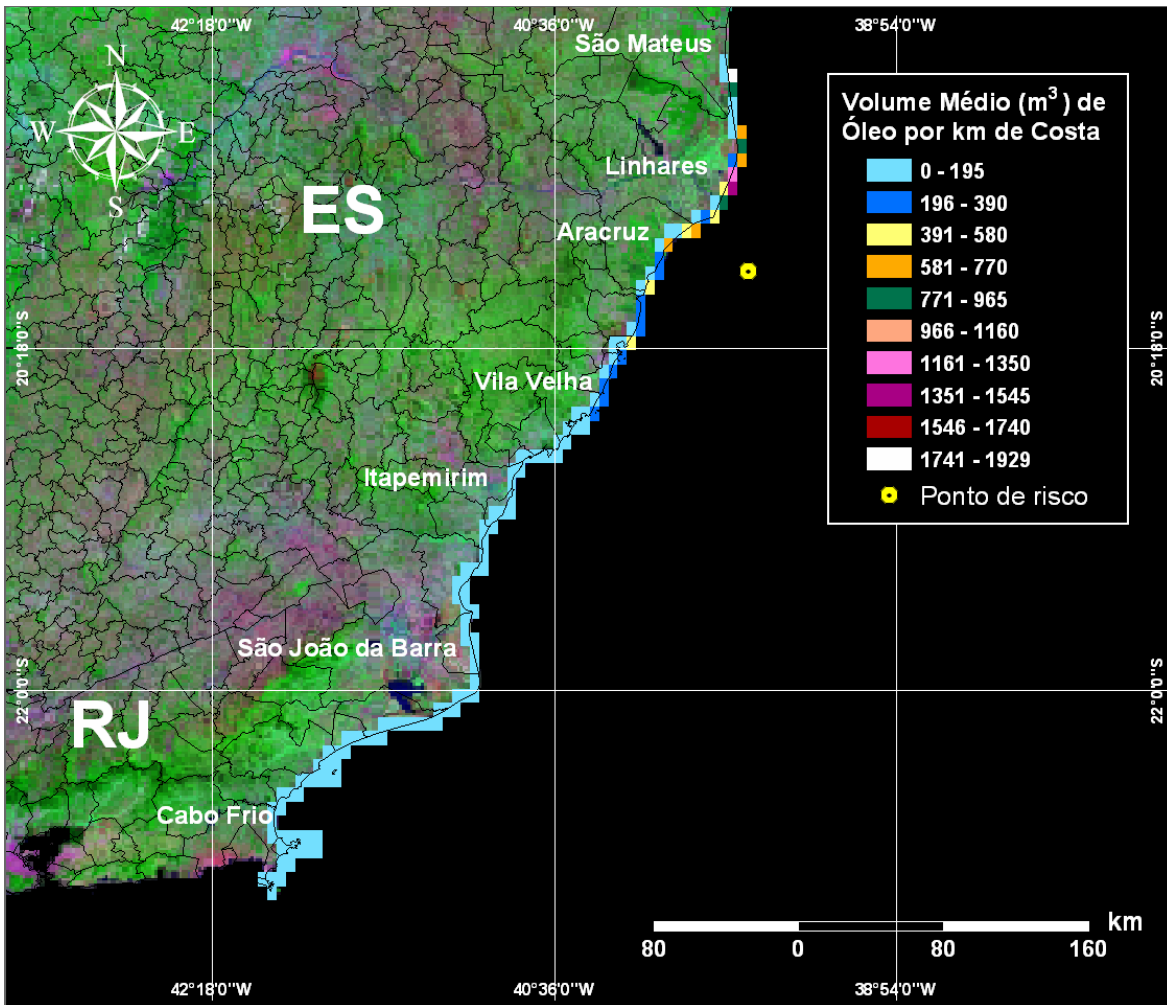


Figura VI.1-19 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_31D_SHOREMED. Volume médio de óleo por km de costa para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 111.291 m³ (durante 24 horas), após 31 dias.

A figura VI.1-20 apresenta o volume máximo de óleo por km de costa atingida para simulações em condições de inverno, para um derrame de 111.291 m³ ao longo de 24 horas e um período de simulação de 31 dias. Observa-se que os municípios de Linhares e Aracruz (ES) apresentam os maiores valores de volume médio de óleo por km de costa (4.071-4.519 m³/km).

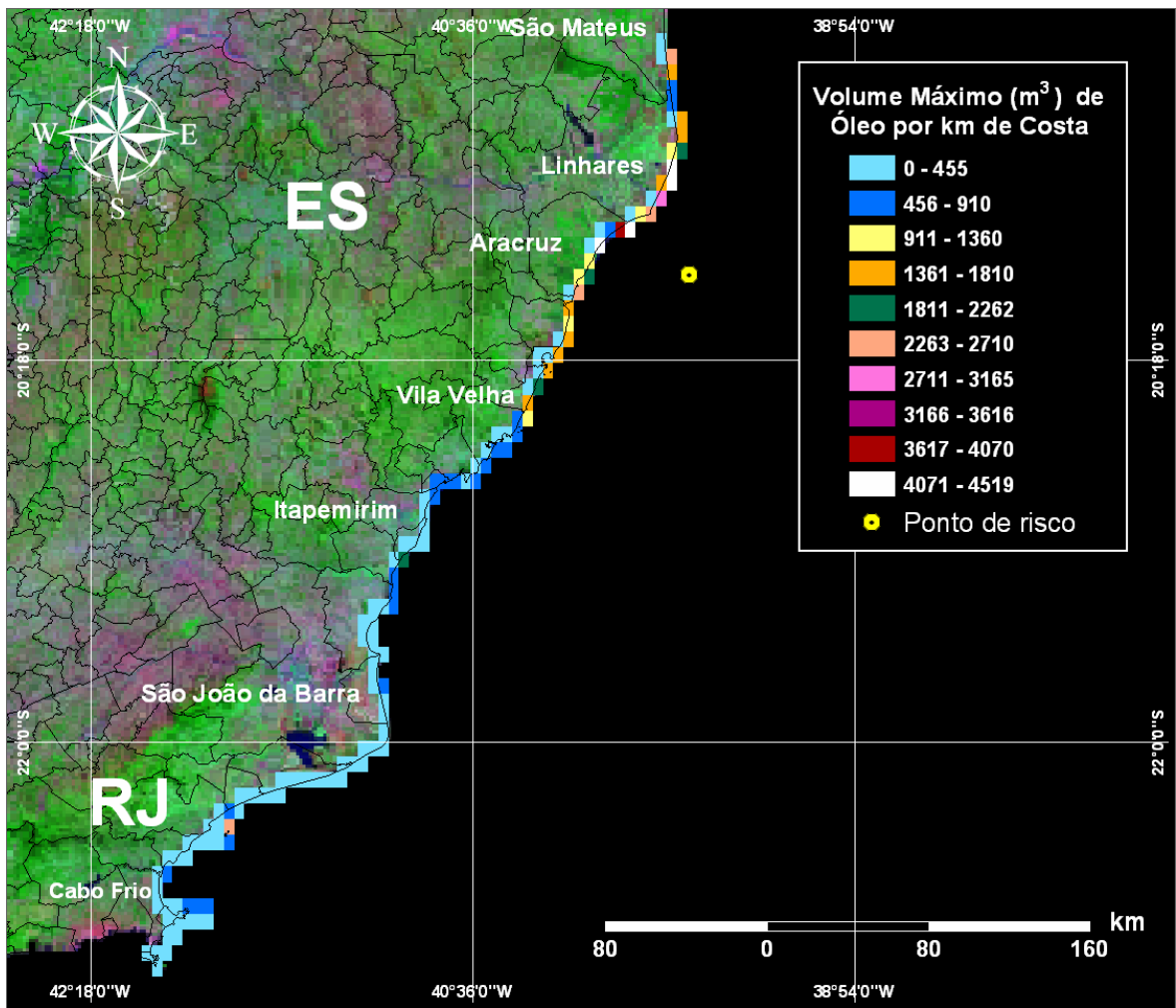


Figura VI.1-20 - Cenário FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_31D_SHOREMAX. Volume máximo de óleo por km de costa para um acidente ocorrendo no Campo de Camarupim, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 111.291 m³ (durante 24 horas), após 31 dias.

A tabela VI.1-1 apresenta a extensão de linha de costa atingida nos derrames de óleo simulados para o Campo de Camarupim, Bacia do Espírito Santo.

Tabela VI.1-1 - Extensão da linha de costa com probabilidade de ser atingida pelo derrame de óleo para o Campo de Camarupim, simulados em condições de verão e inverno.

CENÁRIOS	EXTENSÃO DE LINHA DE COSTA (km) COM PROBABILIDADE DE TOQUE
FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_31D	550
FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_31D	590

A tabela VI.1-2 apresenta o percentual de simulações que impactaram a linha de costa, o menor período de tempo para atingir a costa e o tempo médio para o óleo atingir a costa, para os acidentes simulados, ocorrendo durante os meses de verão e inverno.

Tabela VI.1-2 - Resumo dos resultados da modelagem probabilística de pior caso ocorrendo durante os meses de verão e inverno para o Campo de Camarupim.

CENÁRIOS	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	PERCENTAGEM DE SIMULAÇÕES COM TOQUE NA COSTA (%)
FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_31D	39	164	66,6
FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_31D	28	154	99,3

A tabela VI.1-3 apresenta o percentual de simulações que tocam na costa durante o período de verão e inverno para determinados tempos (em horas).

Tabela VI.1-3 - Percentual de simulações com toque na costa para os cenários de verão.

PERÍODO SAZONAL	TEMPOS (HORAS)	PERCENTUAL DE SIMULAÇÕES COM TOQUE NA COSTA (%)	
		EM RELAÇÃO AO TOTAL DE SIMULAÇÕES	EM RELAÇÃO À SIMULAÇÕES COM TOQUE
VERÃO	60	6,6	10
	120	16	24
	240	34,6	52
	360	9,3	14
INVERNO	36	2,6	2,7
	60	25,6	26,3
	120	29,6	30,4
	240	20,3	20,8
	360	5,6	5,8
	664	13	13,3

A tabela VI.1-4 apresenta a probabilidade de toque e o tempo mínimo de toque na linha de costa para os municípios com probabilidade de toque, durante os meses de verão e inverno.

Tabela VI.1-4 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo durante os períodos de verão e inverno, no Campo de Camarupim.

MUNICÍPIOS	VERÃO		INVERNO	
	PROBABILIDADE	TEMPO MÍNIMO DE TOQUE (HORAS)	PROBABILIDADE	TEMPO MÍNIMO DE TOQUE (HORAS)
São Mateus	—	—	0-10	68
Linhares	0-10	39	20-30	28
Aracruz	0-10	42	30-40	38
Fundão	0-10	43	20-30	44
Serra	10-20	43	20-30	35
Vitória	10-20	47	20-30	39
Vila Velha	10-20	52	20-30	43
Guarapari	10-20	70	10-20	50
Anchieta	10-20	88	10-20	77
Piúma	0-10	114	0-10	204
Itapemirim	10-20	122	0-10	114
Marataízes	10-20	134	10-20	95
Presidente Kennedy	10-20	144	10-20	117
São Francisco de Itabapoana	20-30	128	10-20	111
São João da Barra	30-40	132	10-20	124
Campos Goytacazes	40-50	132	10-20	206
Quissamã	10-20	168	0-10	361
Carapebus	0-10	218	0-10	403
Macaé	10-20	237	0-10	415
Rio das Ostras	0-10	292	0-10	422
Casemiro de Abreu	0-10	312	0-10	433
Cabo Frio	10-20	312	0-10	430
Armação de Búzios	20-30	271	10-20	421
Arraial do Cabo	10-20	338	0-10	436

VI.2 CENÁRIOS DETERMINÍSTICOS CRÍTICOS

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 o menor tempo para o primeiro toque do óleo na costa tanto para verão quanto para inverno. Em ambos os cenários foram considerados vazamentos de 111.291 m³ derramados ao longo de 24 horas, simulados por 31 dias. A tabela VI.2-1 apresenta um resumo do cenários críticos de verão e inverno.

Tabela VI.2-1 - Resumo do cenário determinístico críticos de verão e inverno.

CENÁRIOS	DATA DE INÍCIO	VOLUME FINAL DE ÓLEO QUE CHEGA À COSTA (m ³)	TEMPO PARA CHEGAR À COSTA (HORAS)
FPSO_CAMARUPIM_VER_PC_31D	01/03/1992 – 22:00h	7.405	39
FPSO_CAMARUPIM_INV_PC_31D	03/08/1992 – 07:00h	7.648	28

Nas figuras VI.2-1 e VI.2-3 são apresentados os contornos de espessura no instante do primeiro toque na linha de costa para os cenários de verão e de inverno, respectivamente, do derrame a partir do FPSO Cidade São Mateus. Nestas figuras são destacados os limites de 0,0003 mm (limite para ambientes sensíveis), e 0,05 mm (limite de recolhimento). A cor cinza representa a região por onde a mancha se deslocou durante os 31 dias de duração do derrame e, portanto, não está associada a uma espessura. A mancha no instante de primeiro toque é aquela representada pela escala de cores indicada nas legendas.

Na simulação determinística crítica de verão (figura VI.2-1) o menor tempo de chegada à costa foi de 39 horas, sendo o primeiro toque no município de Linhares (ES).

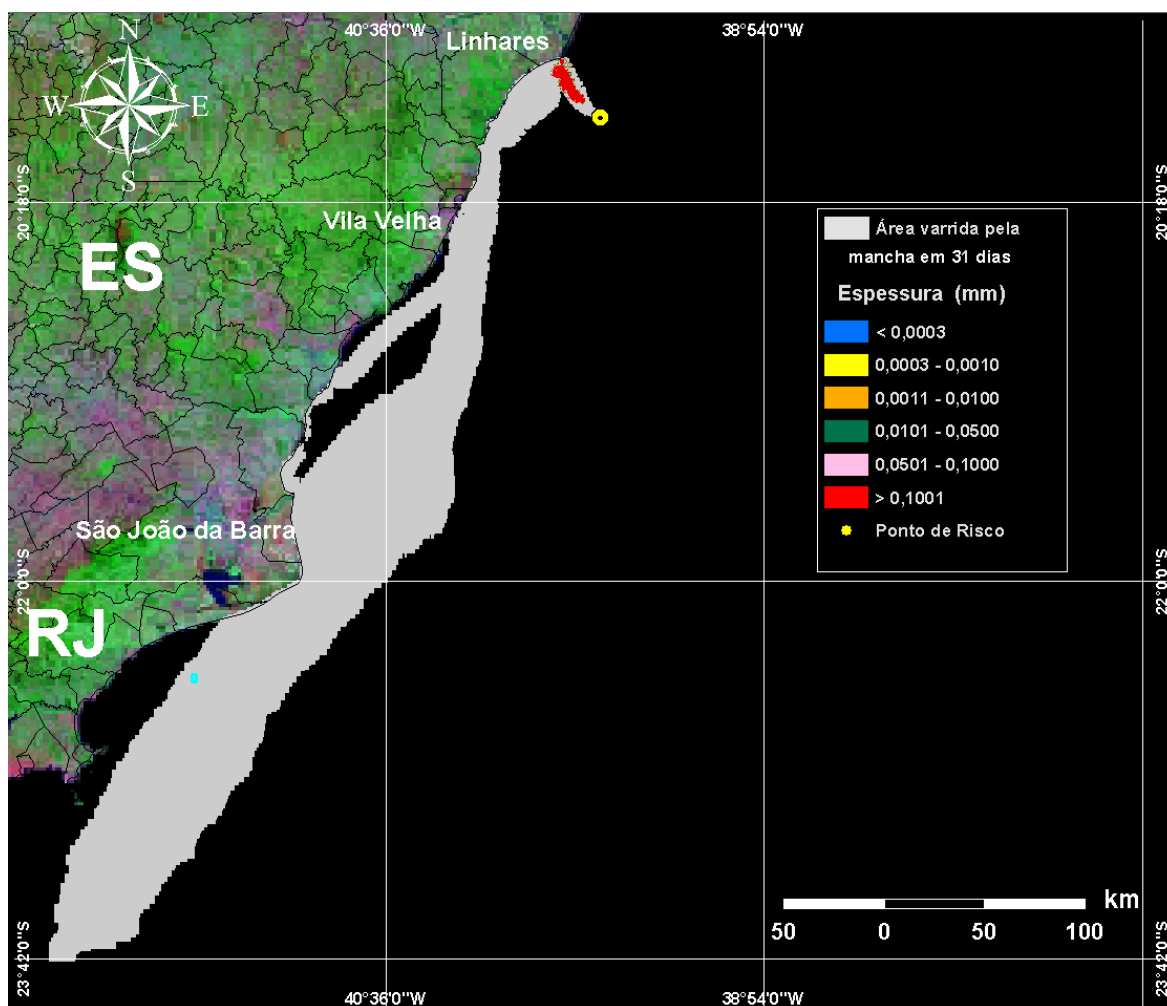


Figura VI.2-1 - Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido no Campo de Camarupim, no período de verão.

A figura VI.2-2 apresenta um gráfico com o balanço de massa (óleo na superfície, na costa, evaporado e na coluna d'água) para a simulação de pior caso no período de verão. Observa-se que a evaporação apresenta um importante papel na redução da massa de óleo nesse período.

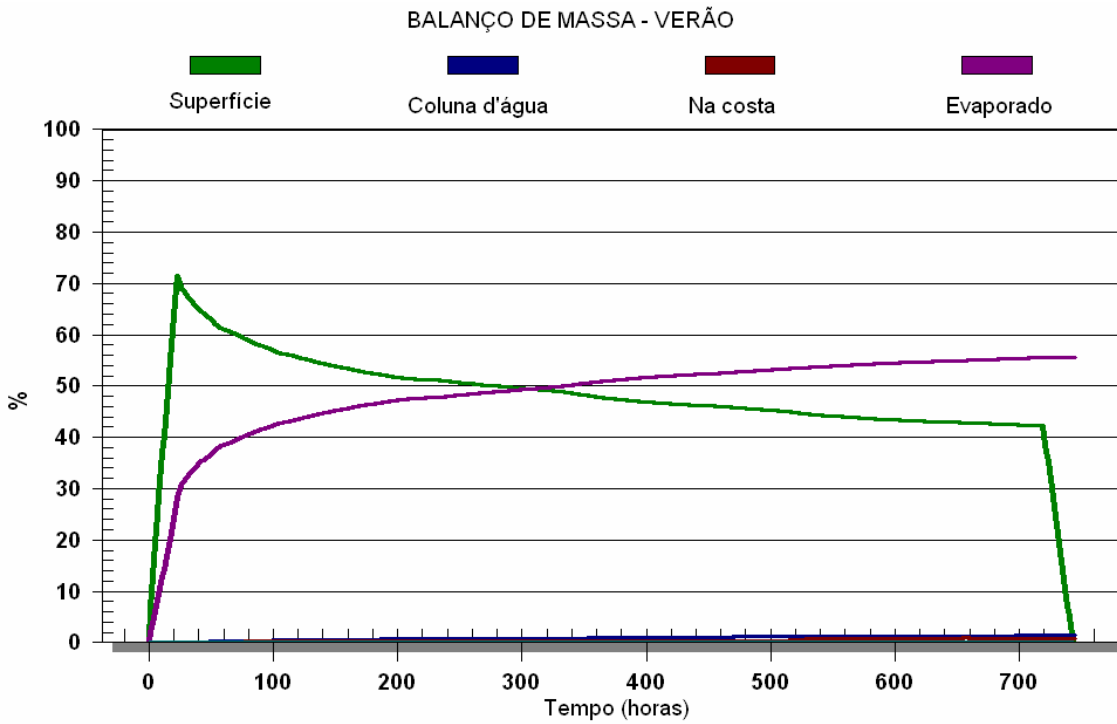


Figura VI.2-2 - Balanço de massa para o cenário de pior caso de vazamento no verão, no Campo de Camarupim.

Na simulação determinística crítica de inverno (figura VI.2-3) o menor tempo de chegada à costa é 28 horas, sendo o primeiro toque no município de Linhares (ES).

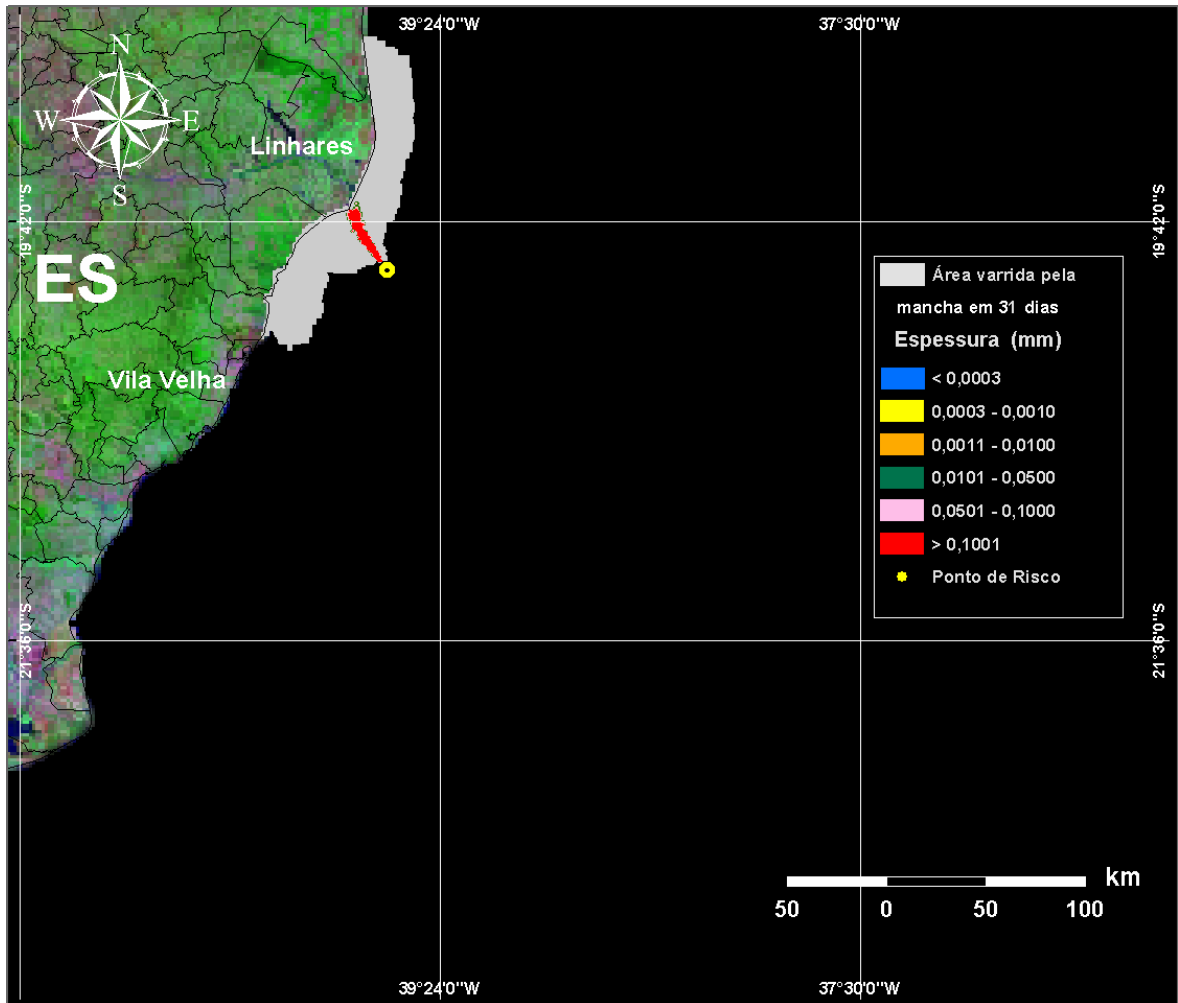


Figura VI.2-3 - Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido a no Campo de Camarupim, no período de inverno.

A figura VI.2-4 apresenta um gráfico com o balanço de massa (óleo na superfície, na costa, evaporado e na coluna d'água) para a simulação de pior caso no período de inverno. Observa-se que, assim como no verão, a evaporação é o principal processo que atua na redução da massa de óleo nesse período.

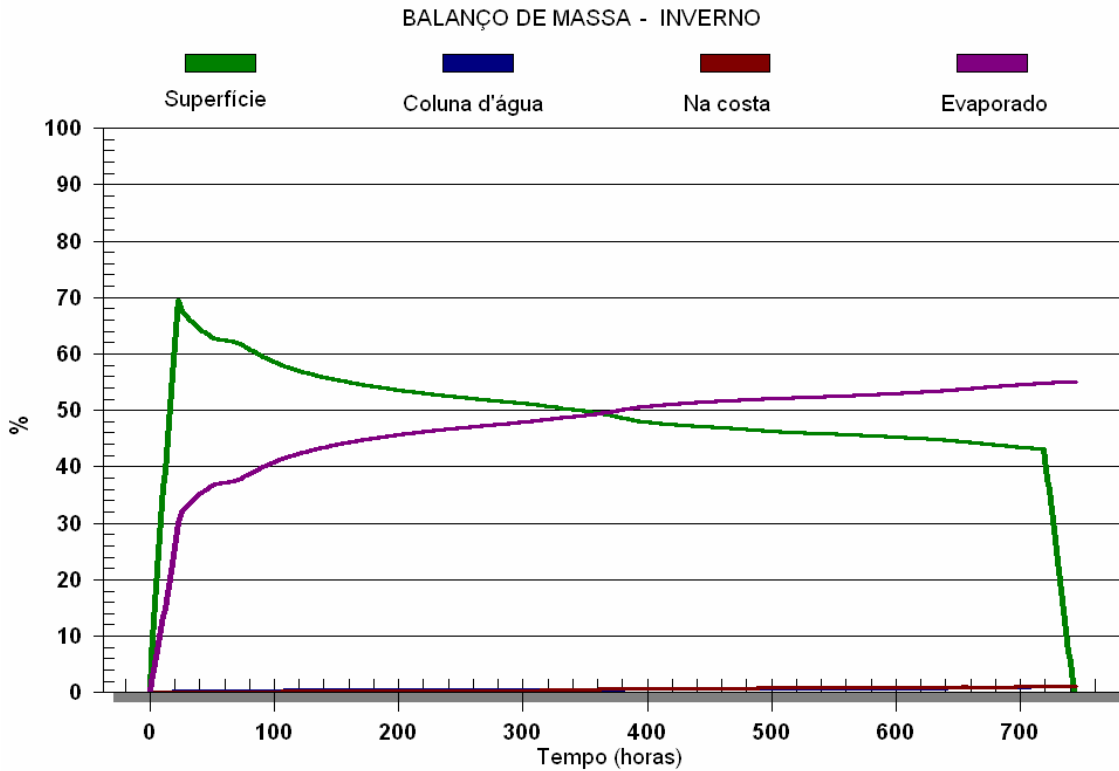


Figura VI.2-4 - Balanço de massa para o cenário de pior caso de vazamento no inverno, no Campo de Camarupim.

As figuras VI.2-5 a VI.2-9 apresentam as características meteorológicas e oceanográficas do cenário determinístico crítico de inverno, ou seja, aquele onde o óleo levou o menor tempo para alcançar a linha de costa.

A figura VI.2-5 apresenta o diagrama tipo *stick plot* para o período de 28 horas, a partir do início da simulação até o primeiro toque na costa, para o cenário determinístico crítico de inverno. Observa-se que neste período o vento predominante foi proveniente do quadrante sul, alternando para ventos do quadrante leste, condição esta que proporcionou o toque da mancha na costa.

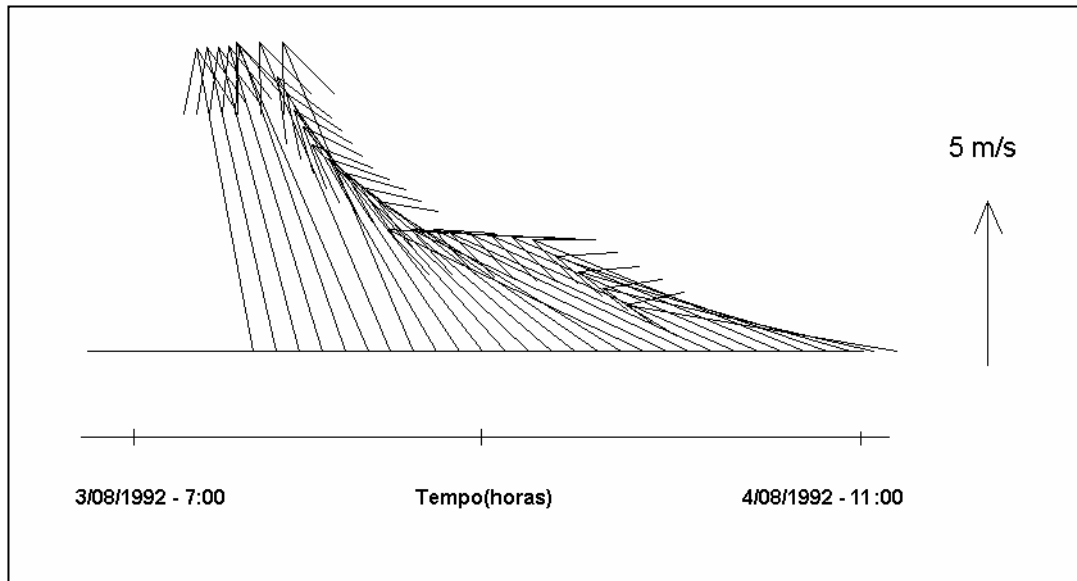


Figura VI.2-5 - Diagrama stick plot dos vetores de vento para o cenário determinístico crítico de inverno, a partir do início da simulação até o primeiro toque na costa.

As figuras VI.2-6 a VI.2-9 apresentam ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas, a partir do início do derrame até o primeiro toque na costa para o cenário determinístico crítico de inverno.

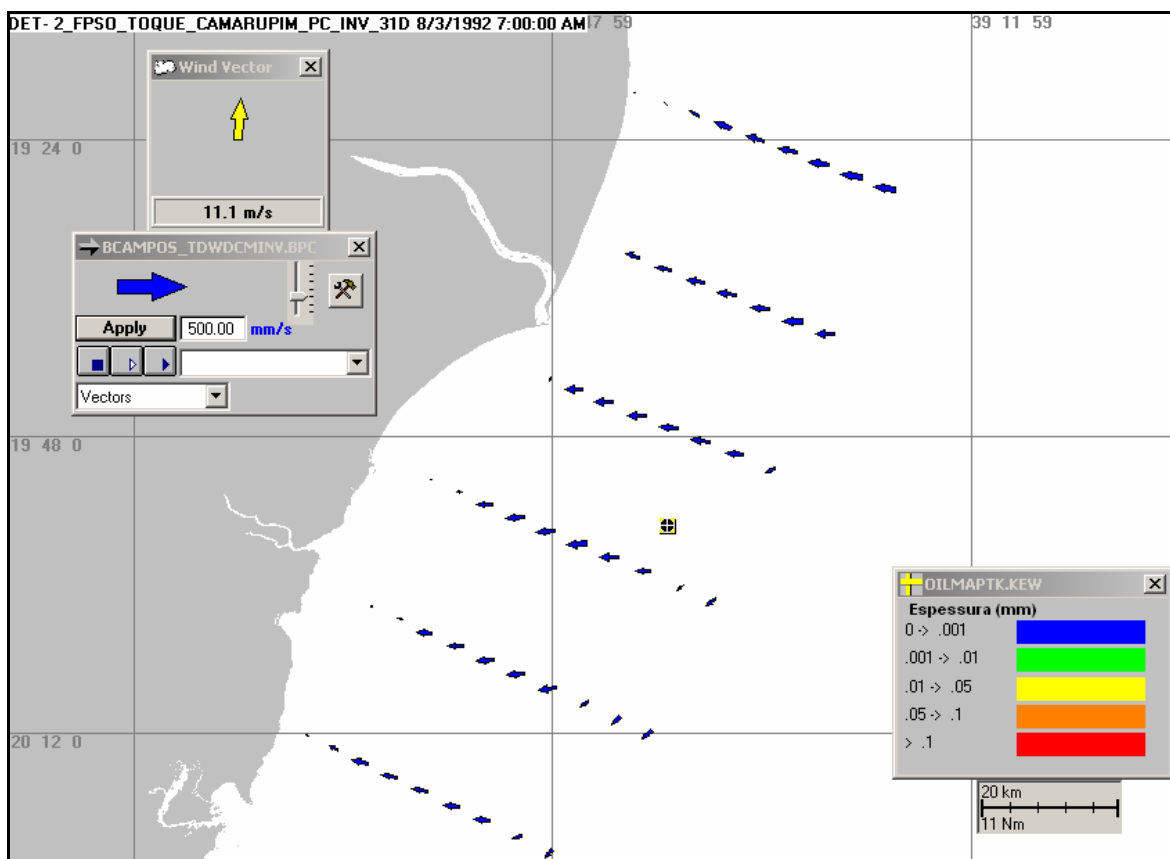


Figura VI.2-6 - Cenário DET_FPSO_CAMARUPIM_PC_INV_0H. Contornos de espessura de óleo na água, no instante inicial da simulação, para o cenário determinístico crítico de inverno no Campo de Camarupim. Condições meteorológicas e oceanográficas: vento S e corrente WSW.

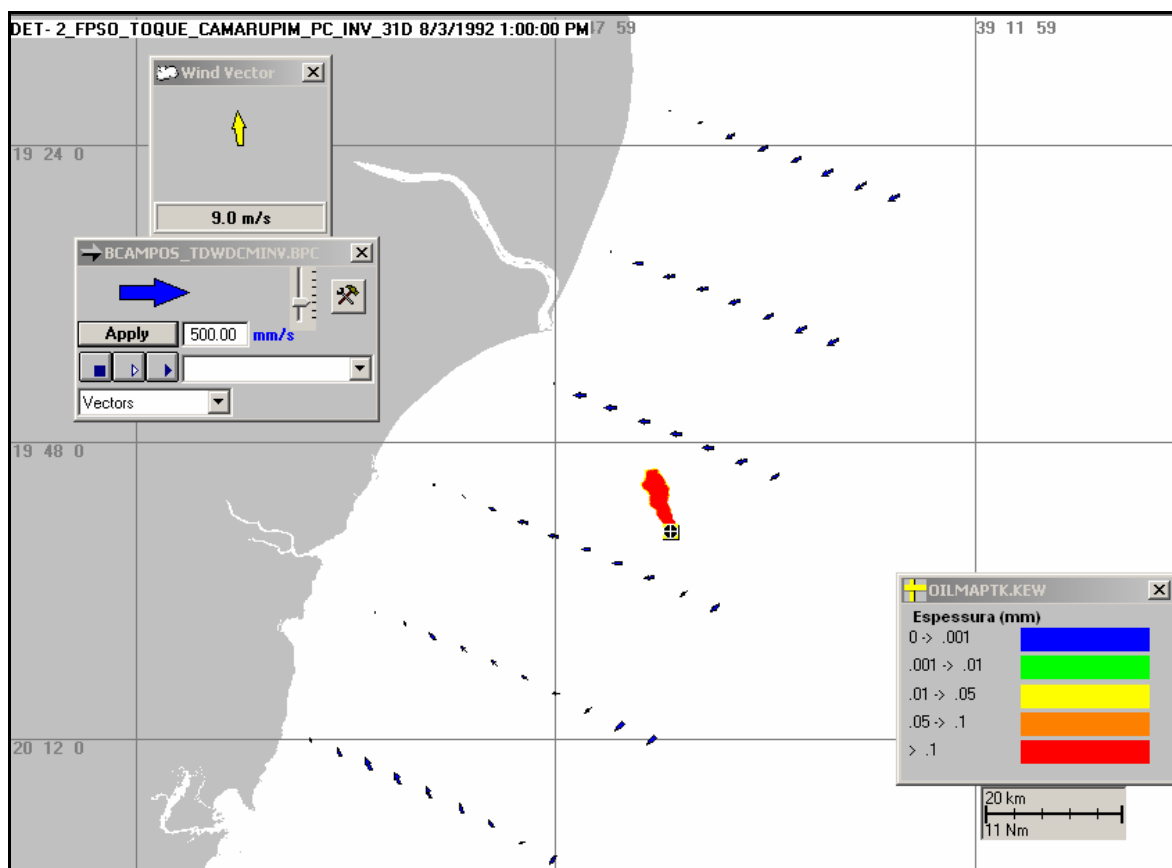


Figura VI.2-7 - Cenário DETFPSO_CAMARUPIM_PC_INV_6H. Contornos de espessura de óleo na água, após 6 horas, para o cenário determinístico crítico de inverno no Campo de Camarupim. Condições meteorológicas e oceanográficas: vento S e corrente WSW.

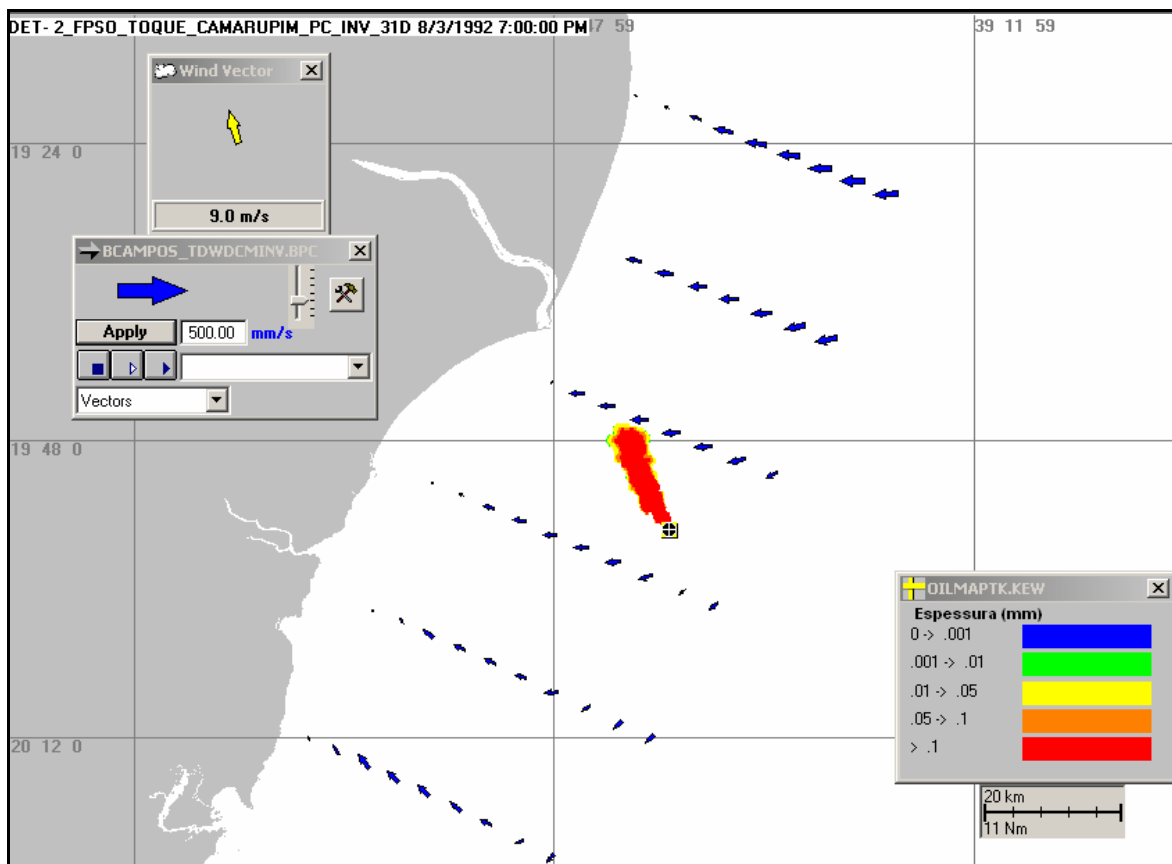


Figura VI.2-8 - Cenário DET_FPSO_CAMARUPIM_PC_INV_12H. Contornos de espessura de óleo na água, após 12 horas, para o cenário determinístico crítico de inverno no Campo de Camarupim. Condições meteorológicas e oceanográficas: vento SSE e corrente WSW.

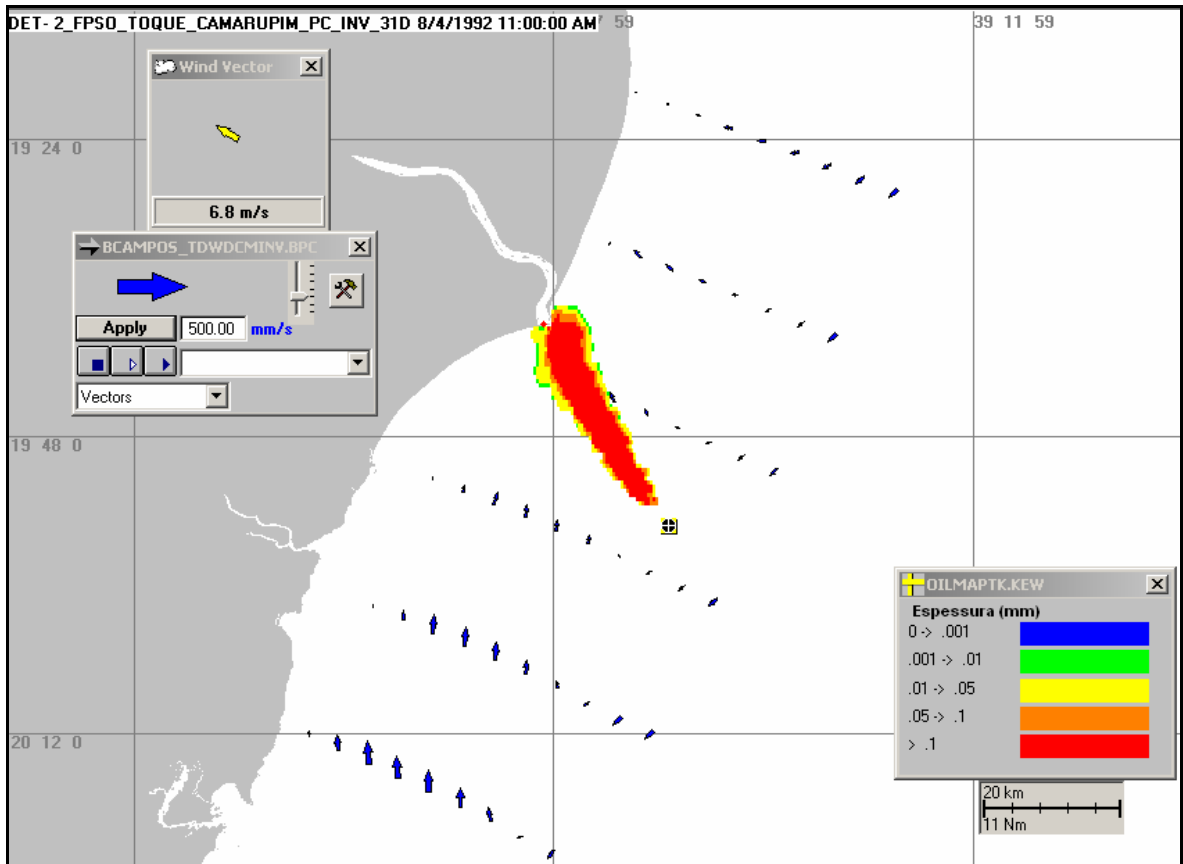


Figura VI.2-9 - Cenário DET_FPSO_CAMARUPIM_PC_INV_28H. Contornos de espessura de óleo na água, após 28 horas, para o cenário determinístico crítico de inverno no Campo de Camarupim. Condições meteorológicas e oceanográficas: vento ESE e corrente NW.

VII CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste relatório são apresentados os estudos realizados para a determinação da trajetória e intemperismo de um potencial acidente com petróleo a partir do FPSO Cidade de São Mateus, localizado no Campo de Camarupim, Bacia do Espírito Santo.

Foram conduzidas simulações probabilísticas para determinar contornos de probabilidade da mancha atingir a área de estudo a partir de 3 (três) classes de derrame, como definido na Resolução CONAMA nº 293/01: pequeno, com 8 m³; médio, com 200 m³; e pior caso, com 111.291 m³ derramados ao longo de 24 horas, correspondente ao afundamento da unidade FPSO Cidade de São Mateus. A partir dos resultados dessas simulações probabilísticas foram selecionados os cenários determinísticos críticos para condições de verão e inverno, utilizando como critério o menor tempo de chegada do óleo na costa.

O critério de parada adotado nas simulações foi o tempo de 30 dias após o fim do vazamento para o acompanhamento de cada partícula.

Os resultados da modelagem revelaram uma forte correlação entre a trajetória de uma mancha simulada e o padrão de circulação na região. As condições meteorológicas e oceanográficas da Bacia do Espírito Santo mostram que, sobre a plataforma, o padrão de circulação predominante está relacionado ao campo de vento e à maré, com eventuais intrusões da CB. A partir do talude, e em oceano profundo, os mesmos padrões são observados, mas com predomínio sensível de correntes médias superficiais para sul-sudoeste, relacionadas à presença da CB.

Os resultados das simulações de verão mostraram que, para um potencial derramamento de óleo no Campo de Camarupim, considerando o volume de pior caso, a probabilidade de toque estende-se por cerca de 550 km, de Linhares (ES) a Arraial do Cabo (RJ). As maiores probabilidades de toque (40-50%) na costa ocorreram no município de Campos dos Goytacazes (RJ). Observa-se que no município de Linhares (ES) ocorrem os maiores valores de volume médio (646-715 m³/km) e de volume máximo (2.796-3.106 m³/km) de óleo por quilômetro de costa. Em Linhares também ocorreu o menor tempo de toque na costa, cerca de 39 horas após o início da simulação.

Os resultados das simulações de inverno mostraram que, para um potencial derramamento de óleo no Campo de Camarupim, considerando o volume de pior caso, a probabilidade de toque estende-se por, aproximadamente, 590 km, de São Mateus (ES) a Arraial do Cabo (RJ). As maiores probabilidades de toque (30-40%) na costa ocorreram no município de Aracruz (ES). Observa-se que no município de São Mateus (ES) ocorrem os maiores valores de volume médio (1.741-1.929 m³/km) de óleo por quilômetro de costa, e que nos municípios de Linhares e Aracruz (ES) ocorrem os maiores valores de volume máximo (4.071-4.519 m³/km) de óleo por km de costa. Em Linhares (ES) foi o município onde ocorreu o menor tempo de toque na costa, cerca de 28 horas após o início da simulação.

VIII BIBLIOGRAFIA

ASA (Applied Science Associates South America), 2003a. Cenários de Acidentes com Petróleo no Terminal de Alemoa (SP). Relatório Técnico (janeiro de 2003). 57pp.

ASA (Applied Science Associates South America), 2003b. Cenários de Acidentes com Petróleo no Terminal de Paranaguá (PR). Relatório Técnico (janeiro de 2003). 51pp.

ASA (Applied Science Associates South America), 2003c. Cenários de Acidentes com Petróleo na Refinaria de Presidente Bernardes – RPBC (SP). Relatório Técnico (dezembro de 2003). 47pp.

ASA (Applied Science Associates South America), 2003d. Estudos de Deriva para Acidentes com Produtos Derivados de Petróleo no Terminal de São Luís (MA). Relatório Técnico (dezembro de 2003). 196pp.

ASA (Applied Science Associates South America), 2004. Estudos de Deriva para Acidentes com Produtos Derivados de Petróleo na Base Vila do Conde (PA). Relatório Técnico (janeiro de 2004). 207pp.

ASA (Applied Science Associates South America), 2005a. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para o Bloco BM-CAL-6. Relatório Técnico, Revisão 01 (outubro de 2005). 212pp.

ASA (Applied Science Associates South America), 2005b. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para o FPSO Capixaba, Campo de Golfinho, Bacia do Espírito Santo. Relatório Técnico (abril de 2005). 107pp.

BEAR, J. & A. VERRUIJT, 1987. Modeling groundwater flow and pollution with computer programs for sample cases. **Kluwer Academic Publishers**.

BLUMBERG, A.F. & G.L. MELLOR, 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, pp. 1-16.

BRASIL, 2001. Resolução CONAMA nº 293, de 12 de dezembro de 2001. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 29 abr. 2002.

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.

DELVIGNE, G.A.L. & L.J.M. HULSEN, 1994. Simplified laboratory measurement of oil dispersion coefficient – Application in computations of natural oil dispersion. **Proceedings of the Seventeenth Arctic and Marine Oil Spill Program, Technical Seminar**, June 8-10, 1994, Vancouver, BC Canada, pp.173-187.

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

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

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.

JAYKO, K. & E.HOWLETT, 1992. OILMAP an interactive oil spill model. In: **OCEANS 92**, October 22-26, 1992, Newport, RI.

KOLLURU, V.S., 1992. Influence of number of spilletts on spill model predictions. Applied Science Associates internal report, Narragansett, RI.

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.

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.

LIMA, J.A.; A. SARTORI, E.A. YASSUDA, J.E. PEREIRA & E. ANDERSON, 2003. Development of oil spill scenarios for contingency planning along the Brazilian coast. In: **International Oil Spill Conference**, 2003, Vancouver, BC, Canada.

MACKAY, D., S. PATERSON. & K. TRUDEL, 1980a. A mathematical model of oil spill behavior, Department of Chemical Engineering, University of Toronto, Canada, 39pp.

MACKAY, D., S. PATERSON & K. TRUDEL, 1980b. Oil spill processes and models Report EE-8, **Environmental Protection Service**, Canada.

MACKAY, D., W. SHUI, K. HOUSSAIN, W. STIVER, D. McCURDY & S. PATERSON, 1982. Development and calibration of an oil spill behavior model, Report No. CG-D027-83, **US Coast Guard Research and Development Center**, Groton, CT.

MELLOR, G.L. & T. YAMADA, 1982. Development of a turbulence closure models for geophysical fluid problems. **Rev. Geophys. Space Phys.**, 20, n. 4, 851-875.

OKUBO, A. & R.V. OZMIDOV, 1970. Empirical dependence of the coefficient of horizontal turbulent diffusion on the ocean in the scale of the phenomenon in question. **Atmosferic and Ocean Physics**, 6(5): p. 534-536.

OKUBO, A., 1971. Oceanic diffusion diagrams. **Deep Sea Research**, v. 8, p. 789-802.

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

PEREIRA, J.E.; YASSUDA, E.A. & CAMPOS, E. 2005. Development of an operational metocean modelling system, with applications in South America. In: 9th **International Conference on Estuarine and Coastal Modelling**, 2005. Charleston, SC, USA.

REED, M., E. GUNDLACH, & T. KANA, 1989. A coastal zone oil spill model: development and sensitivity studies, **Oil and Chemical Pollution**, Vol. 5, p. 411-449.

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.

SPAULDING, M. L., HOWLETT, E., ANDERSON, E. & JAYKO, K., 1992a. OILMAP a global approach to spill modeling. **15th Arctic and Marine Oil Spill Program, Technical Seminar**, June 9-11, 1992, Edmonton, Alberta, Canada, p. 15-21.

SPAULDING, M.L., E. HOWLETT, E. ANDERSON & K. JAYKO, 1992b. Oil spill software with a shell approach. **Sea Technology**, April 1992. P. 33-40.

STIVER, W. & D. MACKAY, 1984. Evaporation rate of spills of hydrocarbons and petroleum mixtures. **Environmental Science and Technology**, 18:834-840.

STRAMMA, L.; Y. IKEDA. & R.G. PETERSEN, 1990. Geostrophic transport in the Brazil Current region, **Deep-Sea. Res.**, 37(12): p. 1875-1886.

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

WHITICAR, S., M. BOBRA, M. FINGAS, P. JOKUTY, P. LIUZZO, S. CALLAGHAN, S. ACKERMAN & J. CAO, 1992. A catalogue of crude oil and oil product properties 1992 (edition), Report #EE-144, **Environment Canada**, Ottawa, Canada.

IX EQUIPE TÉCNICA

Equipe da Empresa Consultora Applied Science Consultoria Ltda.

Profissional	Ana Carolina da Rocha Lammardo
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 pelo(s) Capítulo(s)	TODAS
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 pelo(s) Capítulo(s)	IV a VII
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 pelo(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 pelo(s) Capítulo(s)	I a 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 pelo(s) Capítulo(s)	I a III
Assinatura	