

# Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para a Área Geográfica Bacia de Santos



UO-BS

Revisão 03  
Jul/2010



# **Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para a Área Geográfica Bacia de Santos**

**Revisão 03  
Julho / 2010**



**UO-BS**







## ÍNDICE GERAL

RESUMO .....	1
I INTRODUÇÃO .....	I-1
I.1 ÁREA DE ESTUDO.....	I-2
I.1.1 CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DA REGIÃO .....	I-3
I.1.2 CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO .....	I-10
II ANÁLISE DE DADOS.....	II-1
II.1 VENTOS .....	II-2
II.2 CORRENTES.....	II-6
II.2.1 CORRENTE PETROBRAS .....	II-6
II.2.2 CORRENTE WOCE .....	II-10
II.2.3 DERIVADORES PROJETO MONDO.....	II-15
II.3 ELEVAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO MAR .....	II-17
III MODELAGEM HIDRODINÂMICA .....	III-1
III.1 IMPLEMENTAÇÃO DA MODELAGEM HIDRODINÂMICA .....	III-1
III.1.1 CONDIÇÕES DE CONTORNO ADOTADAS .....	III-1
III.1.2 PROCEDIMENTOS DE AQUECIMENTO (WARM UP) DO MODELO.....	III-2
III.1.3 DADOS DE ENTRADA .....	III-2
III.2 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO CONSIDERADO.....	III-5
III.3 AVALIAÇÃO DA MODELAGEM HIDRODINÂMICA.....	III-8
III.3.1 AVALIAÇÃO PARA A ELEVAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO MAR.....	III-8
III.3.2 AVALIAÇÃO PARA AS CORRENTES .....	III-11
IV MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO .....	IV-1
IV.1 DADOS DE ENTRADA .....	IV-1
IV.1.1 CAMPOS DE CORRENTES .....	IV-2
IV.1.2 DADOS DE VENTO .....	IV-3
IV.1.3 PONTOS DE RISCO E VOLUMES .....	IV-5
IV.1.4 CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS UTILIZADOS.....	IV-7
IV.2 CRITÉRIOS DE PARADA ADOTADOS NAS SIMULAÇÕES .....	IV-9
IV.3 RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS PARA A ÁREA GEOGRÁFICA BACIA DE SANTOS .....	IV-9

V	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DE DERRAME DE ÓLEO .....	V-1
V.1	SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS.....	V-1
V.1.1	SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS PARA O VOLUME DE DERRAME PEQUENO .....	V-2
V.1.2	SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS PARA O VOLUME DE DERRAME MÉDIO .....	V-31
V.1.3	SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS PARA O VOLUME DE DERRAME DE PIOR CASO .....	V-59
V.2	SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS .....	V-103
VI	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	VI-1
VII	BIBLIOGRAFIA .....	VII-1
VIII	EQUIPE TÉCNICA.....	VIII-1
ANEXO 1 -	DESCRIÇÃO DO MODELO PRINCETON OCEAN MODEL ....	1-1
1.1	EQUAÇÕES BÁSICAS DO POM.....	1-2
1.2	CONDIÇÕES DE CONTORNO ADOTADAS.....	1-5
1.3	BIBLIOGRAFIA .....	1-6
ANEXO 2 -	DESCRIÇÃO DO MODELO OILMAP.....	2-1
2.1	FORMULAÇÃO DO MODELO.....	2-4
2.2	DADOS DE ENTRADA.....	2-16
2.3	BIBLIOGRAFIA .....	2-17
ANEXO 3 –	JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DOS PONTOS DE RISCO, TIPOS DE ÓLEO E VOLUMES DE BLOWOUT .....	3-1
3.1	BIBLIOGRAFIA .....	3-4

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela I-1</b> - Ocorrência e duração de sistemas frontais representativas da Bacia de Santos para as quatro estações do ano obtidas a partir de dados do NCEP (25° S e 45° W) em 925 hPa no período de 1987 a 2007.....	I-7
<b>Tabela I-2</b> - Ocorrência e duração de sistemas frontais representativas da Bacia de Santos para o ano de 1992.....	I-10
<b>Tabela II-1</b> - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP (25,7°S e 43,1°W) para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de verão. II-5	II-5
<b>Tabela II-2</b> - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP (25,7°S e 43,1°W) para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de inverno. ....	II-5
<b>Tabela II-3</b> - Localização e período de coleta dos dados de corrente.....	II-6
<b>Tabela II-4</b> - Amplitude (cm) e fase local (°) das principais componentes harmônicas para as estações maregráficas de Enchova II (RJ) e Bom Abrigo (SP). Fonte: FEMAR (2000). ....	II-19
<b>Tabela IV-1</b> - Coordenadas (SAD 69) dos pontos de risco que delimitam a Área Geográfica Bacia de Santos. ....	IV-5
<b>Tabela IV-2</b> - Dados utilizados na modelagem de dispersão de óleo para a Área Geográfica Bacia de Santos. ....	IV-6
<b>Tabela IV-3</b> - Características do óleo tipo RJS-621 (Polo Uruguá). ....	IV-7
<b>Tabela IV-4</b> - Características do óleo tipo MXL-2H (Polo Mexilhão). ....	IV-7
<b>Tabela IV-5</b> - Características do condensado tipo MZL-3D (Polo Merluza). ....	IV-8
<b>Tabela IV-6</b> - Características do óleo tipo Óleo Diesel Marítimo (Polo Merluza). ....	IV-8
<b>Tabela IV-7</b> - Características do óleo tipo SCS-10A (Polo Sul).....	IV-8
<b>Tabela IV-8</b> - Características do óleo tipo SPS-55 (Polo Pré-Sal). ....	IV-9
<b>Tabela IV-9</b> - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames no Polo Uruguá com óleo tipo RJS-621. ....	IV-11
<b>Tabela IV-10</b> - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames no Polo Mexilhão com óleo tipo MXL-2H. ....	IV-11
<b>Tabela IV-11</b> - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames no Polo Merluza com o condensado tipo MLZ-3D. ....	IV-12
<b>Tabela IV-12</b> - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames no Polo Merluza com óleo diesel marítimo. ....	IV-12

---

<b>Tabela IV-13</b> - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames no Polo Sul com óleo tipo SCS-10A. ....	IV-13
<b>Tabela IV-14</b> - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames no Polo Pré-Sal com óleo tipo SPS-55. ....	IV-14
<b>Tabela V-1</b> - Extensão da linha de costa com probabilidade de ser atingida a partir de derrames de pior caso, em cada um dos 12 pontos que delimitam a AGBS, simulados em condições de verão e inverno. ....	V-93
<b>Tabela V-2</b> - Resumo dos resultados da modelagem probabilística de pior caso ocorrendo durante os meses de verão na AGBS. ....	V-93
<b>Tabela V-3</b> - Resumo dos resultados da modelagem probabilística de pior caso ocorrendo durante os meses de inverno para a AGBS. ....	V-94
<b>Tabela V-4</b> - Percentual de simulações com toque na costa para os cenários de verão e inverno. ....	V-95
<b>Tabela V-5</b> - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AGBS no período de verão. ....	V-96
<b>Tabela V-6</b> - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AGBS no período de inverno. ....	V-99
<b>Tabela V-7</b> - Resumo dos cenários determinísticos críticos de verão e de inverno para os cenários com menor tempo de toque na costa. ....	V-104
<b>Tabela V-8</b> - Resumo dos cenários determinísticos críticos de verão e de inverno para os cenários com a menor distância em relação à costa (sem probabilidade de toque). ....	V-105

## LISTA DE FIGURAS

- Figura I-1** - Área Geográfica Bacia de Santos, mostrando os 5 Polos de Exploração e Produção e os pontos S-1 a S-12 selecionados para realização da modelagem de dispersão de óleo..... I-3
- Figura I-2** - Médias de 60 anos (1948 - 2008) do vento a 10 m no período de verão (janeiro)..... I-4
- Figura I-3** - Médias de 60 anos (1948 - 2008) do vento a 10 m no período de inverno (junho)..... I-5
- Figura I-4** - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 1º de junho de 2003 (situação de bom tempo)..... I-6
- Figura I-5** - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 15 de junho de 2003, às 18GMT (deslocamento de um sistema frontal)..... I-6
- Figura I-6** - Intensidade média anual do vento NCEP (25°S e 45°W) em 925 hPa no período de 1987 a 2007..... I-8
- Figura I-7** - Intensidade média mensal do vento para de dados do NCEP (25°S e 45°W) em 925 hPa no período de 1987 a 2007..... I-9
- Figura I-8** - Representação da circulação no Oceano Atlântico Sul, indicando as seguintes correntes oceânicas: Corrente Circumpolar (CC), Corrente do Atlântico Sul (CAS), Corrente de Benguela (BE), Corrente de Angola (CA), Corrente Sul Equatorial (CSE), Corrente do Brasil (CB) e Corrente das Malvinas (CM). Adaptado de Tomczak & Godfrey (1994). ..... I-11
- Figura I-9** - Esquema da circulação oceânica na costa brasileira. As cores diferenciam as massas d'água existentes na região: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). ..... I-12
- Figura I-10** - Representação esquemática do campo de fluxo geostrófico nos primeiros 500 m, com base em dados hidrográficos históricos, coletados na região demarcada. As linhas cheias correspondem a transporte de 2 Sv e a linha tracejada de 1 Sv (Adaptado de Stramma et al., 1990). ..... I-13
- Figura I-11** - Média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM. ... I-14
- Figura I-12** - Amplitude (cm) e fase local (°) das principais componentes harmônicas para a estação maregráfica de Guaraú (SP). Fonte: FEMAR (2000). ..... I-15
- Figura I-13** - Mapa cotidal de amplitude (cores) e fase (linhas) para a componente  $M_2$ . I-16

- Figura II-1** - Mapa com a localização das estações de medição de correntes, vento e elevação da superfície do mar..... II-1
- Figura II-2** - Diagrama stick plot dos valores médios diários de dados de vento NCEP durante o período de janeiro a dezembro de 1992, na posição 25,7°S e 43,1°W... II-2
- Figura II-3** - Histograma direcional dos vetores de vento NCEP para janeiro a março de 1992, Bacia de Santos. Os círculos concêntricos indicam a intensidade do vetor de vento (m/s), enquanto que a barra de cores (lateral) indica a porcentagem de incidência (convenção meteorológica)..... II-3
- Figura II-4** - Histograma direcional dos vetores de vento NCEP para junho a agosto de 1992, Bacia de Santos. Os círculos concêntricos indicam a intensidade do vetor de vento (m/s), enquanto que a barra de cores (lateral) indica a porcentagem de incidência (convenção meteorológica)..... II-4
- Figura II-5** - Histograma direcional dos vetores de corrente no Ponto PC (PETROBRAS). Dados de corrente coletados a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de fevereiro a março de 1992. Intervalo de amostragem: 1h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações. .... II-7
- Figura II-6** - Histograma direcional dos vetores de corrente no Ponto PC (PETROBRAS). Dados de corrente coletados a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de junho a agosto de 1992. Intervalo de amostragem: 1h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações. .... II-8
- Figura II-7** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente no Ponto PC (PETROBRAS), coletada a 15 m de profundidade, para o verão de 1992 (meses de fevereiro e março)..... II-9
- Figura II-8** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente no Ponto PC (PETROBRAS), coletada a 15 m de profundidade, para o inverno de 1992 (meses de fevereiro e março)..... II-10
- Figura II-9** - Histograma direcional dos vetores de corrente no ponto BM333 (WOCE). Dados de corrente coletados a 230 m de profundidade, na região da Bacia de Santos, para o período de janeiro a março de 1992. Intervalo de amostragem: 2h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção

(graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações..... II-12

**Figura II-10** - Histograma direcional dos vetores de corrente no ponto BM333 (WOCE). Dados de corrente coletados a 230 m de profundidade, na região da Baía de Santos, para o período de junho a agosto de 1992. Intervalo de amostragem: 2h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações..... II-13

**Figura II-11** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 230 m de profundidade. Verão de 1992, intervalo de amostragem: 2h..... II-14

**Figura II-12** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 230 m de profundidade. Inverno de 1992, intervalo de amostragem: 2h..... II-14

**Figura II-13** - Trajetórias dos derivadores do Projeto MONDO; as cores indicam a intensidade da velocidade (m/s). ..... II-16

**Figura II-14** - Vetores de velocidade média dos derivadores do Projeto MONDO; as cores indicam a intensidade da velocidade (m/s). ..... II-17

**Figura II-15** - Previsão harmônica de maré para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992, na estação Enchova II (RJ). Previsão harmônica realizada pelo método de Schuremann (1941), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR..... II-18

**Figura II-16** - Previsão harmônica de maré para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992, na estação Bom Abrigo (SP). Previsão harmônica realizada pelo método de Schuremann (1941), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR..... II-18

**Figura III-1** - Campos de temperatura e de salinidade de superfície (a partir dos resultados do OCCAM) projetados na grade do modelo hidrodinâmico. Salinidade como isohalinas e temperatura (°C) através dos tons de cores..... III-2

**Figura III-2** - Instantâneo do campo de ventos NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico..... III-4

**Figura III-3** - Mapa cotidal com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude da componente de maré  $M_2$ , projetado na grade do modelo hidrodinâmico..... III-5

**Figura III-4** - Grade computacional do modelo hidrodinâmico. .... III-6

<b>Figura III-5</b> - Grade computacional do modelo hidrodinâmico com foco na Bacia de Santos e batimetria projetada. ....	III-7
<b>Figura III-6</b> - Série temporal de elevação de superfície (em metros) para a localização geográfica de Enchova II (RJ) durante o mês de fevereiro de 1992. Resultado do modelo em vermelho e da previsão de maré em azul. Intervalo de amostragem: 1h. ....	III-9
<b>Figura III-7</b> - Série temporal de elevação de superfície (em metros) para a localização geográfica de Bom Abrigo (SP) para o período de 5 de outubro a 5 de novembro de 1992. Resultado do modelo em vermelho e da previsão de maré em azul. Intervalo de amostragem: 1h. ....	III-10
<b>Figura III-8</b> - Série temporal das componentes u e v da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1º de fevereiro e 15 de abril de 1992 para o Ponto PC.....	III-12
<b>Figura III-9</b> - Diagrama stick plot dos vetores de corrente medida no Ponto PC (a) e calculada pelo modelo (b) entre os dias 1º de fevereiro e 15 de abril de 1992. ...	III-12
<b>Figura III-10</b> - Série temporal das componentes u e v da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 9 de agosto e 28 de setembro de 1992 para o Ponto PC.....	III-13
<b>Figura III-11</b> - Diagrama stick plot dos vetores de corrente medida no Ponto PC (a) e calculada pelo modelo (b) entre os dias 5 de agosto e 28 de setembro de 1992. ....	III-13
<b>Figura III-12</b> - Série temporal medida das componentes u e v da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 6 e 28 de janeiro de 1992 para o Ponto BM333. ....	III-15
<b>Figura III-13</b> - Diagrama stick plot dos vetores de corrente medida no Ponto BM333 (a) e calculada pelo modelo (b) entre os dias 1º a 30 de janeiro de 1992.....	III-15
<b>Figura III-14</b> - Série temporal medida das componentes u e v da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1º de junho e 2 de julho de 1992 para o Ponto BM333. ....	III-16
<b>Figura III-15</b> - Diagrama stick plot dos vetores de corrente medida no Ponto BM333 (a) e calculada pelo modelo (b) entre os dias 1º e 30 de junho de 1992.....	III-16
<b>Figura III-16</b> - Velocidade média e histograma direcional dos vetores de corrente medidos na região do ponto PC (a), e resultantes da simulação numérica (b), para o período de janeiro a dezembro de 1992. ....	III-17

- Figura III-17** - Velocidade média e histograma direcional dos vetores de corrente medidos na região do ponto ACM12/BM333 (a), e resultantes da simulação numérica (b), para o período de janeiro a dezembro de 1992. .... III-18
- Figura III-18** - Regiões selecionadas para validação da corrente simulada próxima à superfície com os derivadores do Projeto MONDO. As linhas pontilhadas vermelhas indicam as isóbatas de 200 e 2.000 m..... III-19
- Figura III-19** - Histogramas direcionais dos vetores de corrente obtidos a partir dos derivadores (a) e de simulações com o modelo hidrodinâmico (b) para a Região 1. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico, a unidade de velocidade adotada é m/s e a escala de cores representa a porcentagem de observações..... III-20
- Figura III-20** - Histogramas direcionais dos vetores de corrente obtidos a partir dos derivadores (a) e de simulações com o modelo hidrodinâmico (b) para a Região 2. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico, a unidade de velocidade adotada é m/s e a escala de cores representa a porcentagem de observações..... III-21
- Figura III-21** - Histogramas direcionais dos vetores de corrente obtidos a partir dos derivadores (a) e de simulações com o modelo hidrodinâmico (b) para a Região 3. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico, a unidade de velocidade adotada é m/s e a escala de cores representa a porcentagem de observações..... III-21
- Figura III-22** - Histogramas direcionais dos vetores de corrente obtidos a partir dos derivadores (a) e de simulações com o modelo hidrodinâmico (b) para a Região 4. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico, a unidade de velocidade adotada é m/s e a escala de cores representa a porcentagem de observações..... III-22
- Figura III-23** - Instantâneo de correntes simuladas no verão, com foco na região das bacias de Santos e Pelotas. A linha preta indica a posição da seção transversal apresentada na figura III-26. .... III-23
- Figura III-24** - Instantâneo de correntes simuladas no inverno, com foco na região das bacias de Santos e Pelotas. A linha preta indica a posição da seção transversal apresentada na figura III-27. .... III-24
- Figura III-25** - Campo de corrente de superfície instantâneo obtido a partir de resultados do modelo hidrodinâmico. .... III-25
- Figura III-26** - Trajetórias dos derivadores 11 (a), 12 (b), 17 (c) e 18 (d). .... III-26
- Figura III-27** - Seções de velocidade (m/s) zonal (a) e meridional (b), médias para o verão de 1992, extraídas ao longo da linha preta indicada na figura III-23. .... III-27
- Figura III-28** - Seções de velocidade (m/s) zonal (a) e meridional (b), médias para o inverno de 1992, extraídas ao longo da linha preta indicada na figura III-24..... III-28

- Figura IV-1** - Grade definindo os contornos de terra (grade land-water) para a modelagem de deriva de óleo, com o zoom para a região da AGBS. .... IV-2
- Figura IV-2** - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo na Área Geográfica Bacia de Santos (condição típica de verão). .... IV-3
- Figura IV-3** - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo na Área Geográfica Bacia de Santos (condição típica de inverno)..... IV-4
- Figura V-1** - Cenário S-1\_RJS-621\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-1 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-3
- Figura V-2** - Cenário S-2\_RJS-621\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-2 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-4
- Figura V-3** - Cenário S-3\_RJS-621\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-3 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-5
- Figura V-4** - Cenário S-4\_MXL-2H\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço MXL-2H, ocorrendo no Ponto S-4 (Polo Mexilhão), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-6
- Figura V-5** - Cenário S-5\_MLZ-3D\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-7
- Figura V-6** - Cenário S-5\_DIESEL\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-8
- Figura V-7** - Cenário S-6\_MLZ-3D\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão

- (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....V-9
- Figura V-8** - Cenário S-6\_DIESEL\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....V-10
- Figura V-9** - Cenário S-7\_SCS10A\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-7 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....V-11
- Figura V-10** - Cenário S-8\_SCS10A\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-8 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....V-12
- Figura V-11** - Cenário S-9\_SCS10A\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-9 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....V-13
- Figura V-12** - Cenário S-10\_SCS10A\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-10 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....V-14
- Figura V-13** - Cenário S-11\_SPS-55\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-11 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....V-15
- Figura V-14** - Cenário S-12\_SPS-55\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-12 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....V-16
- Figura V-15** - Cenário S-1\_RJS-621\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-1 (Polo

Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-17

**Figura V-16** - Cenário S-2\_RJS-621\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-2 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-18

**Figura V-17** - Cenário S-3\_RJS-621\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-3 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-19

**Figura V-18** - Cenário S-4\_MXL-2H\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço MXL-2H, ocorrendo no Ponto S-4 (Polo Mexilhão), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-20

**Figura V-19** - Cenário S-5\_MLZ-3D\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-21

**Figura V-20** - Cenário S-5\_DIESEL\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-22

**Figura V-21** - Cenário S-6\_MLZ-3D\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-23

**Figura V-22** - Cenário S-6\_DIESEL\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-24

**Figura V-23** - Cenário S-7\_SCS10A\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-7 (Polo

- Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....V-25
- Figura V-24** - Cenário S-8\_SCS10A\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-8 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....V-26
- Figura V-25** - Cenário S-9\_SCS10A\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-9 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....V-27
- Figura V-26** - Cenário S-10\_SCS10A\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-10 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....V-28
- Figura V-27** - Cenário S-11\_SPS-55\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-11 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....V-29
- Figura V-28** - Cenário S-12\_SPS-55\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-12 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....V-30
- Figura V-29** - Cenário S-1\_RJS-621\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-1 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....V-31
- Figura V-30** - Cenário S-2\_RJS-621\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-2 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....V-32
- Figura V-31** - Cenário S-3\_RJS-621\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-3 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão

- (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação..... V-33
- Figura V-32** - Cenário S-4\_MXL-2H\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço MXL-2H, ocorrendo no Ponto S-4 (Polo Mexilhão), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação..... V-34
- Figura V-33** - Cenário S-5\_MLZ-3D\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação..... V-35
- Figura V-34** - Cenário S-5\_DIESEL\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação..... V-36
- Figura V-35** - Cenário S-6\_MLZ-3D\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação..... V-37
- Figura V-36** - Cenário S-6\_DIESEL\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação..... V-38
- Figura V-37** - Cenário S-7\_SCS10A\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-7 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação..... V-39
- Figura V-38** - Cenário S-8\_SCS10A\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-8 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação..... V-40
- Figura V-39** - Cenário S-9\_SCS10A\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-9

- (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-41
- Figura V-40** - Cenário S-10\_SCS10A\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-10 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-42
- Figura V-41** - Cenário S-11\_SPS-55\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-11 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-43
- Figura V-42** - Cenário S-12\_SPS-55\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-12 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-44
- Figura V-43** - Cenário S-1\_RJS-621\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-1 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-45
- Figura V-44** - Cenário S-2\_RJS-621\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-2 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-46
- Figura V-45** - Cenário S-3\_RJS-621\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-3 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-47
- Figura V-46** - Cenário S-4\_MXL-2H\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço MXL-2H, ocorrendo no Ponto S-4 (Polo Mexilhão), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno

- (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-48
- Figura V-47** - Cenário S-5\_MLZ-3D\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-49
- Figura V-48** - Cenário S-5\_DIESEL\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-50
- Figura V-49** - Cenário S-6\_MLZ-3D\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-51
- Figura V-50** - Cenário S-6\_DIESEL\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-52
- Figura V-51** - Cenário S-7\_SCS10A\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-7 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-53
- Figura V-52** - Cenário S-8\_SCS10A\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-8 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-54
- Figura V-53** - Cenário S-9\_SCS10A\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-9 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-55
- Figura V-54** - Cenário S-10\_SCS10A\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-10

- (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-56
- Figura V-55** - Cenário S-11\_SPS-55\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-11 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-57
- Figura V-56** - Cenário S-12\_SPS-55\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-12 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-58
- Figura V-57** - Cenário S-1\_RJS-621\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-1 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 60.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação. .... V-59
- Figura V-58** - Cenário S-2\_RJS-621\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-2 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 60.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação. .... V-60
- Figura V-59** - Cenário S-3\_RJS-621\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-3 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 60.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação. .... V-61
- Figura V-60** - Cenário S-4\_MXL2HP\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço MXL-2H, ocorrendo no Ponto S-4 (Polo Mexilhão), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 12.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação. .... V-62
- Figura V-61** - Cenário S-5\_MLZ-3D\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de

verão (janeiro a março), com derrame de 1.650 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação..... V-63

**Figura V-62** - Cenário S-5\_DIESEL\_VER\_PC\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação..... V-64

**Figura V-63** - Cenário S-6\_MLZ-3D\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 1.650 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação..... V-65

**Figura V-64** - Cenário S-6\_DIESEL\_VER\_PC\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação..... V-66

**Figura V-65** - Cenário S-7\_SCS10A\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-7 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 57.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação..... V-67

**Figura V-66** - Cenário S-8\_SCS10A\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-8 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 57.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação..... V-68

**Figura V-67** - Cenário S-9\_SCS10A\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-9 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 57.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação..... V-69

**Figura V-68** - Cenário S-10\_SCS10A\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-10 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão

- (janeiro a março), com derrame de 57.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação. .... V-70
- Figura V-69** - Cenário S-11\_SPS-55\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-11 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 156.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação. .... V-71
- Figura V-70** - Cenário S-12\_SPS-55\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-12 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 156.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação. .... V-72
- Figura V-71** - Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para a Área Geográfica Bacia de Santos, decorrente de derrames de óleo durante os meses de verão (janeiro a março)..... V-73
- Figura V-72** - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para a Área Geográfica Bacia de Santos, decorrente de derrames de óleo durante os meses de verão (janeiro a março). .... V-74
- Figura V-73** - Tempo de deslocamento de óleo na água para a Área Geográfica Bacia de Santos, decorrente de derrames de óleo durante os meses de verão (janeiro a março). .... V-75
- Figura V-74** - Cenário S-1\_RJS-621\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-1 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 60.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação. .... V-76
- Figura V-75** - Cenário S-2\_RJS-621\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-2 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 60.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação. .... V-77
- Figura V-76** - Cenário S-3\_RJS-621\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-3 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno

- (junho a agosto), com derrame de 60.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação..... V-78
- Figura V-77** - Cenário S-4\_MXL-2H\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço MXL-2H, ocorrendo no Ponto S-4 (Polo Mexilhão), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 12.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação..... V-79
- Figura V-78** - Cenário S-5\_MLZ-3D\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 1.650 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação..... V-80
- Figura V-79** - Cenário S-5\_DIESEL\_INV\_PC\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-81
- Figura V-80** - Cenário S-6\_MLZ-3D\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 1.650 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação..... V-82
- Figura V-81** - Cenário S-6\_DIESEL\_INV\_PC\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... V-83
- Figura V-82** - Cenário S-7\_SCS10A\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-7 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 57.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação..... V-84
- Figura V-83** - Cenário S-8\_SCS10A\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-8 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 57.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação..... V-85

- Figura V-84** - Cenário S-9\_SCS10A\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS10A, ocorrendo no Ponto S-9 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 57.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação. ....V-86
- Figura V-85** - Cenário S-10\_SCS10A\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS10A, ocorrendo no Ponto S-10 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 57.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação. ....V-87
- Figura V-86** - Cenário S-11\_SPS-55\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-11 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 156.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação. ....V-88
- Figura V-87** - Cenário S-12\_SPS-55\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-12 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 156.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação. ....V-89
- Figura V-88** - Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para a Área Geográfica Bacia de Santos, decorrente de derrames de óleo durante os meses de inverno (junho a agosto). ....V-90
- Figura V-89** - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para a Área Geográfica Bacia de Santos, decorrente de derrames de óleo durante os meses de inverno (junho a agosto). ....V-91
- Figura V-90** - Tempo de deslocamento de óleo na água para a Área Geográfica Bacia de Santos, decorrente de derrames de óleo durante os meses de inverno (junho a agosto). ....V-92
- Figura V-91** - DET\_S-1\_RJS-621\_VER\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço RJS-621 a partir do Ponto S-1 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos.....V-107
- Figura V-92** - Balanço de massa do cenário DET\_S-1\_RJS-621\_VER\_PC\_60D. ....V-107

- Figura V-93** - DET\_S-2\_RJS-621\_VER\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço RJS-621 a partir do Ponto S-2 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos. ....V-108
- Figura V-94** - Balanço de massa do cenário DET\_S-2\_RJS-621\_VER\_PC\_60D. ....V-108
- Figura V-95** - DET\_S-3\_RJS-621\_VER\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço RJS-621 a partir do Ponto S-3 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos. ....V-109
- Figura V-96** - Balanço de massa do cenário DET\_S-3\_RJS-621\_VER\_PC\_60D. ....V-109
- Figura V-97** - DET\_S-4\_MXL-2H\_VER\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço MXL-2H a partir do Ponto S-4 (Polo Mexilhão), Área Geográfica Bacia de Santos. ....V-110
- Figura V-98** - Balanço de massa do cenário DET\_S-4\_MXL-2H\_VER\_PC\_60D. ....V-110
- Figura V-99** - DET\_S-5\_MLZ-3D\_VER\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com condensado do Poço MLZ-3D a partir do Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos. ....V-111
- Figura V-100** - Balanço de massa do cenário DET\_S-5\_MLZ-3D\_VER\_PC\_60D. ....V-111
- Figura V-101** - DET\_S-5\_DIESEL\_VER\_PC\_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos. ....V-112
- Figura V-102** - Balanço de massa do cenário DET\_S-5\_DIESEL\_VER\_PC\_30D. ....V-112
- Figura V-103** - DET\_S-6\_MLZ-3D\_VER\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com condensado do Poço MLZ-3D a partir do Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos. ....V-113
- Figura V-104** - Balanço de massa do cenário DET\_S-6\_MLZ-3D\_VER\_PC\_60D. ....V-113
- Figura V-105** - DET\_S-6\_DIESEL\_VER\_PC\_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos. ....V-114
- Figura V-106** - Balanço de massa do cenário DET\_S-6\_DIESEL\_VER\_PC\_30D. ....V-114
- Figura V-107** - DET\_S-7\_SCS10A\_VER\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço SCS10A a partir do Ponto S-7 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos. ....V-115
- Figura V-108** - Balanço de massa do cenário DET\_S-7\_SCS10A\_VER\_PC\_60D. ...V-115
- Figura V-109** - DET\_S-8\_SCS10A\_VER\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço SCS10A a partir do Ponto S-8 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos. ....V-116

- Figura V-110** - Balanço de massa do cenário DET\_S-8\_SCS10A\_VER\_PC\_60D. ...V-116
- Figura V-111** - DET\_S-9\_SCS10A\_VER\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço SCS10A a partir do Ponto S-9 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos.....V-117
- Figura V-112** - Balanço de massa do cenário DET\_S-9\_SCS10A\_VER\_PC\_60D. ...V-117
- Figura V-113** - DET\_S-10\_SCS10A\_VER\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço SCS10A a partir do Ponto S-10 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos.....V-118
- Figura V-114** - Balanço de massa do cenário DET\_S-10\_SCS10A\_VER\_PC\_60D. .V-118
- Figura V-115** - DET\_S-11\_SPS-55\_VER\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço SPS-55 a partir do Ponto S-11 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos.....V-119
- Figura V-116** - Balanço de massa do cenário DET\_S-11\_SPS-55\_VER\_PC\_60D....V-119
- Figura V-117** - DET\_S-12\_SPS-55\_VER\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço SPS-55 a partir do Ponto S-12 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos.....V-120
- Figura V-118** - Balanço de massa do cenário DET\_S-12\_SPS-55\_VER\_PC\_60D....V-120
- Figura V-119** - DET\_S-1\_RJS-621\_INV\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço RJS-621 a partir do Ponto S-1 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos.....V-122
- Figura V-120** - Balanço de massa do cenário DET\_S-1\_RJS-621\_INV\_PC\_60D.....V-122
- Figura V-121** - DET\_S-2\_RJS-621\_INV\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço RJS-621 a partir do Ponto S-2 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos.....V-123
- Figura V-122** - Balanço de massa do cenário DET\_S-2\_RJS-621\_INV\_PC\_60D.....V-123
- Figura V-123** - DET\_S-3\_RJS-621\_INV\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço RJS-621 a partir do Ponto S-3 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos.....V-124
- Figura V-124** - Balanço de massa do cenário DET\_S-3\_RJS-621\_INV\_PC\_60D.....V-124
- Figura V-125** - DET\_S-4\_MXL-2H\_INV\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço MXL-2H a partir do Ponto S-4 (Polo Mexilhão), Área Geográfica Bacia de Santos.....V-125
- Figura V-126** - Balanço de massa do cenário DET\_S-4\_MXL-2H\_INV\_PC\_60D. ....V-125

<b>Figura V-127</b> - DET_S-5_MLZ-3D_INV_PC_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço MLZ-3D a partir do Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos. ....	V-126
<b>Figura V-128</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-5_MLZ-3D_INV_PC_60D.....	V-126
<b>Figura V-129</b> - DET_S-5_DIESEL_INV_PC_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos. ....	V-127
<b>Figura V-130</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-5_DIESEL_INV_PC_30D.....	V-127
<b>Figura V-131</b> - DET_S-6_MLZ-3D_INV_PC_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço MLZ-3D a partir do Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos. ....	V-128
<b>Figura V-132</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-6_MLZ-3D_INV_PC_60D.....	V-128
<b>Figura V-133</b> - DET_S-6_DIESEL_INV_PC_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos. ....	V-129
<b>Figura V-134</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-6_DIESEL_INV_PC_30D.....	V-129
<b>Figura V-135</b> - DET_S-7_SCS10A_INV_PC_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço SCS10A a partir do Ponto S-7 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos. ....	V-130
<b>Figura V-136</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-7_SCS10A_INV_PC_60D.....	V-130
<b>Figura V-137</b> - DET_S-8_SCS10A_INV_PC_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço SCS10A a partir do Ponto S-8 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos. ....	V-131
<b>Figura V-138</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-8_SCS10A_INV_PC_60D.....	V-131
<b>Figura V-139</b> - DET_S-9_SCS10A_INV_PC_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço SCS10A a partir do Ponto S-9 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos. ....	V-132
<b>Figura V-140</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-9_SCS10A_INV_PC_60D.....	V-132
<b>Figura V-141</b> - DET_S-10_SCS10A_INV_PC_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço SCS10A a partir do Ponto S-10 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos. ....	V-133
<b>Figura V-142</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-10_SCS10A_INV_PC_60D....	V-133
<b>Figura V-143</b> - DET_S-11_SPS-55_INV_PC_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço SPS-55 a partir do Ponto S-11 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos. ....	V-134

- Figura V-144** - Balanço de massa do cenário DET\_S-11\_SPS-55\_INV\_PC\_60D. ....V-134
- Figura V-145** - DET\_S-12\_SPS-55\_INV\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço SPS-55 a partir do Ponto S-12 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos. ....V-135
- Figura V-146** - Balanço de massa do cenário DET\_S-12\_SPS-55\_INV\_PC\_60D. ....V-135
- Figura V-147** - Diagrama stick plot dos vetores de vento para o cenário determinístico DET\_S-5\_DIESEL\_VER\_PC\_30D, a partir do início da simulação até o primeiro toque na costa. ....V-136
- Figura V-148** - Cenário DET\_S-5\_DIESEL\_VER\_PC\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação. ....V-137
- Figura V-149** - Cenário DET\_S-5\_DIESEL\_VER\_PC\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo 24 horas após o início da simulação. ....V-138
- Figura V-150** - Cenário DET\_S-5\_DIESEL\_VER\_PC\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação. ....V-139
- Figura V-151** - Diagrama stick plot dos vetores de vento para o cenário determinístico DET\_S-5\_DIESEL\_INV\_PC\_30D, a partir do início da simulação até o primeiro toque na costa. ....V-140
- Figura V-152** - Cenário DET\_S-5\_DIESEL\_INV\_PC\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação. ....V-141
- Figura V-153** - Cenário DET\_S-5\_DIESEL\_INV\_PC\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo 24 horas após o início da simulação. ....V-142
- Figura V-154** - Cenário DET\_S-5\_DIESEL\_INV\_PC\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação. ....V-143



## RESUMO

Este relatório apresenta uma revisão da modelagem numérica do transporte e dispersão de óleo no mar para a Área Geográfica Bacia de Santos (AGBS), em atendimento ao Parecer Técnico CGPEG/DILIC/IBAMA nº 133/10 (PT 133/10). Neste estudo considerou-se a revisão das informações sobre óleo e volumes de *blowout* apresentados em ASA (2006, 2008, 2009) para cada uma das subregiões da AGBS, uma base hidrodinâmica atualizada e três volumes de derrame (pequeno, médio e pior caso), além da inclusão de todas as solicitações feitas no PT 133/10.

O sistema de modelos OILMAP da **Applied Science Associates (ASA), Inc.** foi utilizado para definir a área potencialmente ameaçada por derramamentos de óleo, decorrentes das atividades de perfuração de poços petrolíferos marítimos, na AGBS, a partir de simulações de derrame de óleo em um conjunto de 12 pontos distribuídos nas 5 subregiões associadas aos polos que formam a área geográfica.

O campo de correntes característico dos padrões de circulação na região foi obtido a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), adaptado e implementado pela **ASA South America**. Este modelo foi adaptado e implementado para reproduzir as correntes oceânicas de plataforma e talude, presentes na costa sul-sudeste do Brasil.

Foram conduzidas simulações de derrame de óleo considerando: 1) três volumes de derrame (pequeno, médio e pior caso); 2) condições sazonais de verão e inverno; e 3) tipos de óleo com ocorrência provável nas 5 subregiões da AGBS.

Foram conduzidas simulações probabilísticas para determinar contornos de probabilidade das manchas de óleo atingirem a área de estudo, utilizando como critério de parada o tempo de 30 dias após o final do vazamento, ou seja, as simulações de *blowout* foram de 60 dias, enquanto as simulações de afundamento de unidade e de derrames de volume médio e pequeno foram de 30 dias. A partir dos resultados das simulações probabilísticas, foram selecionados os cenários determinísticos críticos para os volumes de pior caso,

condições de verão e inverno, utilizando como critério o menor tempo de chegada do óleo na costa ou menor distância deste em relação à costa (quando não há probabilidade de toque).

Os resultados da modelagem revelaram uma forte correlação entre as trajetórias das manchas simuladas e os padrões de circulação na região. Na costa sul-sudeste brasileira, o padrão de circulação superficial predominante está relacionado à Corrente do Brasil (CB), fluindo para sul-sudoeste, com seus meandros e vórtices. Sobre a plataforma, o padrão predominante está relacionado ao campo de vento e à maré, com eventuais intrusões da CB. A partir do talude e em região oceânica há predomínio da CB.

## I INTRODUÇÃO

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da Atividade de Perfuração Marítima na Área Geográfica Bacia de Santos abrange um polígono correspondente à Área Geográfica Bacia de Santos (AGBS), cujos vértices serviram como fronteiras limites para a avaliação de potenciais derrames de óleo na região.

Com o objetivo de dar suporte à PETROBRAS nessa avaliação e, em atendimento ao Parecer Técnico CGPEG/DILIC/IBAMA nº 133/10 (PT 133/10), apresenta-se uma revisão da modelagem computacional da trajetória e intemperismo de óleo na Área Geográfica Bacia de Santos. Neste estudo considerou-se a revisão das informações sobre óleo e volumes de *blowout* apresentados em ASA (2006, 2008, 2009) para cada uma das subregiões da AGBS, uma base hidrodinâmica atualizada, três volumes de derrame (pequeno, médio e pior caso), além da inclusão de todas as solicitações feitas no PT 133/10.

Como critério de parada nas simulações de derrame de óleo utilizou-se o tempo de 30 dias após o final do vazamento, ou seja, as simulações de *blowout* foram de 60 dias, enquanto as simulações de afundamento de unidade e de derrames de volume médio e pequeno foram de 30 dias.

A modelagem foi conduzida através da utilização de um sistema de modelos conhecido como OILMAP, desenvolvido pela **Applied Science Associates (ASA), Inc.** A **ASA** tem mais de 30 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) campos de vento variáveis no tempo e no espaço e (d) caracterização físico-química do óleo.

Para a modelagem de transporte da mancha de óleo foi considerando um campo de ventos variável no tempo e no espaço, baseado em dados de

Reanálise dos modelos meteorológicos do NCEP/NCAR<sup>1</sup>. O campo de correntes característico dos padrões de circulação na região foi obtido a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), adaptado e implementado pela **ASA South America** para reproduzir as correntes oceânicas de plataforma e talude, presentes na costa sul-sudeste do Brasil.

O Capítulo I, além de discutir o propósito do estudo, fornece informações sobre a área de estudo. No Capítulo II apresenta-se a análise dos dados meteorológicos e oceanográficos relevantes aos estudos de modelagem. O Capítulo III descreve o modelo hidrodinâmico e apresenta a avaliação do mesmo. O Capítulo IV descreve os cenários acidentais de óleo, os cenários simulados, suas características e os dados de entrada. Os resultados das simulações probabilísticas e determinísticas críticas são apresentados no Capítulo V. Por fim, o Capítulo VI apresenta as considerações finais para o presente estudo. Os Anexos 1 e 2 apresentam, respectivamente, a descrição dos modelos POM e OILMAP; No Anexo 3 apresenta-se a justificativa dos volumes de *blowout* e tipos de óleo utilizados nas simulações.

## **I.1 ÁREA DE ESTUDO**

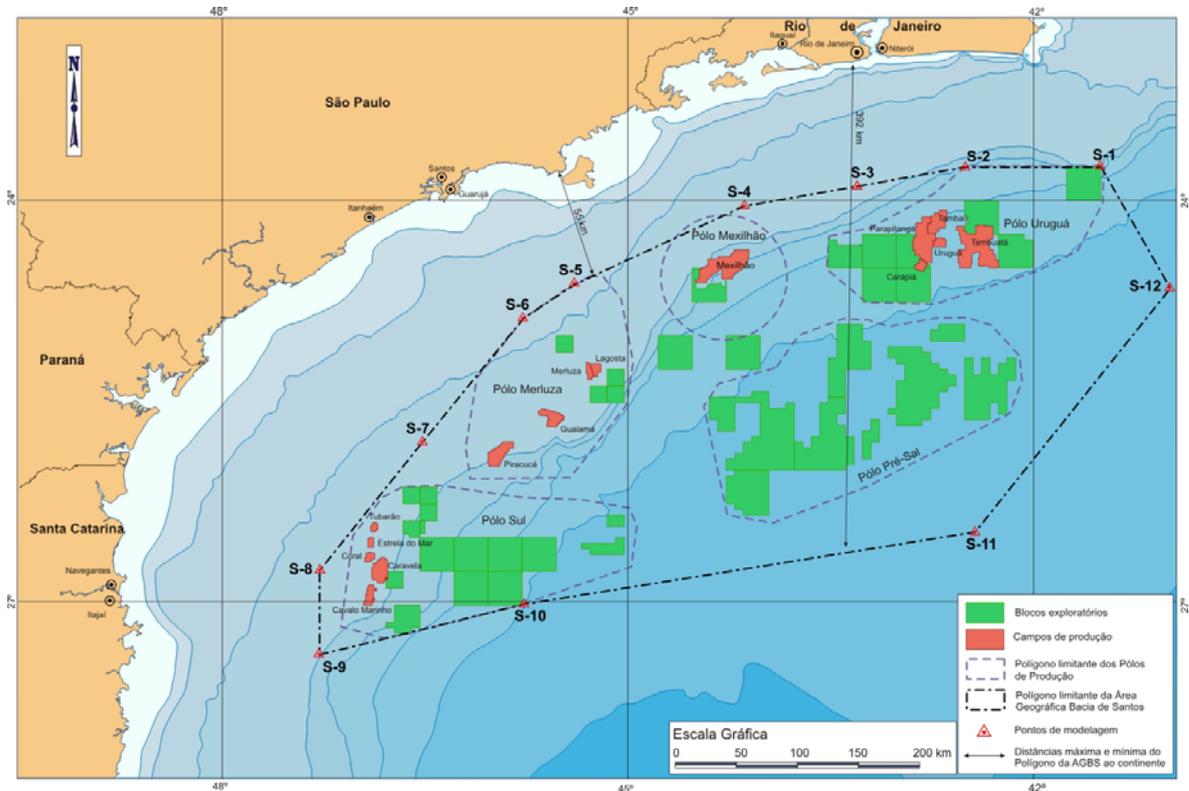
A Área Geográfica Bacia de Santos está reproduzida na figura I-1, assim como os 12 pontos selecionados para a modelagem de dispersão de óleo. A Área Geográfica Bacia de Santos foi delimitada por um polígono envolvendo todos os campos, blocos e áreas de desenvolvimento e exploração sob concessão da PETROBRAS na Bacia de Santos, e estes por sua vez, foram divididos esquematicamente em 5 polos, de acordo com sua proximidade geográfica e requisitos de logística/infraestrutura para produção, escoamento e apoio.

Em relação aos pontos a serem modelados, foram selecionados 12 pontos representativos ao longo do polígono, sendo o principal critério desta seleção a proximidade com relação aos polos. Em termos de proximidade da costa, foram incluídos 4 pontos na porção ocidental. Desta forma, os pontos S-1 a S-3 foram

---

<sup>1</sup> *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).

associados ao Polo Uruguá, o ponto S-4 ao Polo Mexilhão, os pontos S-5 e S-6 ao Polo Merluza, os pontos S-7 a S-10 ao Polo Sul e os pontos S-11 e S-12 ao Polo Pré-sal.



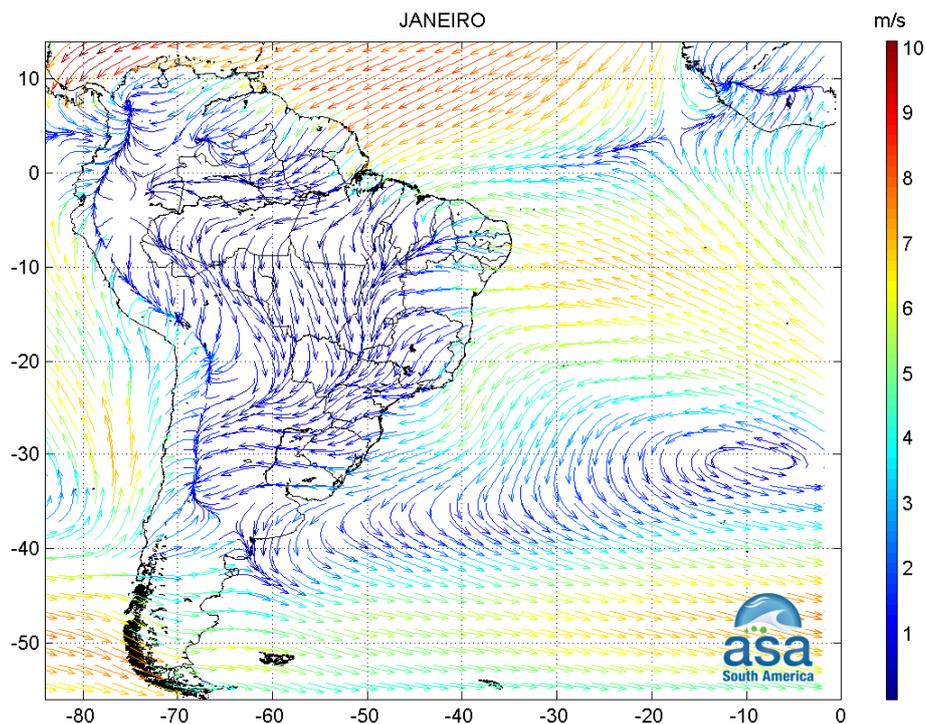
**Figura I-1** - Área Geográfica Bacia de Santos, mostrando os 5 Polos de Exploração e Produção e os pontos S-1 a S-12 selecionados para realização da modelagem de dispersão de óleo.

### 1.1.1 Características Meteorológicas da Região

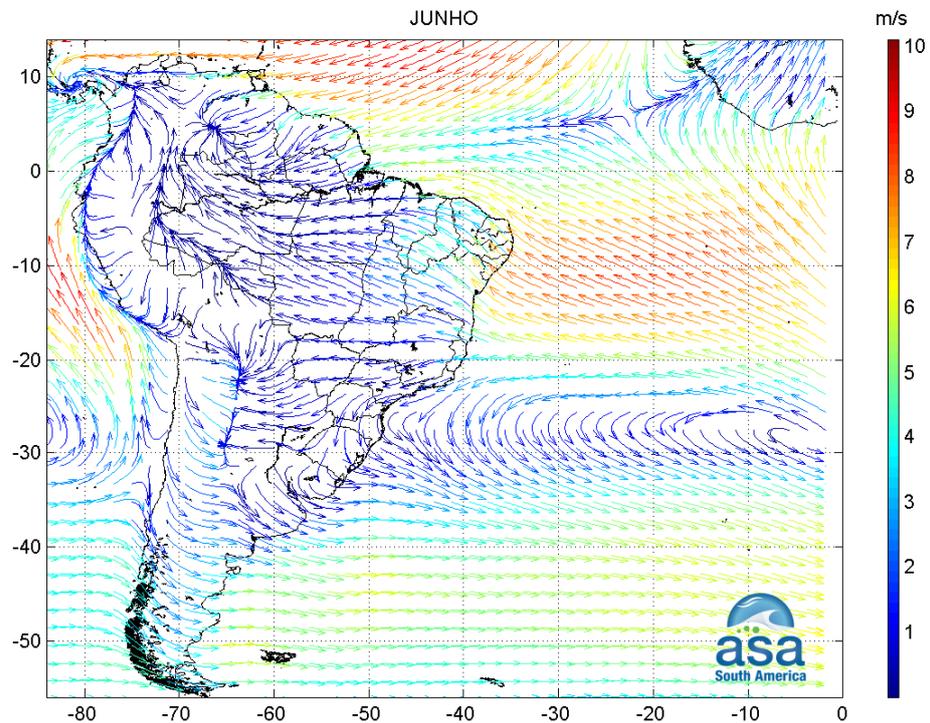
A circulação atmosférica de baixos níveis na região sudeste do Brasil é dominada pela ação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), pela passagem de sistemas frontais sobre a região e por circulações locais, como circulações associadas à topografia e à brisa marítima.

A influência da ASAS está associada a ventos de NE/ENE e a condições de tempo estáveis, devido à subsidência induzida na região de alta pressão. A variabilidade sazonal do padrão de ventos na região, devido ao deslocamento da ASAS, é ilustrado na figura I-2 para o período de verão (janeiro) e na figura I-3

para o período de inverno (junho). Tais figuras apresentam o comportamento sazonal da circulação atmosférica obtida através de médias mensais de 60 anos (1948–2008) das reanálises do modelo de circulação geral do NCEP/NCAR. Nessa análise foram utilizados dados de vento na altura de 10 m acima da superfície do mar.



**Figura I-2** - Médias de 60 anos (1948 - 2008) do vento a 10 m no período de verão (janeiro).



**Figura I-3** - Médias de 60 anos (1948 - 2008) do vento a 10 m no período de inverno (junho).

Periodicamente a situação de bom tempo induzida pela ASAS é perturbada pelo deslocamento de sistemas atmosféricos transientes (*i.e.* sistemas frontais e ciclones extratropicais e subtropicais), que atuam durante o ano todo sobre todo o Atlântico sul, com frequências maiores nas latitudes mais altas e menores nas latitudes mais baixas. As figuras I-4 e I-5 ilustram instantâneos do vento NCEP/NCAR a 10 m de altura para a América do Sul, em situação de bom tempo e de deslocamento de um sistema frontal, respectivamente.

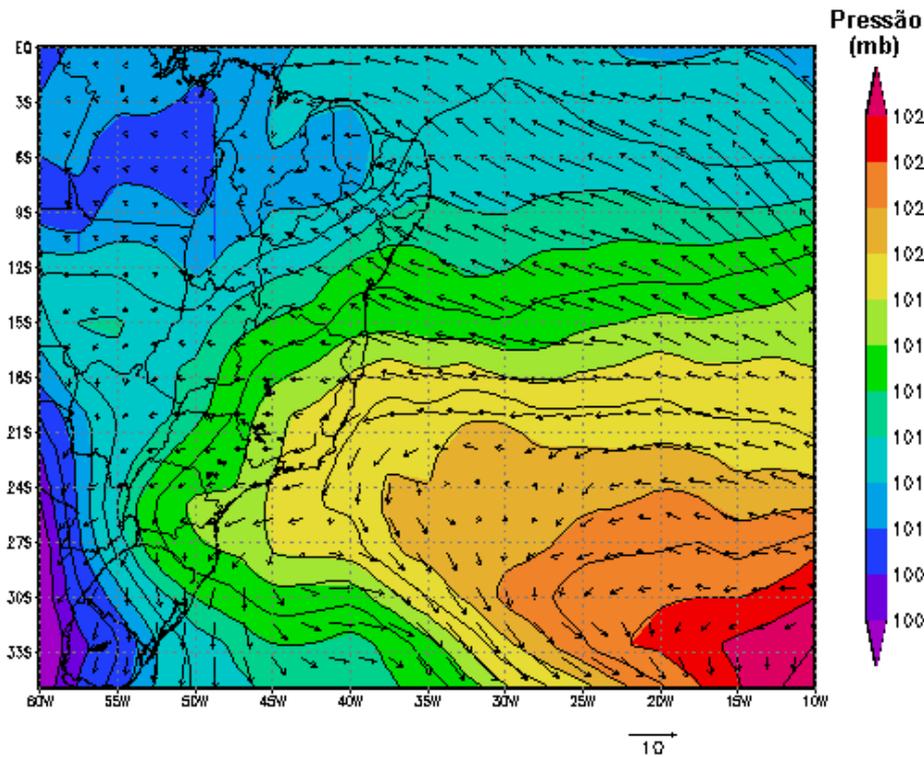


Figura I-4 - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 1º de junho de 2003 (situação de bom tempo).

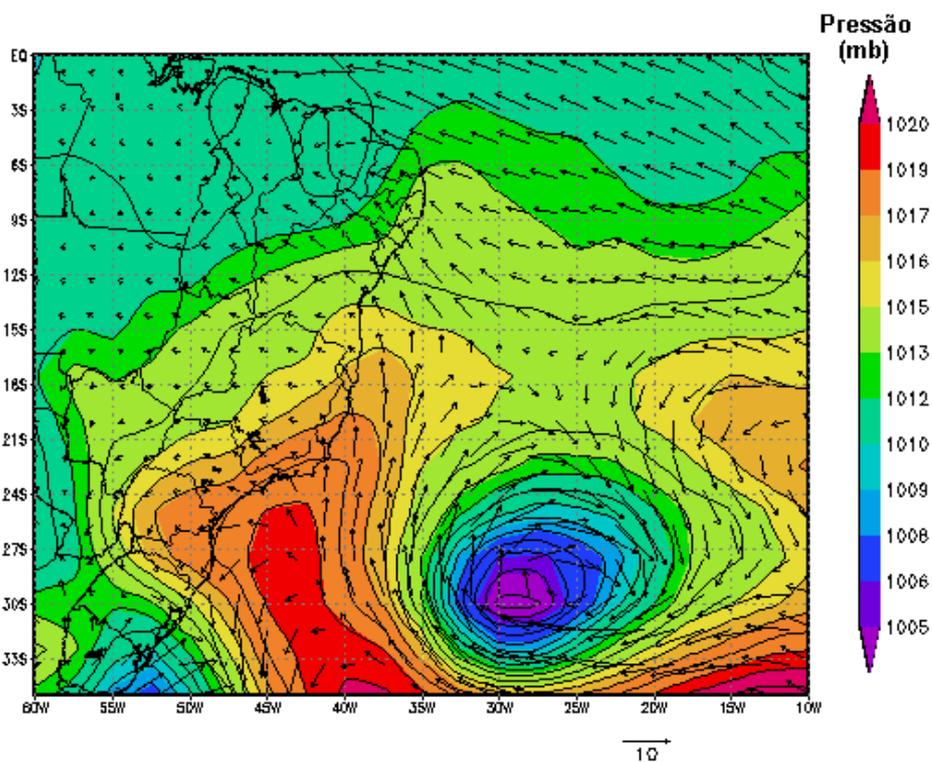


Figura I-5 - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 15 de junho de 2003, às 18GMT (deslocamento de um sistema frontal).

Os sistemas frontais atuam durante o ano todo sobre todo o Atlântico Sul e as perturbações atmosféricas geradas são essenciais para a determinação das variabilidades intra-anuais na superfície oceânica.

O deslocamento desses sistemas está associado ao escoamento ondulatório de grande escala em médios e altos níveis da atmosfera. As Regiões Sul e Sudeste do Brasil são ditas frontogenéticas, ou seja, regiões onde as frentes podem se formar ou se intensificar (Satyamurty & Mattos, 1989).

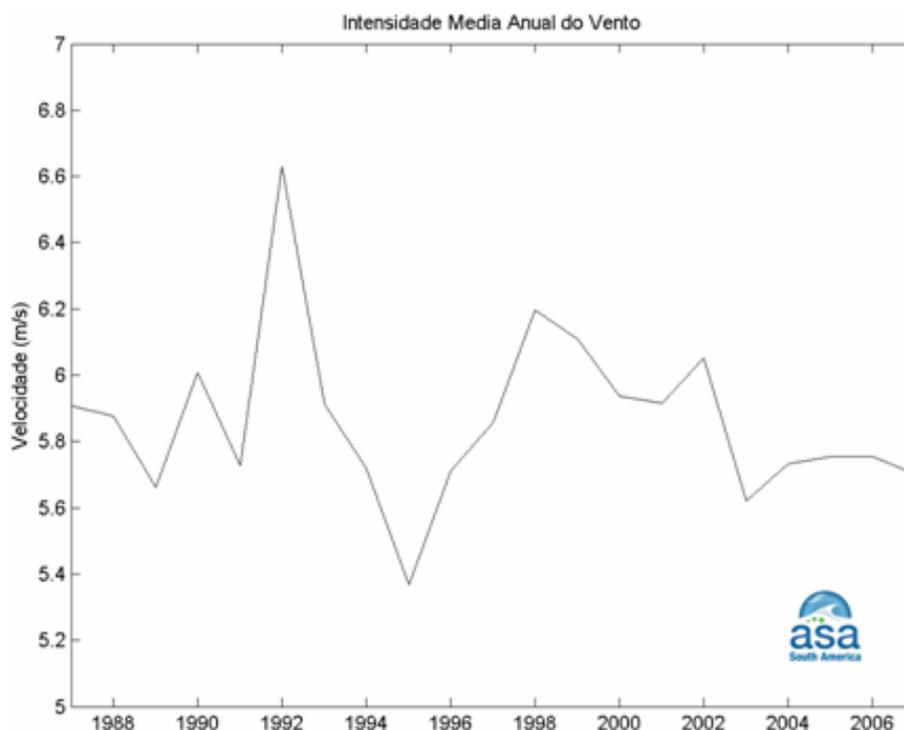
Uma estatística dos sistemas frontais que atingem a Bacia de Santos foi realizada com dados de vento de reanálise do NCEP no nível de 925 hPa (nível mais adequado para esta análise), disponíveis com resolução temporal de 6 horas e espacial de 2,5°, para o período de 1987 a 2007, na posição de 25° S e 45° W.

Os resultados obtidos são apresentados na tabela I-1 e verifica-se que a média mensal desses sistemas atuando na região é de 3,2 sistemas nos meses de verão; 4,4 sistemas no outono; 4,4 no inverno, e 4,8 sistemas nos meses de primavera. Este resultado é coerente com os trabalhos de Oliveira (1986) e Andrade (2005).

**Tabela I-1** - Ocorrência e duração de sistemas frontais representativas da Bacia de Santos para as quatro estações do ano obtidas a partir de dados do NCEP (25° S e 45° W) em 925 hPa no período de 1987 a 2007.

1987 - 2007	Nº.DE FRENTE	FRENTE/MÊS	DURAÇÃO MÉDIA DAS FRENTE (H)	PERÍODO MÉDIO ENTRE FRENTE (DIA)
<i>JAN-FEV-MAR</i>				
Valores Médios	9,5	<b>3,2</b>	52,5	7,4
Desvios Padrão	2,4	0,8	13,4	2,1
<i>ABR-MAI-JUN</i>				
Valores Médios	13,2	<b>4,4</b>	53,8	5,0
Desvios Padrão	2,7	0,9	9,5	1,6
<i>JUL-AGO-SET</i>				
Valores Médios	13,3	<b>4,4</b>	51,9	5,1
Desvios Padrão	2,6	0,9	8,1	1,4
<i>OUT-NOV-DEZ</i>				
Valores Médios	14,3	<b>4,8</b>	51,9	4,2
Desvios Padrão	2,4	0,8	9,6	1,0

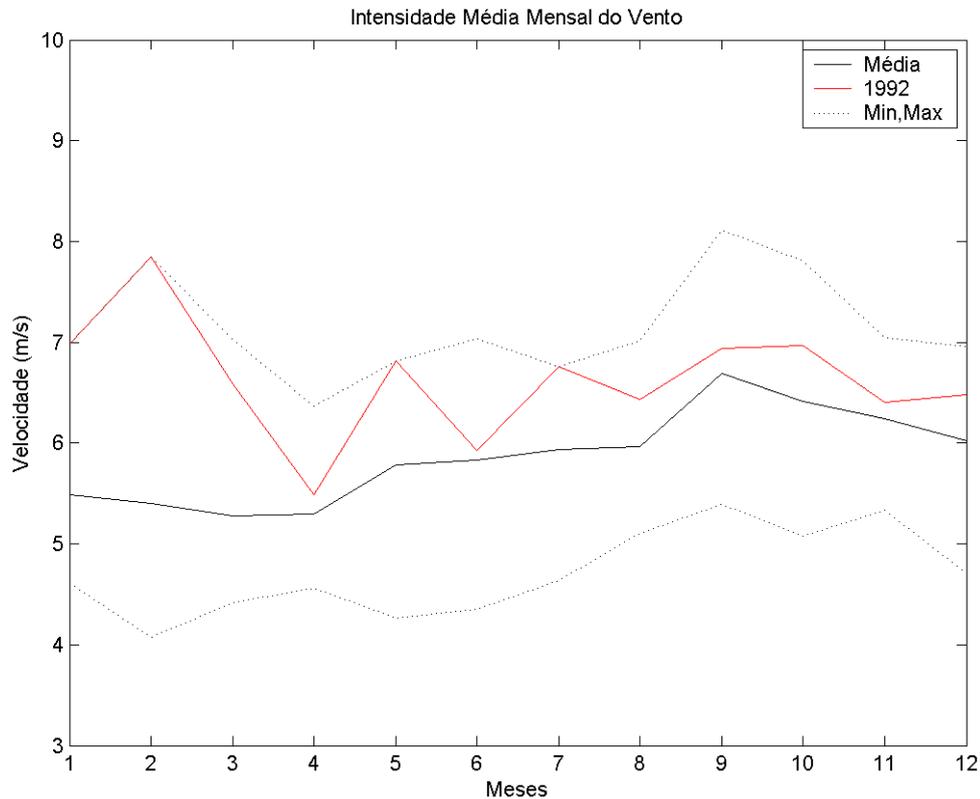
Com relação à intensidade do vento, a figura I-6 apresenta a média anual para o período 1987-2007, com base no mesmo conjunto de dados do NCEP utilizado na análise apresentada na tabela I-1. Observa-se que a média anual do vento neste período indicou uma intensidade média de 5,9 m/s e a média anual mais intensa para o período analisado ocorreu em 1992 (6,6 m/s).



**Figura I-6** - Intensidade média anual do vento NCEP (25°S e 45°W) em 925 hPa no período de 1987 a 2007.

A figura I-7 apresenta o comportamento médio mensal da intensidade do vento ao longo desse período de dados. Verifica-se que a média mensal menos intensa ocorre no verão e a mais intensa na primavera, quando são observadas as velocidades mensais mínimas e máximas, respectivamente. Com relação ao ano de 1992, observa-se uma maior intensidade do vento para a maioria dos meses, quando comparada à média mensal do período considerado (1987-2007).

Portanto, com relação à intensidade do vento, o ano de 1992 apresentou valores superiores à média, o que o torna um ano importante para a utilização em simulações que reproduzam eventos extremos, permitindo modelagens mais conservativas.



**Figura I-7** - Intensidade média mensal do vento para de dados do NCEP (25°S e 45°W) em 925 hPa no período de 1987 a 2007.

A tabela I-2 apresenta a ocorrência e duração de sistemas frontais para o ano de 1992. Observa-se que o ano de 1992 apresentou maior número de ocorrência de sistemas frontais com relação à média dos últimos 20 anos para outono, inverno e primavera. Para o verão o número de ocorrência de sistemas frontais foi inferior, entretanto, manteve sua duração média próxima da média dos últimos 20 anos. Este fato pode estar associado aos extremos valores de intensidade do vento observados em janeiro e fevereiro (ver figura I-7) na região, que dificultaram a propagação de sistemas frontais na região.

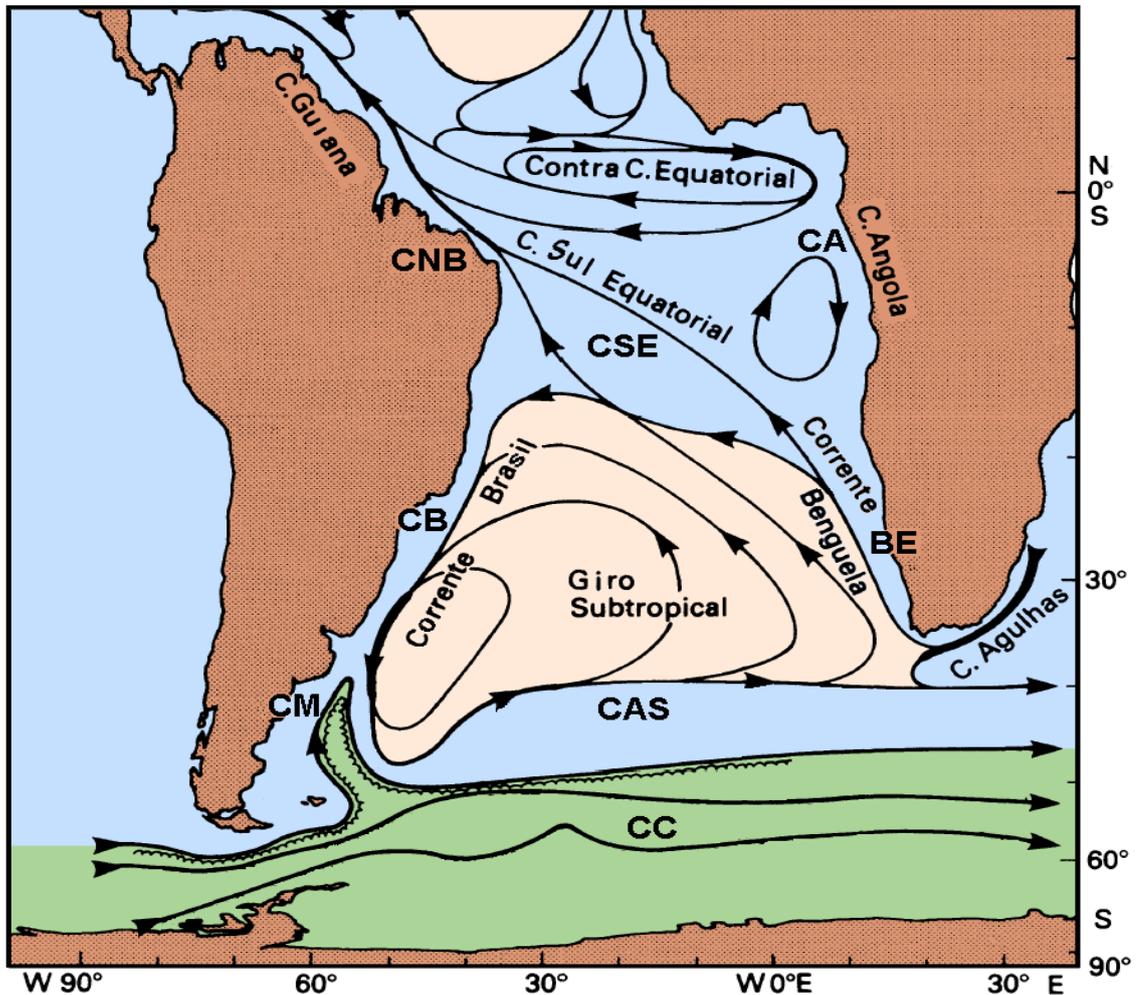
**Tabela I-2** - Ocorrência e duração de sistemas frontais representativas da Bacia de Santos para o ano de 1992.

MESES	Nº.DE FRENTE	FRENTE/MÊS	DURAÇÃO MÉDIA DAS FRENTE (H)	PERÍODO MÉDIO ENTRE FRENTE (DIA)
jan-fev-mar	6,0	2,0	52,0	9,2
abr-maio-jun	15,0	5,0	44,4	3,6
jul-ago-set	15,0	5,0	55,6	4,2
out-nov-dez	16,0	5,3	51,8	3,6

### ***1.1.2 Características Oceanográficas da Região***

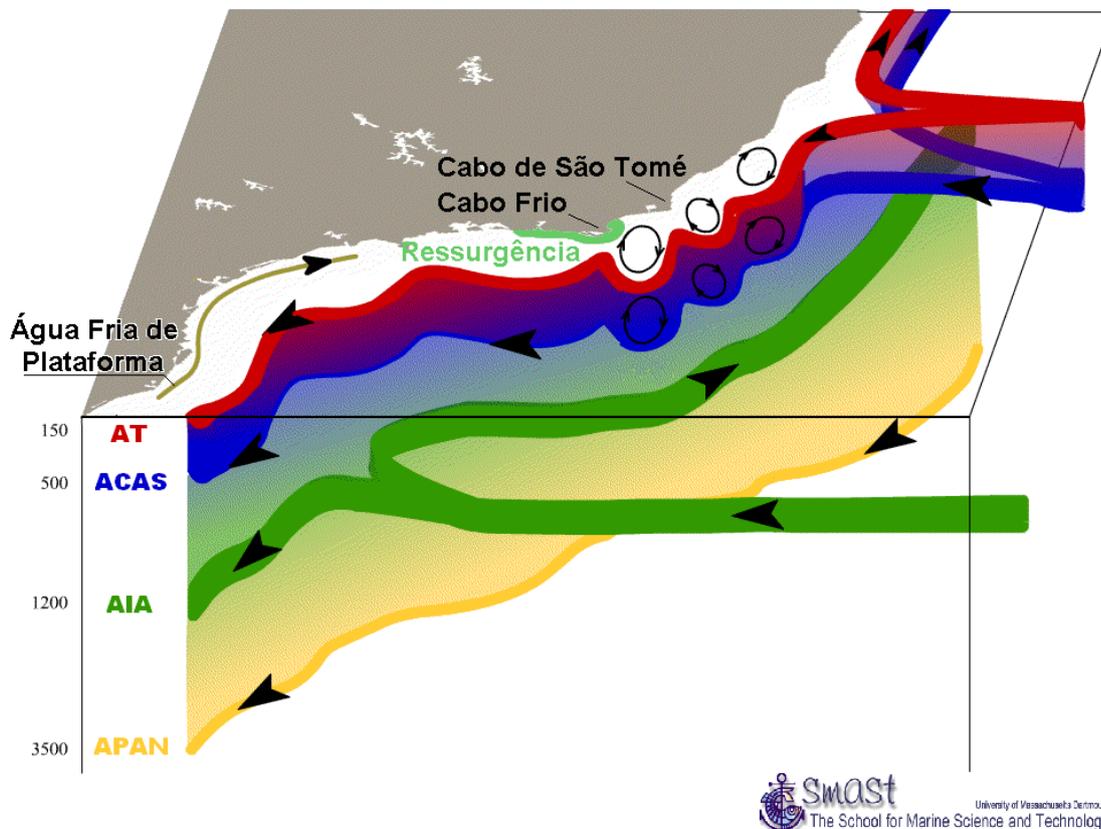
Na costa sudeste brasileira, o padrão de circulação está relacionado ao “Sistema Corrente do Brasil” (Godoi, 2005), sistema de correntes de contorno formadas pela Corrente do Brasil (CB), fluindo para sul-sudoeste, com seus meandros e vórtices, e pela subjacente Corrente de Contorno Intermediária (CCI), fluindo para norte-nordeste. Sobre a plataforma, o padrão predominante está relacionado ao campo de vento e à maré, com eventuais intrusões da CB. A partir do talude e em região oceânica, há predomínio do sistema CB-CCI.

A figura I-8 ilustra o Giro Sub-Tropical do Atlântico Sul na superfície, onde a CB é a corrente de contorno oeste, que se origina na bifurcação da Corrente Sul Equatorial (CSE) e se separa da costa na região da confluência com a Corrente das Malvinas (CM).



**Figura I-8** - Representação da circulação no Oceano Atlântico Sul, indicando as seguintes correntes oceânicas: Corrente Circumpolar (CC), Corrente do Atlântico Sul (CAS), Corrente de Benguela (BE), Corrente de Angola (CA), Corrente Sul Equatorial (CSE), Corrente do Brasil (CB) e Corrente das Malvinas (CM). Adaptado de Tomczak & Godfrey (1994).

A figura I-9 ilustra a estrutura vertical das correntes de contorno presentes na costa brasileira. A CB flui para sudoeste, com espessura característica de 500 m ao largo do sudeste brasileiro; a Corrente de Contorno Intermediária (CCI) flui para nordeste, ocupando porções intermediárias do talude continental, com extensão vertical de pelo menos 700 m (Böebel *et al.*, 1999 *apud* Silveira *et al.*, 2000; Stramma & England, 1999). Abaixo da CCI, ocupando por vezes cerca de dois quilômetros de coluna de água e com uma estrutura vertical complexa, a Corrente de Contorno Profunda (CCP) flui para o sudoeste (Stramma & England, 1999).



**Figura I-9** - Esquema da circulação oceânica na costa brasileira. As cores diferenciam as massas d'água existentes na região: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN).<sup>2</sup>

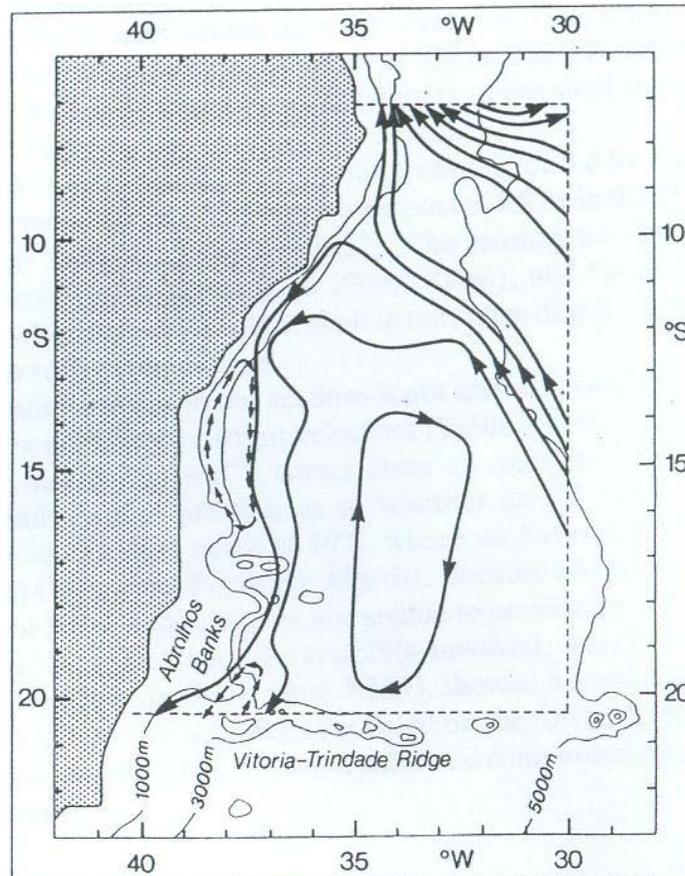
Parte significativa do fluxo da CB passa através dos canais dos Bancos de Abrolhos e divide-se em dois ramos. Um deles flui afastado da costa, além da isóbata de 3.000 m (Stramma *et al.*, 1990), como indicado na figura I-10, enquanto o outro flui seguindo a linha de quebra da plataforma (Signorini, 1978).

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, como indicado na figura I-10.

O volume estimado transportado pela CB na região da quebra da plataforma e do talude na latitude de 22°S é de  $5,5 \pm 2,6$  Sv (Lima, 1997). Algumas regiões

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

sobre o talude continental podem apresentar velocidades de correntes maiores que 1,0 m/s (Castro & Miranda, 1998).



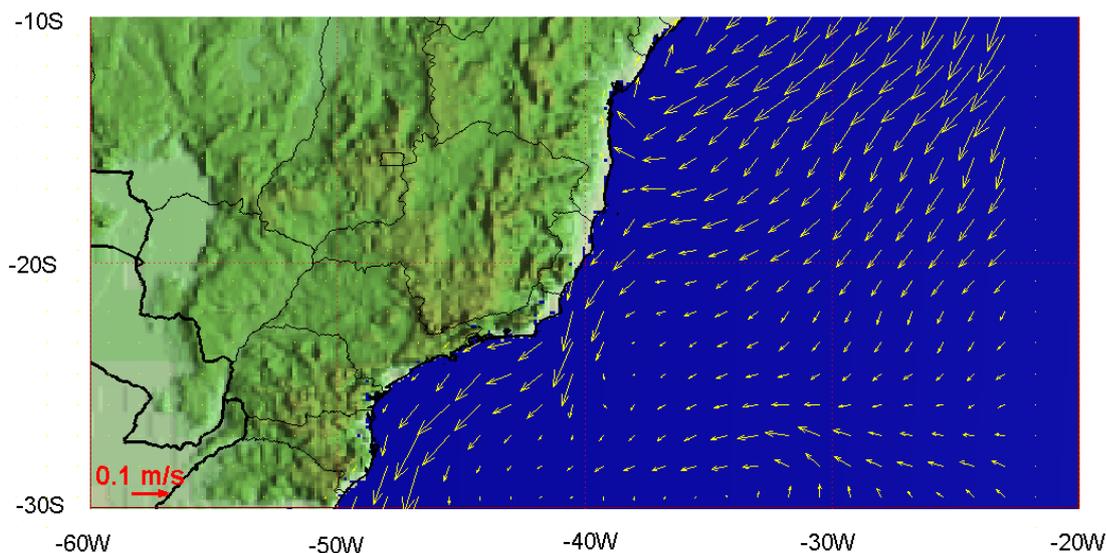
**Figura I-10** - Representação esquemática do campo de fluxo geostrofico nos primeiros 500 m, com base em dados hidrográficos históricos, coletados na região demarcada. As linhas cheias correspondem a transporte de 2 Sv e a linha tracejada de 1 Sv (Adaptado de Stramma et al., 1990).

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

Vários modelos numéricos globais reproduzem o sistema de correntes em larga escala nesta região. O processo de *warm up* do modelo aqui apresentado

foi baseado nos resultados de uma simulação de 14 anos do modelo OCCAM, disponibilizados pela Universidade de Southampton. O OCCAM foi elaborado com base no GFDL MOM<sup>3</sup>, incluindo uma superfície livre e esquemas de advecção melhorados. A grade, para o Oceano Atlântico Sul, é regular ( $\frac{1}{4}$  de grau), com 36 níveis (20 m de espessura próximo à superfície e 255 m em 5.500 m de profundidade). Este modelo foi inicializado com médias anuais de temperatura e salinidade do LEVITUS<sup>4</sup>, forçado na superfície com dados de vento do ECMWF<sup>5</sup> (médias mensais) e relaxado para os campos sazonais de temperatura e salinidade do LEVITUS.

A figura I-11 ilustra uma média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM. Nota-se o ramo Sul da CSE atingindo a costa do Brasil em torno de 15°S, bifurcando-se e originando a CNB, fluindo para Norte, e a CB, fluindo para Sul.



**Figura I-11** - Média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM.

Com relação à maré astronômica, observa-se, na região da Bacia de Santos, a predominância das componentes semidiurnas, conforme indicam as constantes harmônicas da FEMAR<sup>6</sup> para a estação maregráfica de Guaraú (24°22,8'S e

<sup>3</sup> Global Fluid Dynamics Laboratory - Modular Ocean Model.

<sup>4</sup> <http://ingrid.ldgo.columbia.edu/SOURCES/.LEVITUS94>.

<sup>5</sup> European Centre for Medium-range Weather Forecast.

<sup>6</sup> Fundação de Estudos do Mar.

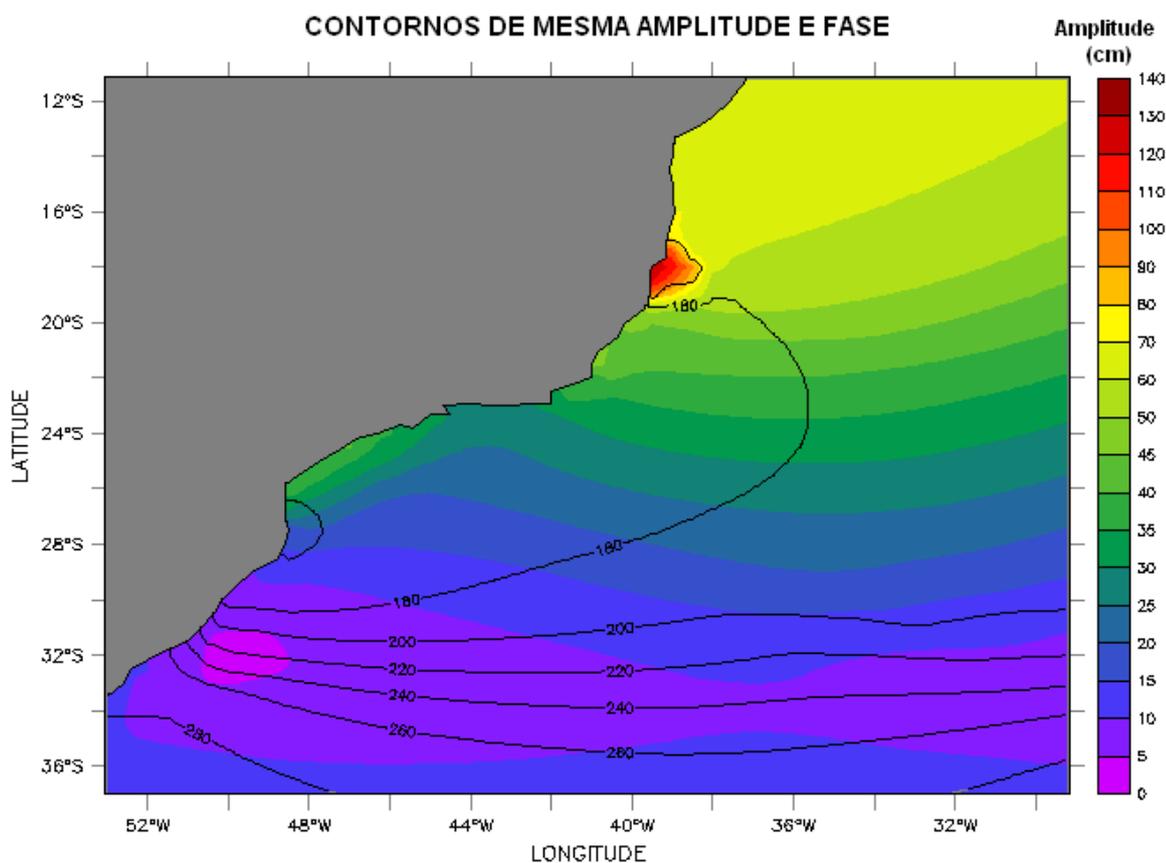
46°59,2'W) apresentadas na figura I-12. Observa-se que as principais componentes para a região são  $M_2$  e  $S_2$ , seguidas da  $O_1$ .

<b>Nome da Estação :</b> GUARÁ – SP					
<b>Localização :</b> Proximidades da Barra do Rio Peruibe					
<b>Organ. Responsável :</b> DHN					
<b>Latitude :</b> 24° 22,8' S		<b>Longitude :</b> 46° 59,2' W			
<b>Período Analisado :</b> 14/06/82 a 15/07/82			<b>N° de Componentes :</b> 82		
<b>Análise Harmônica :</b> Método Almirante Santos Fanco					
<b>Classificação :</b> Maré de Desigualdades Diurnas					
<b>Estabelecimento do Porto:</b> (HWF&C)		II H 33 min		<b>Nível Médio</b> (Zo): 80 cm acima do NR.	
<b>Média das Preamares Superiores (MHHW) :</b>		150 cm acima do NR.		<b>Média das Preamares Inferiores (MLHW) :</b> 127 cm acima do NR	
<b>Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :</b>		28 cm acima do NR.		<b>Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) :</b> 15 cm acima do NR.	
<b>CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS</b>					
<b>Componentes</b>	<b>Semi-amplitude</b> (H) cm	<b>Fase (g)</b> graus (°)	<b>Componentes</b>	<b>Semi-amplitude</b> (H) cm	<b>Fase (g)</b> graus (°)
Sa	-	-	MU <sub>2</sub>	3,2	120
Ssa	-	-	N <sub>2</sub>	5,1	144
Mm	1,9	082	NU <sub>2</sub>	1,0	135
Mf	-	-	M <sub>2</sub>	34,8	078
MTM	8,7	080	L <sub>2</sub>	1,6	031
Msf	4,4	270	T <sub>2</sub>	1,4	082
Q <sub>1</sub>	3,4	061	S <sub>2</sub>	23,6	082
O <sub>1</sub>	12,8	078	K <sub>2</sub>	6,4	083
M <sub>1</sub>	2,3	359	MO <sub>3</sub>	1,8	025
P <sub>1</sub>	2,2	129	M <sub>3</sub>	5,1	195
K <sub>1</sub>	6,5	133	MK <sub>3</sub>	3,0	098
J <sub>1</sub>	1,9	169	MN <sub>4</sub>	1,2	143
OO <sub>1</sub>	0,2	313	M <sub>4</sub>	2,1	196
MNS <sub>2</sub>	1,1	105	SN <sub>4</sub>	0,3	280
2N <sub>2</sub>	0,7	210	MS <sub>4</sub>	0,1	326
<b>Referências de Nível:</b> RN-1 situada em pedra notável na encosta em frente à estação maregráfica.					
<b>Obs:</b> Não há referências a outros períodos					

Código BND0: 50237

**Figura I-12 - Amplitude (cm) e fase local (°) das principais componentes harmônicas para a estação maregráfica de Guaraú (SP). Fonte: FEMAR (2000).**

A figura I-13 apresenta o mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude de maré para a costa sul-sudeste brasileira (CSR3<sup>7</sup>). Observa-se ser esta uma região de pequena resposta a forçante astronômica da maré; exceção feita ao platô de Abrolhos e região interna da Bacia de Santos, onde há evidente amplificação do sinal de maré.

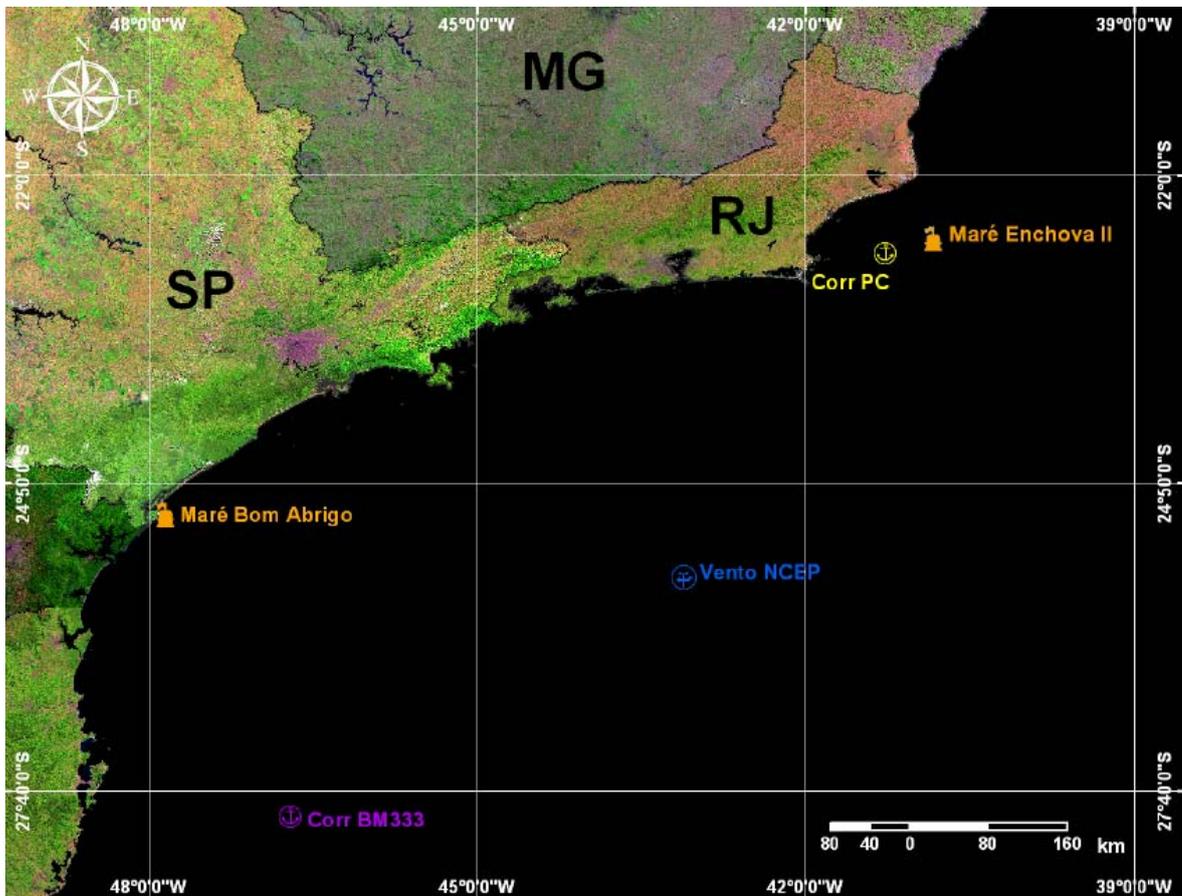


**Figura I-13 - Mapa cotidal de amplitude (cores) e fase (linhas) para a componente  $M_2$ .**

<sup>7</sup> Center for Space Research da Universidade do Texas ([www.csr.utexas.edu](http://www.csr.utexas.edu)).

## II ANÁLISE DE DADOS

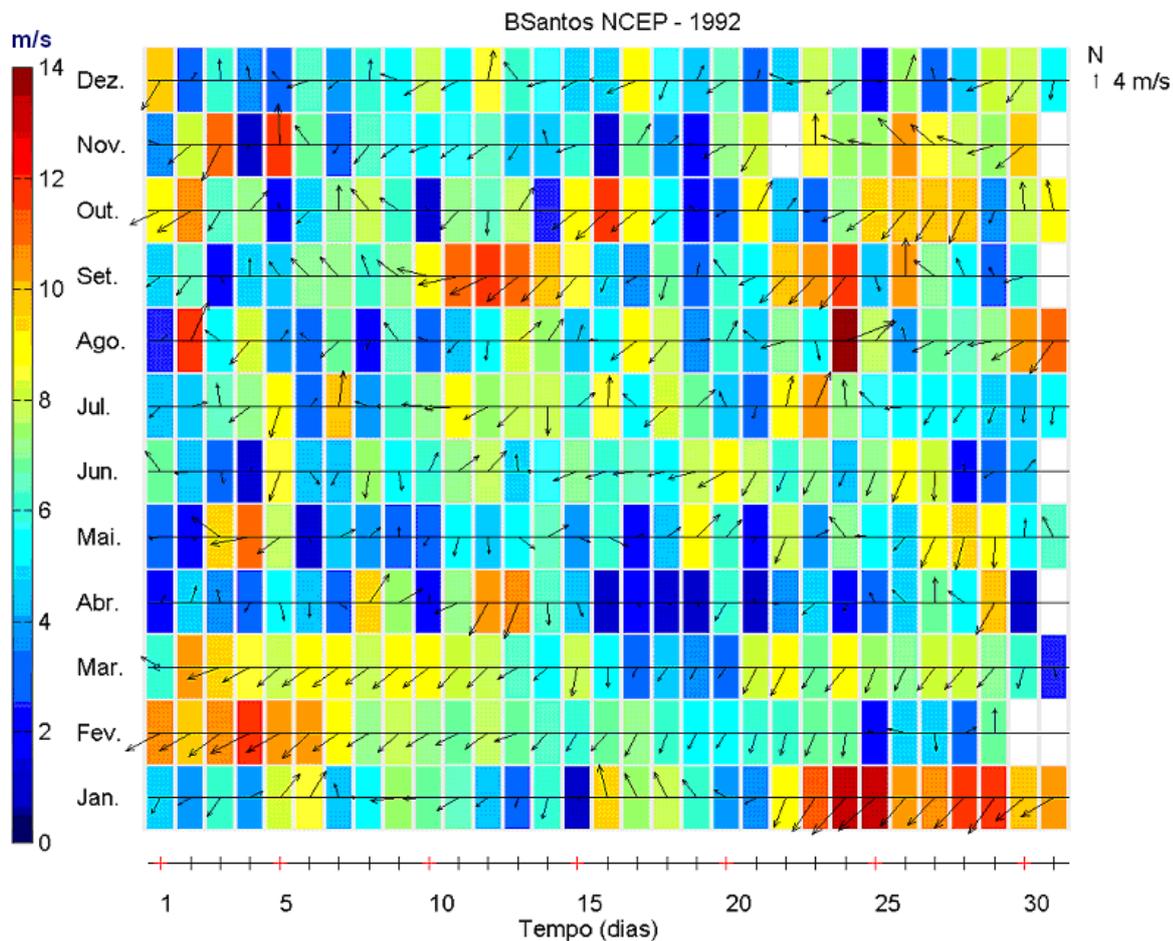
Neste capítulo são apresentadas as análises das informações (dados) pretéritas, meteorológicas e oceanográficas nas imediações da região de estudo. Esta fase teve por objetivo: (1) uma melhor compreensão da dinâmica da área, (2) identificar padrões característicos com o intuito de calibrar/validar o modelo hidrodinâmico, e (3) para aplicação direta na elaboração das simulações de derrame de óleo e descarte de efluentes. A localização dos dados disponíveis para análise é apresentada na figura II-1.



**Figura II-1** - Mapa com a localização das estações de medição de correntes, vento e elevação da superfície do mar.

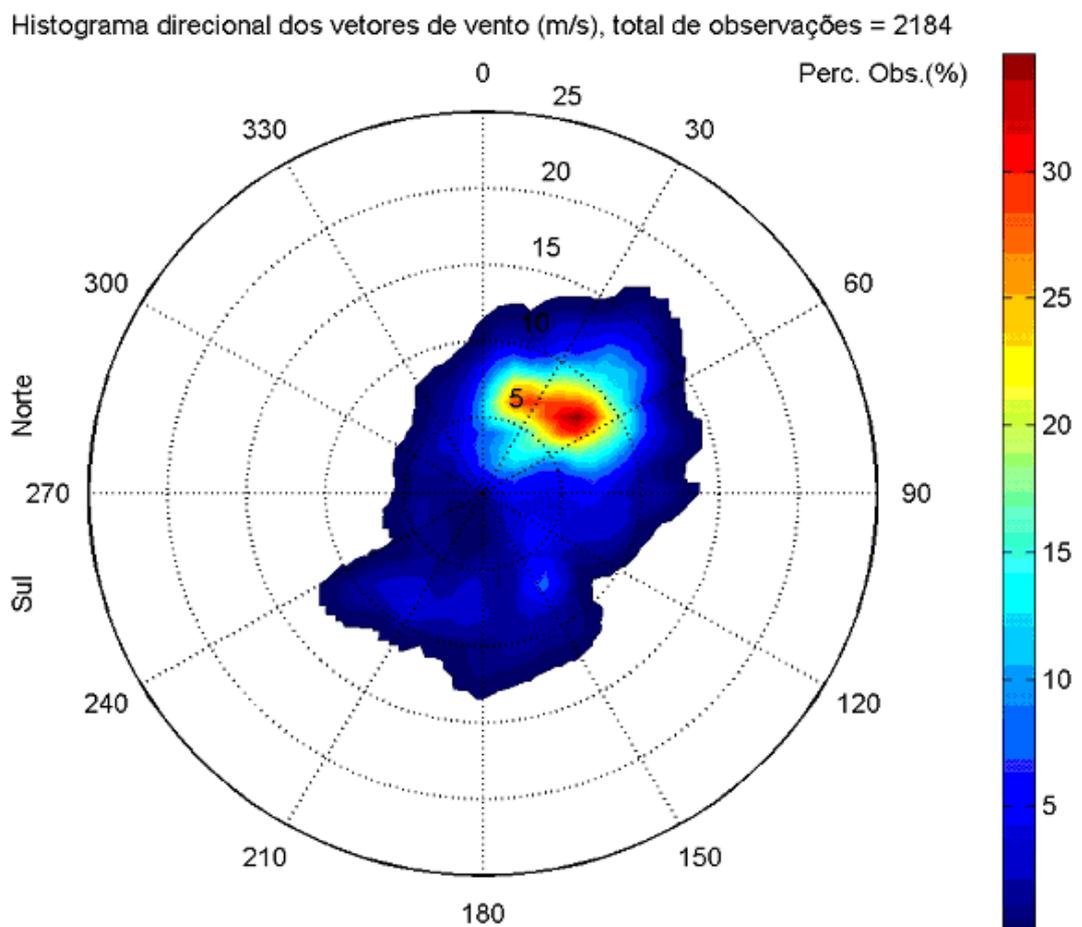
## II.1 VENTOS

Os dados de vento analisados são referentes ao período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992. Abaixo, são apresentadas análises estatísticas dos ventos NCEP/NCAR realizadas pontualmente na AGBS. Para estas análises foi extraída uma série temporal na região referente à posição de latitude 25,7ºS e longitude 43,1ºW. A figura II-2 apresenta o diagrama *stick plot* dos valores médios diários desses dados de vento.



**Figura II-2** - Diagrama *stick plot* dos valores médios diários de dados de vento NCEP durante o período de janeiro a dezembro de 1992, na posição 25,7ºS e 43,1ºW.

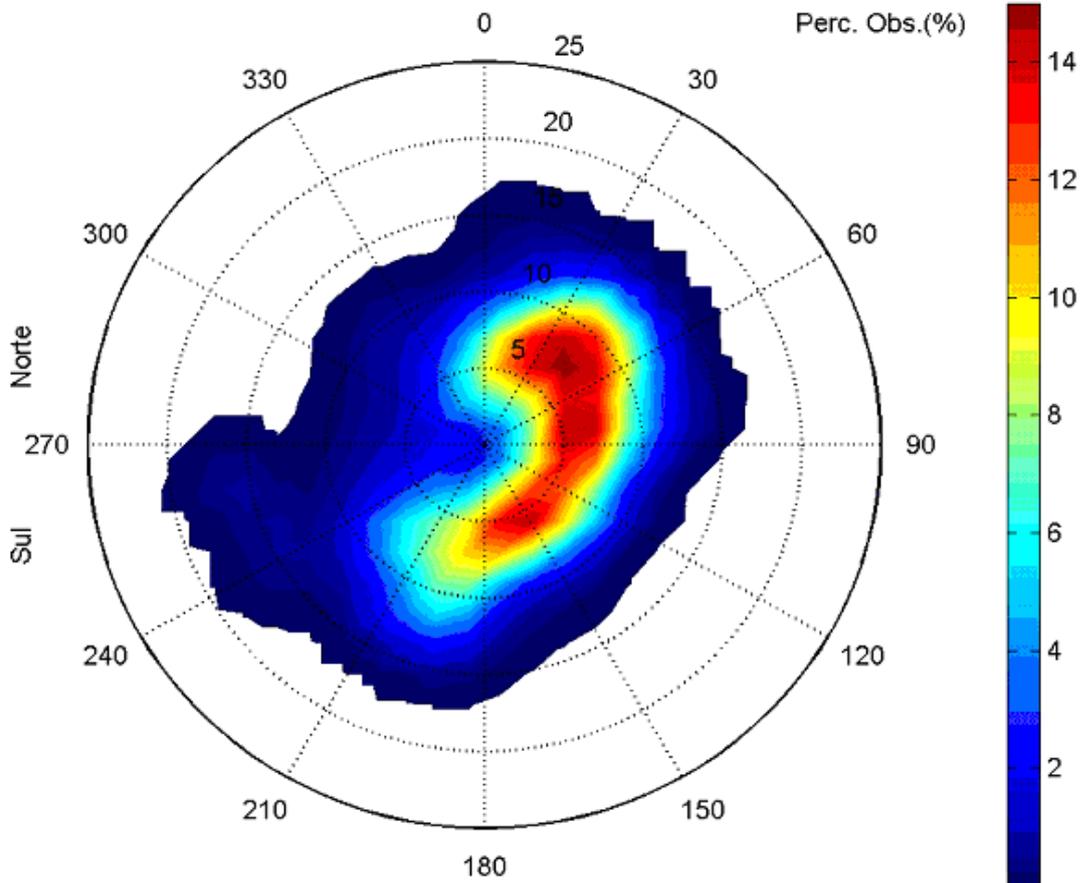
As figuras II-3 e II-4 apresentam os histogramas direcionais dos dados de vento NCEP (posição 25,7°S e 43,1°W), para os períodos de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto). A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. Os círculos concêntricos indicam a intensidade do vento (em m/s) e a escala de cores representa a porcentagem de incidência (Perc. Obs.). Observa-se que, durante o período de verão, os ventos mais frequentes são provenientes de nordeste; e no inverno existe um aumento de ocorrências de ventos oriundos de leste e sul.



Direção em graus a partir do norte geográfico - convenção meteorológica

**Figura II-3** - Histograma direcional dos vetores de vento NCEP para janeiro a março de 1992, Bacia de Santos. Os círculos concêntricos indicam a intensidade do vetor de vento (m/s), enquanto que a barra de cores (lateral) indica a porcentagem de incidência (convenção meteorológica).

Histograma direcional dos vetores de vento (m/s), total de observações = 2208



Direção em graus a partir do norte geográfico - convenção meteorológica

**Figura II-4** - Histograma direcional dos vetores de vento NCEP para junho a agosto de 1992, Bacia de Santos. Os círculos concêntricos indicam a intensidade do vetor de vento (m/s), enquanto que a barra de cores (lateral) indica a porcentagem de incidência (convenção meteorológica).

A tabela II-1 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento NCEP para o período de verão. Observa-se que os ventos mais frequentes são provenientes das direções NE (34,2%) e NNE (19,6%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de NE (8,2 m/s) e ENE (8,1 m/s); e os ventos mais fortes registrados foram provenientes de NE (13,9 m/s) e NNE (12,3 m/s). Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 12,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II-1 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP (25,7°S e 43,1°W) para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de verão.**

Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção meteorológica.

Veloc.(m/s)	D I R E Ç Ã O																Tot.	Perc.	Dir.Méd.
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0,0- 2,0	5	8	14	5	6	2	1	0	0	4	6	1	0	6	3	7	68	3,1	33
2,0- 4,0	23	33	41	16	12	10	16	1	0	2	1	1	4	2	3	11	176	8,1	43
4,0- 6,0	57	76	78	23	16	15	23	4	10	3	7	3	0	2	7	12	336	15,4	39
6,0- 8,0	54	187	214	106	39	12	31	26	15	10	8	0	0	0	0	4	706	32,3	49
8,0-10,0	25	85	215	132	20	12	6	9	13	19	22	0	0	0	0	0	558	25,5	54
10,0-12,0	3	26	102	65	14	0	1	8	6	3	3	0	0	0	0	0	231	10,6	55
12,0-14,0	0	10	79	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96	4,4	46
Total	167	425	743	354	107	51	78	48	44	41	47	5	4	10	13	34	2171		
Porc.	7,7	<b>19,6</b>	<b>34,2</b>	16,3	4,9	2,3	3,6	2,2	2,0	1,9	2,2	0,2	0,2	0,5	0,6	1,6			
Vel. méd.	6,0	6,9	<b>8,2</b>	<b>8,1</b>	6,7	5,8	5,6	7,9	7,6	7,1	6,8	3,6	3,8	2,1	3,3	3,8			
Vel. máx.	10,4	<b>12,3</b>	<b>13,9</b>	12,5	11,4	9,0	10,3	10,7	11,9	10,0	10,4	4,5	3,9	4,1	4,6	6,7			
Perct.(0,9)	8,0	8,0	12,0	10,0	10,0	8,0	6,0	10,0	10,0	8,0	8,0	4,0	2,0	4,0	4,0	6,0			

A tabela II-2 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento NCEP para o período de inverno. Observa-se que os ventos mais frequentes são provenientes das direções NE (15,0%) e ENE (11,1%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de W (8,9 m/s) e NE (8,7 m/s); e os ventos mais fortes registrados (15,9 e 15,7 m/s) foram provenientes de WSW e W. Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 14,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II-2 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP (25,7°S e 43,1°W) para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de inverno.**

Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção meteorológica.

Veloc.(m/s)	D I R E Ç Ã O																Tot.	Perc.	Dir.Méd.
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0,0- 2,0	1	4	0	1	3	1	0	0	1	1	4	1	2	3	0	3	25	1,1	300
2,0- 4,0	15	11	9	17	15	22	17	9	8	1	11	8	2	4	13	15	177	8,0	72
4,0- 6,0	41	45	28	44	63	35	63	79	46	31	21	4	6	2	5	12	525	23,8	113
6,0- 8,0	43	83	90	84	90	45	53	48	75	46	24	5	3	3	2	13	707	32,0	91
8,0-10,0	10	65	97	50	35	21	12	4	53	27	43	8	1	2	9	4	441	20,0	73
10,0-12,0	5	15	86	41	14	0	0	2	15	38	9	2	1	0	0	0	228	10,3	68
12,0-14,0	2	14	21	8	0	0	0	0	17	16	6	2	0	0	0	0	86	3,9	106
14,0-16,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	0	0	0	16	0,7	254
Total	117	237	331	245	220	124	145	142	215	160	118	38	23	14	29	47	2205		
Porc.	5,3	10,7	<b>15,0</b>	<b>11,1</b>	10,0	5,6	6,6	6,4	9,8	7,3	5,4	1,7	1,0	0,6	1,3	2,1			
Vel. méd.	6,1	7,5	<b>8,7</b>	7,6	6,6	5,9	5,8	5,7	7,6	8,4	7,4	8,4	<b>8,9</b>	4,7	5,5	5,0			
Vel. máx.	13,4	13,7	12,9	12,7	11,5	8,5	9,2	10,6	13,4	13,4	13,4	<b>15,9</b>	<b>15,7</b>	9,2	9,2	9,3			
Perct.(0,9)	8,0	10,0	10,0	10,0	8,0	8,0	6,0	6,0	10,0	11,0	10,0	14,0	14,0	8,0	8,0	6,0			

## II.2 CORRENTES

As informações de correntes apresentadas a seguir foram obtidas junto a PETROBRAS e ao Banco de Dados do WOCE<sup>8</sup>. A localização, profundidade e período de coleta são apresentados na tabela II-3. A disposição espacial dos pontos de coleta de dados de corrente é apresentada na figura II-1.

**Tabela II-3 - Localização e período de coleta dos dados de corrente.**

DADO	LATITUDE / LONGITUDE	PROFUNDIDADE (m)	PERÍODO
PETROBRAS - PC	22,7167°S / 41,2667°W	15	03/fev/92 a 31/dez/92
WOCE ACM12/BM333	27,9020°S / 46,7040°W	230	03/jan/91 a 26/nov/92

Adicionalmente foram utilizados os dados de derivadores do Projeto MONDO<sup>9</sup>, da empresa ENI Oil do Brasil e da PROOCEANO.

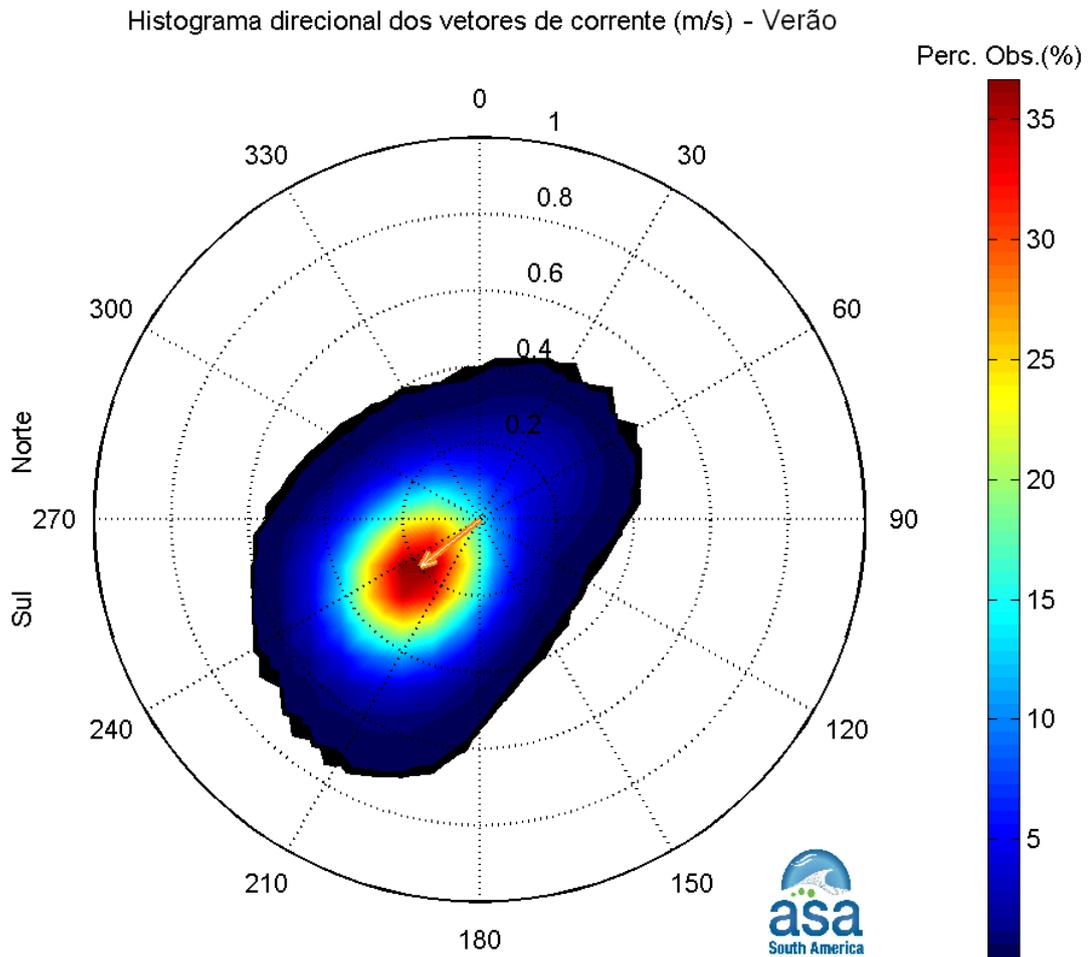
### II.2.1 Corrente PETROBRAS

As figuras II-5 e II-6 apresentam os histogramas direcionais dos vetores de corrente para os períodos de verão e inverno no Ponto PC (profundidade local de cerca de 60 m). Considerando-se o período de cobertura dos dados para este ponto, o período de verão contempla somente os meses de fevereiro e março, enquanto que, o período de inverno, os meses de junho a agosto.

Nestes histogramas direcionais, a intensidade das correntes (em m/s) é informada pelos círculos concêntricos, a direção é informada em graus (a partir do norte geográfico) e a barra lateral de cores apresenta o percentual de ocorrência em relação ao total de observações. O intervalo de amostragem dos dados utilizados é de uma hora e o vetor no centro do histograma mostra a intensidade, a direção e o sentido da velocidade média obtida a partir dos respectivos dados.

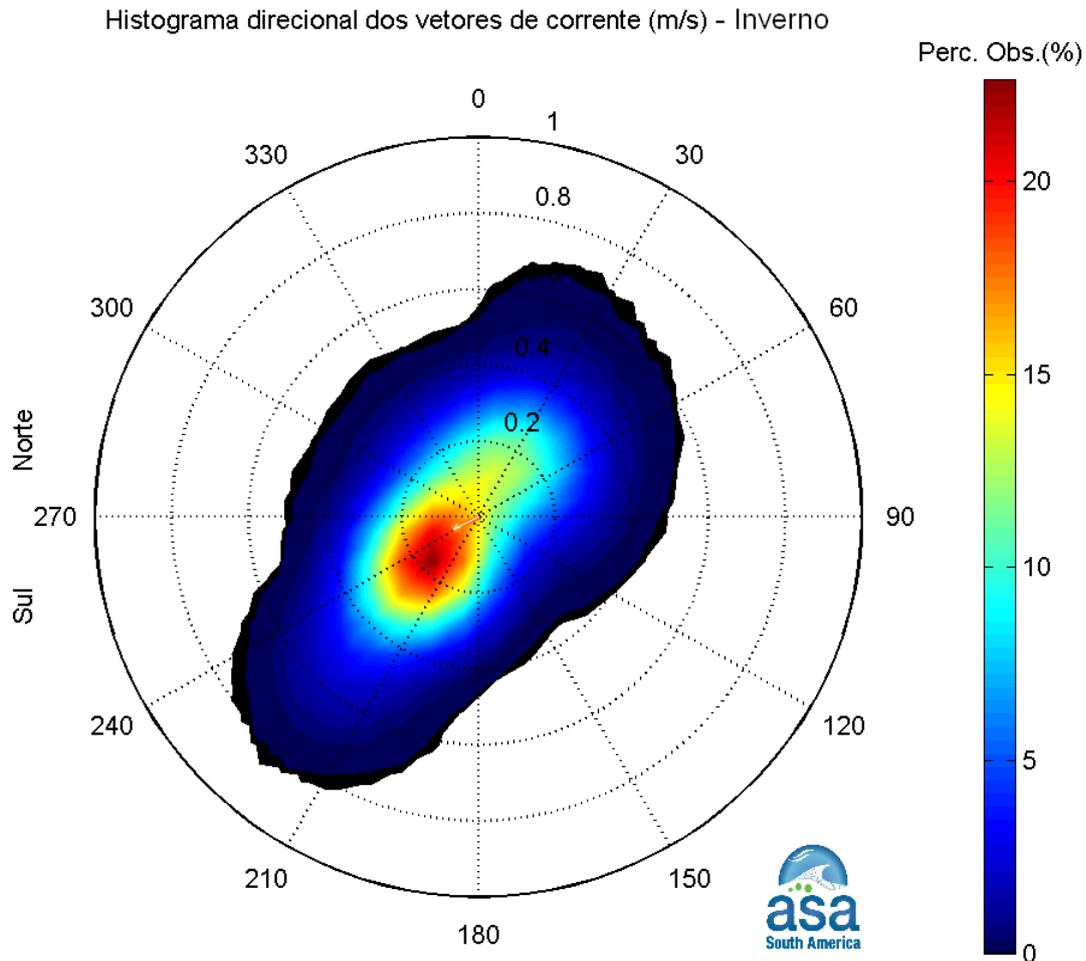
<sup>8</sup> World Ocean Circulation Experiment.

<sup>9</sup> Monitoramento por Derivadores Oceânicos.



Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.18 m/s

**Figura II-5** - Histograma direcional dos vetores de corrente no Ponto PC (PETROBRAS). Dados de corrente coletados a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de fevereiro a março de 1992. Intervalo de amostragem: 1h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações.



Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.14 m/s

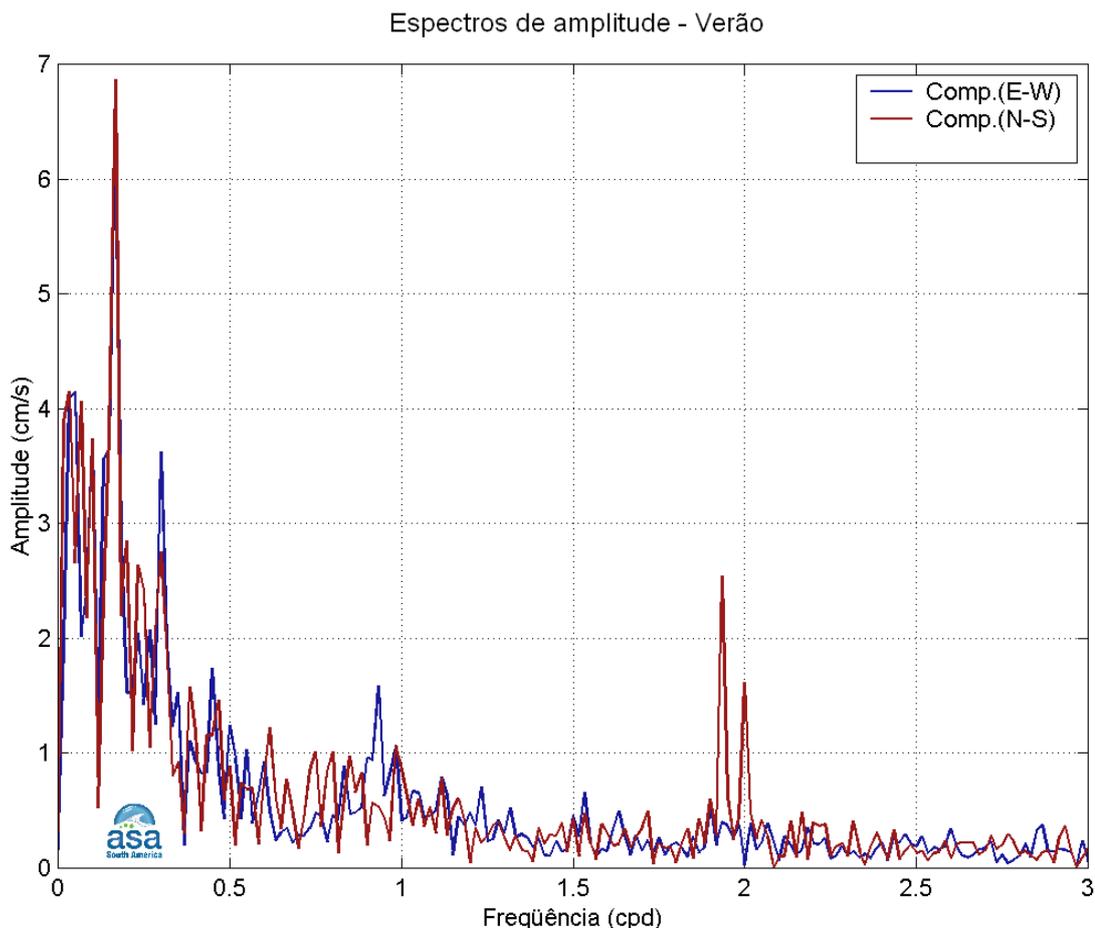
**Figura II-6** - Histograma direcional dos vetores de corrente no Ponto PC (PETROBRAS). Dados de corrente coletados a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de junho a agosto de 1992. Intervalo de amostragem: 1h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações.

A observação conjunta desses dois histogramas direcionais permite notar a direção preferencial do fluxo (em torno de 240°), de onde se pode inferir a presença da Corrente do Brasil (CB) na região. Outro ponto a se destacar é que, se por um lado, as correntes durante o verão apresentam um fluxo médio coincidente com as correntes mais frequentes, por outro, durante o inverno, o fluxo médio é menos intenso do que as correntes mais frequentes. Isto se deve, principalmente, a incidência de sistemas frontais (frentes frias) na região. Ao

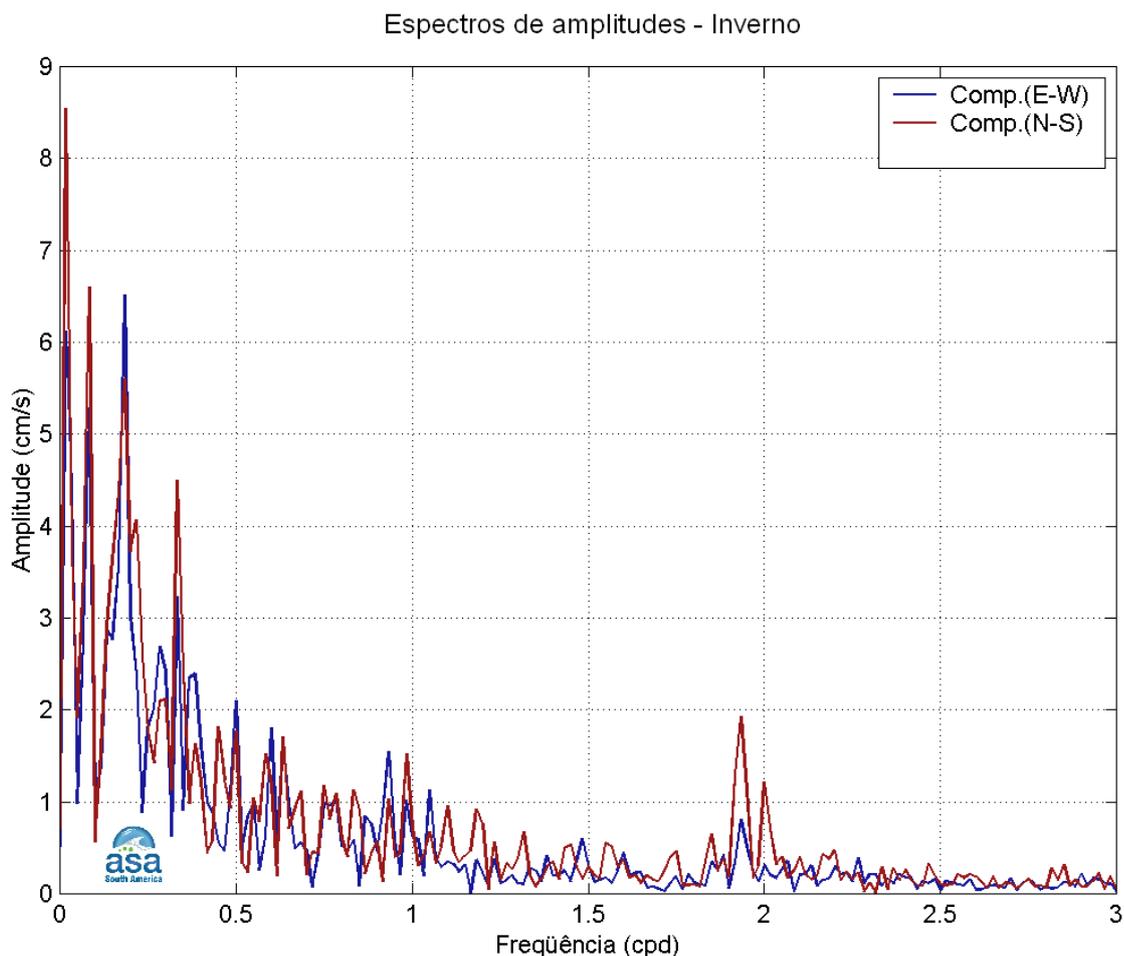
longo do Capítulo I, no Item I.1 (Características Meteorológicas da Região), demonstrou-se estatisticamente que o ano de 1992 foi atípico com relação a incidência de frentes frias na região.

Dentro deste contexto, as análises que seguem evidenciam tanto as influências periódicas como as não periódicas nas correntes na região do Ponto PC. Assim, as figuras II-7 e II-8 apresentam os espectros de amplitude das correntes para os dados no Ponto PC, para o verão e inverno, respectivamente.

A observação dos espectros de amplitudes para os ambos os períodos (verão e inverno) mostra, na faixa de baixa frequência, um maior nível energético no inverno do que no verão. Nota-se ainda a influência de oscilação de maré (2 cpd) para ambos os períodos, sendo que, durante o verão apresenta uma maior influência relativa na circulação do que durante o inverno.



**Figura II-7** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente no Ponto PC (PETROBRAS), coletada a 15 m de profundidade, para o verão de 1992 (meses de fevereiro e março).



**Figura II-8** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente no Ponto PC (PETROBRAS), coletada a 15 m de profundidade, para o inverno de 1992 (meses de fevereiro e março).

Enfim, a análise dos dados de corrente do Ponto PC mostra que a circulação naquela região é predominada pela CB, com moderada influência de maré (semi-diurna), sendo este padrão alterado por passagens de sistemas frontais (frentes frias) durante o inverno.

## II.2.2 Corrente WOCE

Dando sequência a análise de dados de correntes, os dados analisados a seguir foram obtidos junto ao Banco de Dados do WOCE. A localização geográfica e período de coleta são apresentados na tabela II-3. Nesta posição

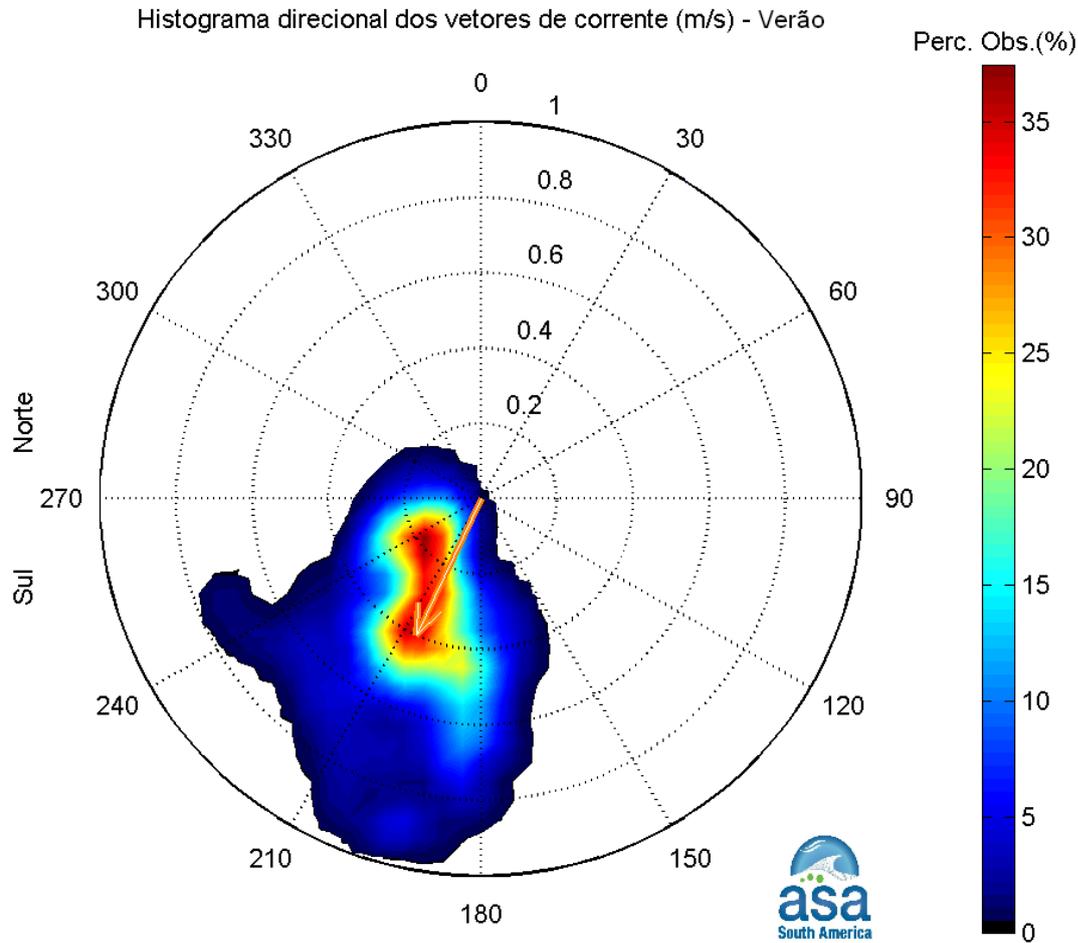
(região de talude, com lâmina d'água igual a 1.179 m) foram coletados dados em três profundidades: 230, 475 e 680 m. Porém, a análise que segue refere-se aos dados coletados na profundidade de 230 m.

De maneira análoga às análises realizadas para os dados relativos ao Ponto PC, as análises dos dados do WOCE (ponto BM333, figura II-1) também são separadas em dois períodos: verão e inverno (ano 1992).

A figura II-9 apresenta o histograma direcional para o período de verão (de janeiro a março de 1992) e a figura II-10, o análogo para o período de inverno (de junho a agosto de 1992). Neste ponto cabe lembrar que, embora em região não afastada da costa e de pouca profundidade, as análises dos dados de correntes, relativas ao Ponto PC, mostraram a presença da CB. Assim, chama-se atenção para os vetores velocidade média obtidos para o ponto BM333. Estes vetores (em cor laranja nos histogramas direcionais de correntes) apresentam valores característicos da CB na região, tanto para verão quanto para inverno.

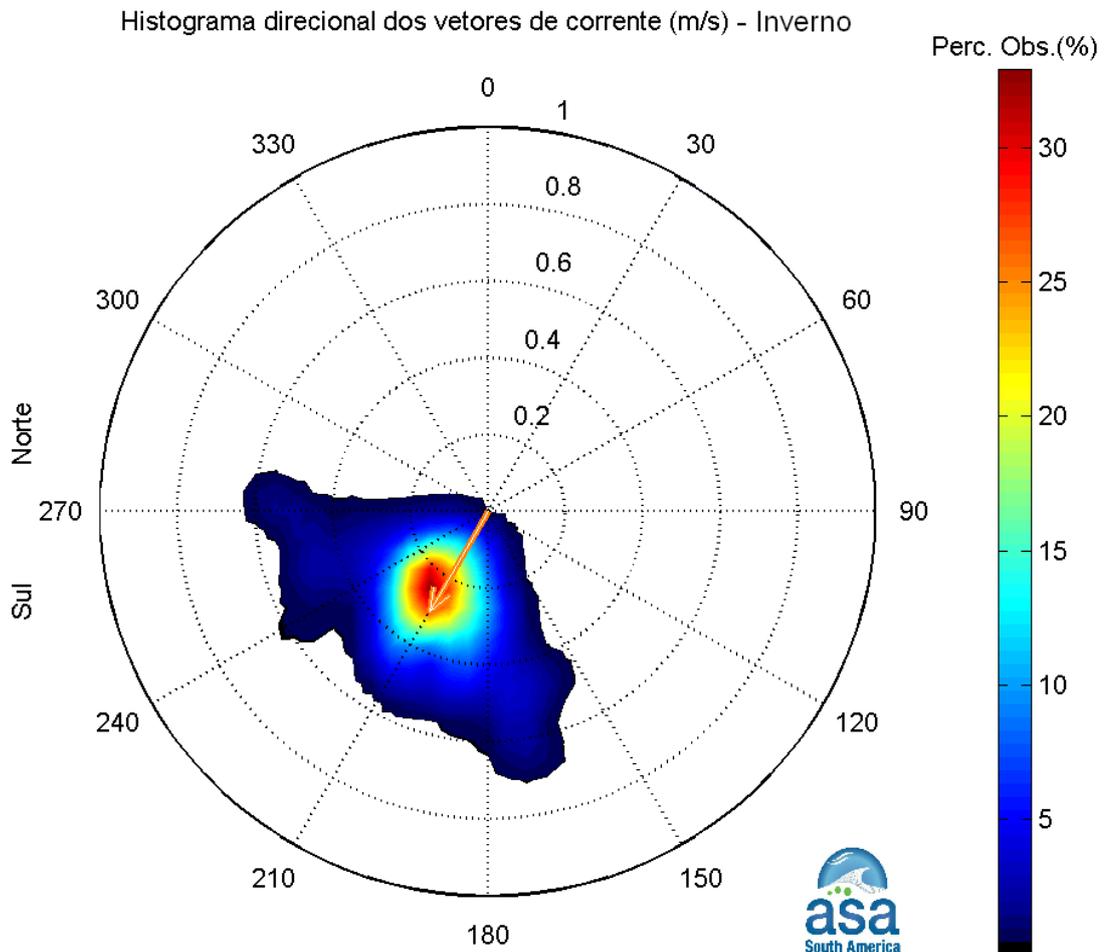
Porém, deve-se notar que, devido à incidência de sistemas frontais na região (frentes frias), o histograma direcional para o período de inverno apresenta uma dispersão maior dos vetores de correntes, assim como uma redução na intensidade do vetor velocidade média. As frentes frias tem direção de propagação oposta ao fluxo médio na região (aumentando a dispersão) e, portanto, tendem a frear tais fluxos (redução da intensidade média).

A figura II-11 apresenta o espectro de amplitude das correntes para os dados do fundeio AMC12/BM333 para o período de verão, e a figura II-12, o espectro de amplitudes das correntes para o período de inverno para o mesmo ponto de coleta. A análise de ambos os espectros de amplitudes mostra que as variações da corrente são inferiores a 15 cm/s, com uma leve influência das oscilações de maré (1 e 2 cpd), e maiores intensidades na baixa frequência.



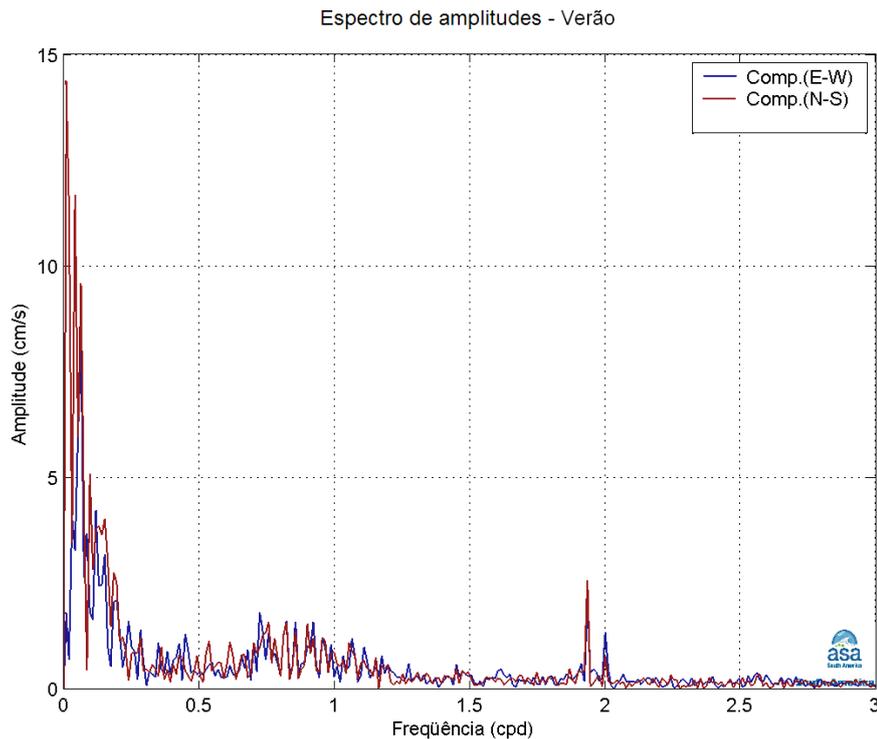
Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.4 m/s

**Figura II-9** - Histograma direcional dos vetores de corrente no ponto BM333 (WOCE). Dados de corrente coletados a 230 m de profundidade, na região da Bacia de Santos, para o período de janeiro a março de 1992. Intervalo de amostragem: 2h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações.

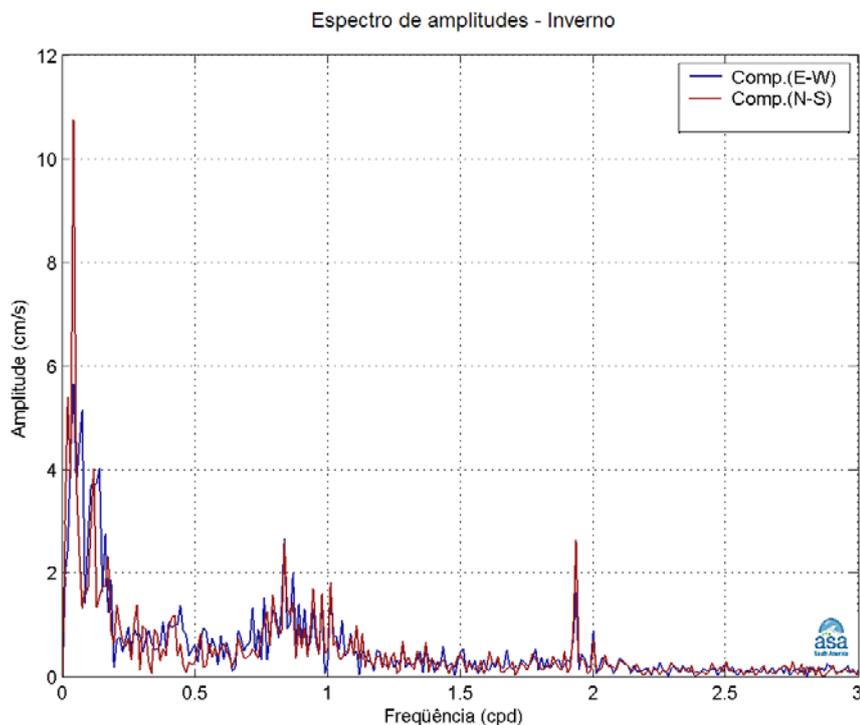


Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.3 m/s

**Figura II-10** - Histograma direcional dos vetores de corrente no ponto BM333 (WOCE). Dados de corrente coletados a 230 m de profundidade, na região da Bacia de Santos, para o período de junho a agosto de 1992. Intervalo de amostragem: 2h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações.



**Figura II-11** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 230 m de profundidade. Verão de 1992, intervalo de amostragem: 2h.



**Figura II-12** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 230 m de profundidade. Inverno de 1992, intervalo de amostragem: 2h.

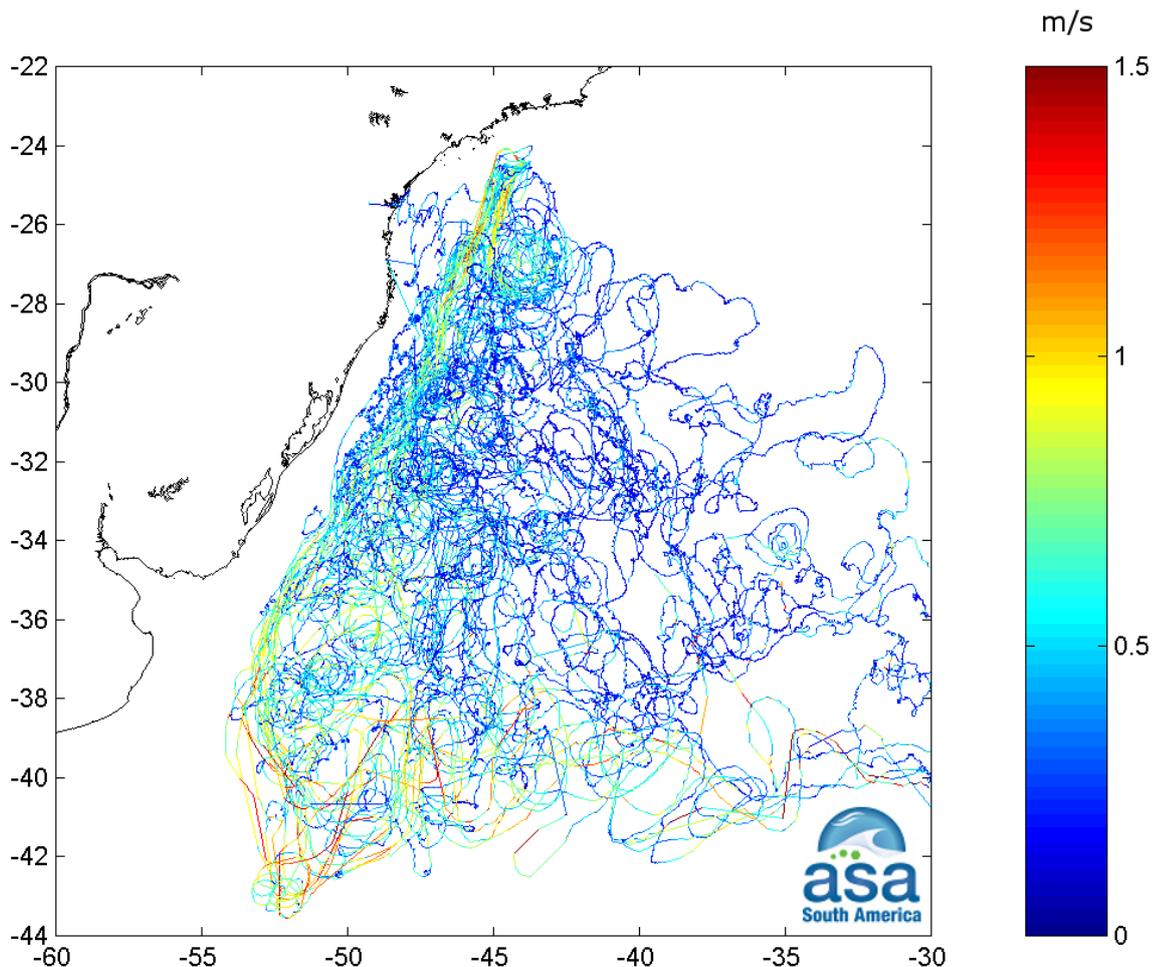
Em suma, através das análises os dados do ponto BM333 (programa WOCE, experimento ACM12) situado na região do talude (profundidade local de cerca de 1.200 m), pode-se evidenciar a presença da CB na região. Também foi possível observar sinais associados às marés diurnas e semidiurnas (1 e 2 cpd), assim como variações de baixa frequência. Embora, muito presentes na região e em especial no ano de 1992 (já descrito como atípico quanto a atividade das frentes frias), a incursão de frentes frias não foi capaz de promover a reversão do sentido de propagação das correntes na região. Este fato se deve, primordialmente, ao predomínio (energético) da CB, dominando a direção e o sentido da corrente.

Por fim, as análises dos dados de correntes (Ponto PC e BM333) indicam que a circulação oceânica na região sul-sudeste brasileira é determinada por forçantes variadas, que se sobrepõem de modo diferenciado, segundo uma composição de maré, de frentes frias e da Corrente do Brasil.

### **II.2.3 Derivadores Projeto MONDO**

No Projeto MONDO, um total de 40 derivadores do tipo *holey-sock* foram lançados ao longo de 2 meses (entre setembro e novembro de 2007) na região da Bacia de Santos, com o objetivo de medir as correntes médias dos primeiros 20 m da coluna d'água. A estratégia de lançamento consistiu no lançamento de um derivador a cada 3 dias e a cada 12 dias um grupo de 5 derivadores eram lançados. A resolução temporal dos dados é de 3 horas, que proporcionou uma resolução espacial de aproximadamente 10 m.

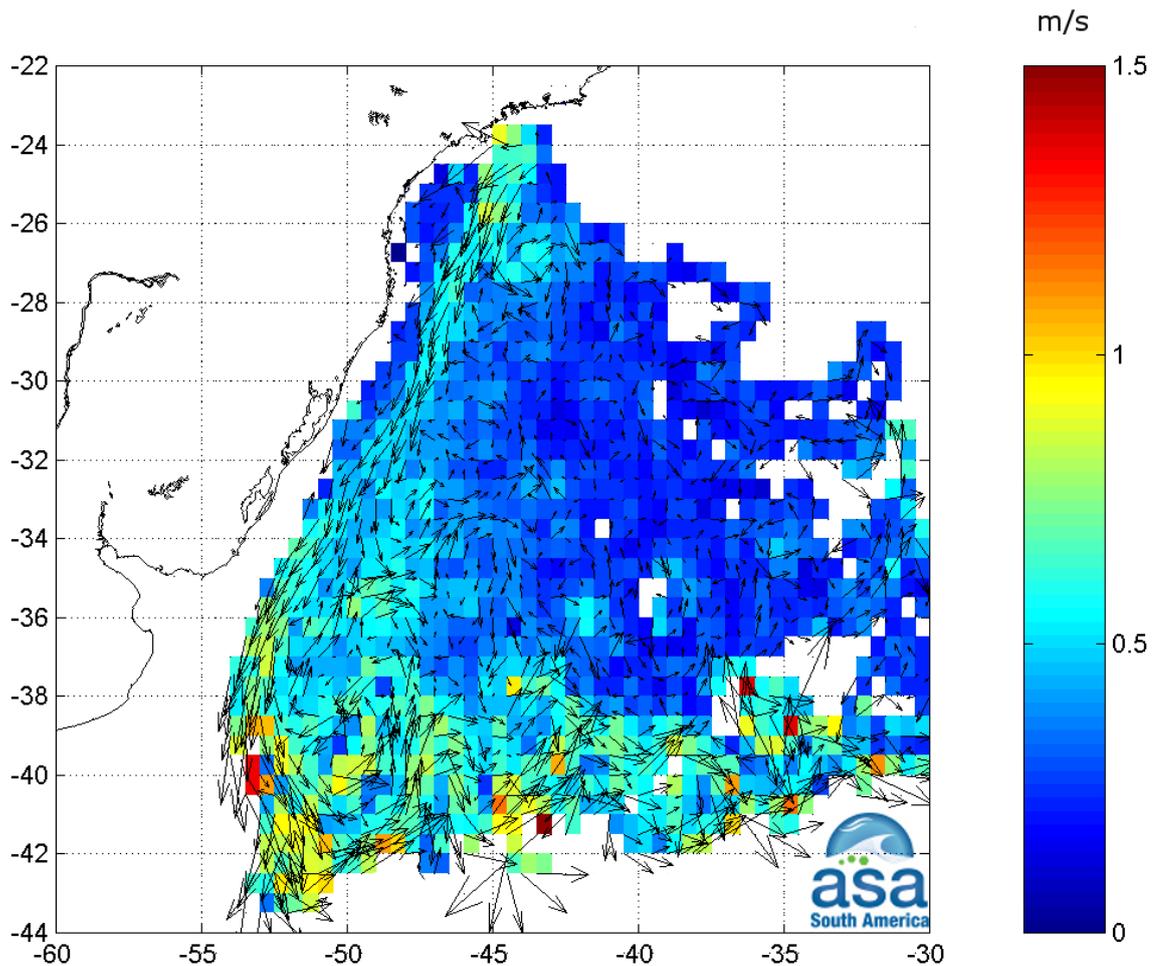
A figura II-13 apresenta todas as trajetórias dos derivadores lançados; as cores indicam a intensidade da velocidade. Observa-se uma região de velocidades elevadas entre 26 e 27° S, e 45 e 47° W.



**Figura II-13** - Trajetórias dos derivadores do Projeto MONDO; as cores indicam a intensidade da velocidade (m/s).

A figura II-14 apresenta os vetores velocidade média calculados para este conjunto de dados em uma grade regular de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ . Observa-se que a direção preferencial da corrente média é para SW, e que a maior parte dos derivadores seguiu por uma trajetória distante da costa. Os valores de velocidade diminuem de intensidade na Bacia de Pelotas, e aumentam entre  $40^\circ$  e  $42^\circ$  S, região de confluência das correntes do Brasil e Malvinas.

A análise realizada é coerente com outros estudos que envolveram os derivadores do projeto MONDO, como Calil *et al.* (2008) e Fragoso *et al.* (2008). Esses trabalhos analisaram o comportamento da Corrente do Brasil, com velocidades mais intensas entre a costa de SP e SC, e as perturbações e vórtices identificados ao longo dessa corrente.



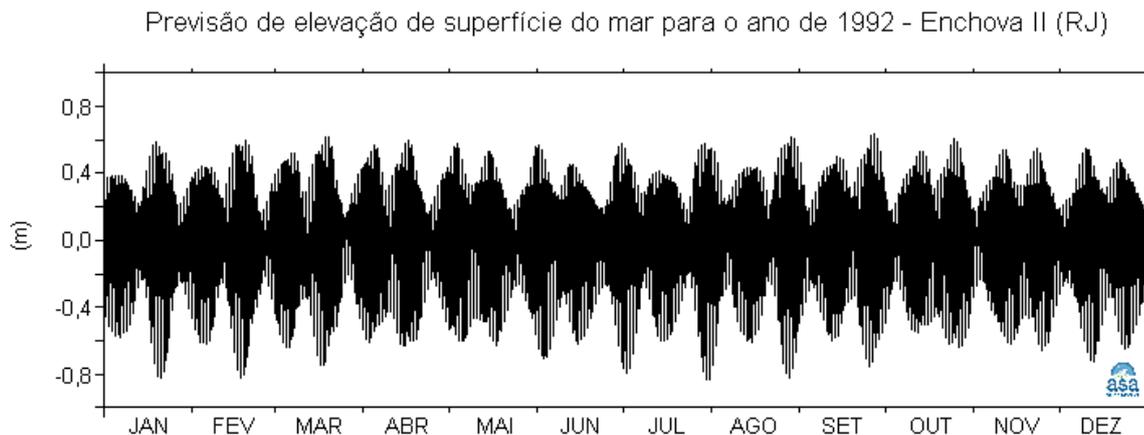
**Figura II-14** - Vetores de velocidade média dos derivadores do Projeto MONDO; as cores indicam a intensidade da velocidade (m/s).

### II.3 ELEVÇÃO DA SUPERFÍCIE DO MAR

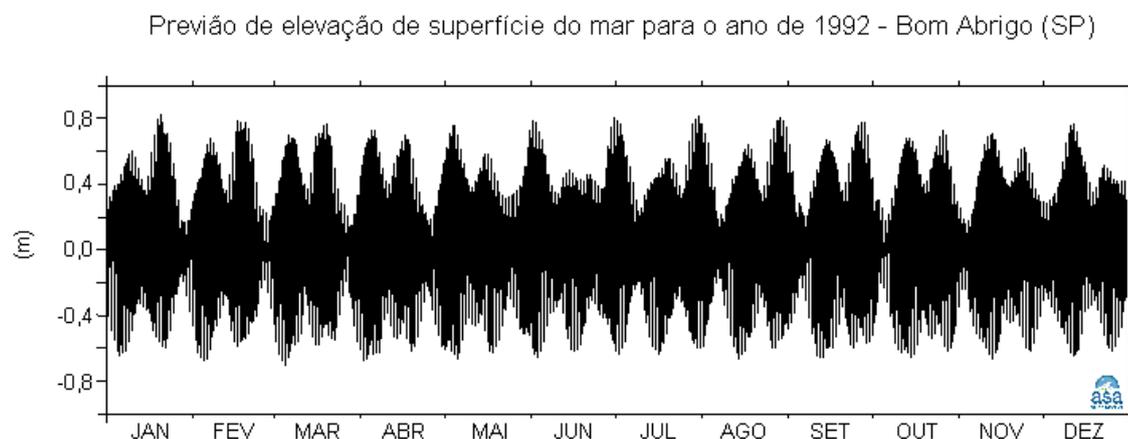
Como não há dados de elevação de superfície do mar (coletados) disponíveis para análise na região de interesse, foram realizadas previsões harmônicas de maré para duas posições, através do Método de Schuremann (Schuremann, 1941), a partir das constantes de maré disponibilizada pela FEMAR.

A escolha dessas posições obedeceu à disposição geográfica das estações maregráficas disponíveis pelas FEMAR na região, e a distribuição dessas no domínio de interesse. Dentro desses critérios, as estações maregráficas escolhidas para apresentar as respectivas previsões para elevação de superfície do mar foram Enchova II (RJ) e Bom Abrigo (SP) (figura II-1).

As séries temporais da previsão da elevação de superfície do mar são mostradas nas figuras II-15 e II-16 para as estações marégráficas de Enchova II e Bom Abrigo, respectivamente.



**Figura II-15** - Previsão harmônica de maré para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992, na estação Enchova II (RJ). Previsão harmônica realizada pelo método de Schuremann (1941), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR.



**Figura II-16** - Previsão harmônica de maré para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992, na estação Bom Abrigo (SP). Previsão harmônica realizada pelo método de Schuremann (1941), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR.

A maré astronômica na região é predominantemente semidiurna. As principais componentes para a região são  $M_2$  e  $S_2$ , sendo a amplitude da  $M_2$  igual a 32,4 cm para ambas as posições e a amplitude da  $S_2$  igual 16,2 cm para Enchova II e 18,0 cm para Bom Abrigo. Quanto as componentes diurnas, a principal componente harmônica para ambas as estações maregráficas é a  $O_1$ , com amplitude da ordem de 10 cm. A tabela II-4 apresenta ainda os níveis de: Média das Preamares de Sizígia (MPS), Média das Baixa-mares de Sizígia (MBS), Média das Preamares de Quadratura (MPQ) e Média das Baixa-mares de Quadratura (MBQ).

**Tabela II-4 - Amplitude (cm) e fase local (°) das principais componentes harmônicas para as estações maregráficas de Enchova II (RJ) e Bom Abrigo (SP). Fonte: FEMAR (2000).**

COMPONENTE	ENCHOVA II		BOM ABRIGO	
	AMPLITUDE (cm)	FASE (°)	AMPLITUDE (cm)	FASE (°)
$Q_1$	5,4	75,0	3,4	38,0
$O_1$	11,3	75,0	10,6	73,0
$P_1$	2,0	139,0	1,8	131,0
$K_1$	6,2	144,0	5,5	131,0
$2N_2$	0,8	83,0	1,5	161,0
$N_2$	6,2	83,0	11,3	108,0
$NU_2$	1,2	83,0	2,2	108,0
$M_2$	32,4	83,0	32,4	55,0
$T_2$	1,0	88,0	1,1	71,0
$S_2$	16,2	88,0	18,0	71,0
$K_2$	4,4	88,0	4,9	71,0
$M_4$	3,5	347,0	7,4	128,0
$MS_4$	2,8	65,0	7,1	210,0
<b>MPS (cm)</b>	122,0		126,0	
<b>MBS (cm)</b>	30,0		27,0	
<b>MPQ (cm)</b>	111,0		112,0	
<b>MBQ (cm)</b>	8,0		10,0	
<b>Nível médio (cm)</b>	68,0		69,0	



### **III MODELAGEM HIDRODINÂMICA**

Nesta etapa do trabalho foi implementado um novo modelo hidrodinâmico visando simular o campo de correntes na região sul-sudeste brasileira. Foi utilizado um modelo baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), implementado pelo grupo de modelagem da **ASA South America**.

O modelo POM, cuja formulação encontra-se descrita no Anexo 1, utiliza como forçantes, marés do CSR3, campos tridimensionais de ventos de Reanálise dos modelos meteorológicos NCEP/NCAR e campo termohalino tratado a partir dos resultados do OCCAM. Nas bordas abertas foram também prescritas condições climatológicas do OCCAM para elevação, velocidade barotrópica, temperatura e salinidade.

Os resultados obtidos foram comparados com os dados de campo disponíveis no período de implementação deste modelo (dados de corrente fornecidos pela PETROBRAS e obtidos a partir do WOCE) e com informações de derivadores do Projeto MONDO. Estas comparações, assim como ilustrações do campo e discussão sobre a acurácia, representatividade e limitações dos mesmos são apresentadas neste capítulo.

#### **III.1 IMPLEMENTAÇÃO DA MODELAGEM HIDRODINÂMICA**

##### **III.1.1 Condições de Contorno Adotadas**

Para prescrever os valores de elevação da superfície, velocidade barotrópica, temperatura e salinidade, nas bordas abertas, foi utilizada uma climatologia elaborada a partir dos resultados de uma simulação de 14 anos do OCCAM para o Atlântico Sul (grade regular com  $\frac{1}{4}$  de grau de resolução e 36 níveis, sendo 20 m de espessura próximo à superfície e 255 m em 5.500 m).

O procedimento de tratamento dos dados para elaboração desta climatologia envolveu: o agrupamento de todos os instantes para cada variável em um único arquivo; a geração de 1 ano climatológico com passo de tempo de 6 horas, a conversão das variáveis com estrutura vertical para níveis sigma, e uma interpolação, para obter uma resolução espacial adequada para projeção dos dados na grade do modelo.

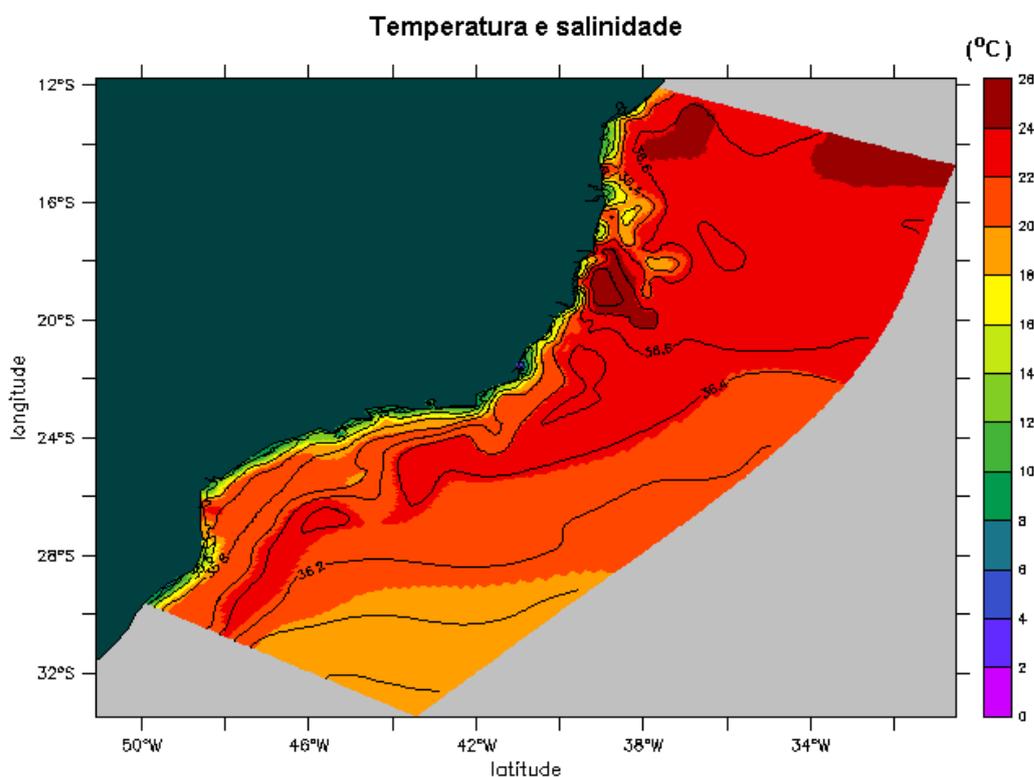
### III.1.2 Procedimentos de Aquecimento (Warm up) do Modelo

O procedimento de aquecimento do modelo baseia-se no acompanhamento da variação da energia cinética da simulação; normalmente utiliza-se um período de 10 a 15 dias quando se observa a estabilização deste parâmetro, podendo assim considerar que o modelo está aquecido. Nesta modelagem, observou-se que o período de estabilização do modelo ocorria no decorrer do primeiro mês de simulação. Assim, a simulação longa foi realizada por 13 meses, (iniciando em dezembro de 1991), descartando-se o primeiro mês.

### III.1.3 Dados de Entrada

#### III.1.3.1 Estrutura Termohalina

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



**Figura III-1** - Campos de temperatura e de salinidade de superfície (a partir dos resultados do OCCAM) projetados na grade do modelo hidrodinâmico. Salinidade como isohalinas e temperatura (°C) através dos tons de cores.

### III.1.3.2 Ventos

Para a realização de uma modelagem numérica que considere fenômenos em escala sinótica (como a passagem de sistemas frontais) não é adequado forçar o modelo com campos climatológicos de vento. Assim, se faz necessário escolher um determinado ano para simulação. A escolha deste ano obedece a alguns critérios, os quais são listados a seguir:

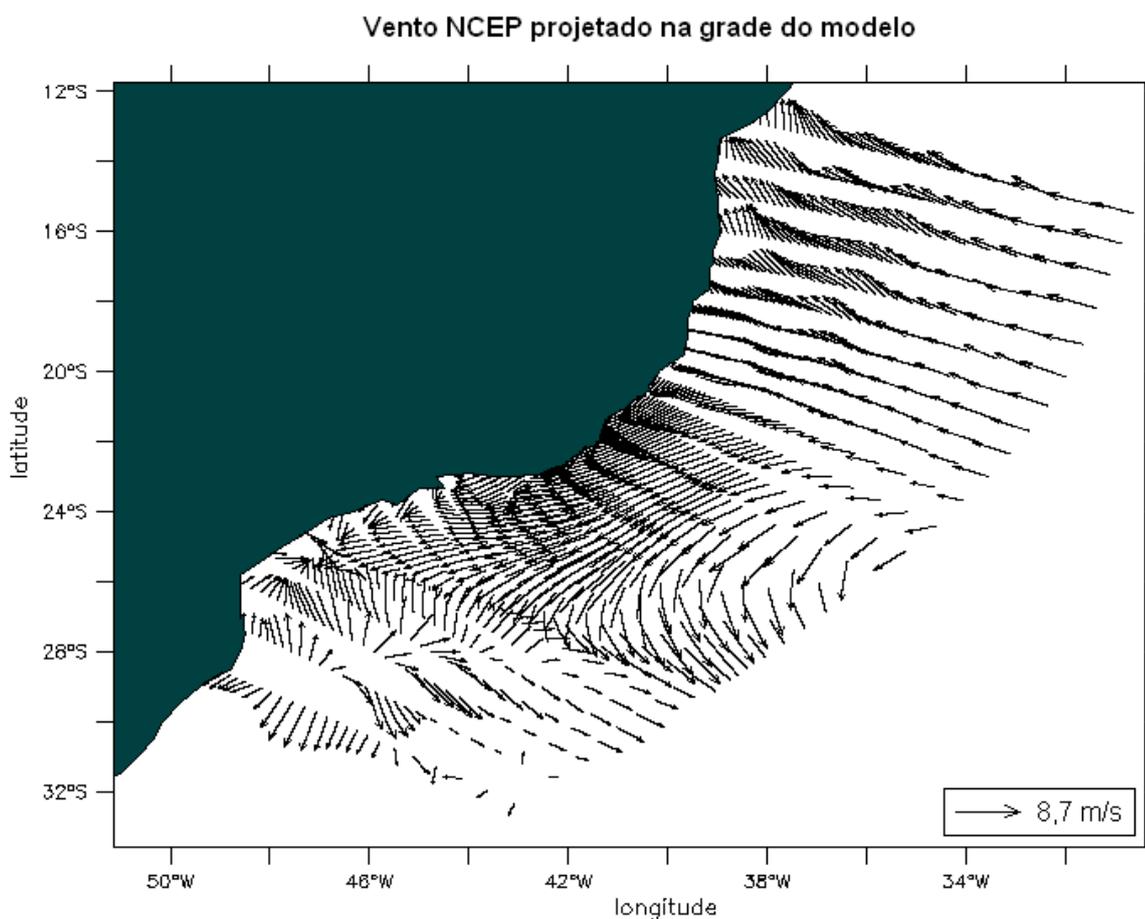
1. Representatividade dos padrões dinâmicos típicos, ou extremos para a região, dependendo do propósito do estudo;
2. Disponibilidade de séries temporais simultâneas de ventos, de elevação de superfície e de correntes medidas na região de interesse, necessárias para forçar, calibrar<sup>10</sup> e avaliar o modelo hidrodinâmico.

Os dados de corrente disponíveis para a realização do presente estudo são referentes ao ano de 1992, assim, dados de vento foram obtidos na região para o mesmo ano. Através de análise estatística (apresentada no Subitem I.1.1), verificou-se que o ano de 1992 apresenta um maior número de eventos extremos na Bacia de Santos. Uma vez que o estudo em questão se tratava da avaliação de impacto ambiental decorrente de potenciais derrames de óleo na região, este ano foi considerado apropriado para a realização das modelagens, uma vez que possibilitaria avaliar cenários mais conservativos.

O campo de vento utilizado como forçante foi extraído de Reanálise dos modelos de circulação geral do NCEP/NCAR para as simulações de calibração e de longo período. Os valores foram interpolados no espaço e no tempo, e projetados na grade do modelo. A figura III-2 ilustra um instante deste campo de vento, já projetado na grade.

---

<sup>10</sup> O procedimento de calibração não é apresentado no relatório, mas os dados disponíveis também podem ser utilizados com este propósito.

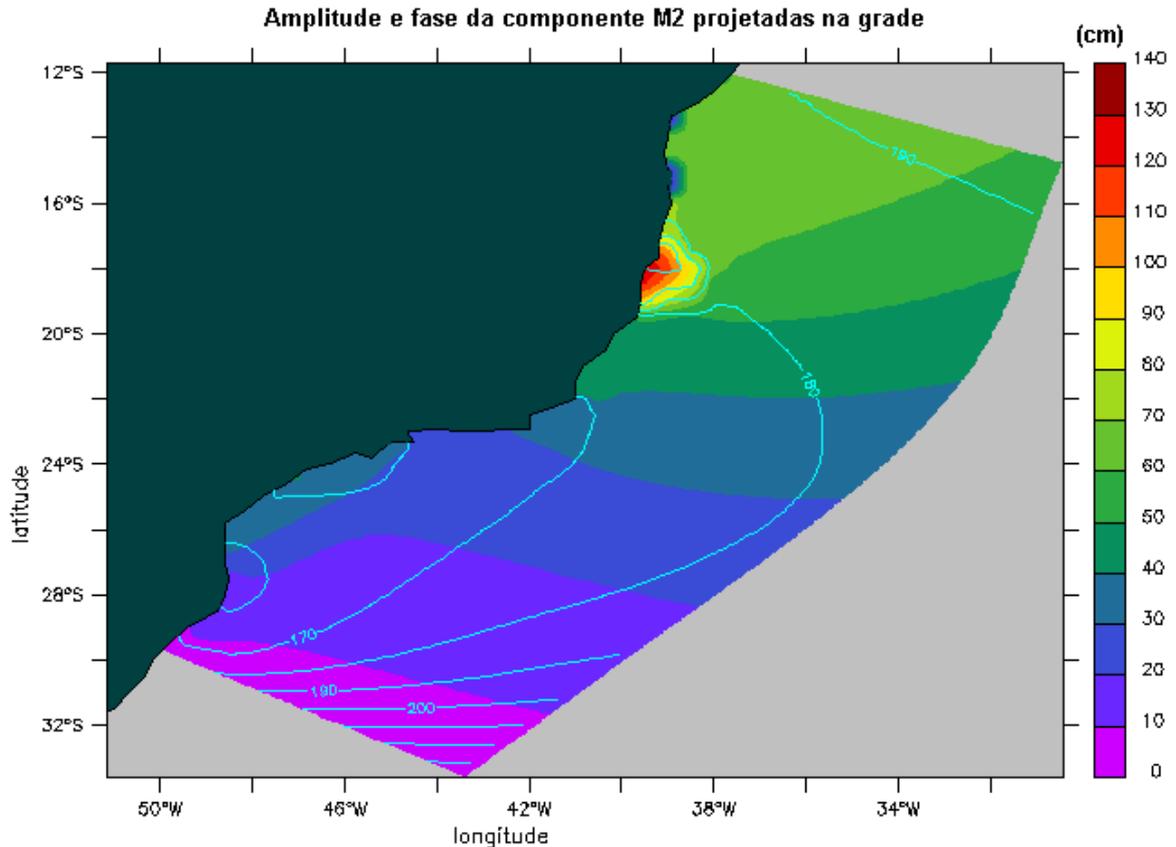


**Figura III-2** - Instantâneo do campo de ventos NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico.

### III.1.3.3 Marés

O campo de harmônicos utilizado como forçante para o POM é proveniente do CSR3. Embora utilizado apenas nos contornos abertos, este campo foi projetado em toda a grade, de tal forma a permitir uma melhor visualização do campo de maré em áreas de interesse (eventual redução do domínio).

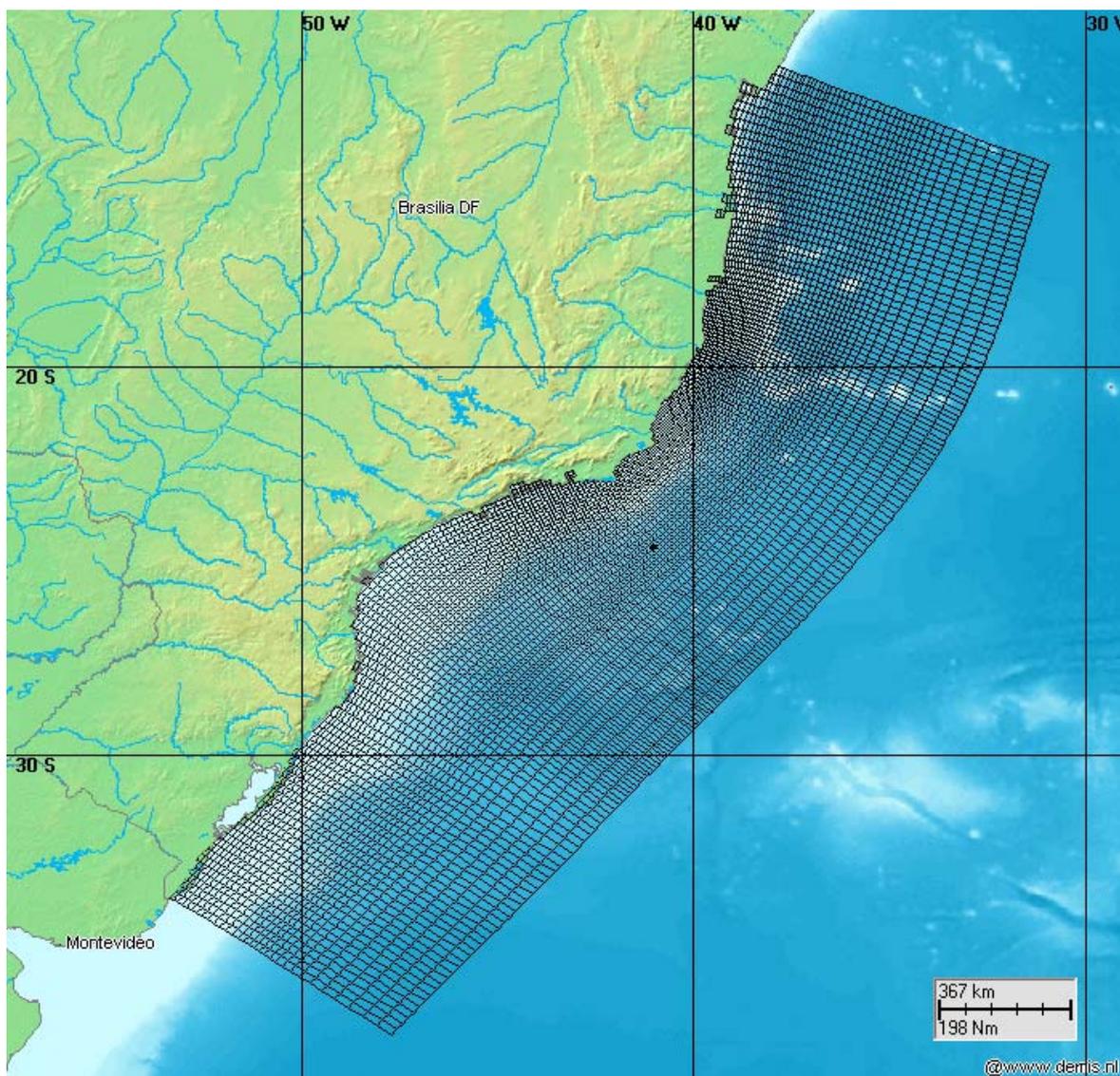
Conforme ilustrado na figura III-3, foram utilizados campos com variação espacial de amplitude e fase das componentes de maré mais significativas na região, com energia superior a 10% da energia da  $M_2$ , no caso, as diurnas e semidiurnas.



**Figura III-3** - Mapa cotidal com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude da componente de maré  $M_2$ , projetado na grade do modelo hidrodinâmico.

### III.2 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO CONSIDERADO

A grade geral implementada representa um compromisso entre a descrição dos processos hidrodinâmicos presentes na região de interesse (escala temporal e espacial), dos recursos computacionais disponíveis no período de execução da simulação e do tempo de processamento necessário. Uma grade numérica de meso-escala, com dimensões de 100x300 pontos, foi implementada na costa sul-sudeste do Brasil, e está ilustrada na figura III-4. Nessa grade foram utilizadas 20 camadas sigma para a definição da estrutura vertical da região. Nas regiões mais adensadas (região costeira do Rio de Janeiro, por exemplo) a resolução está em torno de 3 km. Na região da Ilha de São Sebastião, a resolução está em torno de 5 km; na costa do Paraná, em torno de 7 km; em região oceânica, pode chegar a 20 km.



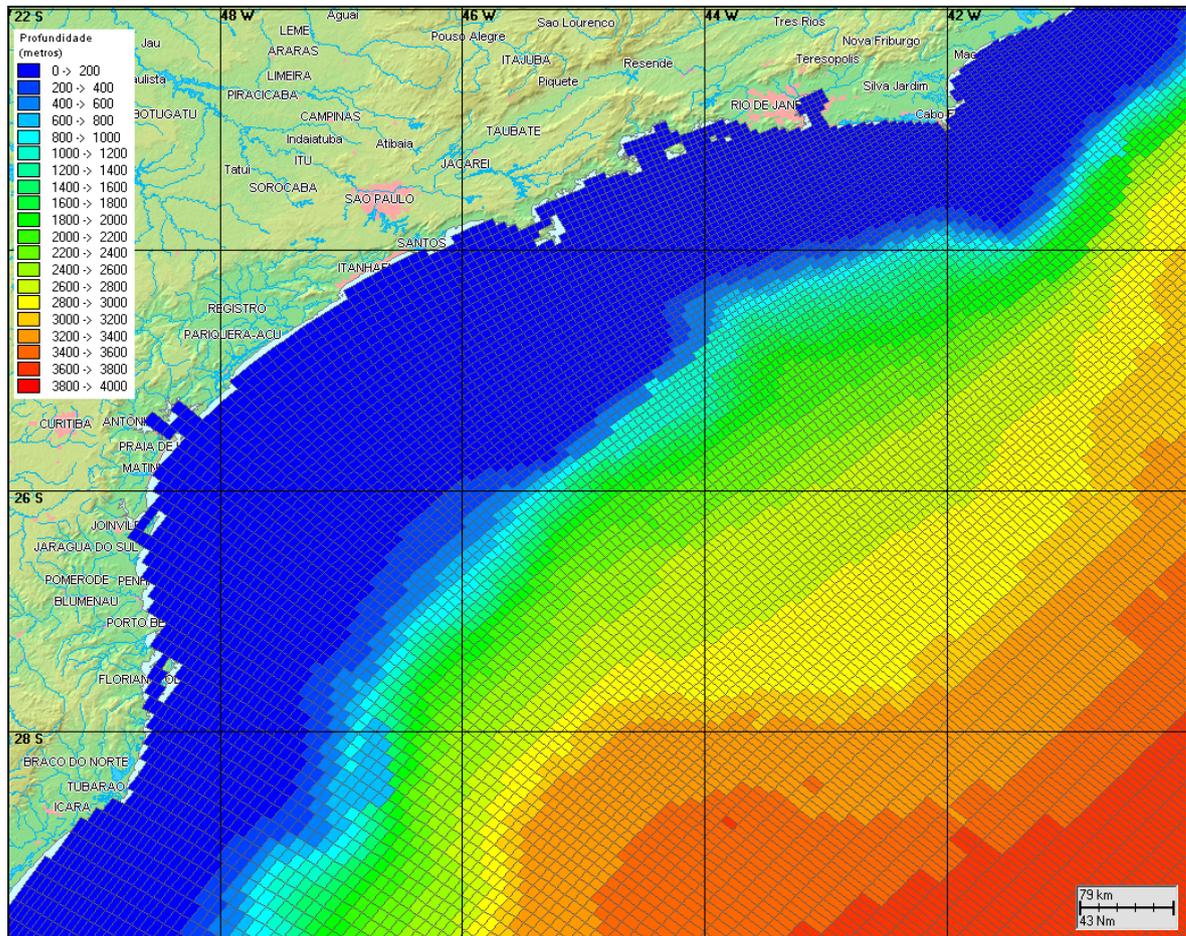
**Figura III-4** - Grade computacional do modelo hidrodinâmico.

Para a região da plataforma, os dados de profundidade foram obtidos através da digitalização dos valores batimétricos das cartas náuticas da DHN<sup>11</sup>, n<sup>os</sup> 70, 1.100, 1.131, 1.400, 1.420, 1.700, 1.800, 1.820 e 1.824. Para a representação topográfica da região do talude e da planície abissal foi também utilizada a base de dados batimétricos extraída do ETOPO 2 obtido no NGDC<sup>12</sup>, reamostradas para um espaçamento de 10'. Visando o ajuste fino da batimetria com a linha de costa e com as camadas de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) utilizado pelos modelos matemáticos implementados na região, foram utilizadas

<sup>11</sup> Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha.

<sup>12</sup> National Geophysical Data Center da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

também informações provenientes de imagens de satélite, complementando a base de dados batimétricos da *ASA South America* na área. Os resultados finais da discretização da área e da projeção da batimetria com foco na Bacia de Santos estão ilustrados na figura III-5.



**Figura III-5** - Grade computacional do modelo hidrodinâmico com foco na Bacia de Santos e batimetria projetada.

### **III.3 AVALIAÇÃO DA MODELAGEM HIDRODINÂMICA**

A metodologia de validação fundamenta-se na avaliação do modelo quanto à sua capacidade de reprodução da circulação na região em estudo. Para esta região em particular, verifica-se que sobre a plataforma continental, a circulação hidrodinâmica é fortemente influenciada pela maré e pelo vento, enquanto que no talude e região oceânica, a circulação é influenciada pelas variabilidades de grande escala, relacionadas à presença da Corrente do Brasil.

Para a avaliação da elevação de superfície do mar, foram produzidas uma previsões a partir da tabela de constantes harmônicas da FEMAR para os pontos Enchova II e Bom Abrigo, descritas no Item II.3 do Capítulo II. As previsões harmônicas foram realizadas através do Método de Schuremann (Schuremann, 1941).

Para a avaliação das informações de correntes geradas pelo modelo hidrodinâmico, foram utilizados dois conjuntos de dados pontuais, um sobre a plataforma continental (Ponto PC/PETROBRAS) e outro na região do talude (BM33/WOCE), descritos no Item II.2 do Capítulo II. Adicionalmente, foram utilizados os dados de derivadores do Projeto MONDO para avaliar a corrente superficial na região de interesse.

#### **III.3.1 Avaliação para a Elevação da Superfície do Mar**

A avaliação para a elevação de superfície do mar consistiu na comparação entre séries temporais de elevação de superfície calculadas pelo modelo e séries temporais de elevação de superfície resultantes da previsão harmônica.

A comparação entre os resultados do modelo e as séries utilizadas (previsões harmônicas) foi quantificada através de um coeficiente utilizado como parâmetro de comparação, Hess & Bosley (1992), cuja formulação é comumente utilizada na literatura científica para a comparação de duas séries temporais com periodicidades relativamente definidas, como é o caso das marés. O coeficiente de comparação é definido pela normalização do erro quadrático médio e é dado pela fórmula:

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

onde

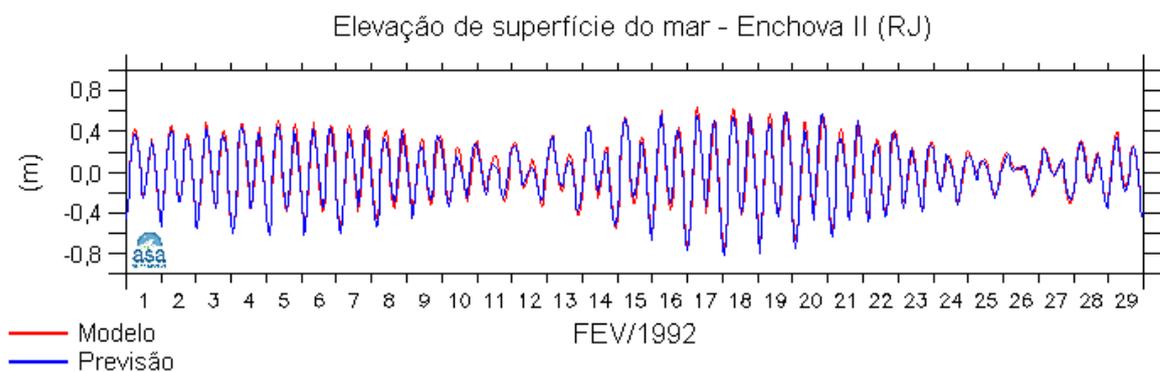
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}$$

$\bar{A}$  = range médio do dado;

$P$  = previsão;

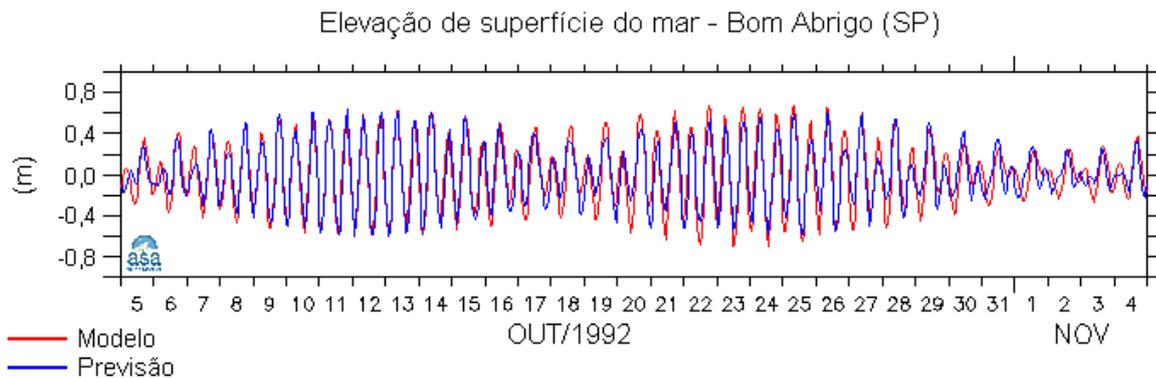
$O$  = observação.

Na figura III-6 são apresentadas as séries temporais de elevação de superfície do mar para o mês de fevereiro de 1992. A elevação de superfície calculada pelo modelo é mostrada em vermelho e, em azul, a série temporal da previsão harmônica para a elevação de superfície. Através desta figura, pode-se observar uma boa concordância tanto na amplitude quanto na fase, entre os resultados obtidos com o modelo e a previsão de maré. O coeficiente de comparação obtido para este período foi de 10%, enquanto que o coeficiente de correlação linear entre as séries é de 98%.



**Figura III-6** - Série temporal de elevação de superfície (em metros) para a localização geográfica de Enchova II (RJ) durante o mês de fevereiro de 1992. Resultado do modelo em vermelho e da previsão de maré em azul. Intervalo de amostragem: 1h.

De maneira análoga, para a posição geográfica de Bom Abrigo (SP), a figura III-7 apresenta a série temporal de elevação de superfície como resultado do modelo numérico (em vermelho) e a previsão de maré (em azul). O coeficiente de comparação entre as séries foi de 19% e a correlação linear, 93%.



**Figura III-7** - Série temporal de elevação de superfície (em metros) para a localização geográfica de Bom Abrigo (SP) para o período de 5 de outubro a 5 de novembro de 1992. Resultado do modelo em vermelho e da previsão de maré em azul. Intervalo de amostragem: 1h.

Embora o coeficiente de comparação entre as séries de elevação de superfície para a localização de Bom Abrigo seja maior que o observado para Enchova II, alguns pontos devem ser ressaltados. O primeiro deles refere-se à posição geográfica. Bom Abrigo (ver figura II-1), dentro da grade numérica (domínio do modelo), está em uma região de interface terra-água e, portanto, submetido a processos hidrodinâmicos diferentes daqueles atuantes na região de Enchova II.

Por fim, ao considerar a extensão do domínio modelado (ver figura III-4) e que a distância entre os pontos validados (Enchova II e Bom Abrigo) é superior a 750 km, deve-se destacar a eficácia do modelo quanto a reprodução da elevação de superfície do mar na região.

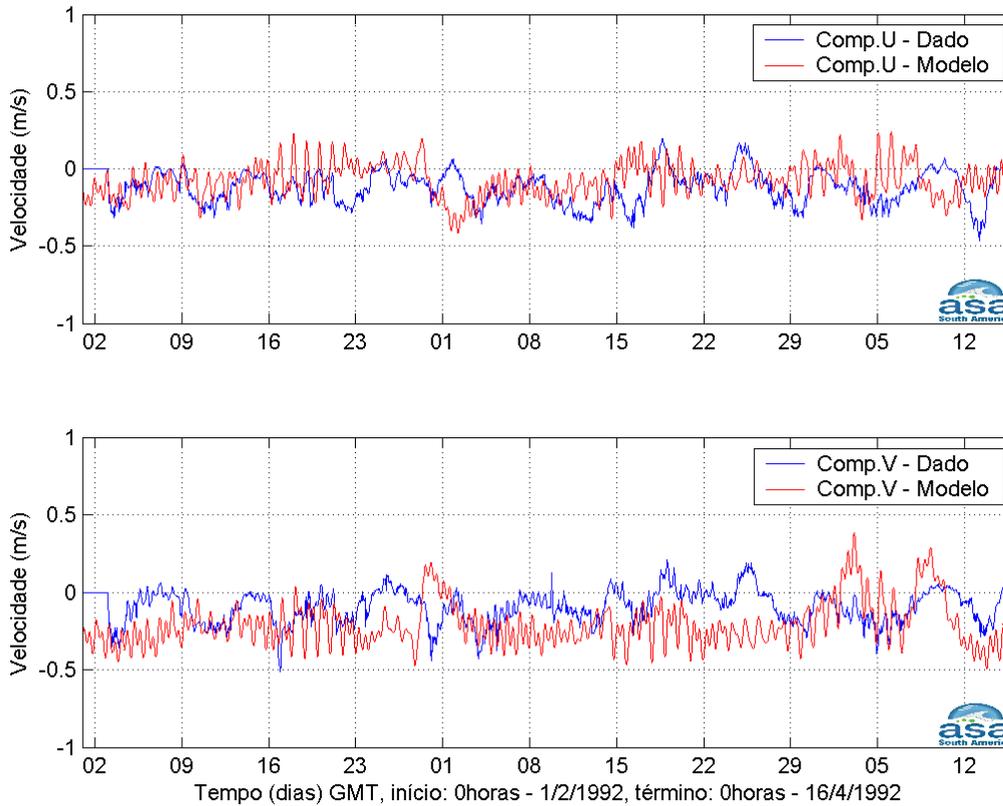
### III.3.2 Avaliação para as Correntes

Pelo fato das correntes apresentarem um comportamento menos determinístico do que as marés, optou-se pela utilização de uma metodologia de comparação diferente da anterior. A comparação entre os resultados da modelagem e os dados foi quantificada através do cálculo da Raiz Quadrática Média (*Root-Mean-Square Error Statistic*). A raiz quadrática média é definida como (EPA, 2000):

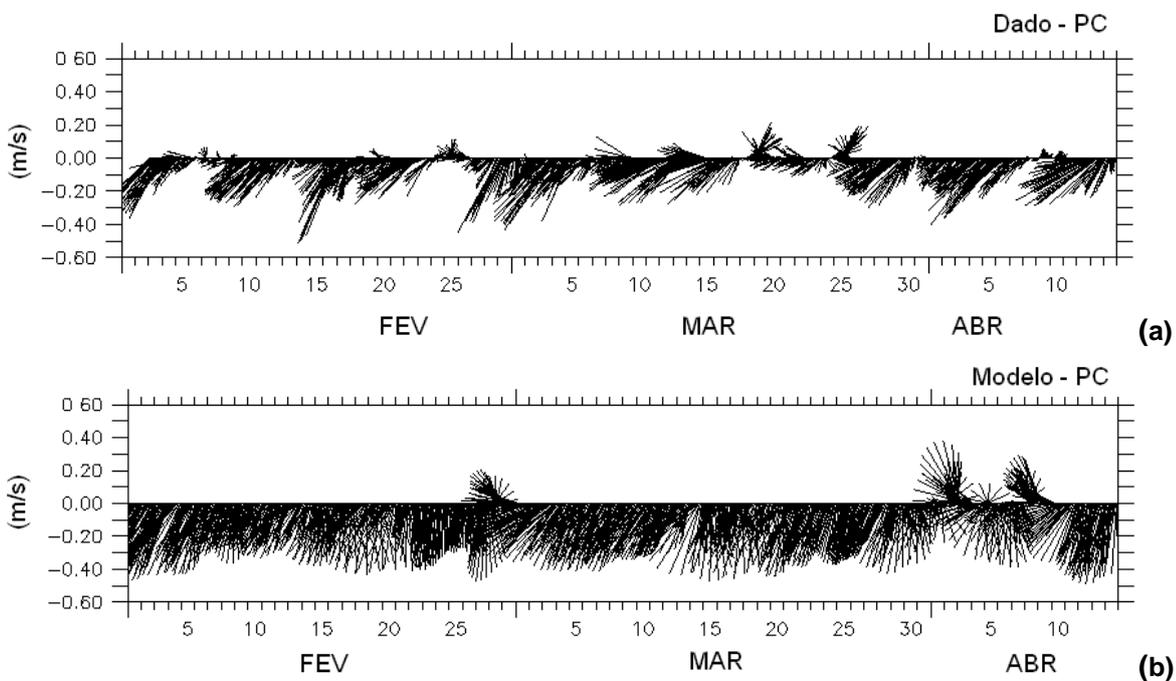
$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\text{dado}_i - \text{modelo}_i)^2} \quad (\text{III-2})$$

A raiz quadrática média é um indicador do desvio entre o previsto pelo modelo e as observações. A raiz quadrática média ideal é nula.

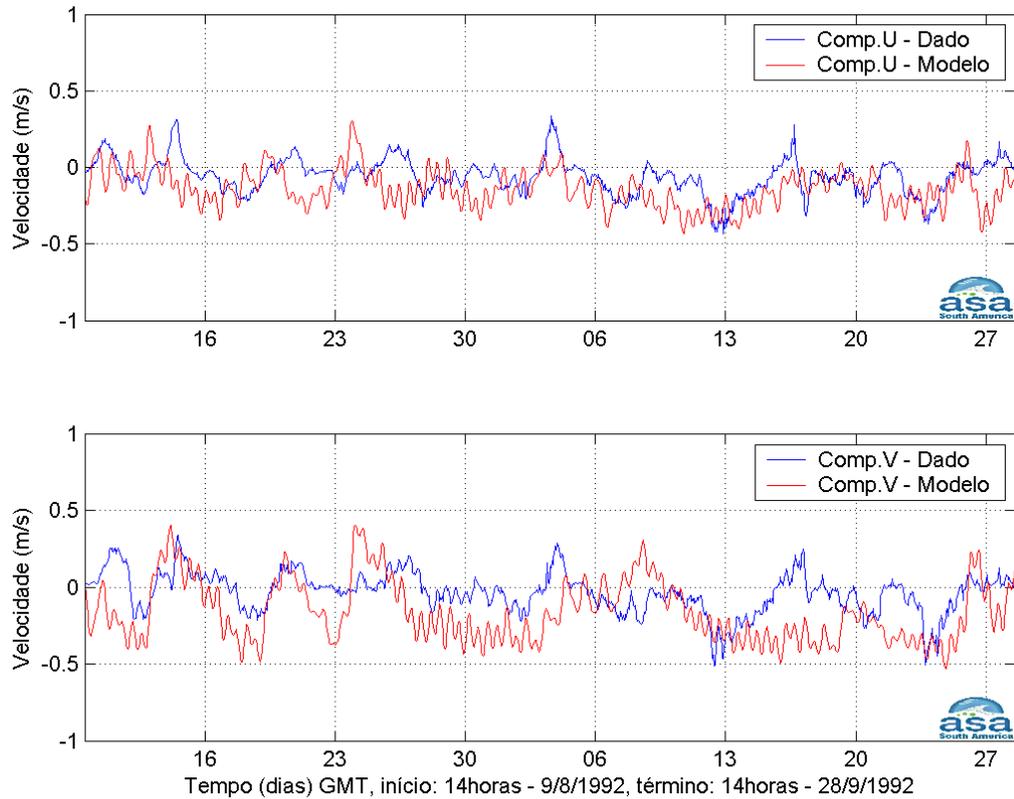
As figuras III-8 e III-10 apresentam, para o Ponto PC, as comparações entre os resultados do processamento para as componentes  $u$  (E-W) e  $v$  (N-S), calculadas pelo modelo (vermelho) e medidas (azul), relativas a dois períodos do ano de 1992. Estes períodos foram escolhidos por apresentarem as principais características das variabilidades presentes na área para o verão e para o inverno (ver Subitem I.1.2). As figuras III-9 e III-11 apresentam comparações entre os resultados do modelo hidrodinâmico e correntes medidas no Ponto PC, respectivamente, para os mesmos períodos descritos acima, na forma de diagramas *stick plot*.



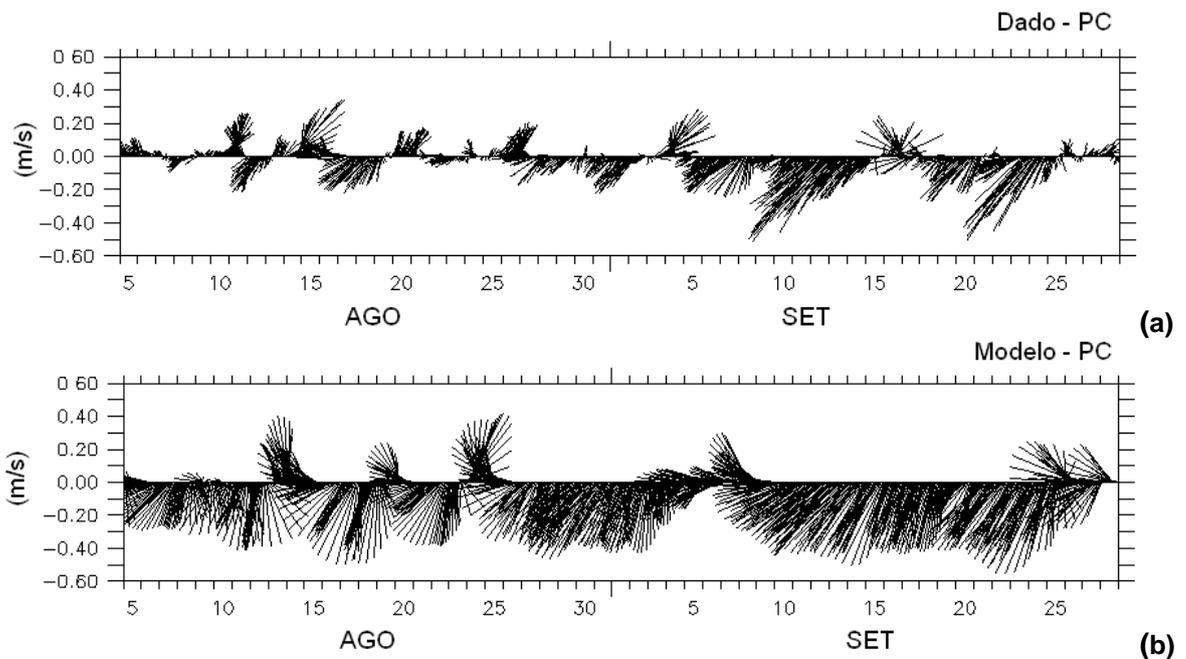
**Figura III-8** - Série temporal das componentes  $u$  e  $v$  da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1º de fevereiro e 15 de abril de 1992 para o Ponto PC.



**Figura III-9** - Diagrama stick plot dos vetores de corrente medida no Ponto PC (a) e calculada pelo modelo (b) entre os dias 1º de fevereiro e 15 de abril de 1992.



**Figura III-10** - Série temporal das componentes  $u$  e  $v$  da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 9 de agosto e 28 de setembro de 1992 para o Ponto PC.



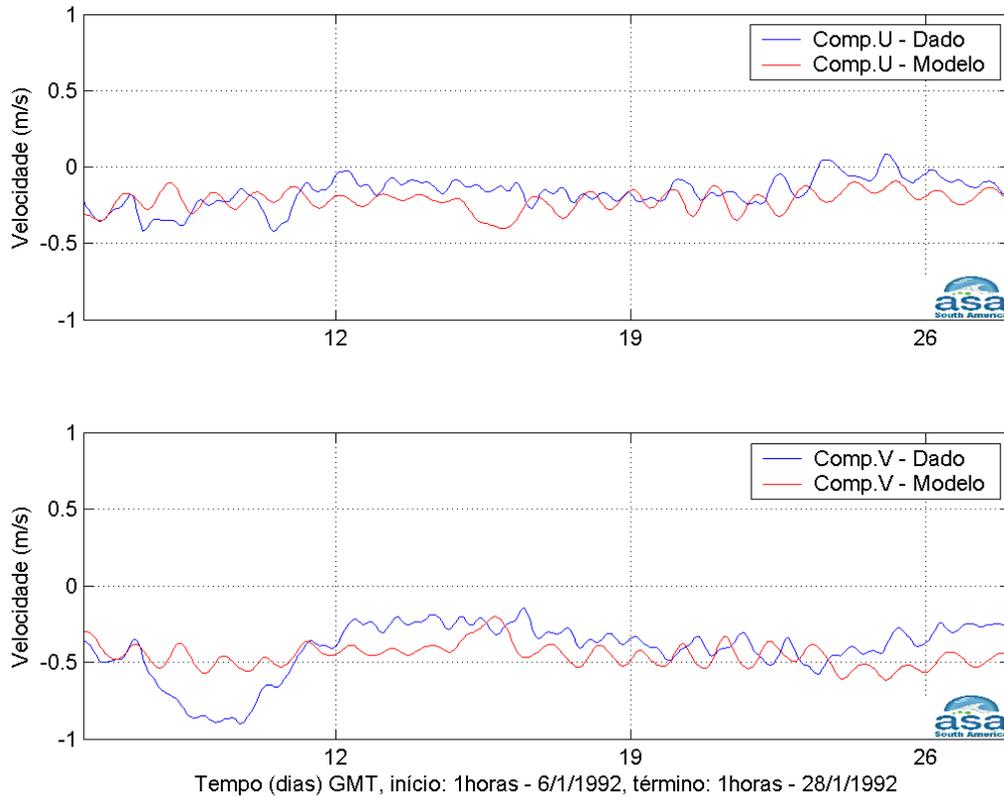
**Figura III-11** - Diagrama stick plot dos vetores de corrente medida no Ponto PC (a) e calculada pelo modelo (b) entre os dias 5 de agosto e 28 de setembro de 1992.

Para cada comparação entre dados e modelo, foi calculada a raiz quadrática média (RMS). No período de verão (1<sup>o</sup> de fevereiro e 15 de abril de 1992), a RMS foi igual a 0,15 m/s para componente  $u$  e 0,18 m/s para a componente  $v$ . Já no período de inverno (9 de agosto e 28 de setembro de 1992), a RMS foi igual 0,15 m/s para componente  $u$  e 0,20 m/s para a componente  $v$ .

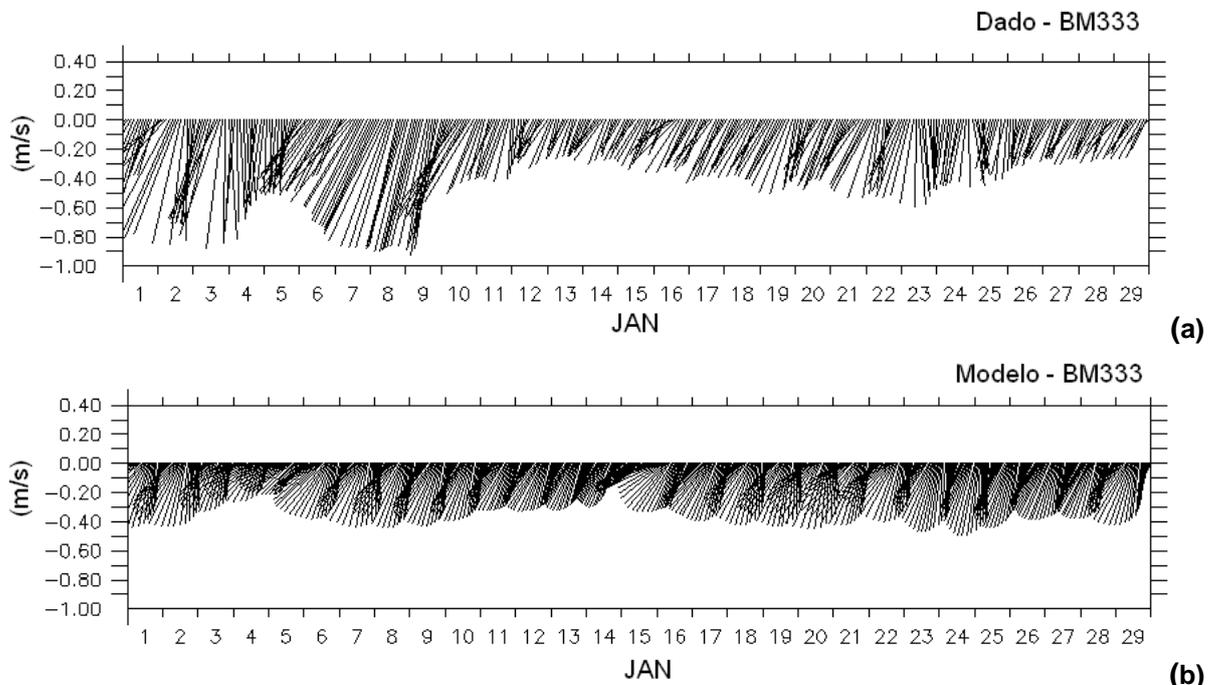
As figuras III-12 e III-14 apresentam, para o Ponto BM333, as comparações entre os resultados do processamento para as componentes  $u$  (E-W) e  $v$  (N-S) calculadas pelo modelo (vermelho) e medidas (azul), utilizando os períodos de 6 a 28 de janeiro de 1992 e 1<sup>o</sup> de junho a 2 de julho de 1992, representativos dos períodos de verão e inverno, respectivamente. A RMS obtida na comparação para o período de verão foi de 0,11 m/s para componente  $u$  e de 0,17 m/s para a componente  $v$ . Na comparação para o período de inverno, a RMS obtida foi de 0,12 m/s para componente  $u$  e de 0,16 m/s para a componente  $v$ .

As figuras III-13 e III-15 apresentam comparações entre os resultados do modelo hidrodinâmico e correntes medidas no Ponto BM333, respectivamente, para verão e inverno, na forma de diagramas *stick plot*.

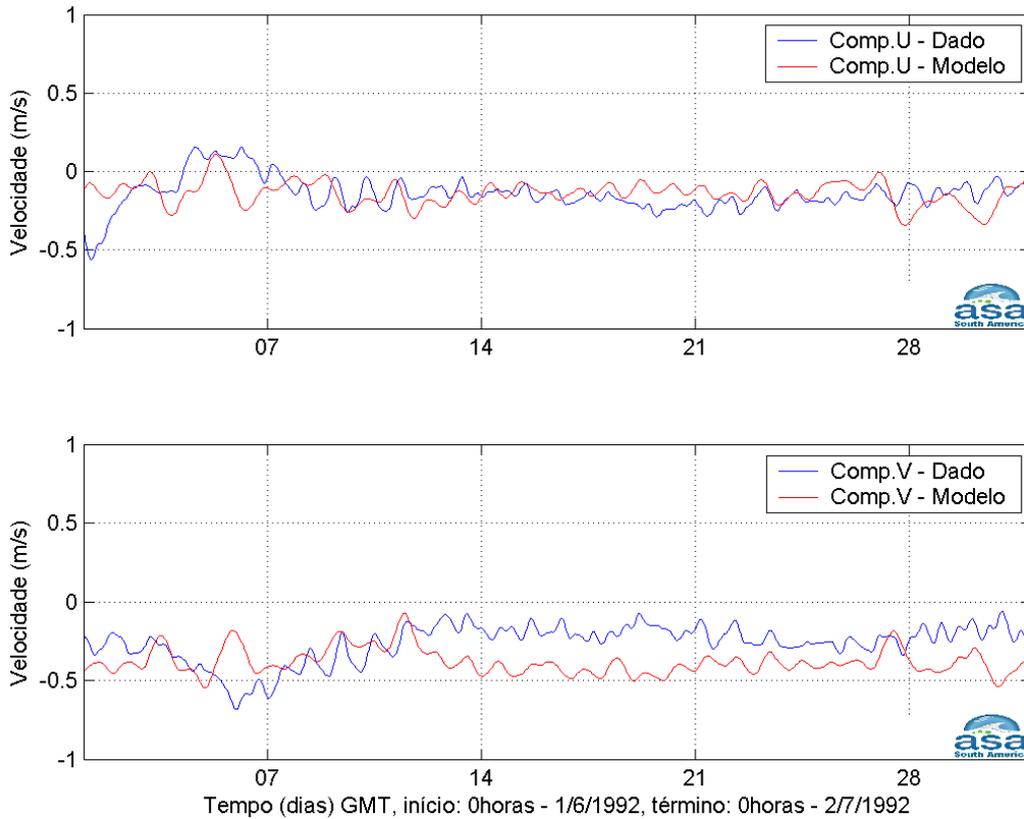
Por fim, são apresentadas nas figuras III-16 e III-17, comparações entre (a) histogramas direcionais para dados medidos e (b) resultados do modelo, considerando todo o ano de 1992. A análise dos histogramas complementa a validação, permitindo verificar a habilidade do modelo em reproduzir o padrão de circulação observado nos dois locais avaliados, indicando boa concordância entre as direções e intensidades médias observadas e aquelas simuladas.



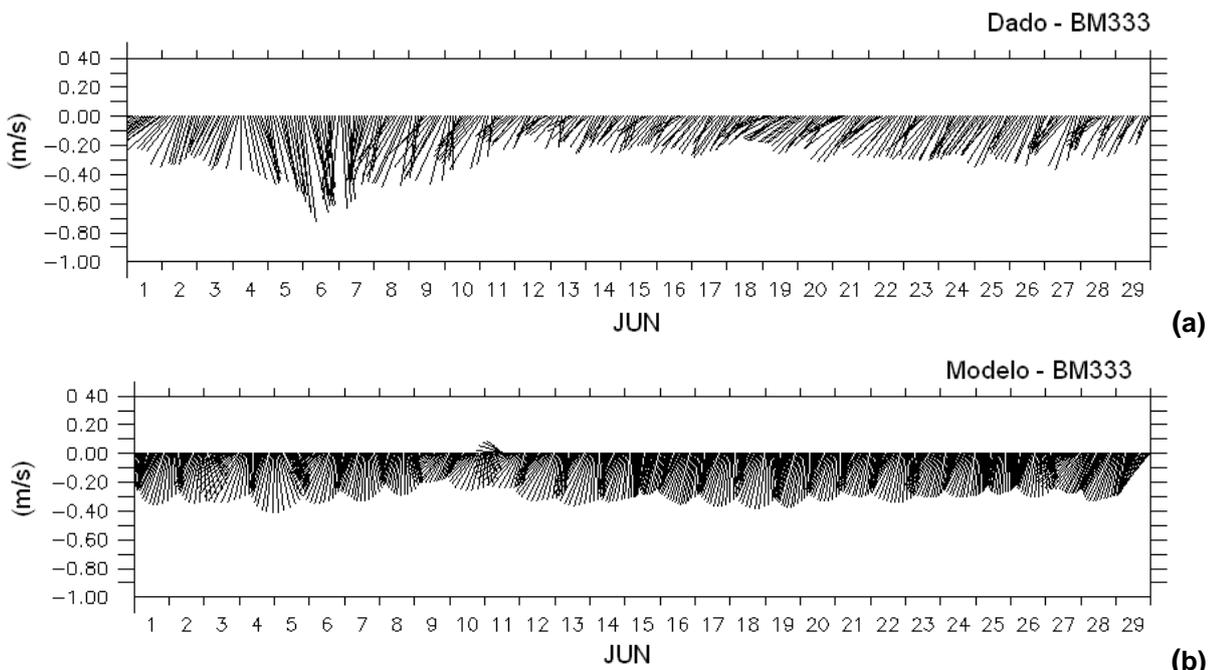
**Figura III-12** - Série temporal medida das componentes  $u$  e  $v$  da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 6 e 28 de janeiro de 1992 para o Ponto BM333.



**Figura III-13** - Diagrama stick plot dos vetores de corrente medida no Ponto BM333 (a) e calculada pelo modelo (b) entre os dias 1<sup>o</sup> a 30 de janeiro de 1992.

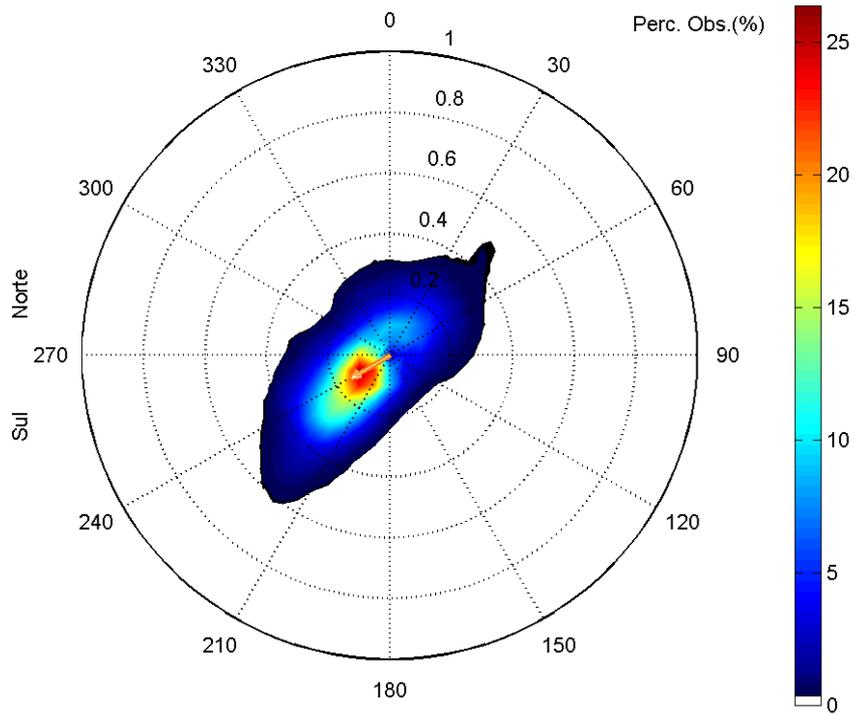


**Figura III-14** - Série temporal medida das componentes  $u$  e  $v$  da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1<sup>o</sup> de junho e 2 de julho de 1992 para o Ponto BM333.



**Figura III-15** - Diagrama stick plot dos vetores de corrente medida no Ponto BM333 (a) e calculada pelo modelo (b) entre os dias 1<sup>o</sup> e 30 de junho de 1992.

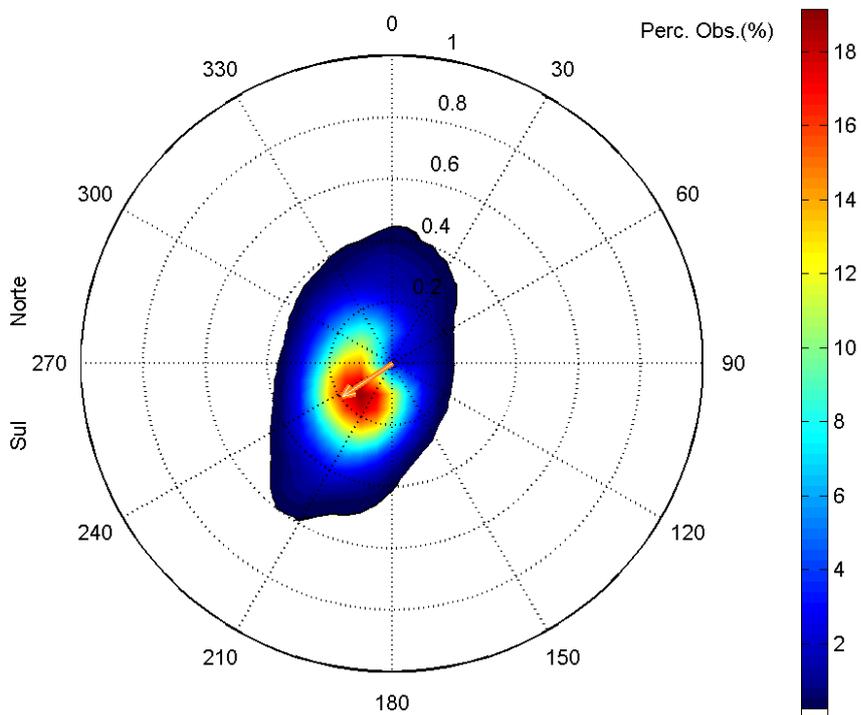
Histograma direcional dos vetores de corrente (m/s), total de observações = 6687



Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.15 m/s

(a)

Histograma direcional dos vetores de corrente (m/s), total de observações = 8754

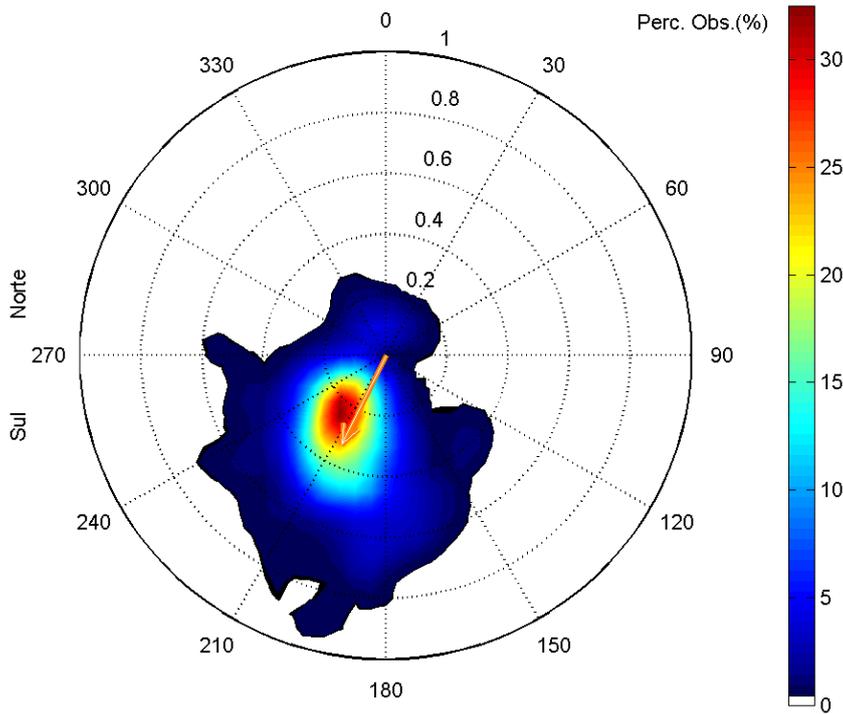


Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.19 m/s

(b)

**Figura III-16 - Velocidade média e histograma direcional dos vetores de corrente medidos na região do ponto PC (a), e resultantes da simulação numérica (b), para o período de janeiro a dezembro de 1992.**

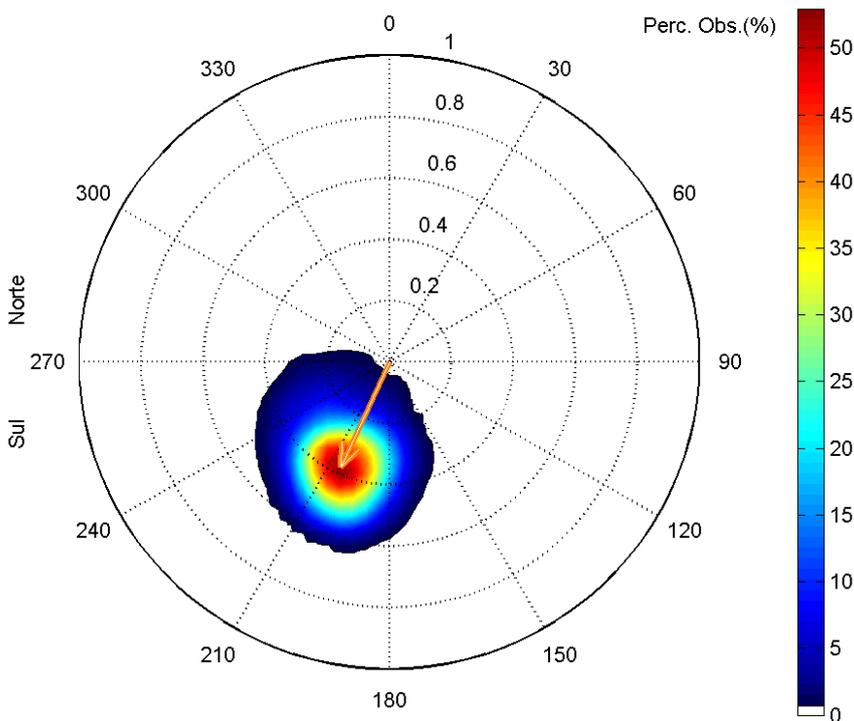
Histograma direcional dos vetores de corrente (m/s), total de observações = 7696



Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.33 m/s

(a)

Histograma direcional dos vetores de corrente (m/s), total de observações = 8754



Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.38 m/s

(b)

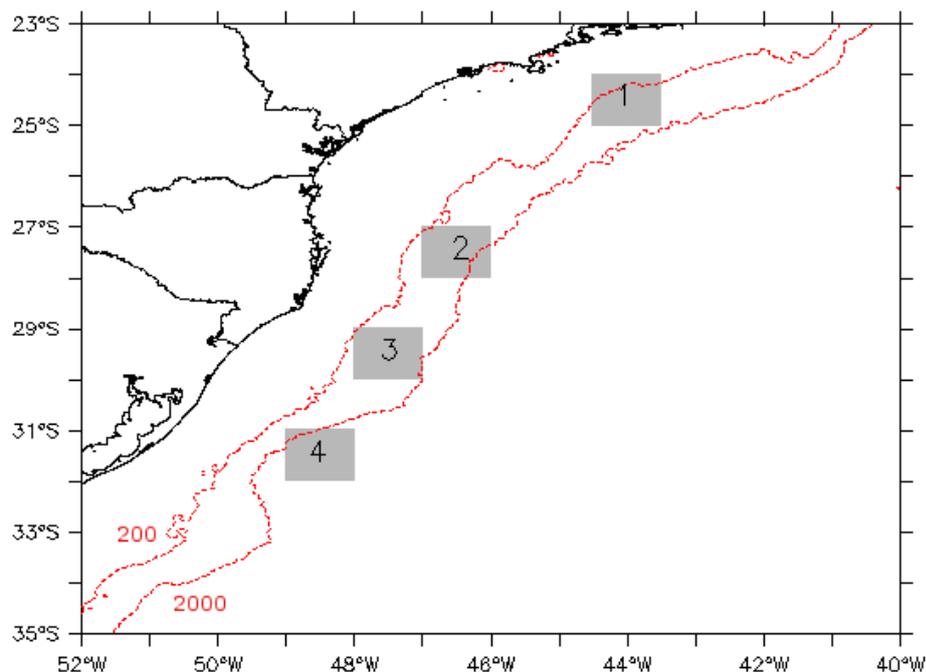
**Figura III-17 - Velocidade média e histograma direcional dos vetores de corrente medidos na região do ponto ACM12/BM333 (a), e resultados da simulação numérica (b), para o período de janeiro a dezembro de 1992.**

Para avaliar o padrão de circulação superficial as correntes simuladas foram comparadas aos dados de derivadores do Projeto MONDO. Vale ressaltar que os dados de corrente obtidos a partir dos derivadores são referentes a 2007/2008, portanto, buscou-se comparar o comportamento médio dos padrões identificados.

A figura III-18 mostra as quatro regiões selecionadas para comparar as correntes simuladas aos dados de derivadores do Projeto MONDO. Estas regiões foram selecionadas com objetivo principal de avaliar o fluxo ao longo do eixo principal da Corrente do Brasil (CB), que flui ao longo da quebra da plataforma continental; seus limites são:

- Região 1: 24°S a 25°S e 44,5°W a 43,5°W;
- Região 2: 27°S a 28°S e 47°W a 46°W;
- Região 3: 29°S a 30°S e 48°W a 47°W;
- Região 4: 31°S a 32°S e 49°W a 48°W.

As comparações apresentadas a seguir serão realizadas a partir da análise dos histogramas direcionais dos dados e resultados do modelo. Nestas figuras, a direção apresentada refere-se ao norte geográfico, a unidade de velocidade adotada é m/s e a escala de cores representa a porcentagem de observações.

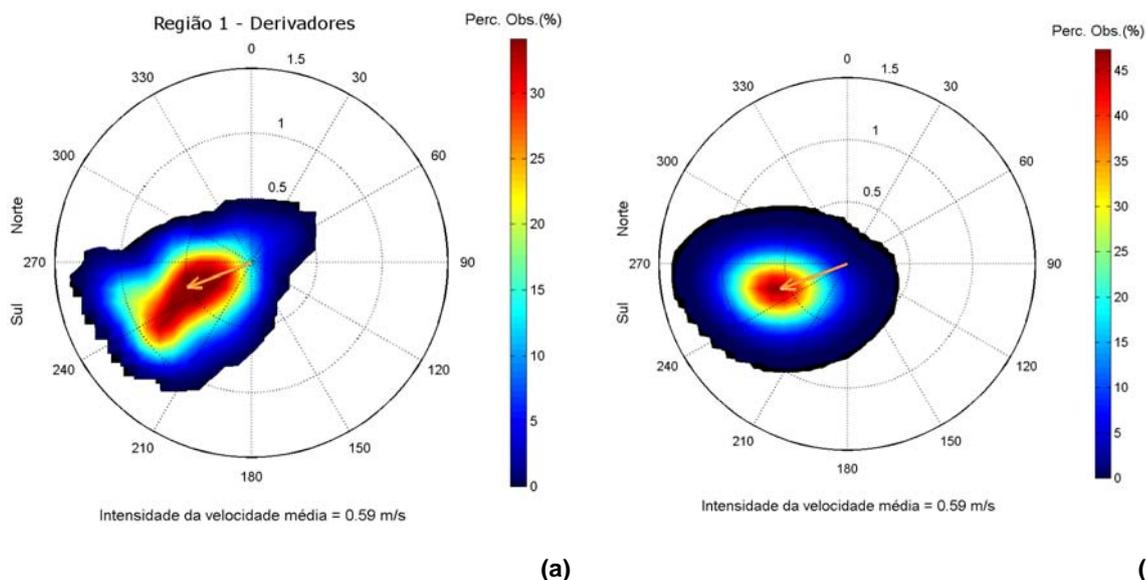


**Figura III-18** - Regiões selecionadas para validação da corrente simulada próxima à superfície com os derivadores do Projeto MONDO. As linhas pontilhadas vermelhas indicam as isóbatas de 200 e 2.000 m.

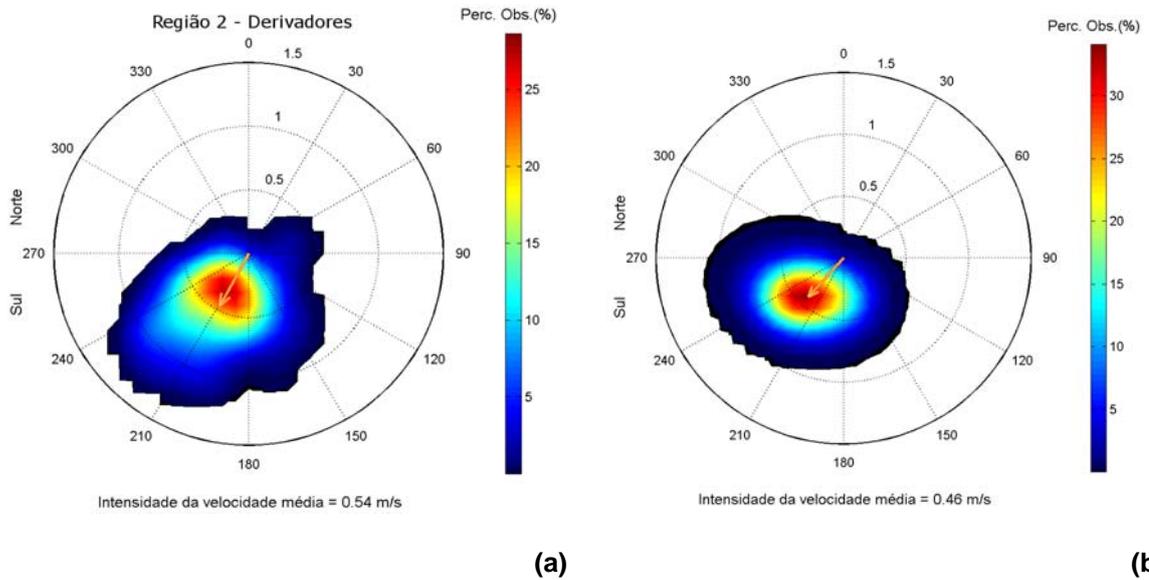
As figuras III-19 a III-22 apresentam a comparação entre histogramas direcionais dos dados de corrente simulados (setembro a dezembro de 1992) e obtidos através dos derivadores (setembro a dezembro de 2007) para as Regiões 1, 2, 3 e 4, ilustradas na figura III-18.

Para a Região 1, verifica-se que, próximo à superfície, o eixo principal de escoamento se dá na direção W-SW para as duas regiões analisadas; o modelo hidrodinâmico capturou esse comportamento de maneira satisfatória, apresentando velocidades médias próximas às obtidas a partir dos derivadores. As diferenças observadas na distribuição das correntes podem ser justificadas por terem sido analisados anos diferentes.

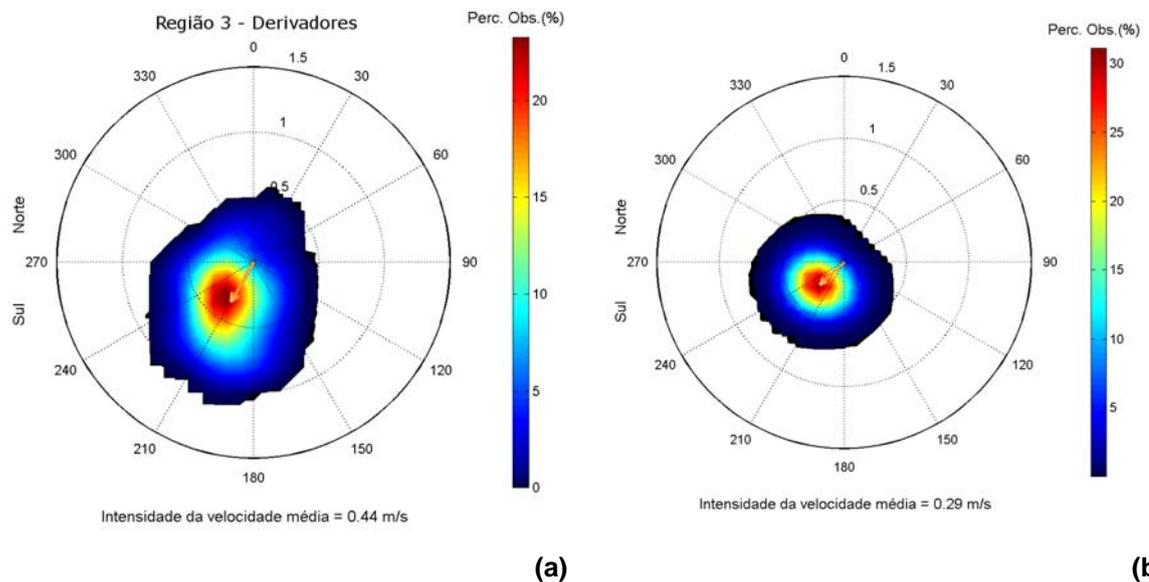
Nestas regiões 2, 3 e 4 o eixo principal de escoamento se dá na direção SW; as correntes simuladas apresentaram uma dispersão coerente com as obtidas dos derivadores. A intensidade média das correntes foi inferior nos resultados da simulação, mas é importante ressaltar que nesta análise foram considerados anos diferentes para as correntes simuladas e observadas.



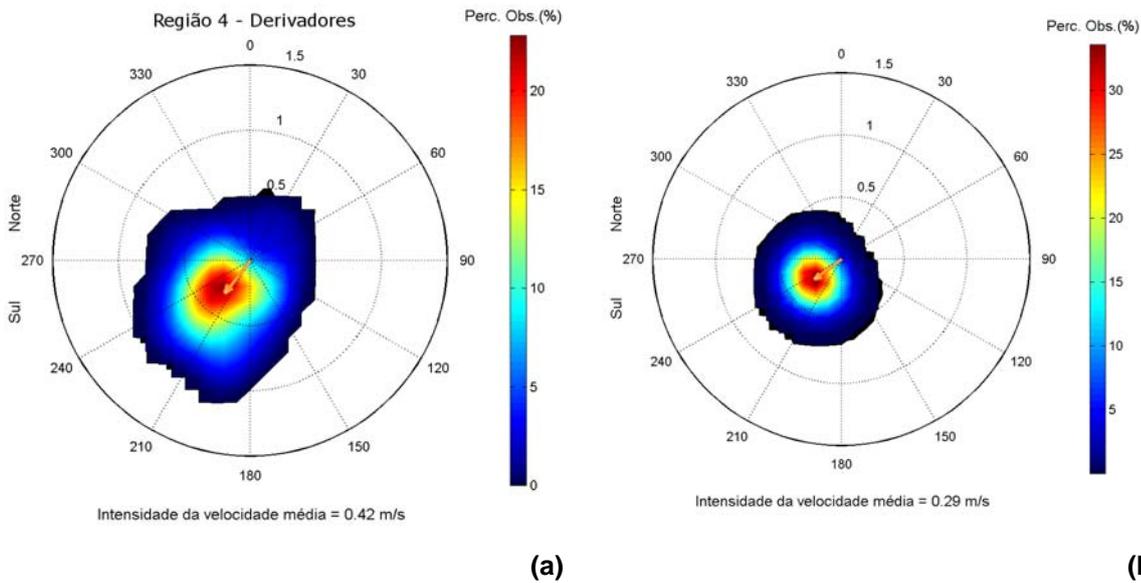
**Figura III-19** - Histogramas direcionais dos vetores de corrente obtidos a partir dos derivadores (a) e de simulações com o modelo hidrodinâmico (b) para a Região 1. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico, a unidade de velocidade adotada é m/s e a escala de cores representa a porcentagem de observações.



**Figura III-20** - Histogramas direcionais dos vetores de corrente obtidos a partir dos derivadores (a) e de simulações com o modelo hidrodinâmico (b) para a Região 2. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico, a unidade de velocidade adotada é m/s e a escala de cores representa a porcentagem de observações.

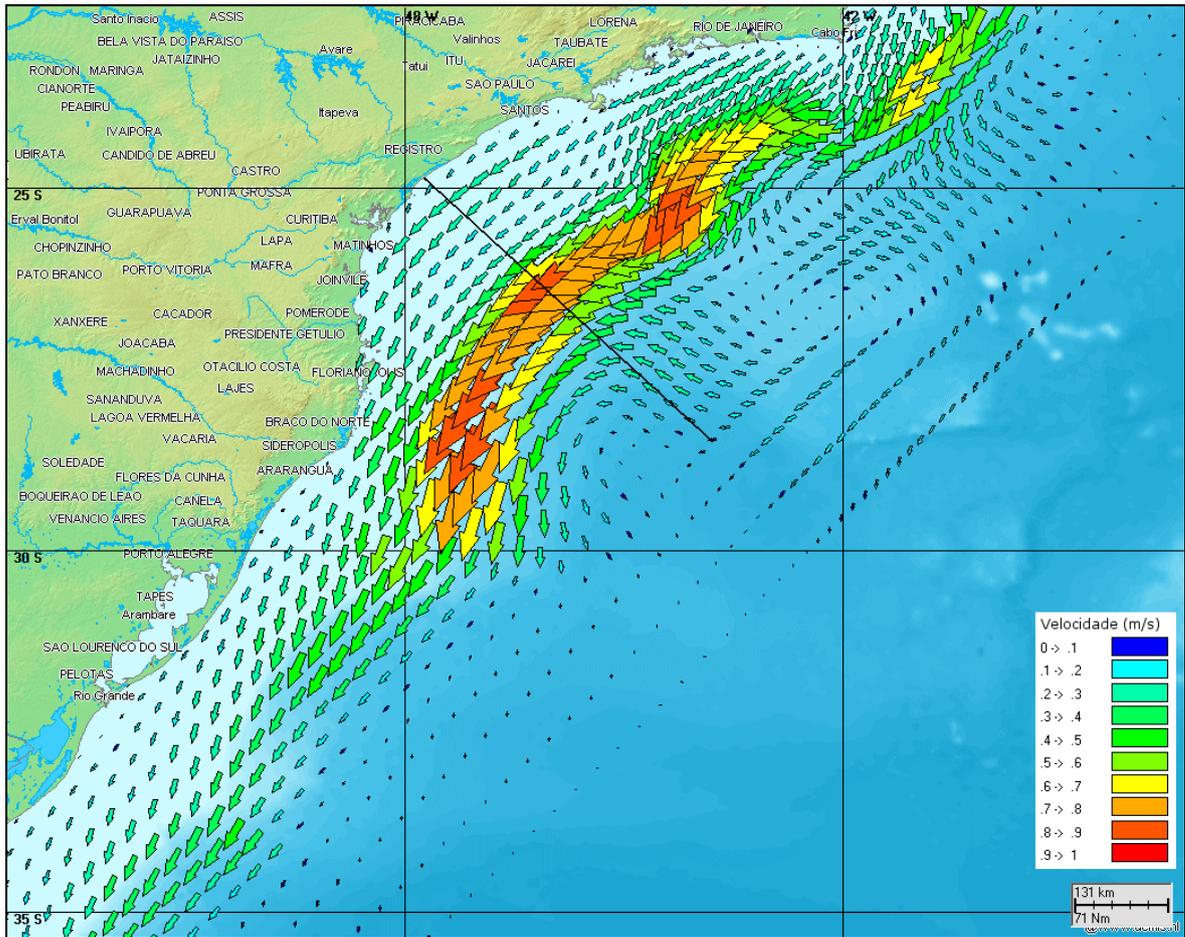


**Figura III-21** - Histogramas direcionais dos vetores de corrente obtidos a partir dos derivadores (a) e de simulações com o modelo hidrodinâmico (b) para a Região 3. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico, a unidade de velocidade adotada é m/s e a escala de cores representa a porcentagem de observações.

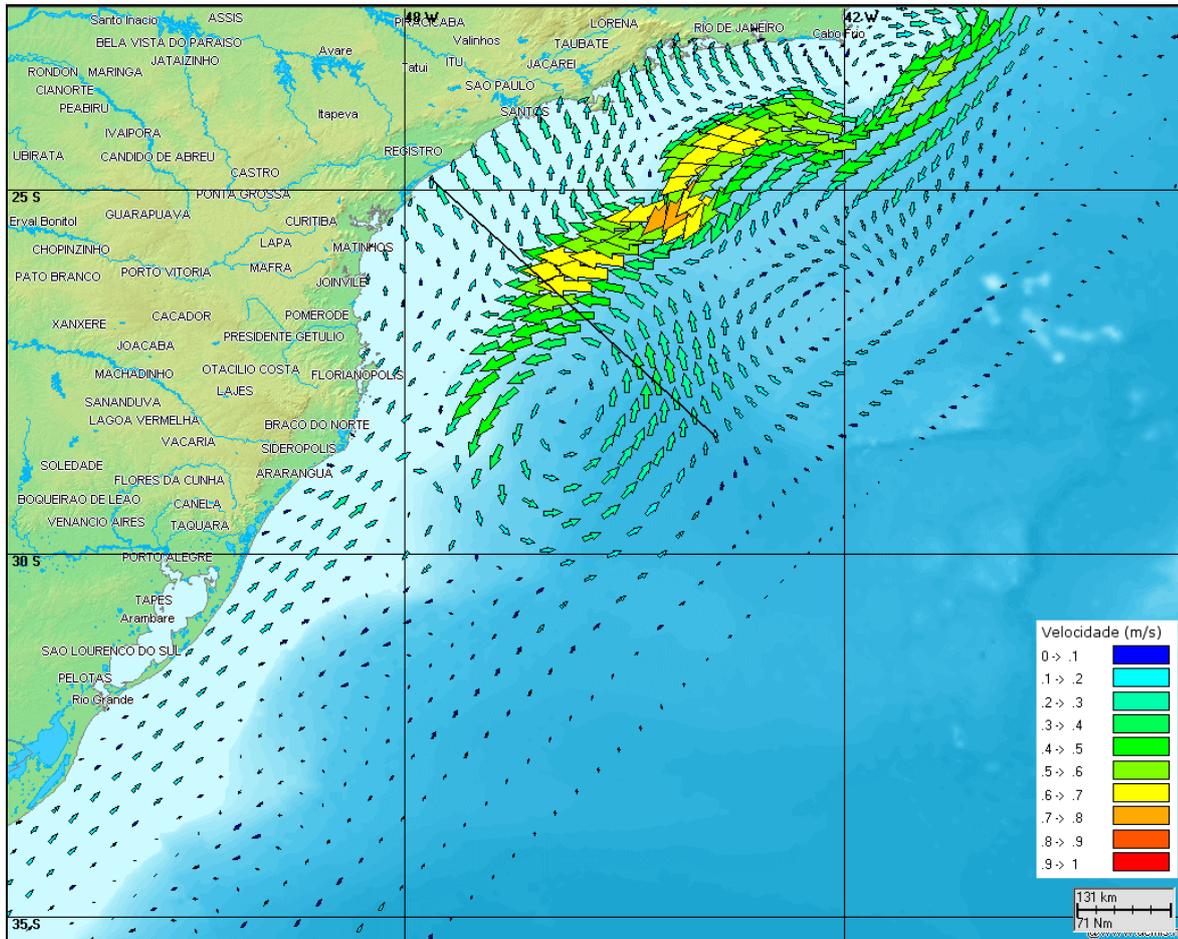


**Figura III-22** - Histogramas direcionais dos vetores de corrente obtidos a partir dos derivadores (a) e de simulações com o modelo hidrodinâmico (b) para a Região 4. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico, a unidade de velocidade adotada é m/s e a escala de cores representa a porcentagem de observações.

As figuras apresentadas a seguir (figuras III-23 e 24), ilustram resultados do modelo hidrodinâmico, recortados na região das bacias de Santos e Pelotas. São apresentados instantâneos para as distribuições espaciais de correntes de verão e de inverno, re-amostrados a cada 4 pontos. Observa-se a Corrente do Brasil acompanhando a região de quebra da plataforma, fluindo em direção SW. O campo também apresenta uma intensificação em torno de 28° S, conforme descrito por Müller *et al.* (1998). No inverno, o instante selecionado ilustra uma inversão e desintensificação do campo, em resposta à passagem de um sistema frontal pela região.



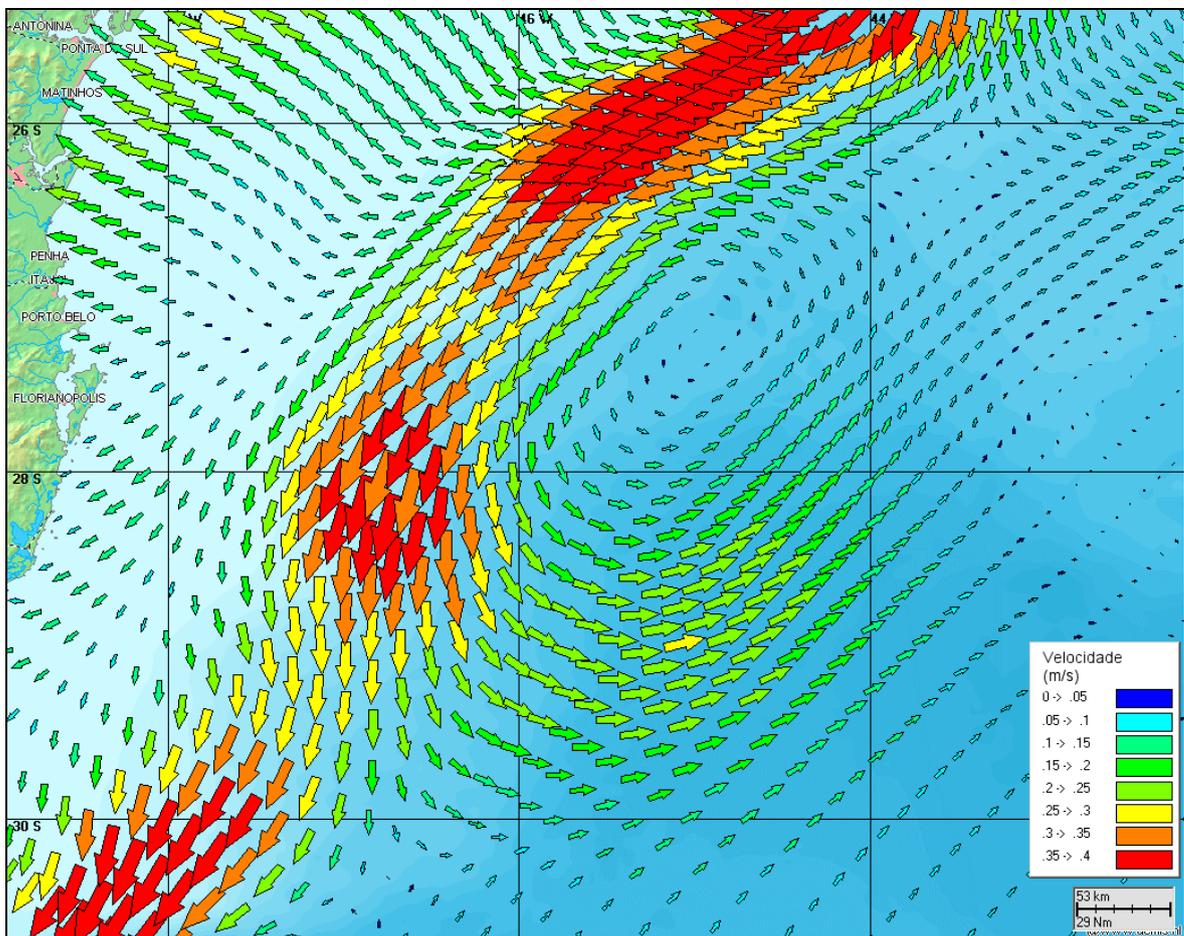
**Figura III-23** - Instantâneo de correntes simuladas no verão, com foco na região das bacias de Santos e Pelotas. A linha preta indica a posição da seção transversal apresentada na figura III-26.



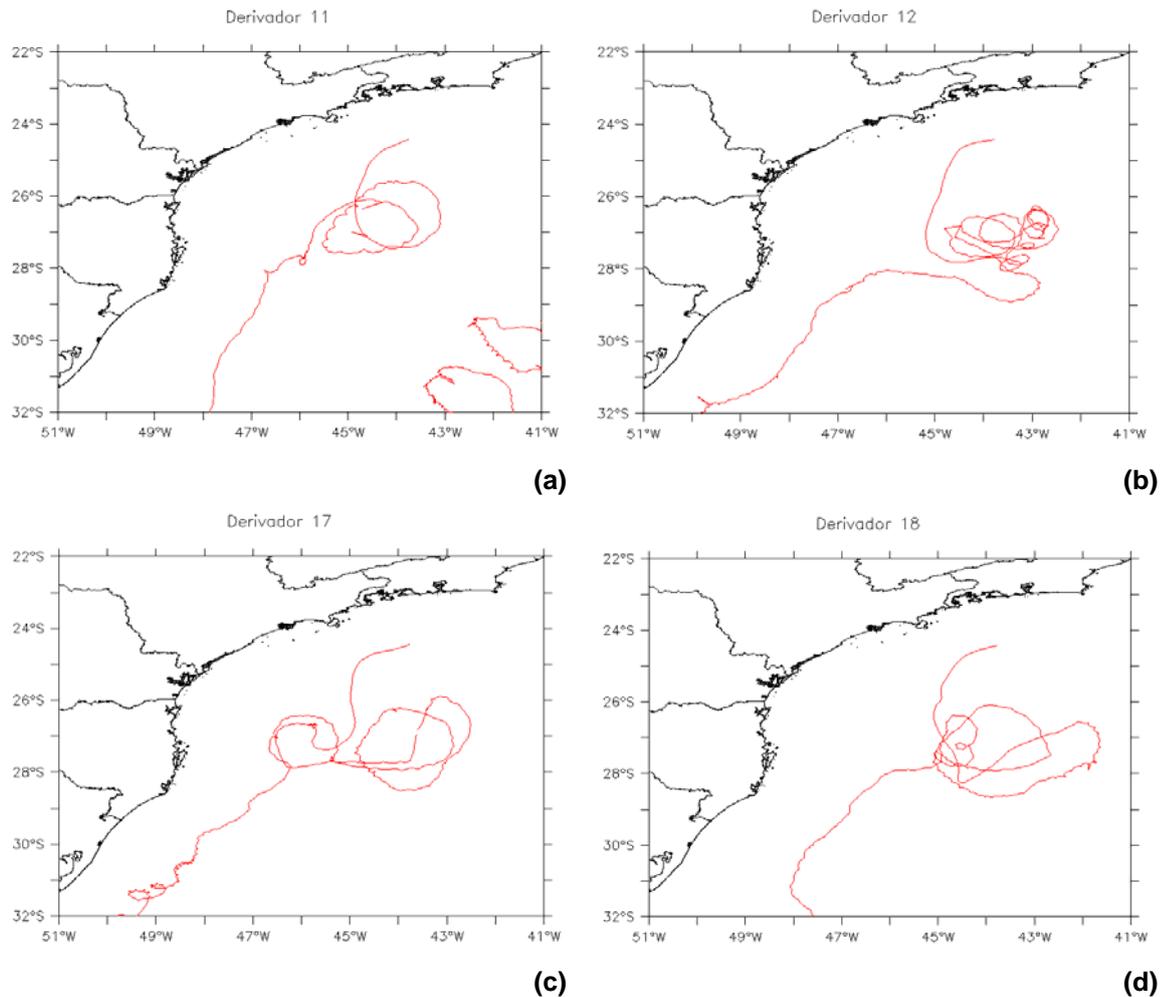
**Figura III-24** - Instantâneo de correntes simuladas no inverno, com foco na região das bacias de Santos e Pelotas. A linha preta indica a posição da seção transversal apresentada na figura III-27.

Na evolução temporal dos resultados do modelo hidrodinâmico também foi possível identificar a presença de um vórtice semi-estacionário próximo à superfície, como é ilustrado na figura III-25. A trajetória de diversos derivadores também indicou a presença desse vórtice entre 25° e 29° S, a leste do fluxo principal da CB. A figura III-26 apresenta a trajetória dos derivadores 11, 12, 17 e 18, que apresentam claramente a presença deste vórtice.

A presença de vórtices ciclônicos e semi-estacionários na altura de Florianópolis (aproximadamente 27° S) foi identificada por Assireu *et al.* (2003), através do estudo de 15 derivadores lançados nos anos de 1993 e 1994. Esse autor aponta que, embora as causas típicas para os vórtices semi-estacionários sejam a interação da corrente com a topografia submarina e mudanças bruscas no contorno da costa, estas não parecem ser as únicas causas para os vórtices em questão, já que estes não foram detectados pelos derivadores no ano de 1994. Simulações numéricas realizadas em Fragozo (2004) também detectaram a presença do vórtice anti-ciclônico na costa de SC.



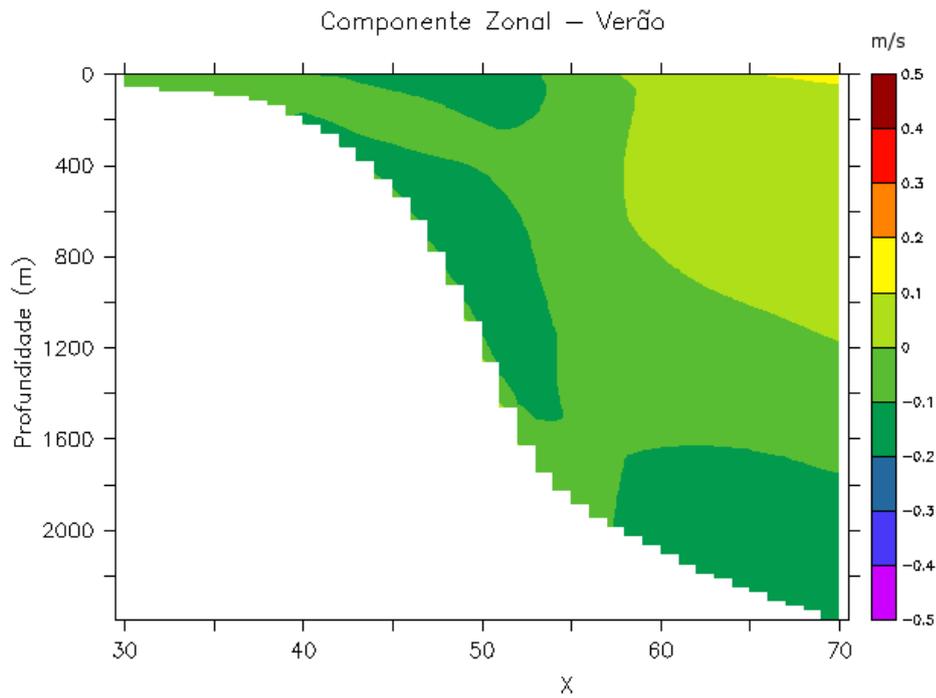
**Figura III-25** - Campo de corrente de superfície instantâneo obtido a partir de resultados do modelo hidrodinâmico.



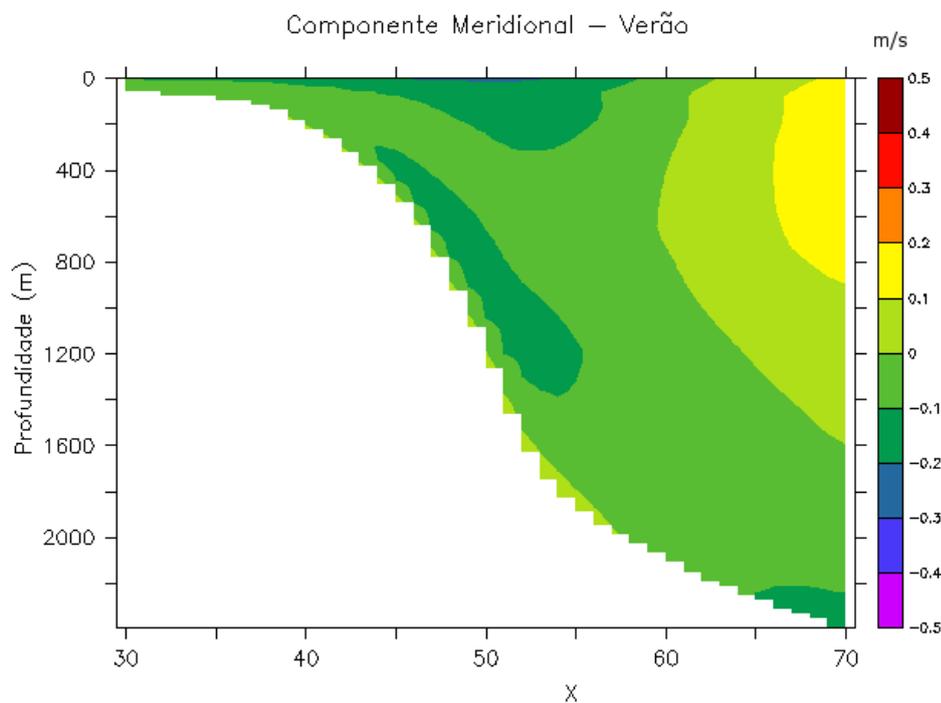
**Figura III-26** - Trajetórias dos derivadores 11 (a), 12 (b), 17 (c) e 18 (d).

A figura III-27 mostra as seções de velocidade zonal e meridional simuladas (médias para o período do verão de 1992) ao longo da linha preta indicada na figura III-23. A figura III-28 mostra as seções de velocidade zonal e meridional simuladas (médias para o período de inverno de 1992) ao longo da linha preta indicada na figura III-24.

Próximo à costa, os resultados do modelo indicam que o fluxo predominante é para sudoeste, com a CB fluindo sobre a quebra do talude; em região oceânica, observa-se um fluxo para nordeste até cerca de 1.500 m de profundidade, e outro para sudoeste próximo ao fundo. O fluxo para nordeste está associado ao vórtice acima mencionado e indica que sua estrutura vertical pode alcançar níveis intermediários.

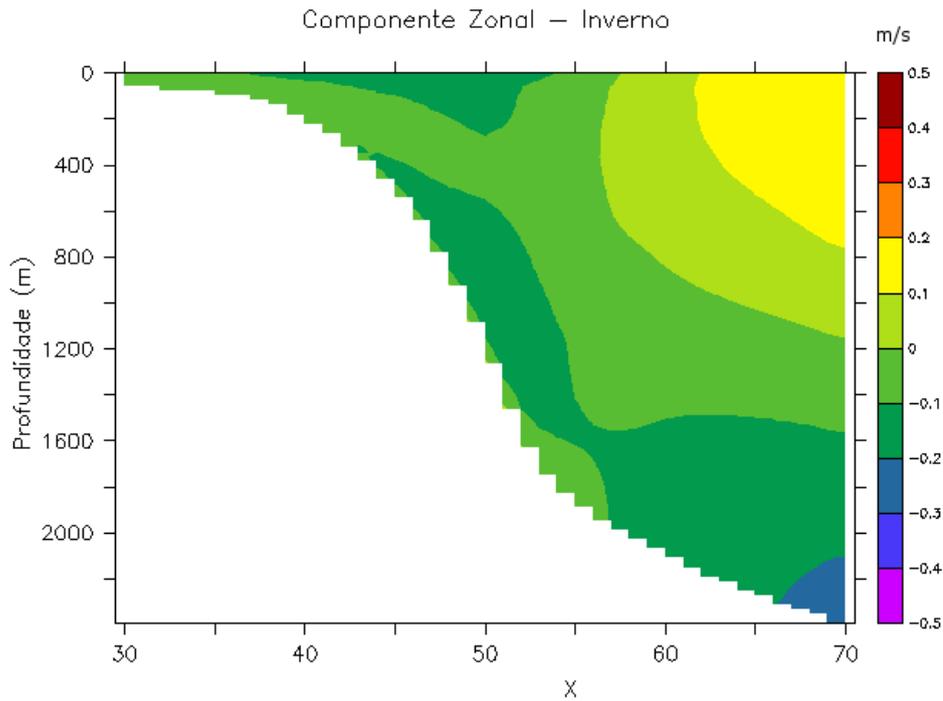


(a)

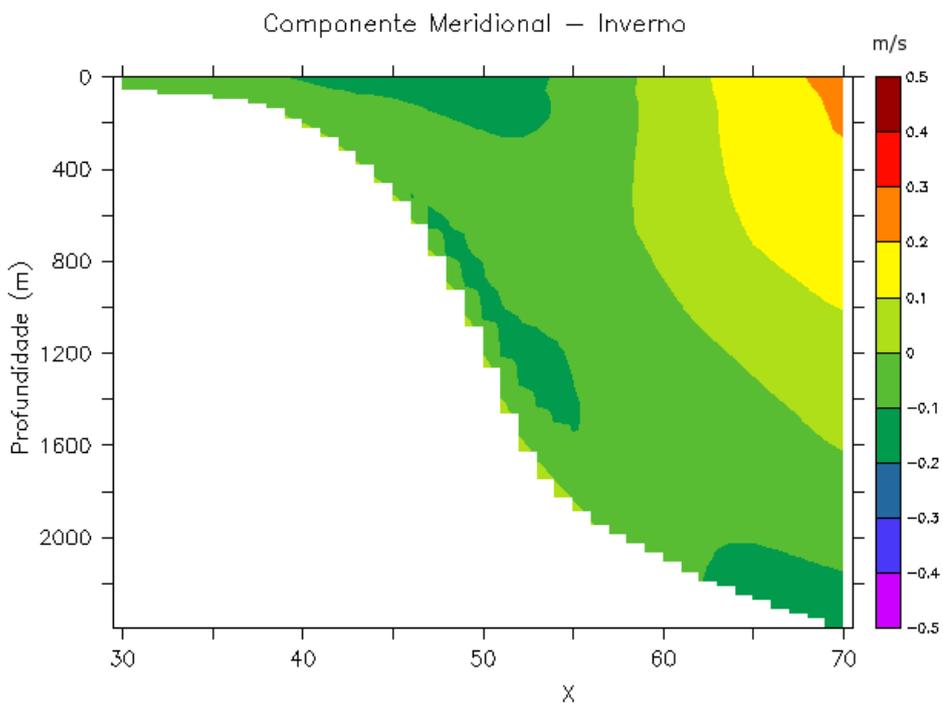


(b)

**Figura III-27** - Seções de velocidade (m/s) zonal (a) e meridional (b), médias para o verão de 1992, extraídas ao longo da linha preta indicada na figura III-23.



(a)



(b)

**Figura III-28** - Seções de velocidade (m/s) zonal (a) e meridional (b), médias para o inverno de 1992, extraídas ao longo da linha preta indicada na figura III-24.

Os índices de comparação obtidos no processo de avaliação, fato válido para qualquer estudo envolvendo modelagem numérica no oceano, devem ser compreendidos e analisados dentro de margens de erro pouco mensuráveis. Esses limites, usuais em qualquer simulação hidrodinâmica, são dados pela complexidade da circulação numa região específica, aliada à quantidade de informação anterior existente e ao fato da comparação entre os resultados do modelo e as medições realizarem-se sempre em pontos restritos no espaço e no tempo.

Embora se tenha conseguido uma boa representatividade do modelo hidrodinâmico para a região, deve-se lembrar que seus resultados são específicos para um dado período e determinados pelo atual nível de conhecimento na área de estudo. A extrapolação desses resultados no espaço e no tempo é sempre possível, sendo esta uma das vantagens da utilização de ferramentas numéricas.

Na costa S/SE brasileira, o padrão de circulação superficial está relacionado à Corrente do Brasil (CB), fluindo para sul-sudoeste, com seus meandros e vórtices. Sobre a plataforma, o padrão predominante está relacionado ao campo de vento e à maré, com eventuais intrusões da CB. A partir do talude e em região oceânica, há predomínio da CB.

Os resultados da caracterização ambiental física e numérica, aqui apresentados, são decorrentes de um processo evolutivo de estudo, baseado em modelos numéricos na região das Bacias de Santos e Pelotas. Esse relatório apresenta, portanto, o processo de avaliação dos resultados do modelo hidrodinâmico tridimensional, baroclínico e prognóstico, estabilizado para variabilidades médias (climatológicas) nos campos de temperatura e salinidade. A avaliação desse modelo indicou uma representação satisfatória do padrão de circulação na costa leste do S e SE do Brasil.



## **IV MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO**

Na modelagem de derrame de petróleo foi utilizado o modelo OILMAP, desenvolvido pela **ASA**. Este modelo é uma ferramenta utilizada para o acompanhamento e previsão do deslocamento e transformações químicas de qualquer tipo de óleo derramado em acidentes com petróleo. A descrição completa do modelo encontra-se no Anexo 2.

### **IV.1 DADOS DE ENTRADA**

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

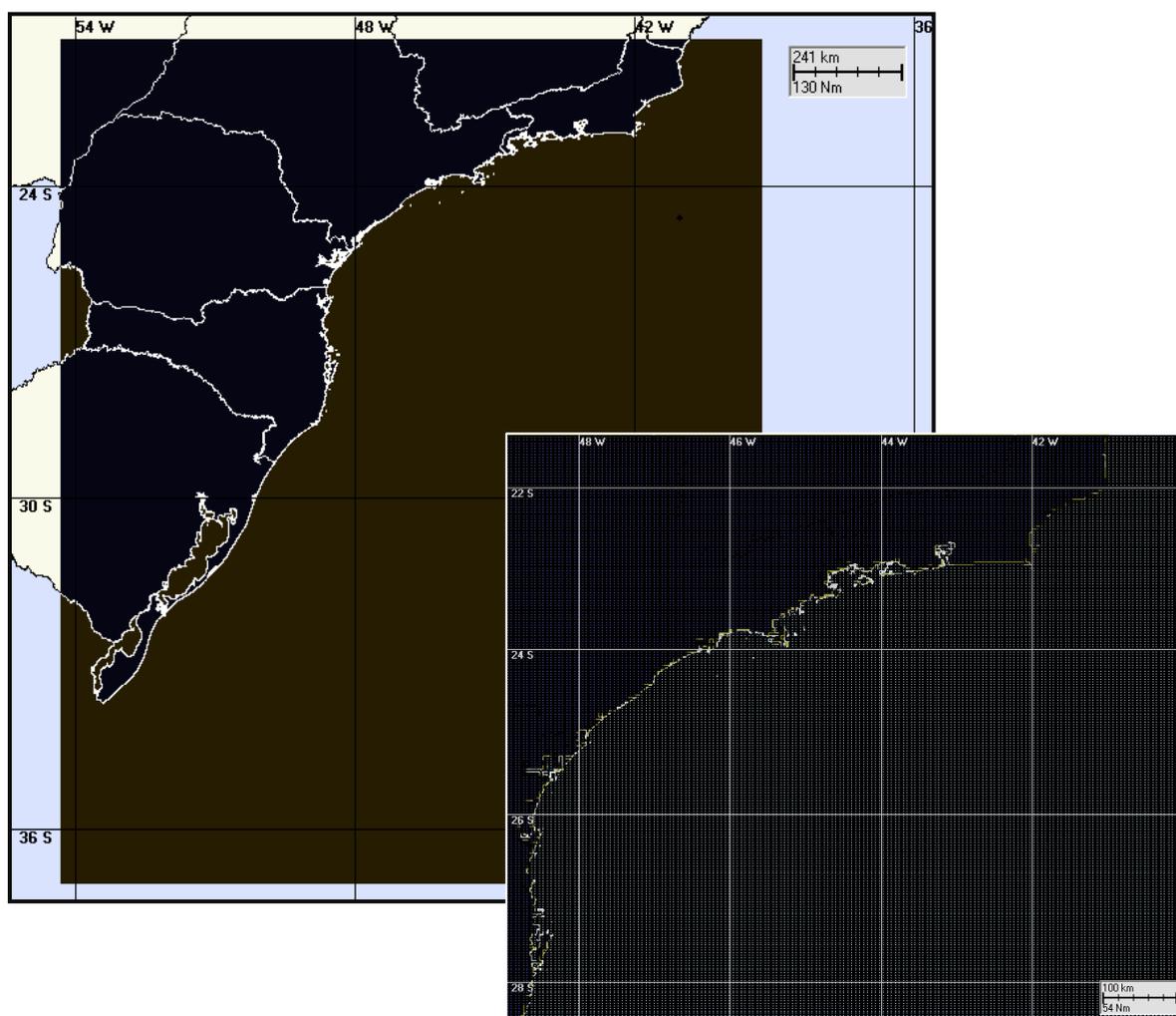
- ✓ localização geográfica do ponto de derrame;
- ✓ data e horário;
- ✓ duração do derrame;
- ✓ volume derramado;
- ✓ tipo de óleo;
- ✓ duração da simulação;
- ✓ opções de resposta (e.g., barreiras, sobrevôo, dispersantes);
- ✓ campo de correntes;
- ✓ arquivo de dados meteorológicos;
- ✓ opções de saída;
- ✓ 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.

### IV.1.1 Campos 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 III. Para avaliar a sazonalidade das forçantes ambientais nos padrões de circulação e transporte, foram definidos dois campos hidrodinâmicos: para verão (janeiro a março) e para inverno (junho a agosto) de 1992.

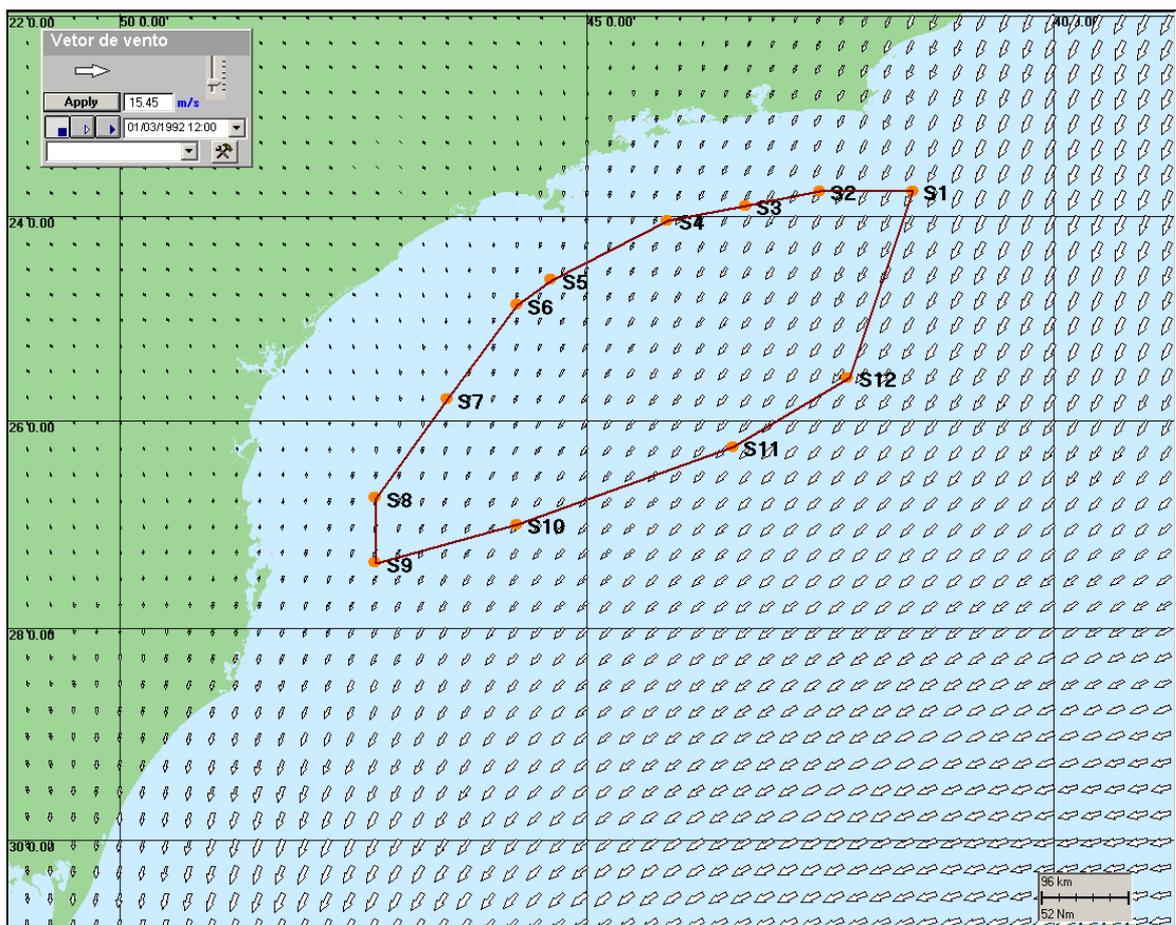
Para as simulações de derrame de óleo na Área Geográfica Bacia de Santos foi definida uma grade *land-water* com dimensões de 1000x1000 pontos (figura IV-1), resolução suficiente para todos os cenários simulados, independente das características físico-químicas dos óleos da AGBS.



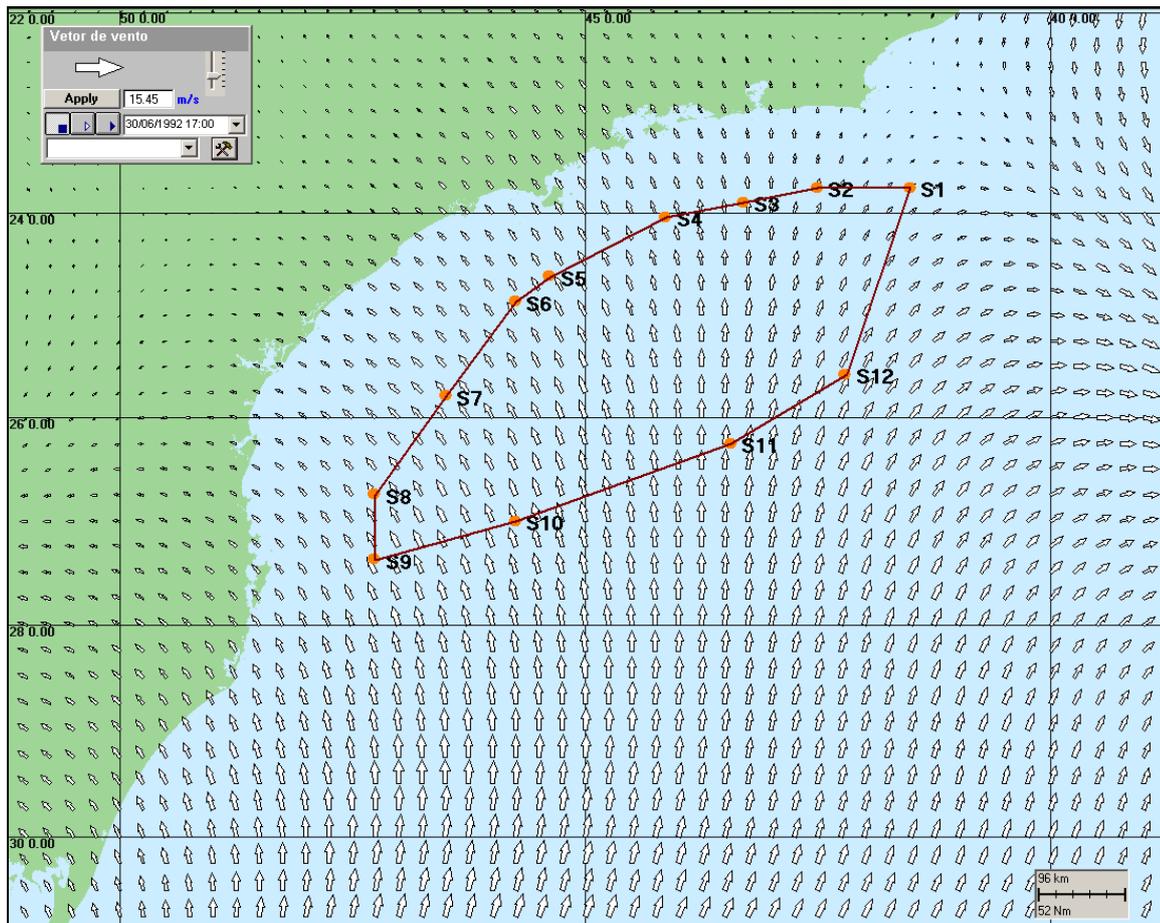
**Figura IV-1** - Grade definindo os contornos de terra (grade land-water) para a modelagem de deriva de óleo, com o zoom para a região da AGBS.

## IV.1.2 Dados de Vento

Para a modelagem de deriva de óleo foi utilizado um conjunto de dados de vento variável no tempo e no espaço, proveniente de Reanálise do NCEP/NCAR. Estes dados têm originalmente uma resolução espacial de  $2,5^\circ$  (aproximadamente 111.120,00 km). Para o presente trabalho estes dados foram re-interpolados espacialmente resultando numa grade com resolução de 24 km. As figuras IV-2 e IV-3 ilustram exemplos de instantâneos do campo de vento resultante do tratamento acima descrito. A figura IV-2 ilustra um instante típico de verão, já a figura IV-3 ilustra a chegada de um sistema frontal à região, mais freqüente no inverno.



**Figura IV-2** - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo na Área Geográfica Bacia de Santos (condição típica de verão).



**Figura IV-3** - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo na Área Geográfica Bacia de Santos (condição típica de inverno).

Os dados utilizados são referentes ao período de 1<sup>o</sup> de janeiro a 31 de dezembro de 1992. No Item II.1 são apresentadas análises dos ventos NCEP/NCAR realizadas pontualmente na AGBS. Para estas análises foi extraída uma série temporal na região referente à posição de latitude 25,7°S e longitude 43,1°W.

### IV.1.3 Pontos de Risco e Volumes

Em relação aos pontos a serem modelados, foram selecionados 12 pontos representativos ao longo do polígono da Área Geográfica Bacia de Santos (figura I-1 do Item I.1), sendo o principal critério desta seleção a proximidade com relação aos polos que compõem a AGBS. Em termos de proximidade da costa, foram incluídos 4 pontos na porção ocidental. Desta forma, os Pontos S-1 a S-3 foram associados ao Polo Uruguá, o Ponto S-4 ao Polo Mexilhão, os Pontos S-5 e S-6 ao Polo Merluza, os Pontos S-7 a S-10 ao Polo Sul e os Pontos S-11 e S-12 ao Polo Pré-sal.

A tabela IV-1 lista os pontos de modelagem, suas coordenadas geográficas (SAD-69) e lâmina d'água local (m).

**Tabela IV-1** - Coordenadas (SAD 69) dos pontos de risco que delimitam a Área Geográfica Bacia de Santos.

PONTOS	LATITUDE	LONGITUDE	LÂMINA D'ÁGUA (m)
S-1	23°45'00,00"S	41°30'00,00"W	198,0
S-2	23°45'00,00"S	42°30'00,00"W	398,0
S-3	23°53'44,30"S	43°18'01,10"W	179,0
S-4	24°02'30,00"S	44°07'30,00"W	152,0
S-5	24°37'30,00"S	45°22'30,00"W	80,0
S-6	24°52'30,00"S	45°45'00,00"W	95,0
S-7	25°47'48,00"S	46°29'38,50"W	144,0
S-8	26°45'00,00"S	47°15'00,00"W	128,0
S-9	27°22'30,00"S	47°15'00,00"W	197,0
S-10	27°00'00,00"S	45°45'00,00"W	2.005,0
S-11	26°27'49,98"S	42°25'37,28"W	2.248,0
S-12	24°39'09,06"S	40°59'28,34"W	2.400,0

Fonte: PETROBRAS.

Os volumes utilizados nas simulações foram definidos segundo a Resolução CONAMA<sup>13</sup> nº 398/08 (Brasil, 2008) como pequeno (8,0 m<sup>3</sup>), médio (200,0 m<sup>3</sup>) e

<sup>13</sup> Conselho Nacional do Meio Ambiente.

pior caso. Os volumes de pior caso utilizados foram definidos como aquele correspondente à perda de controle de poços (*blowout*) por 30 dias ( $VBO_{30 \text{ dias}}$ ).

Para a determinação das características físico-químicas dos óleos e dos volumes correspondentes à perda de controle (*blowout*) dos poços da AGBS, foram utilizados os dados disponíveis obtidos dos relatórios gerados a partir dos testes de formação destes poços. Para maiores detalhes, consultar o Anexo 3 deste relatório.

A tabela IV-2 apresenta as vazões de pior caso adotadas nas simulações, para cada subregião da AGBS, além dos volumes de *blowout* adotados e poços amostrados.

**Tabela IV-2** - Dados utilizados na modelagem de dispersão de óleo para a Área Geográfica Bacia de Santos.

Sub-região	Denominação	Poços amostrados*	Pontos de Modelagem	Grau API dos óleos (API)	Volumes a Blowout m <sup>3</sup> /dia
<b>A</b>	Polo Uruguá	Campo de Uruguá Poço RJS-621	1,2,3	32,21	2.000,0
<b>B</b>	Polo Mexilhão	Campo de Mexilhão Poço MXL-2H	4	47,2	400,0
<b>C</b>	Polo Merluza	Campo de Merluza Poço MLZ-3D	5,6	51,87	55,0
<b>D</b>	Polo Sul	Campo Cavalo Marinho Poço SCS-10A	7,8,9,10	41,0	1.900,0
<b>E</b>	Polo Pré-sal	Área de Guará Poço SPS - 55	11,12	28,4	5.200,0

\*Fonte: Relatório interno Petrobras do teste de formação de cada poço.

Salienta-se que, para o Polo Merluza, no qual o volume de *blowout* por 30 dias (1.650 m<sup>3</sup>) é inferior ao volume de óleo diesel marítimo estocado em uma unidade (6.000 m<sup>3</sup>), foram realizadas simulações tanto com o condensado que ocorre neste polo como com óleo diesel marítimo.

Nas simulações com volume de pior caso (*blowout*), o derrame de todo o volume foi considerado contínuo ao longo de 30 dias. Nas simulações de derramamento de óleo diesel marítimo, associadas ao afundamento da unidade de perfuração, o derrame de todo o volume foi considerado instantâneo.

#### IV.1.4 Características dos Produtos Utilizados

Com base nas informações disponíveis para a área em estudo foram realizadas simulações com os óleos que ocorrem nas subregiões da Área Geográfica Bacia de Santos, além de óleo diesel marítimo, conforme apresentado no Anexo 3.

A tabela IV-2 sumariza os valores de densidade dos óleos considerados no estudo e as tabelas IV-3 a IV-8 apresentam as características físico-químicas adotadas nas simulações.

**Tabela IV-3 - Características do óleo tipo RJS-621 (Polo Uruguá).**

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	RJS-621
Grau API	32,21
Densidade a 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	0,864
Viscosidade dinâmica a 25°C (cP)	33,00
Tensão interfacial (din/cm)	30,00
Ponto de ebulição inicial (k)	384,20 K
Gradiente da curva de evaporação	494,21
Constante de evaporação A	8,00
Constante de evaporação B	12,55

Fonte: PETROBRAS/ASA.

**Tabela IV-4 - Características do óleo tipo MXL-2H (Polo Mexilhão).**

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	MXL-2H
Grau API	47,20
Densidade a 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	0,791
Viscosidade dinâmica a 25°C (cP)	2,34
Tensão interfacial (din/cm)	3,80
Ponto de ebulição inicial (k)	350,00
Gradiente da curva de evaporação	350,00
Constante de evaporação A	9,60
Constante de evaporação B	12,90

Fonte: PETROBRAS/ASA.

**Tabela IV-5 - Características do condensado tipo MZL-3D (Polo Merluza).**

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	MZL-3D
Grau API	51,87
Densidade a 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	0,771
Viscosidade dinâmica a 25°C (cP)	0,56
Tensão interfacial (din/cm)	18,40
Ponto de ebulição inicial (k)	390,00
Gradiente da curva de evaporação	100,00
Constante de evaporação A	15,40
Constante de evaporação B	15,80

Fonte: PETROBRAS/ASA.

**Tabela IV-6 - Características do óleo tipo Óleo Diesel Marítimo (Polo Merluza).**

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	Óleo Diesel Marítimo
Densidade a 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	0,869
Viscosidade dinâmica a 25°C (cP)	1,15
Tensão interfacial (din/cm)	20,00
Ponto de ebulição inicial (k)	453,77
Gradiente da curva de evaporação	241,32
Constante de evaporação A	15,99
Constante de evaporação B	16,25

Fonte: ASA.

**Tabela IV-7 - Características do óleo tipo SCS-10A (Polo Sul).**

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	SCS-10A
Grau API	41,00
Densidade a 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	0,820
Viscosidade dinâmica a 25°C (cP)	33,00
Tensão interfacial (din/cm)	30,00
Ponto de ebulição inicial (k)	384,20
Gradiente da curva de evaporação	494,21
Constante de evaporação A	8,00
Constante de evaporação B	12,55

Fonte: PETROBRAS/ASA.

**Tabela IV-8 - Características do óleo tipo SPS-55 (Polo Pré-Sal).**

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	SPS-55
Grau API	28,40
Densidade a 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	0,885
Viscosidade dinâmica a 25°C (cP)	32,85
Tensão interfacial (din/cm)	35,00
Ponto de ebulição inicial (k)	458,70
Gradiente da curva de evaporação	682,80
Constante de evaporação A	6,20
Constante de evaporação B	11,84

Fonte: PETROBRAS/ASA.

## IV.2 CRITÉRIOS DE PARADA ADOTADOS NAS SIMULAÇÕES

O critério de parada adotado nas simulações foi o tempo de 30 dias após o final do vazamento, conforme definido na Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA nº 02/09 (IBAMA, 2009).

Nos casos de derrames com volume de pior caso por *blowout* (derrame contínuo por 30 dias), a duração das simulações foi de 60 dias. Nas simulações com derrames de volume pequeno, médio e pior caso com diesel marítimo (derrames instantâneos), a duração das simulações foi de 30 dias.

## IV.3 RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS PARA A ÁREA GEOGRÁFICA BACIA DE SANTOS

As simulações probabilísticas foram realizadas através da variação aleatória do momento de início do derrame dentro do período para o qual foi elaborado o modelo hidrodinâmico (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 600 simulações em cada cenário probabilístico.

O número de simulações foi definido para cobrir a variabilidade das forçantes ambientais, tendo como base testes com o volume de pior caso nos quais cenários probabilísticos foram rodados aumentando-se o número de simulações até que não houvesse mais variação significativa nos resultados.

Vale ressaltar que as modelagens estocásticas devem considerar feições conhecidas para a região de interesse, e tem sido verificado que a melhor maneira de preservar todas as variabilidades temporais e espaciais existentes, é a escolha de um ano que represente estas feições de forma típica ou extrema. Sugere-se que a escolha do ano seja baseada no estudo estatístico de uma série longa de vento de reanálise para a região de interesse; este estudo deve permitir identificar a intensidade média e a ocorrência de fenômenos em escala sinótica (como a passagem de sistemas frontais) para cada ano. O ano escolhido pode ser um ano típico ou extremo (se a modelagem tiver um caráter conservativo).

Algumas metodologias desenvolvidas para a construção de séries estocásticas de 1 ano de variáveis ambientais, como a apresentada por Elliot (2004), fundamenta-se na reprodução da variabilidade temporal da série de vento, mas assume que o campo de ventos é uniforme. Esta simplificação não permite uma caracterização apropriada dos fenômenos em escala sinótica; a simulação do campo de correntes e da dispersão do óleo durante o deslocamento de um sistema frontal, por exemplo, ficaria prejudicada se não fosse considerada a variação espacial do campo de ventos. Ainda que se considere outra metodologia, que permita a construção de campos de ventos estocásticos não uniformes, não se acredita que um campo construído estatisticamente ofereça alguma vantagem em relação à utilização de um campo datado, escolhido a partir de critérios estatísticos, que contemple de forma realista todas as variabilidades existentes.

Da tabela IV-9 a tabela IV-13 são apresentados os cenários simulados neste estudo para cada subregião da AGBS.

**Tabela IV-9 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames no Polo Uruguá com óleo tipo RJS-621.**

CENÁRIO	PRODUTO (ÓLEO)	VOLUME DE DERRAME (m <sup>3</sup> )	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO DE SIMULAÇÃO
S-1_RJS-621_VER_8_30D	RJS-621	8,0	Verão	30 dias
S-1_RJS-621_VER_200_30D	RJS-621	200,0	Verão	30 dias
S-1_RJS-621_VER_PC_60D	RJS-621	60.000,0	Verão	60 dias
S-2_RJS-621_VER_8_30D	RJS-621	8,0	Verão	30 dias
S-2_RJS-621_VER_200_30D	RJS-621	200,0	Verão	30 dias
S-2_RJS-621_VER_PC_60D	RJS-621	60.000,0	Verão	60 dias
S-3_RJS-621_VER_8_30D	RJS-621	8,0	Verão	30 dias
S-3_RJS-621_VER_200_30D	RJS-621	200,0	Verão	30 dias
S-3_RJS-621_VER_PC_60D	RJS-621	60.000,0	Verão	60 dias
S-1_RJS-621_INV_8_30D	RJS-621	8,0	Inverno	30 dias
S-1_RJS-621_INV_200_30D	RJS-621	200,0	Inverno	30 dias
S-1_RJS-621_INV_PC_60D	RJS-621	60.000,0	Inverno	60 dias
S-2_RJS-621_INV_8_30D	RJS-621	8,0	Inverno	30 dias
S-2_RJS-621_INV_200_30D	RJS-621	200,0	Inverno	30 dias
S-2_RJS-621_INV_PC_60D	RJS-621	60.000,0	Inverno	60 dias
S-3_RJS-621_INV_8_30D	RJS-621	8,0	Inverno	30 dias
S-3_RJS-621_INV_200_30D	RJS-621	200,0	Inverno	30 dias
S-3_RJS-621_INV_PC_60D	RJS-621	60.000,0	Inverno	60 dias

**Tabela IV-10 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames no Polo Mexilhão com óleo tipo MXL-2H.**

CENÁRIO	PRODUTO (ÓLEO)	VOLUME DE PIOR CASO (m <sup>3</sup> )	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO DE SIMULAÇÃO
S-4_MXL2HP_VER_8_30D	MXL-2H	8,0	Verão	30 dias
S-4_MXL2HP_VER_200_30D	MXL-2H	200,0	Verão	30 dias
S-4_MXL2HP_VER_PC_60D	MXL-2H	12.000,0	Verão	60 dias
S-4_MXL2HP_INV_8_30D	MXL-2H	8,0	Inverno	30 dias
S-4_MXL2HP_INV_200_30D	MXL-2H	200,0	Inverno	30 dias
S-4_MXL2HP_INV_PC_60D	MXL-2H	12.000,0	Inverno	60 dias

**Tabela IV-11 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames no Polo Merluza com o condensado tipo MLZ-3D.**

CENÁRIO	PRODUTO (CONDENSADO)	VOLUME DE PIOR CASO (m <sup>3</sup> )	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO DE SIMULAÇÃO
S-5_MLZ3D_VER_8_30D	MLZ-3D	8,0	Verão	30 dias
S-5_MLZ3D_VER_200_30D	MLZ-3D	200,0	Verão	30 dias
S-5_MLZ3D_VER_PC_60D	MLZ-3D	1.650,0	Verão	60 dias
S-6_MLZ3D_VER_8_30D	MLZ-3D	8,0	Verão	30 dias
S-6_MLZ3D_VER_200_30D	MLZ-3D	200,0	Verão	30 dias
S-6_MLZ3D_VER_PC_60D	MLZ-3D	1.650,0	Verão	60 dias
S-5_MLZ3D_INV_8_30D	MLZ-3D	8,0	Inverno	30 dias
S-5_MLZ3D_INV_200_30D	MLZ-3D	200,0	Inverno	30 dias
S-5_MLZ3D_INV_PC_60D	MLZ-3D	1.650,0	Inverno	60 dias
S-6_MLZ3D_INV_8_30D	MLZ-3D	8,0	Inverno	30 dias
S-6_MLZ3D_INV_200_30D	MLZ-3D	200,0	Inverno	30 dias
S-6_MLZ3D_INV_PC_60D	MLZ-3D	1.650,0	Inverno	60 dias

**Tabela IV-12 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames no Polo Merluza com óleo diesel marítimo.**

CENÁRIOS	PRODUTO	VOLUME DE PIOR CASO (m <sup>3</sup> )*	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO DE SIMULAÇÃO
S-5_DIESEL_VER_8_30D	óleo diesel marítimo	8,0	Verão	30 dias
S-5_DIESEL_VER_200_30D	óleo diesel marítimo	200,0	Verão	30 dias
S-5_DIESEL_VER_PC_30D	óleo diesel marítimo	6.000,0	Verão	30 dias
S-6_DIESEL_VER_8_30D	óleo diesel marítimo	8,0	Verão	30 dias
S-6_DIESEL_VER_200_30D	óleo diesel marítimo	200,0	Verão	30 dias
S-6_DIESEL_VER_PC_30D	óleo diesel marítimo	6.000,0	Verão	30 dias
S-5_DIESEL_INV_8_30D	óleo diesel marítimo	8,0	Inverno	30 dias
S-5_DIESEL_INV_200_30D	óleo diesel marítimo	200,0	Inverno	30 dias
S-5_DIESEL_INV_PC_30D	óleo diesel marítimo	6.000,0	Inverno	30 dias
S-6_DIESEL_INV_8_30D	óleo diesel marítimo	8,0	Inverno	30 dias
S-6_DIESEL_INV_200_30D	óleo diesel marítimo	200,0	Inverno	30 dias
S-6_DIESEL_INV_PC_30D	óleo diesel marítimo	6.000,0	Inverno	30 dias

**Tabela IV-13 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames no Polo Sul com óleo tipo SCS-10A.**

CENÁRIOS	PRODUTO	VOLUME DE DERRAME (m <sup>3</sup> )	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO DE SIMULAÇÃO
S-7_SCS10A_VER_8_30D	SCS-10A	8,0	Verão	30 dias
S-7_SCS10A_VER_200_30D	SCS-10A	200,0	Verão	30 dias
S-7_SCS10A_VER_PC_60D	SCS-10A	57.000,0	Verão	60 dias
S-8_SCS10A_VER_8_30D	SCS-10A	8,0	Verão	30 dias
S-8_SCS10A_VER_200_30D	SCS-10A	200,0	Verão	30 dias
S-8_SCS10A_VER_PC_60D	SCS-10A	57.000,0	Verão	60 dias
S-9_SCS10A_VER_8_30D	SCS-10A	8,0	Verão	30 dias
S-9_SCS10A_VER_200_30D	SCS-10A	200,0	Verão	30 dias
S-9_SCS10A_VER_PC_60D	SCS-10A	57.000,0	Verão	60 dias
S-10_SCS10A_VER_8_30D	SCS-10A	8,0	Verão	30 dias
S-10_SCS10A_VER_200_30D	SCS-10A	200,0	Verão	30 dias
S-10_SCS10A_VER_PC_60D	SCS-10A	57.000,0	Verão	60 dias
S-7_SCS10A_INV_8_30D	SCS-10A	8,0	Inverno	30 dias
S-7_SCS10A_INV_200_30D	SCS-10A	200,0	Inverno	30 dias
S-7_SCS10A_INV_PC_60D	SCS-10A	57.000,0	Inverno	60 dias
S-8_SCS10A_INV_8_30D	SCS-10A	8,0	Inverno	30 dias
S-8_SCS10A_INV_200_30D	SCS-10A	200,0	Inverno	30 dias
S-8_SCS10A_INV_PC_60D	SCS-10A	57.000,0	Inverno	60 dias
S-9_SCS10A_INV_8_30D	SCS-10A	8,0	Inverno	30 dias
S-9_SCS10A_INV_200_30D	SCS-10A	200,0	Inverno	30 dias
S-9_SCS10A_INV_PC_60D	SCS-10A	57.000,0	Inverno	60 dias
S-10_SCS10A_INV_8_30D	SCS-10A	8,0	Inverno	30 dias
S-10_SCS10A_INV_200_30D	SCS-10A	200,0	Inverno	30 dias
S-10_SCS10A_INV_PC_60D	SCS-10A	57.000,0	Inverno	60 dias

**Tabela IV-14 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames no Polo Pré-Sal com óleo tipo SPS-55.**

CENÁRIO	PRODUTO	VOLUME DE PIOR CASO (m <sup>3</sup> )	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO DE SIMULAÇÃO
S-11_SPS55_VER_8_30D	SPS-55	8,0	Verão	30 dias
S-11_SPS55_VER_200_30D	SPS-55	200,0	Verão	30 dias
S-11_SPS55_VER_PC_60D	SPS-55	156.000,0	Verão	60 dias
S-12_SPS55_VER_8_30D	SPS-55	8,0	Verão	30 dias
S-12_SPS55_VER_200_30D	SPS-55	200,0	Verão	30 dias
S-12_SPS55_VER_PC_60D	SPS-55	156.000,0	Verão	60 dias
S-11_SPS55_INV_8_30D	SPS-55	8,0	Inverno	30 dias
S-11_SPS55_INV_200_30D	SPS-55	200,0	Inverno	30 dias
S-11_SPS55_INV_PC_60D	SPS-55	156.000,0	Inverno	60 dias
S-12_SPS55_INV_8_30D	SPS-55	8,0	Inverno	30 dias
S-12_SPS55_INV_200_30D	SPS-55	200,0	Inverno	30 dias
S-12_SPS55_INV_PC_60D	SPS-55	156.000,0	Inverno	60 dias

## **V RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DE DERRAME DE ÓLEO**

Neste capítulo são apresentados os resultados das simulações probabilísticas e determinísticas críticas de potenciais derrames de óleo na área de estudo.

Cabe ressaltar que em nenhuma das simulações realizadas levou-se em consideração as ações provenientes de Planos de Contingência e Planos de Emergência.

Segundo o PT 133/10, como o domínio modelado já era muito extenso, cobrindo a costa brasileira desde o litoral fluminense até o Rio Grande do Sul, não seria necessário qualquer redimensionamento do domínio de modelagem. No presente relatório, mesmo se tratando de uma nova base hidrodinâmica, o limite sul desta foi mantido até o litoral do RS. Assim, as partículas cujas trajetórias excederam os limites sul da grade hidrodinâmica foram desconsideradas na apresentação dos resultados apresentados, a seguir.

### **V.1 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS**

O modelo OILMAP foi utilizado para simular os cenários descritos no Item IV.3 e produzir as curvas de contorno, demonstrando a probabilidade da presença de óleo em cada ponto da área de estudo. Para a melhor compreensão dos resultados obtidos, a apresentação dos mesmos foi dividida conforme os volumes de derrame simulados. Os resultados são apresentados a partir do Ponto S-1 no sentido anti-horário (figura I-1).

Cabe aqui ressaltar que em todas as ilustrações de contornos de probabilidade de óleo na água, apresentadas a seguir, 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%.

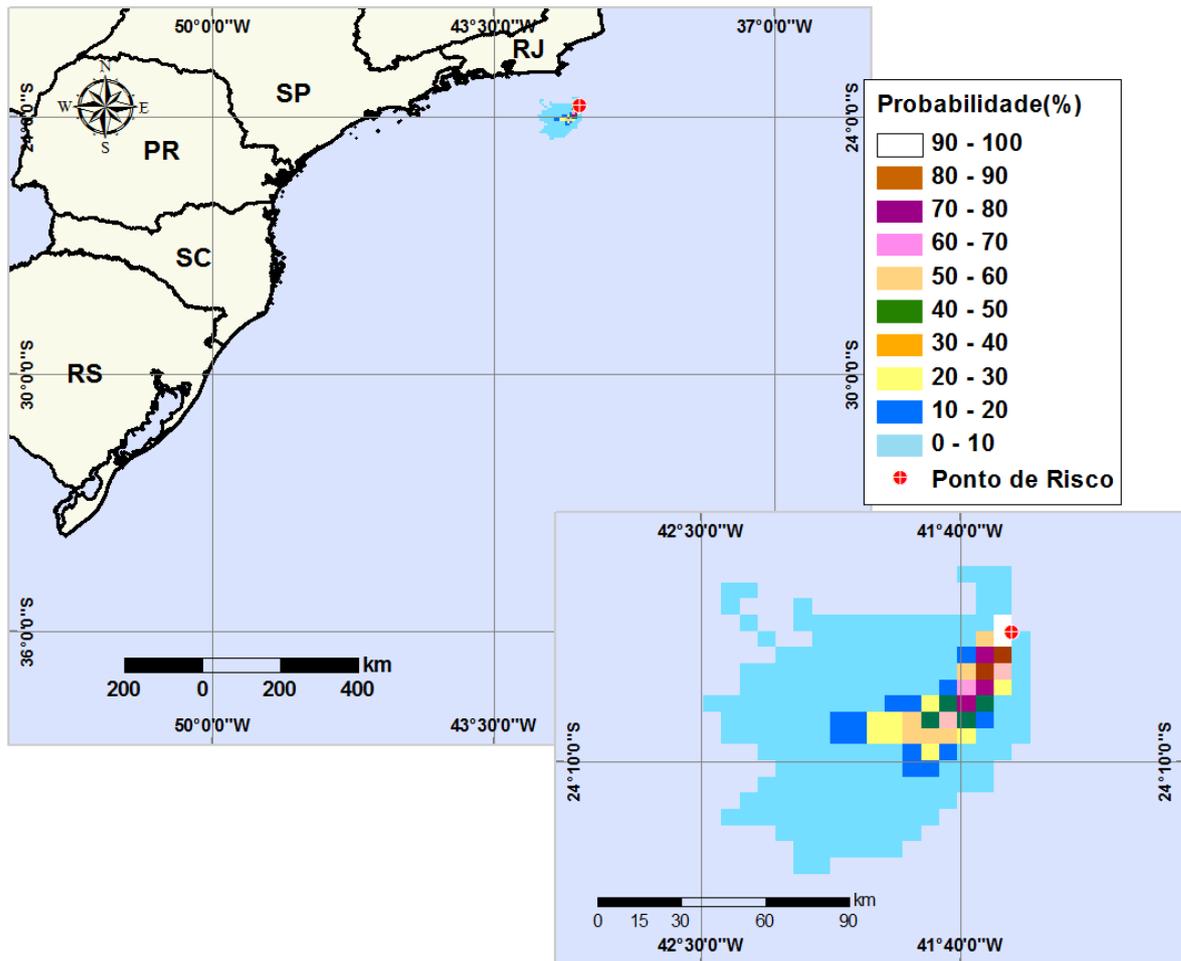
As ilustrações dos contornos de tempo correspondem ao tempo mínimo de deslocamento de óleo na água calculado (para cada posição da grade) entre todos os cenários determinísticos que compõem o cenário probabilístico. Nestas ilustrações são apresentados os tempos de 6, 12, 36, 48 e 60 horas após o início

do derrame, selecionados de acordo com o tempo máximo para a disponibilização de recursos de contenção/limpeza no local da ocorrência da descarga especificados na Resolução do CONAMA nº 398/08. Para tempos superiores a estes, foram selecionados intervalos que melhor se adequaram à visualização da evolução dos derrames na área de estudo. Uma vez que estas figuras representam a integração de todos os resultados obtidos para os 12 pontos de risco simulados, não é viável apresentar os tempos mínimos das simulações determinísticas, as figuras poderiam se tornar confusas com muitos intervalos de tempo diferentes; estes se encontram no Item V.2 deste capítulo. Os tempos mínimos por município, dentre todos os cenários simulados, são apresentados nas tabelas que seguem as figuras integradas apresentadas, a seguir.

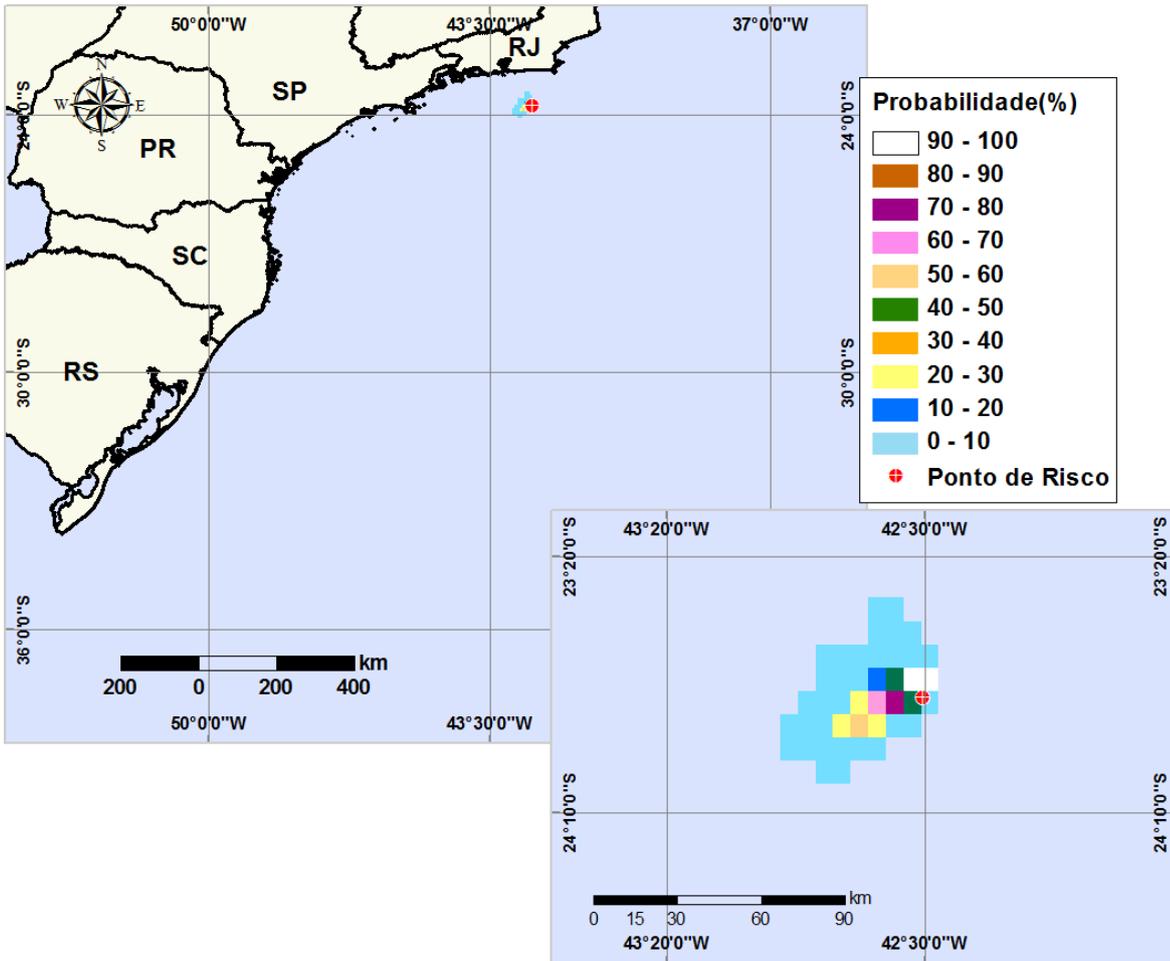
Neste estudo as escalas de cores adotadas foram selecionadas de forma a permitir uma melhor diferenciação dos intervalos de probabilidade e tempo escolhidos.

### ***V.1.1 Simulações Probabilísticas para o Volume de Derrame Pequeno***

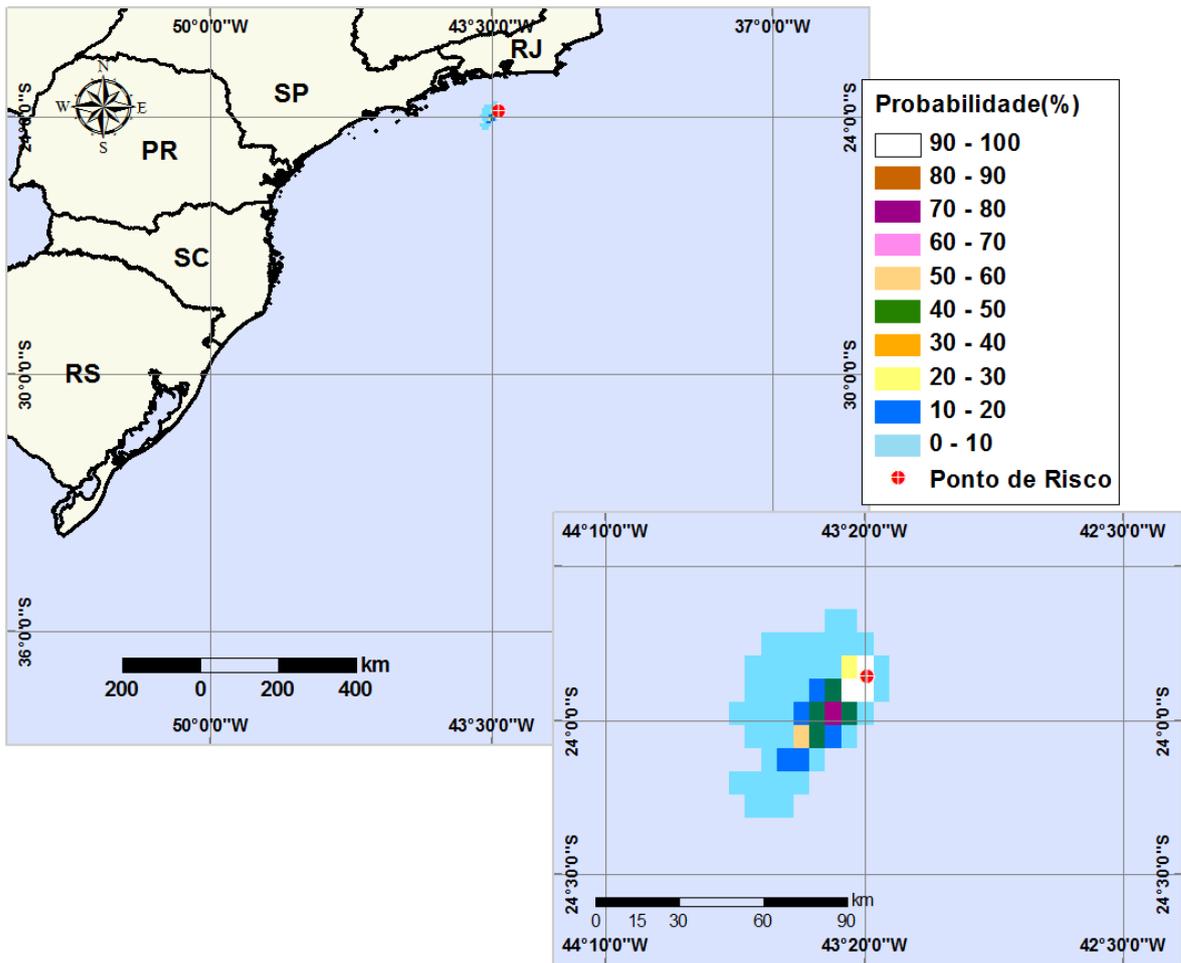
Na figura V-1 até a figura V-14 são apresentados os resultados das simulações probabilísticas para os 12 pontos de risco localizados na Área Geográfica Bacia de Santos, decorrentes potenciais acidentes com derrames de volume pequeno (8 m<sup>3</sup>), com diferentes tipos de óleo/condensado, durante os meses verão.



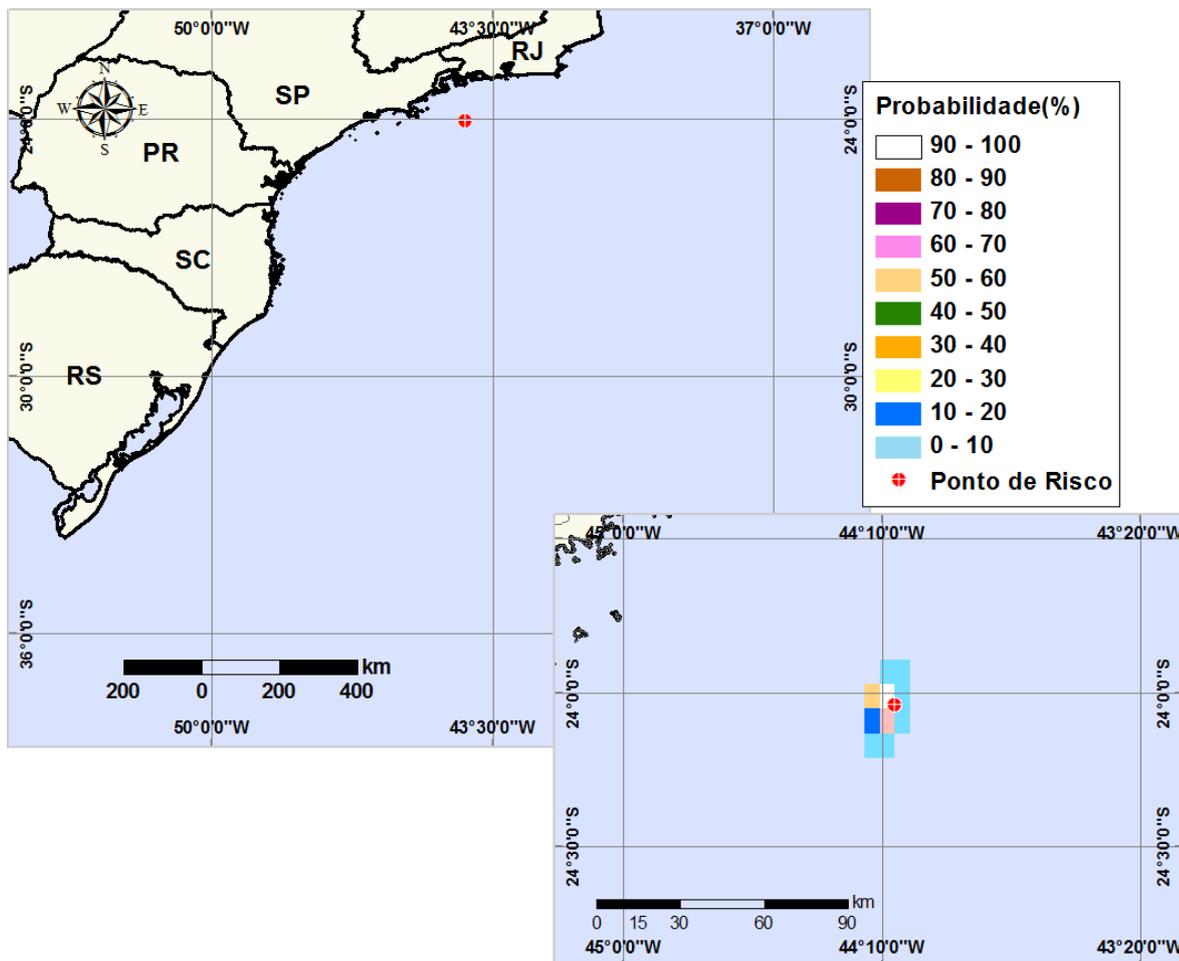
**Figura V-1** - Cenário S-1\_RJS-621\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-1 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



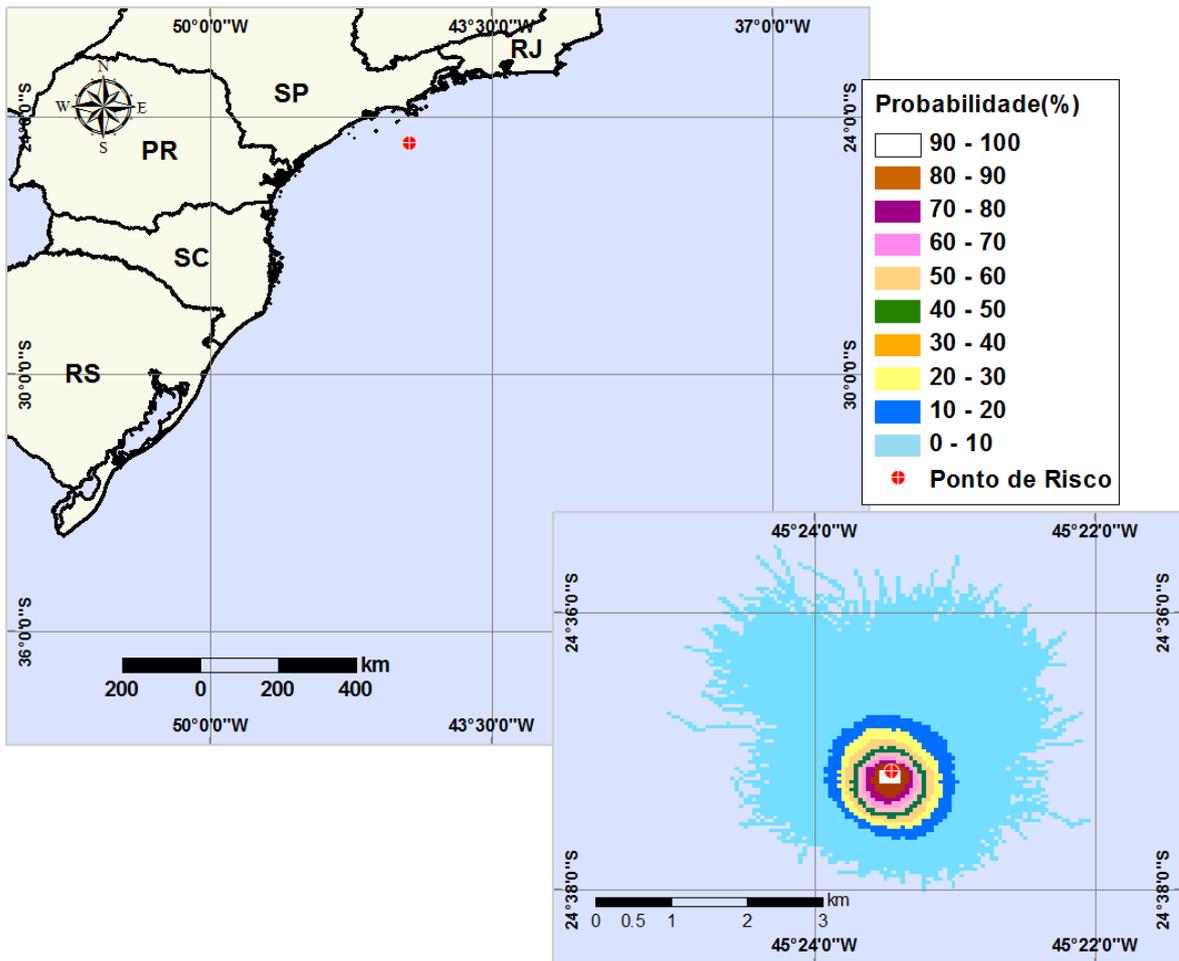
**Figura V-2** - Cenário S-2\_RJS-621\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-2 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



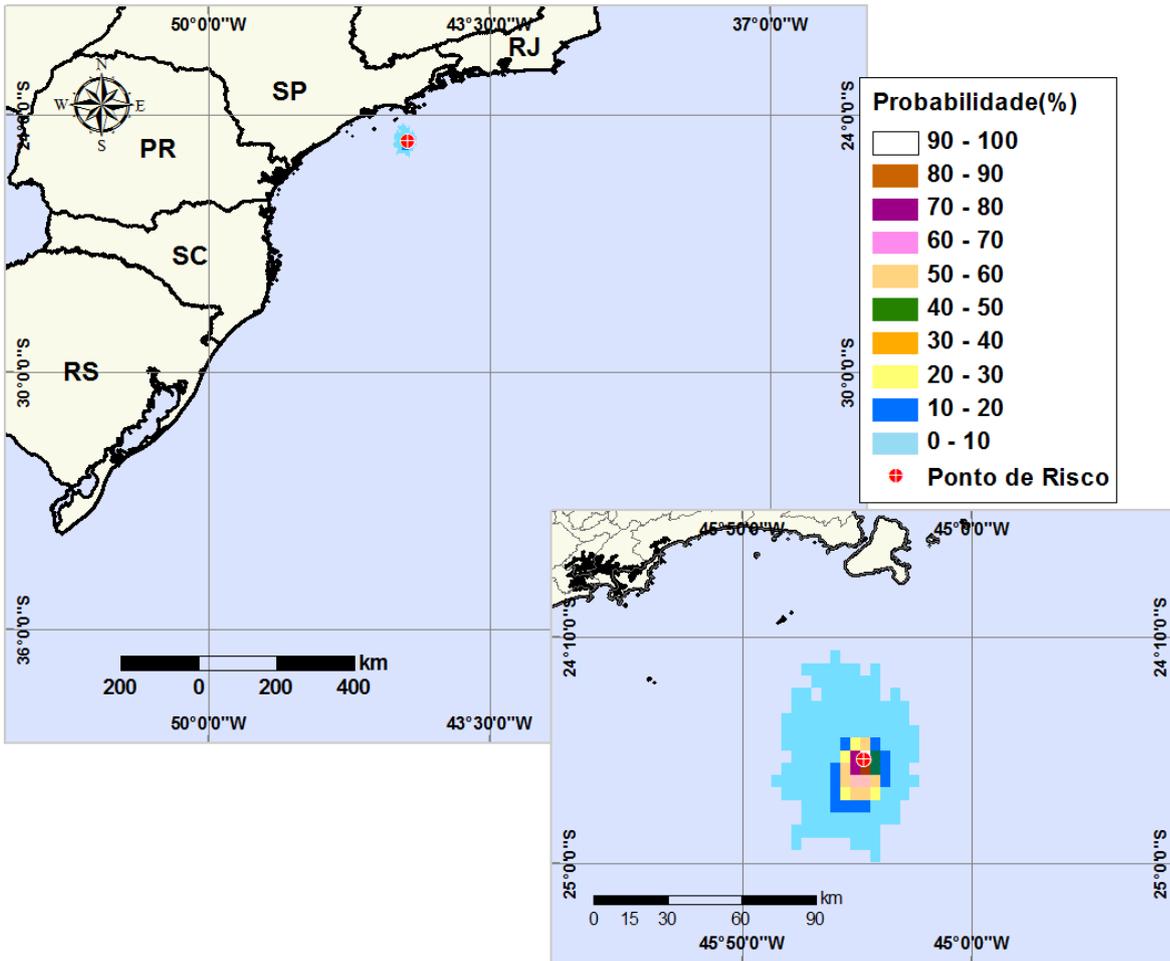
**Figura V-3** - Cenário S-3\_RJS-621\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-3 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



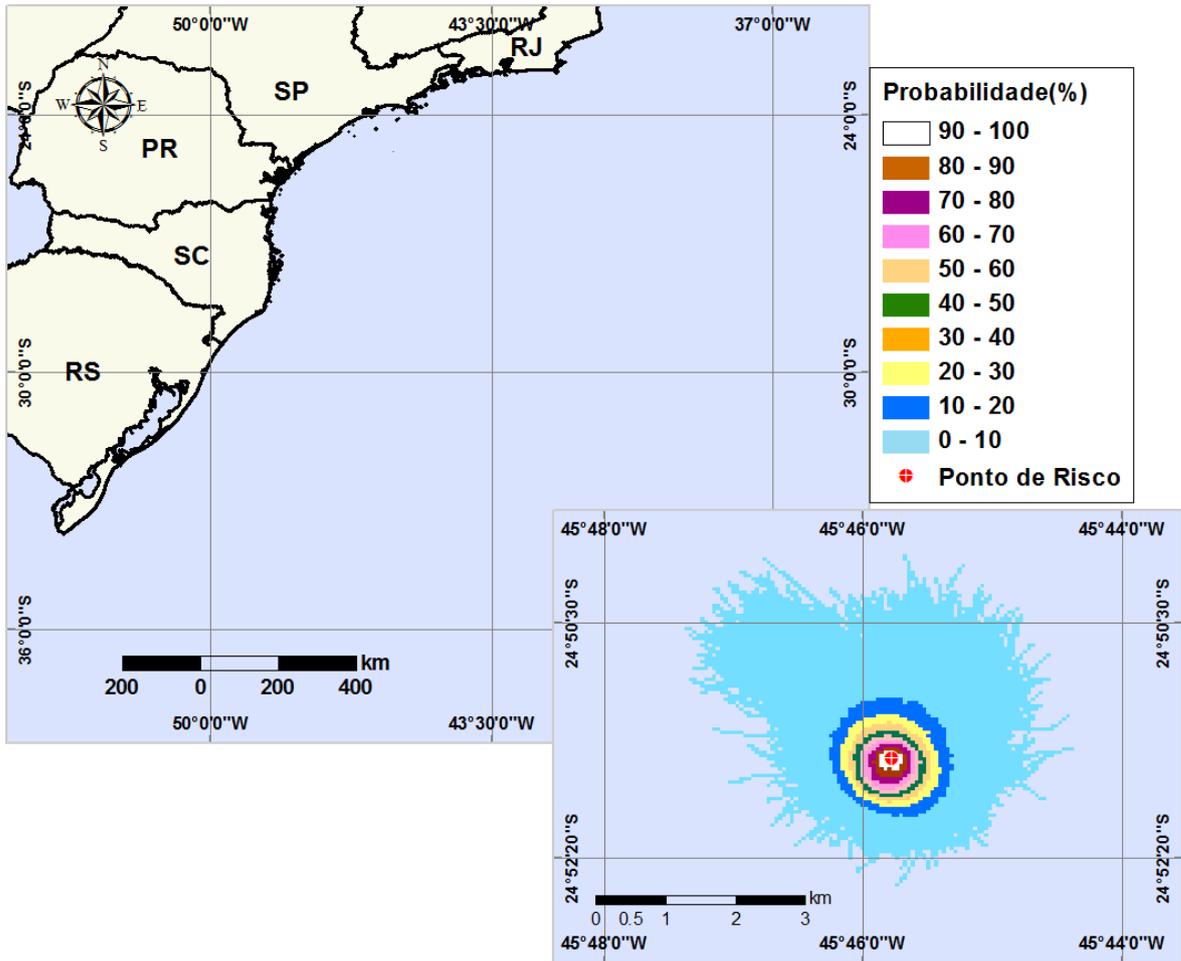
**Figura V-4** - Cenário S-4\_MXL-2H\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço MXL-2H, ocorrendo no Ponto S-4 (Polo Mexilhão), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



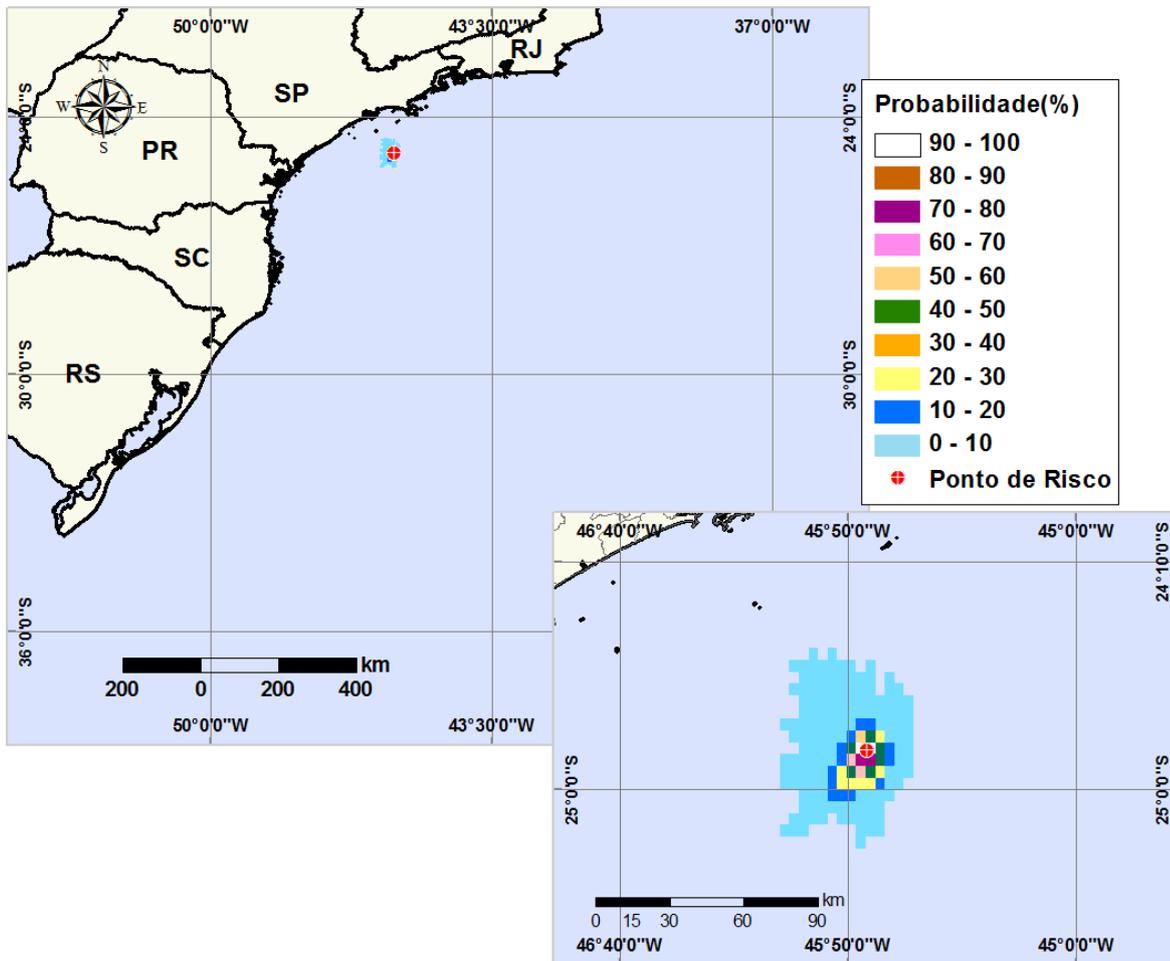
**Figura V-5** - Cenário S-5\_MLZ-3D\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



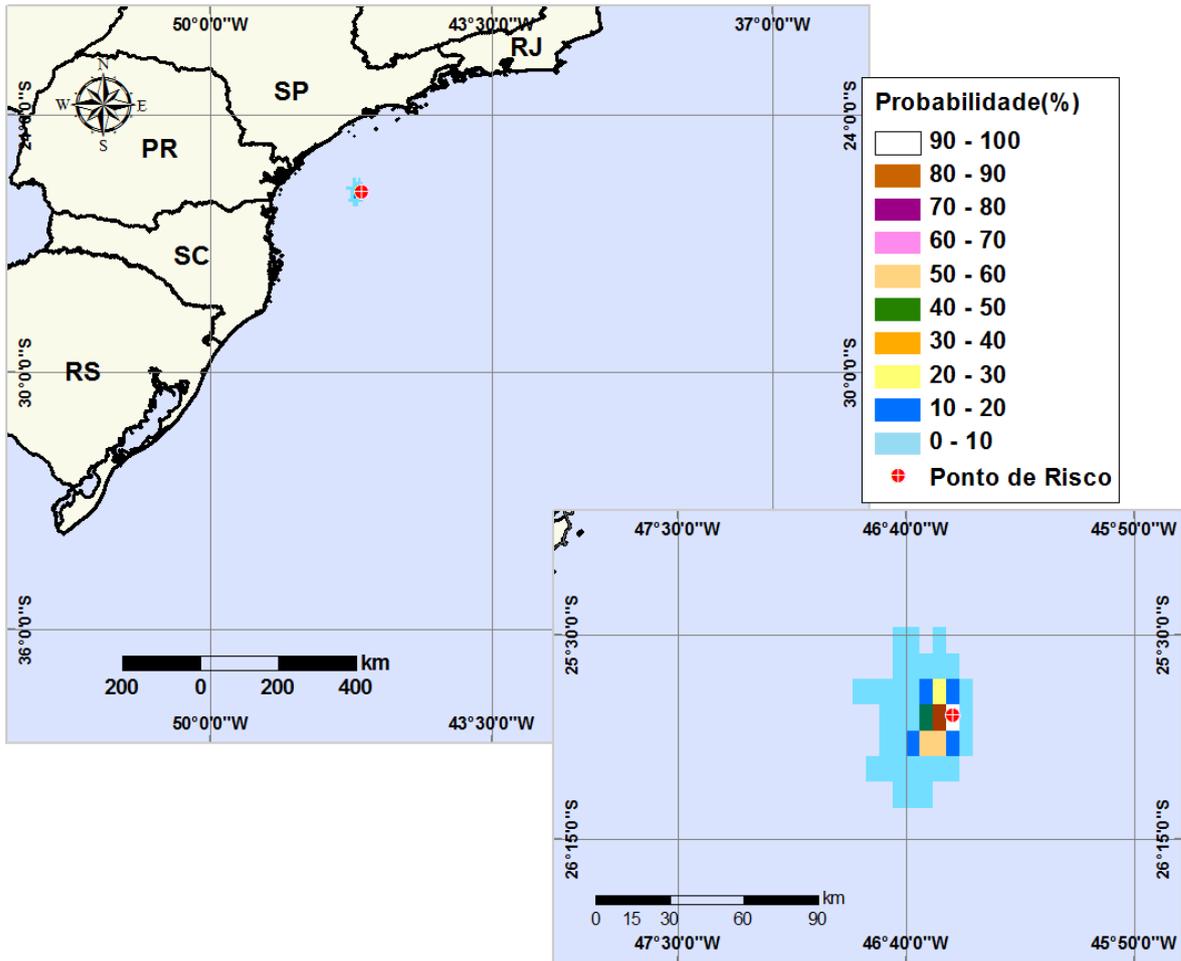
**Figura V-6** - Cenário S-5\_DIESEL\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



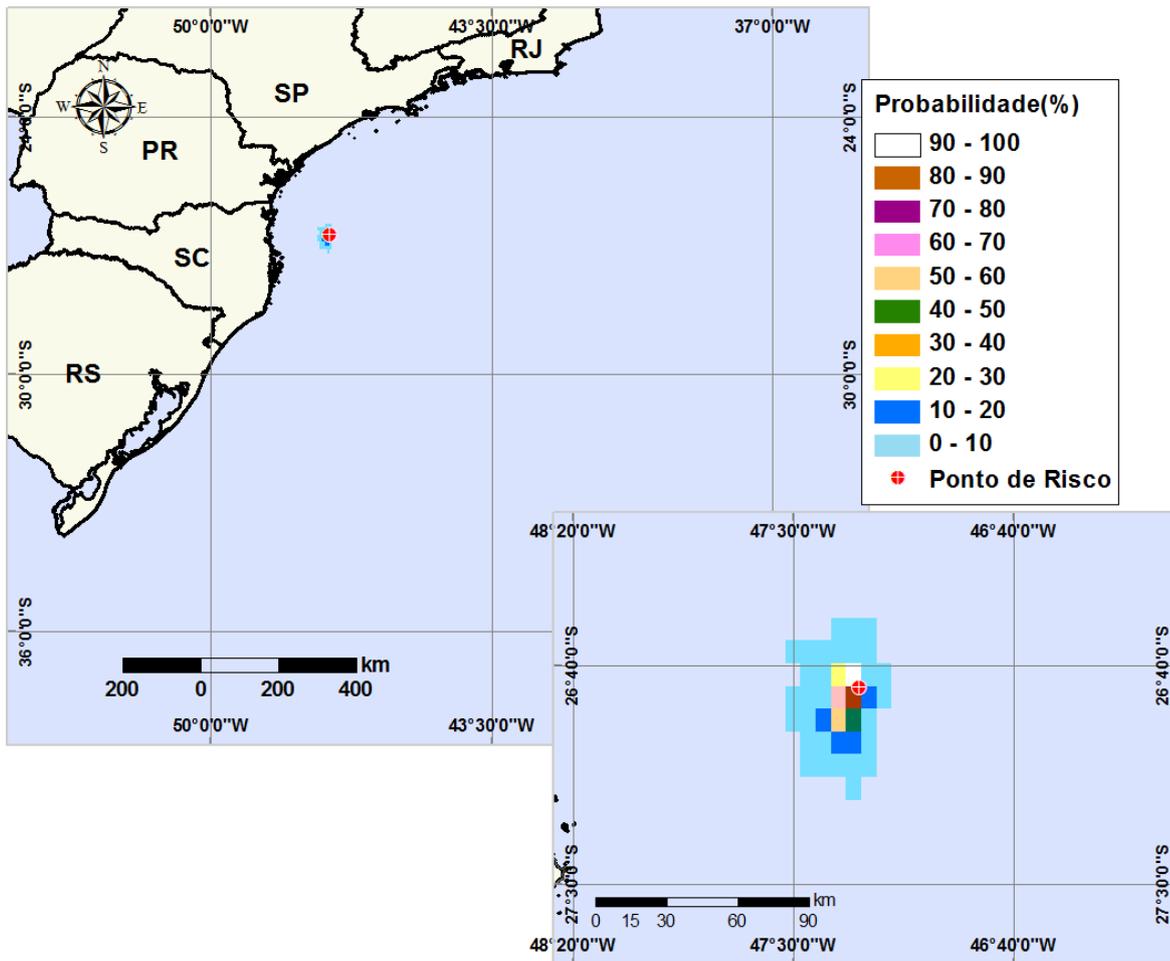
**Figura V-7 -** Cenário S-6\_MLZ-3D\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



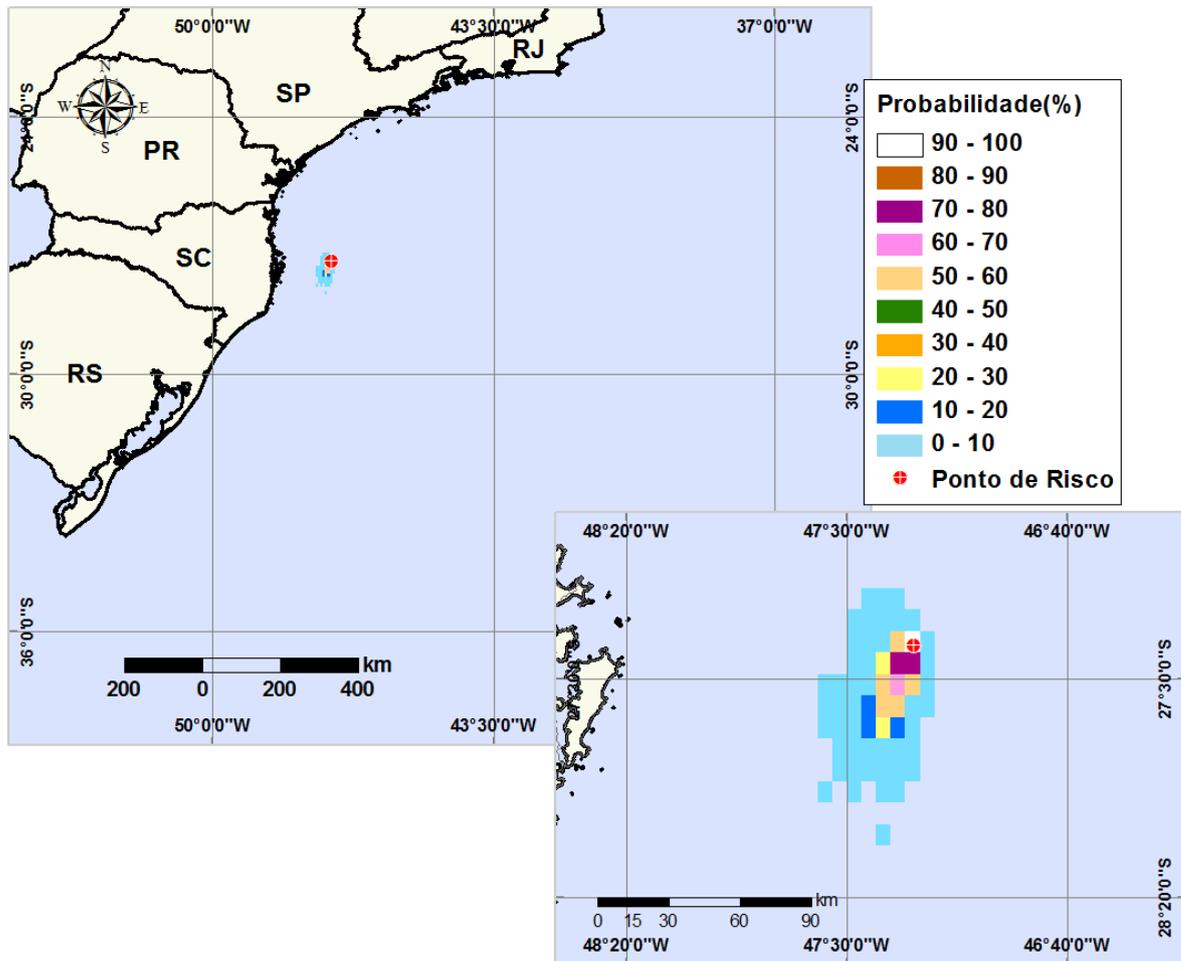
**Figura V-8** - Cenário S-6\_DIESEL\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



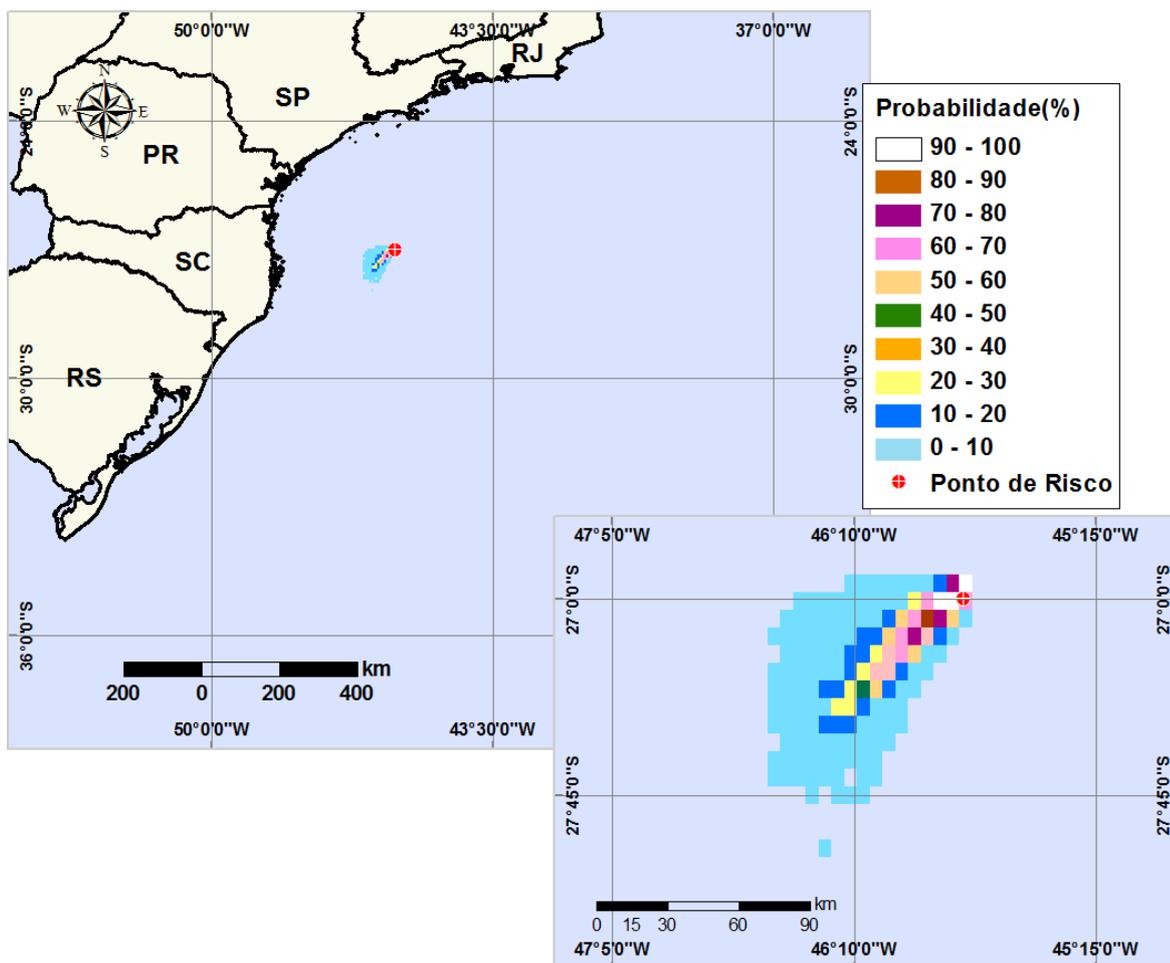
**Figura V-9** - Cenário S-7\_SCS10A\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-7 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



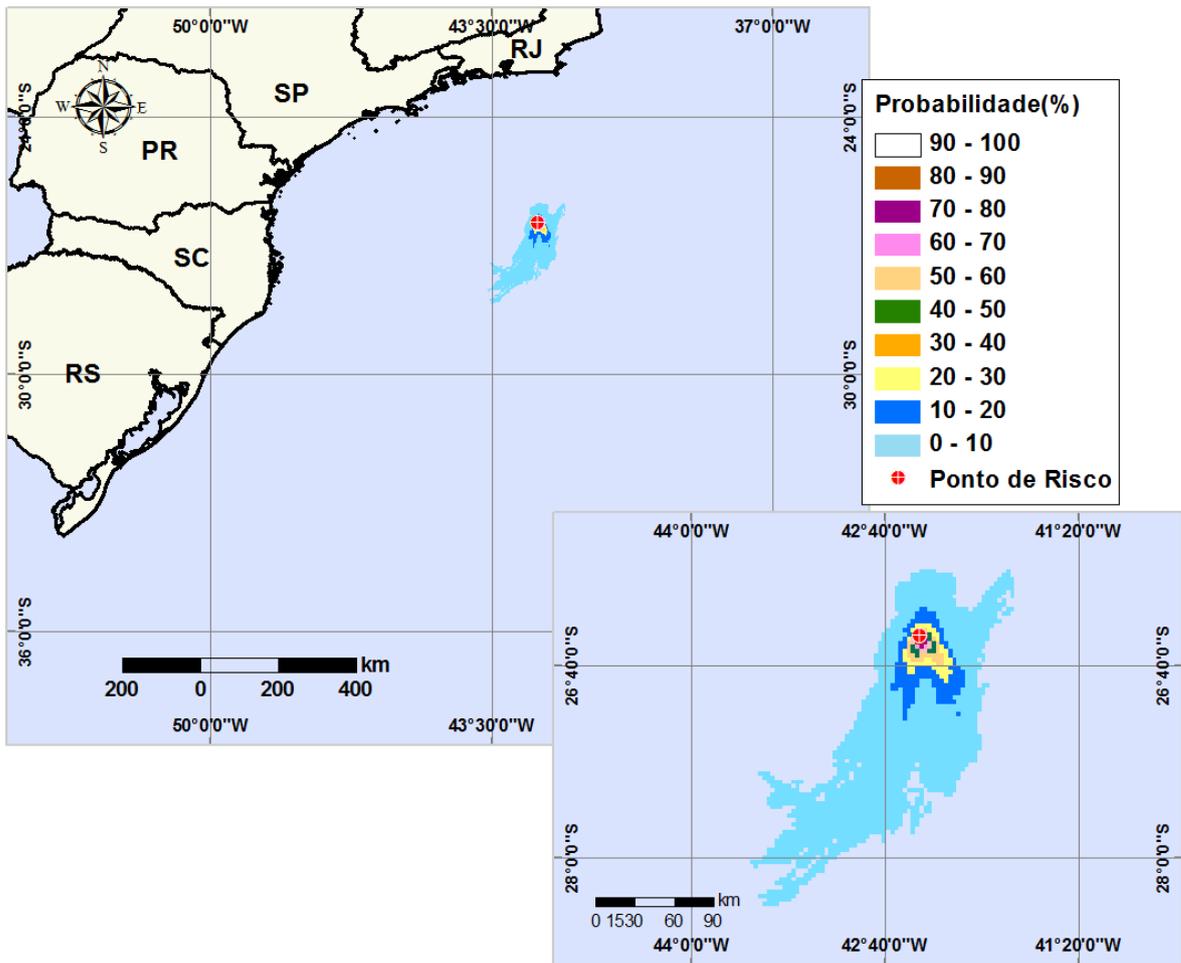
**Figura V-10** - Cenário S-8\_SCS10A\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-8 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



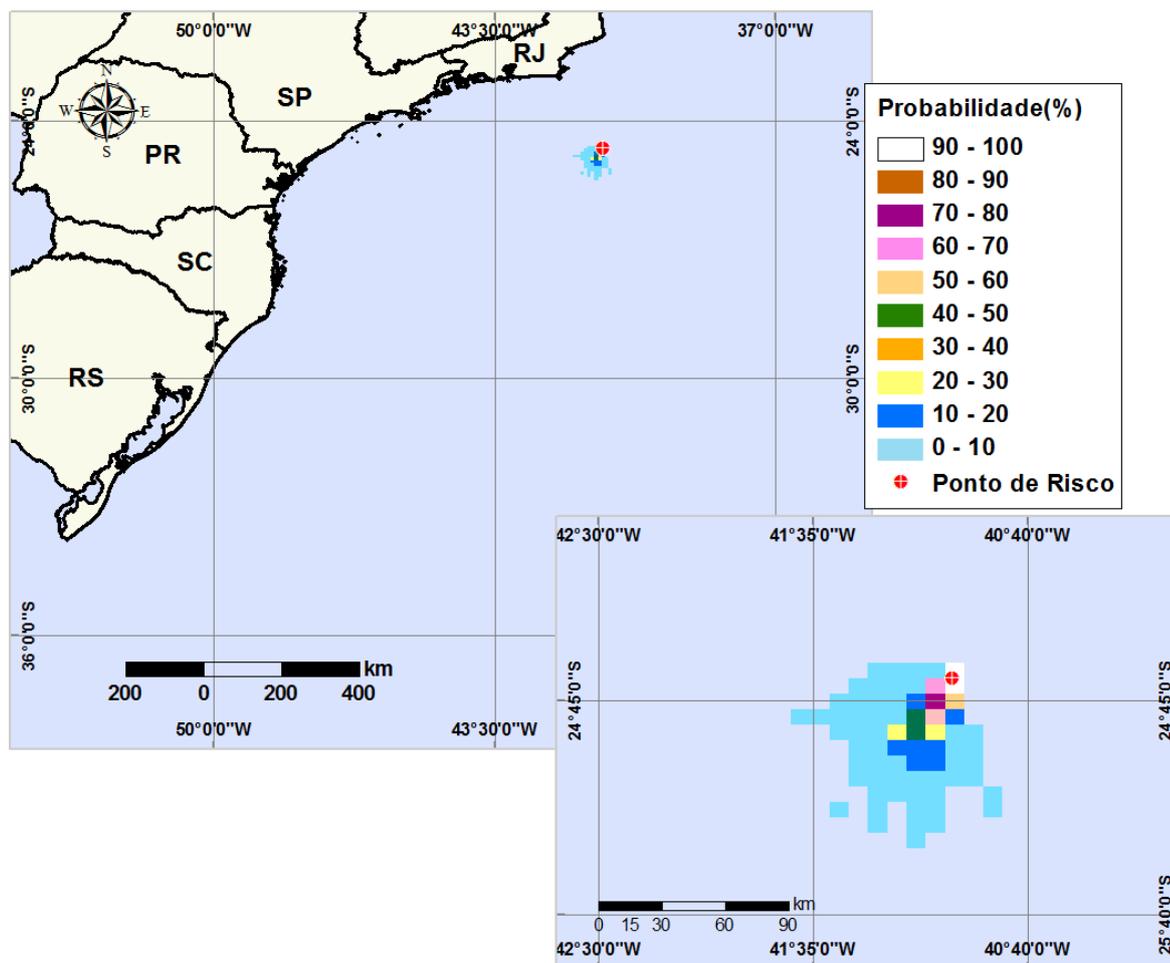
**Figura V-11** - Cenário S-9\_SCS10A\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-9 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



**Figura V-12** - Cenário S-10\_SCS10A\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-10 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

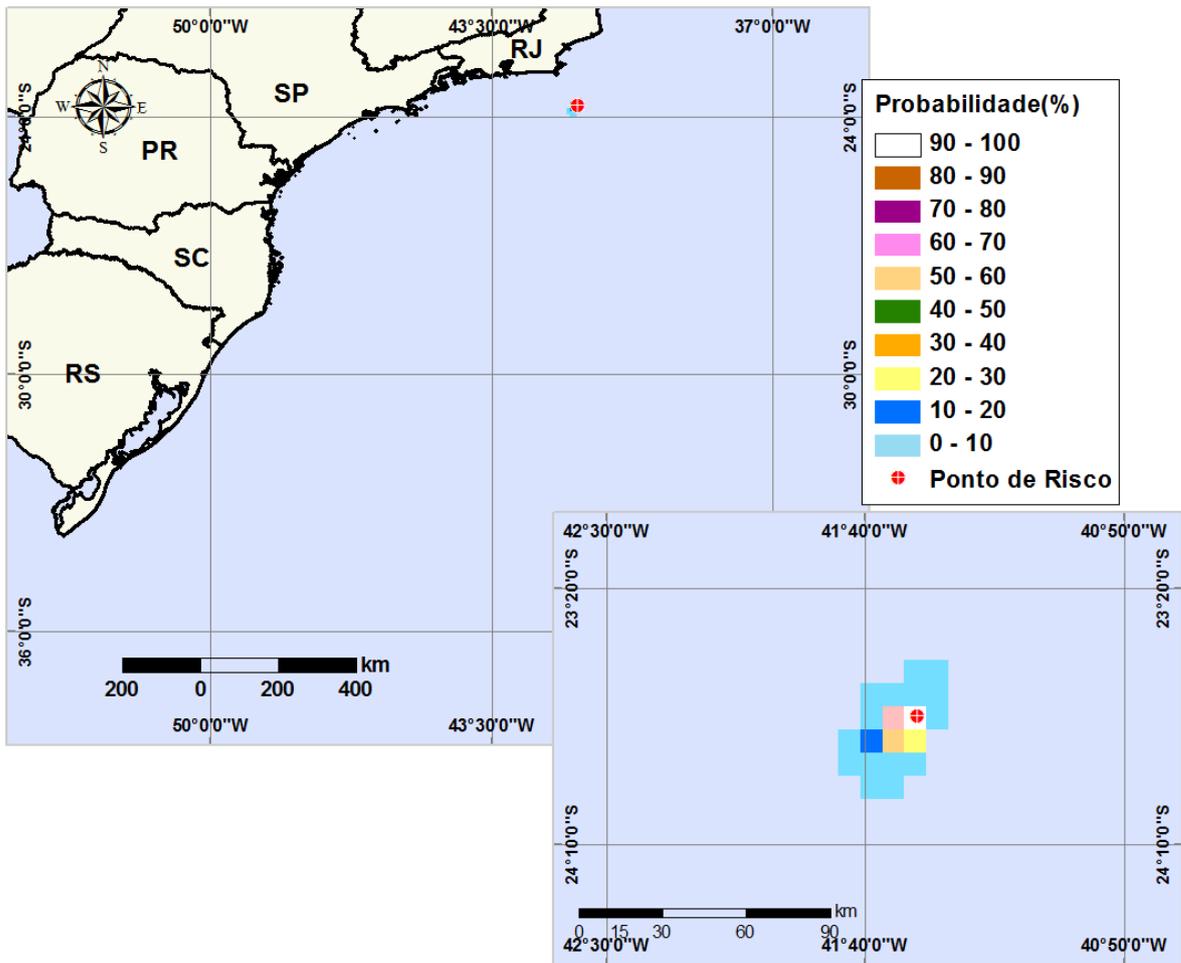


**Figura V-13** - Cenário S-11\_SPS-55\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-11 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

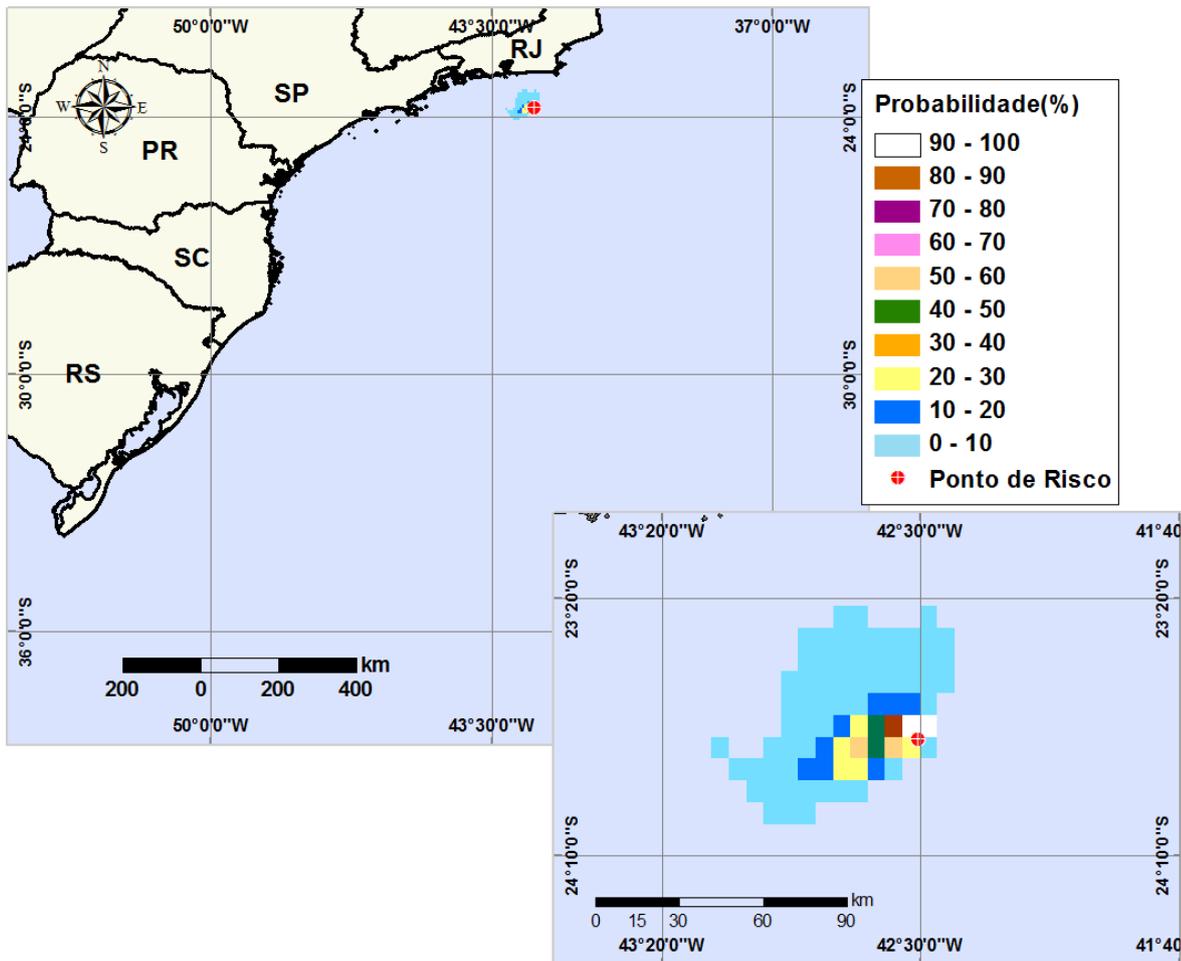


**Figura V-14** - Cenário S-12\_SPS-55\_VER\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-12 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

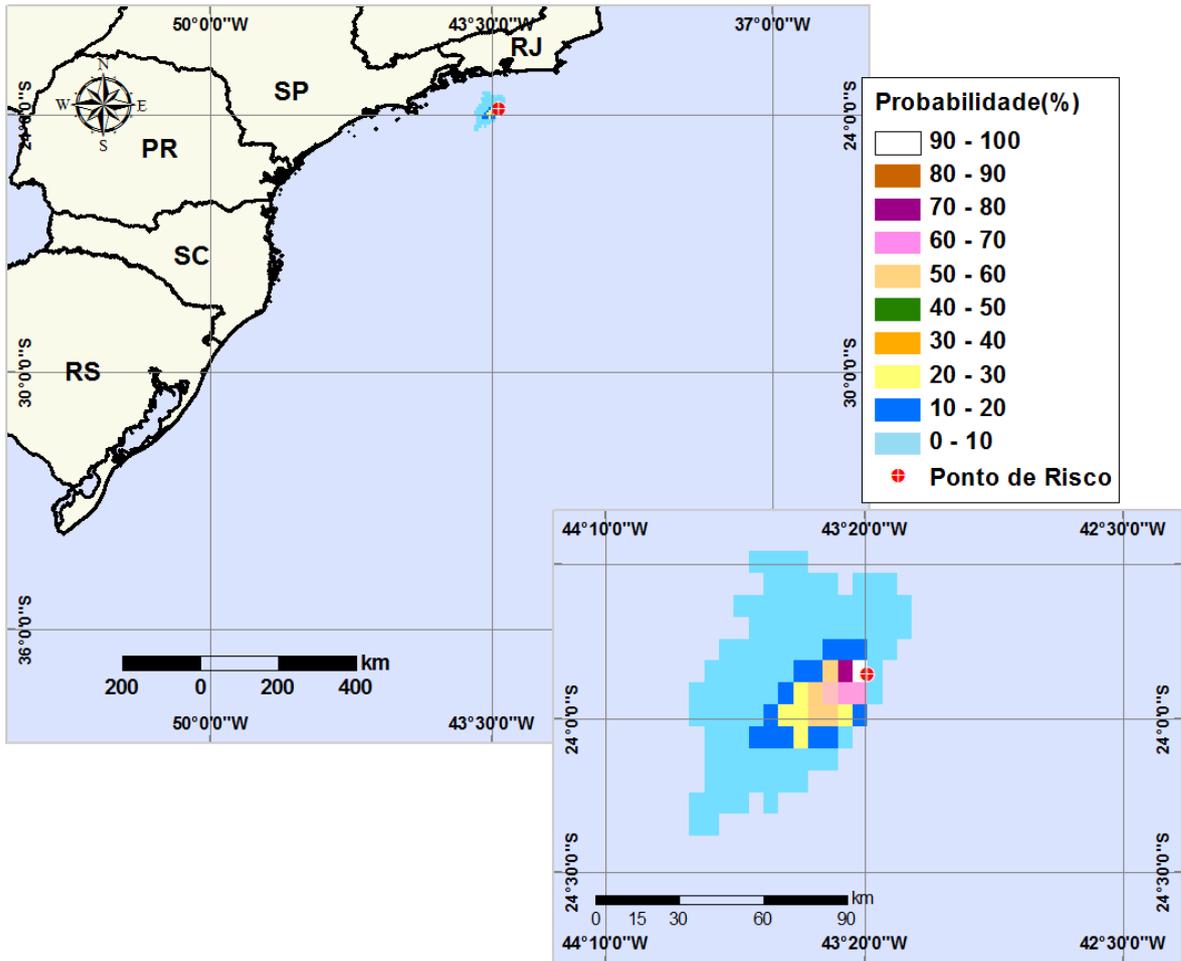
Da figura V-15 a figura V-28 são apresentados os resultados das simulações probabilísticas para os 12 pontos de risco localizados na Área Geográfica Bacia de Santos, decorrentes potenciais acidentes com derrames de volume pequeno (8 m<sup>3</sup>), com diferentes tipos de óleo/condensado durante os meses de inverno.



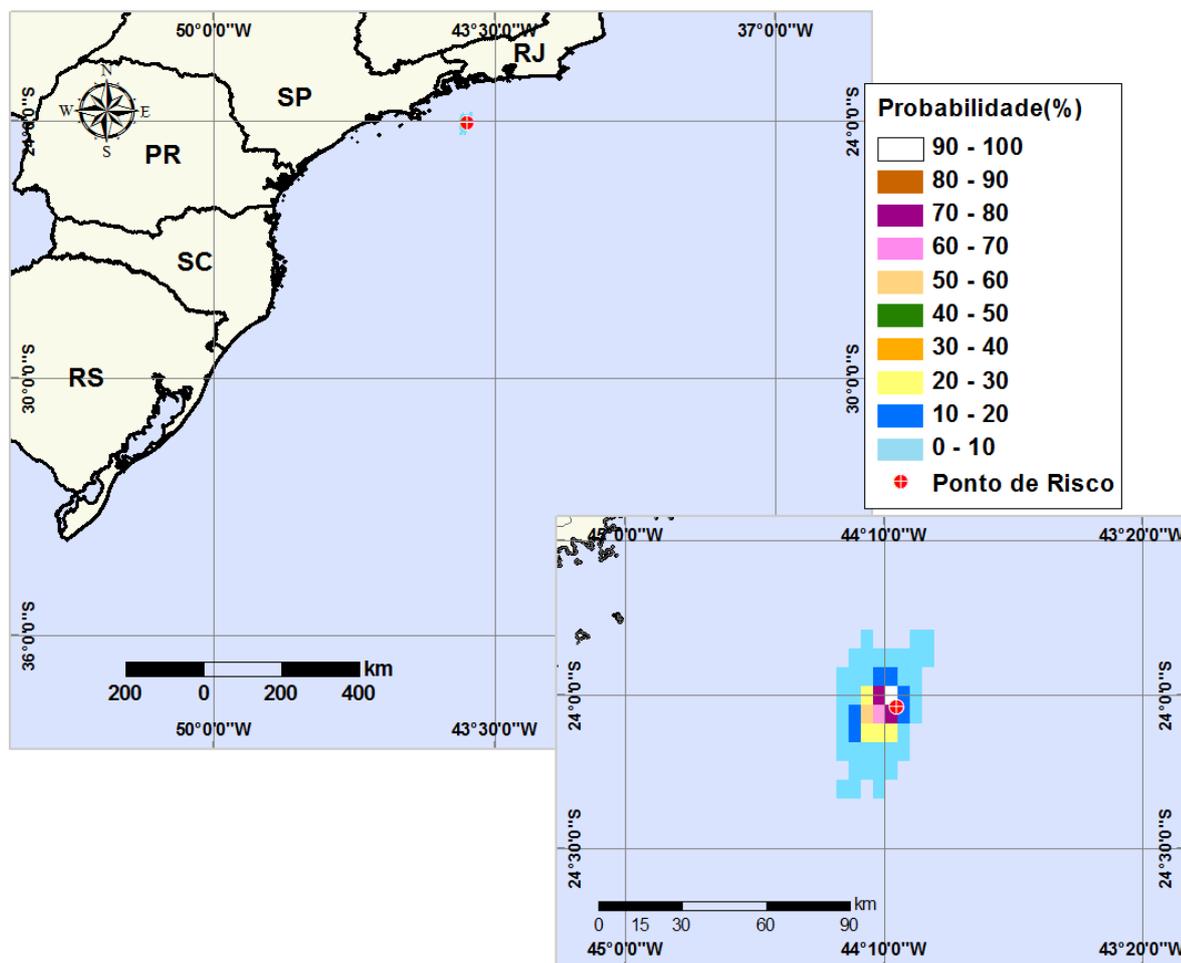
**Figura V-15 -** Cenário S-1\_RJS-621\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-1 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



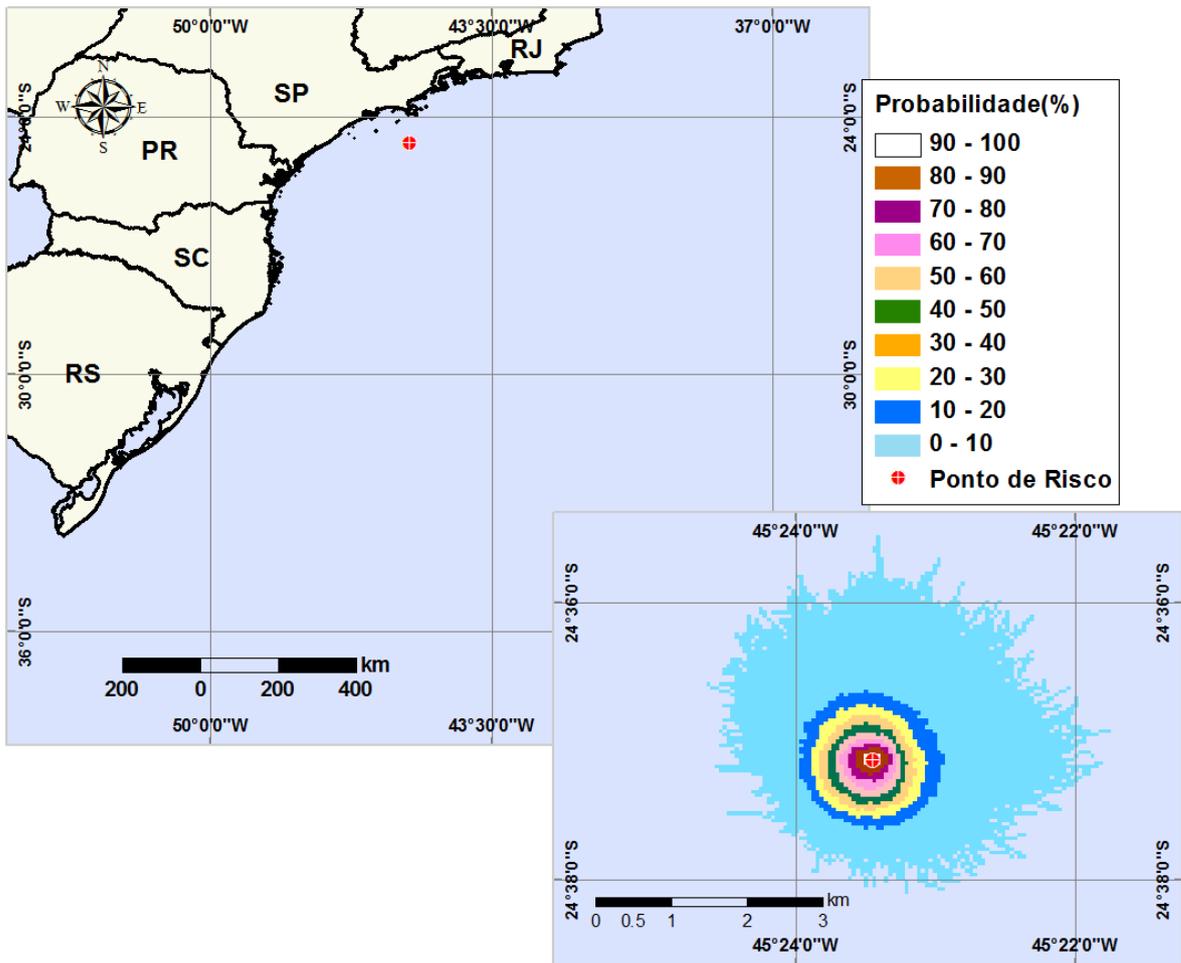
**Figura V-16** - Cenário S-2\_RJS-621\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-2 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



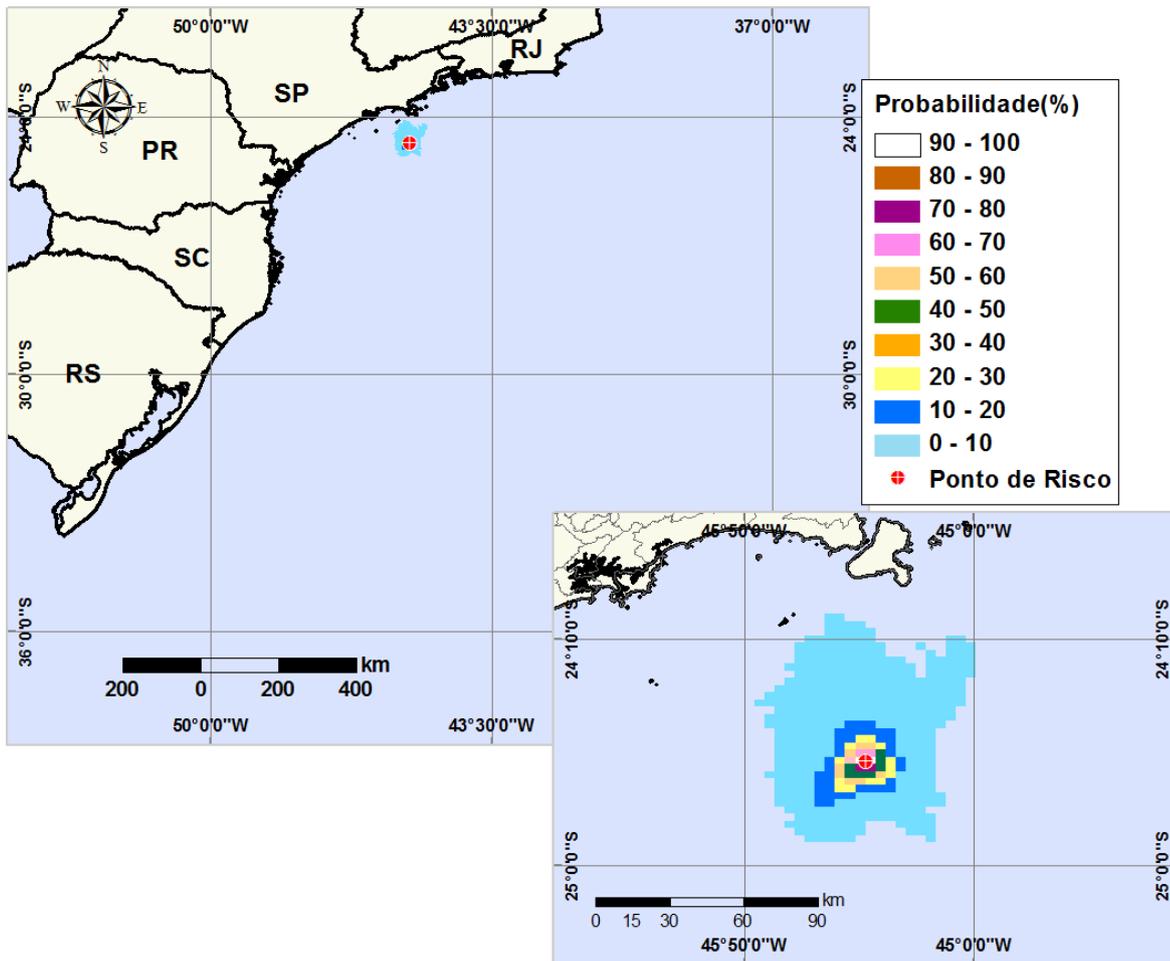
**Figura V-17** - Cenário S-3\_RJS-621\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-3 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



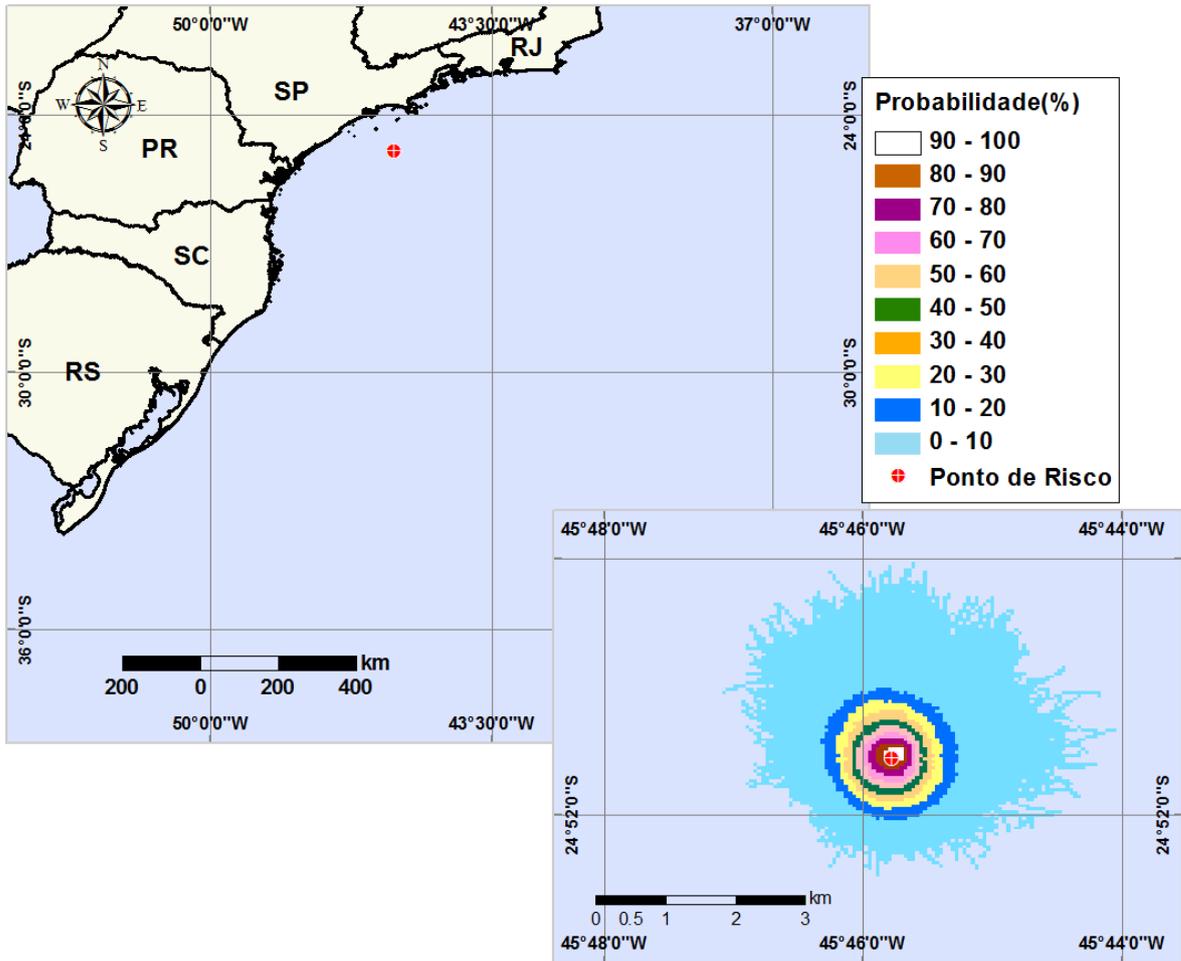
**Figura V-18** - Cenário S-4\_MXL-2H\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço MXL-2H, ocorrendo no Ponto S-4 (Polo Mexilhão), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



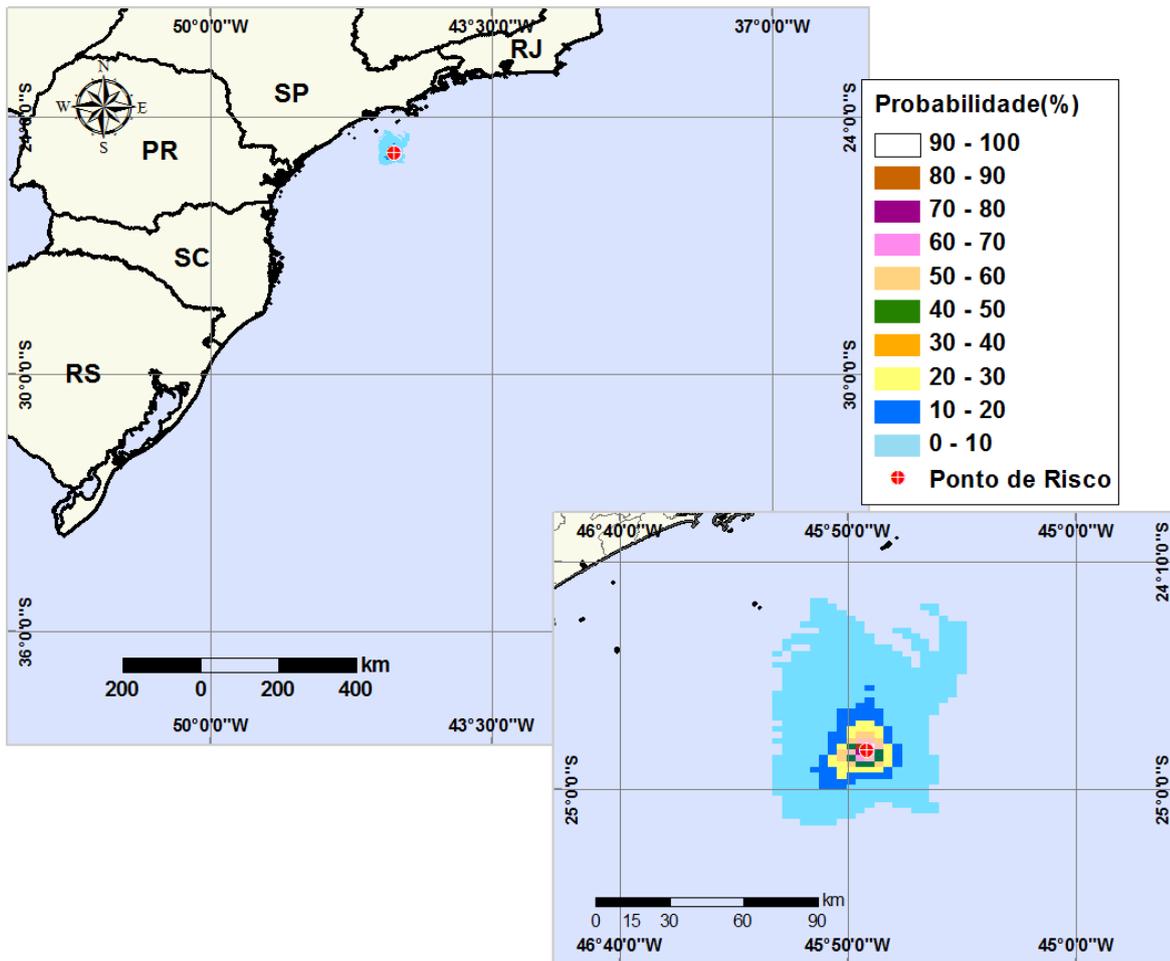
**Figura V-19** - Cenário S-5\_MLZ-3D\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



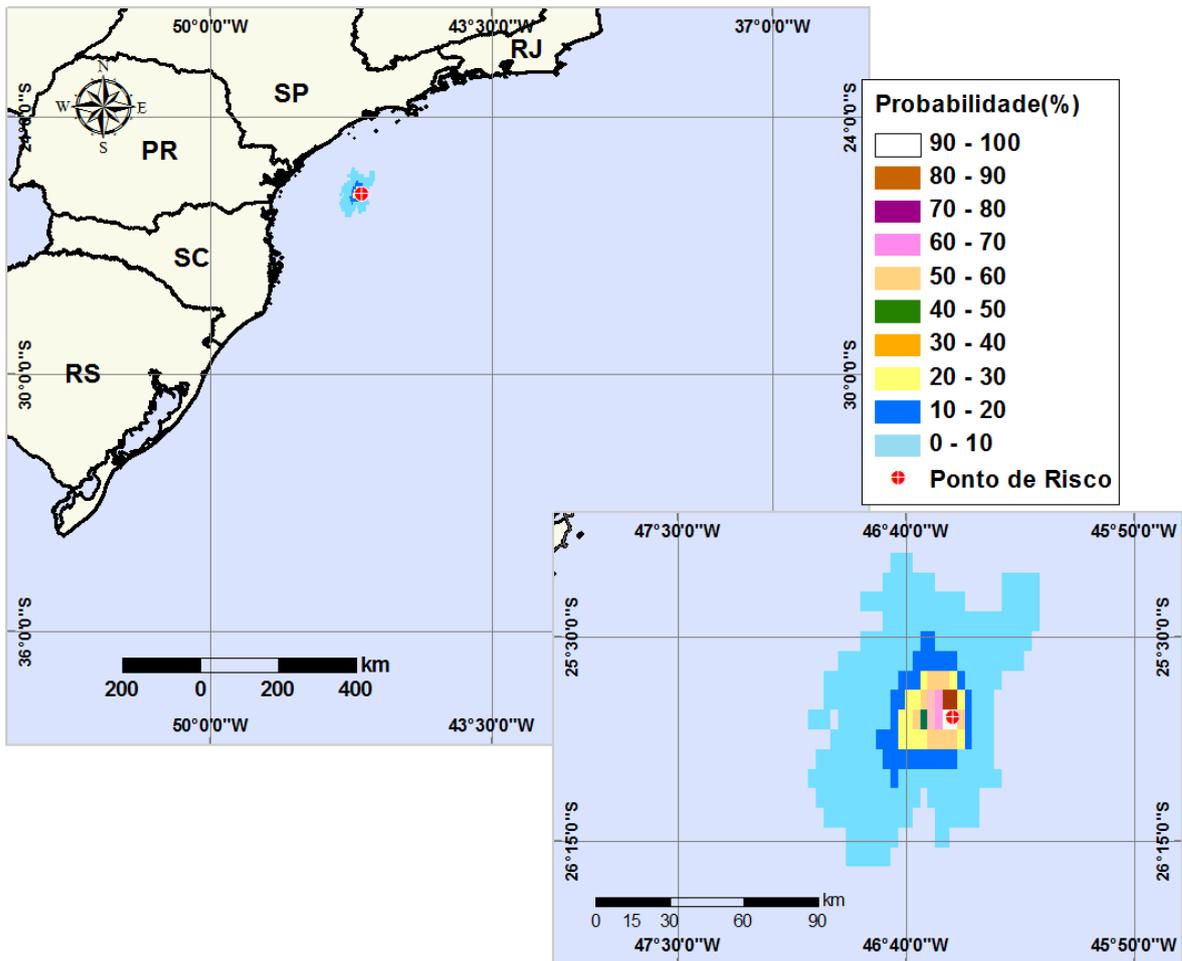
**Figura V-20** - Cenário S-5\_DIESEL\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



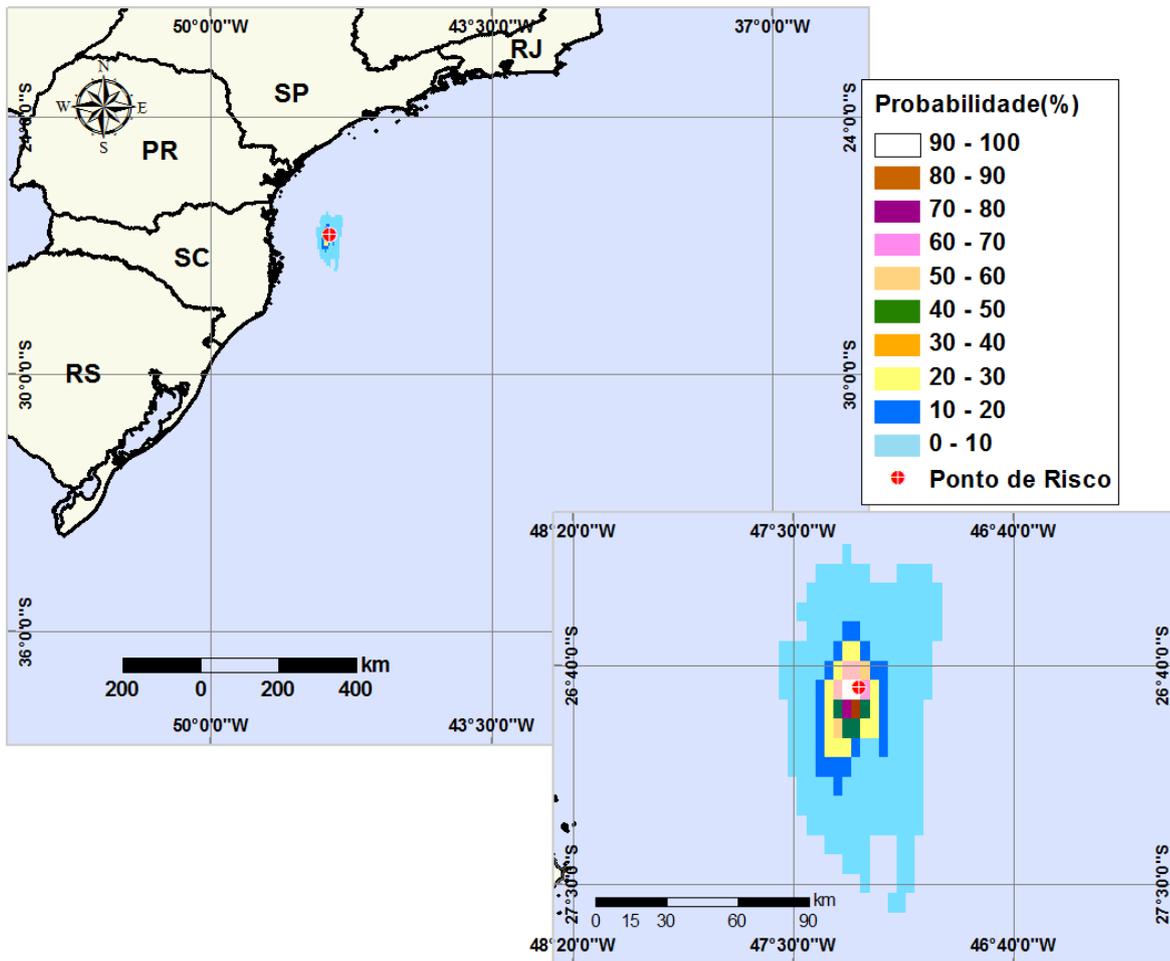
**Figura V-21** - Cenário S-6\_MLZ-3D\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



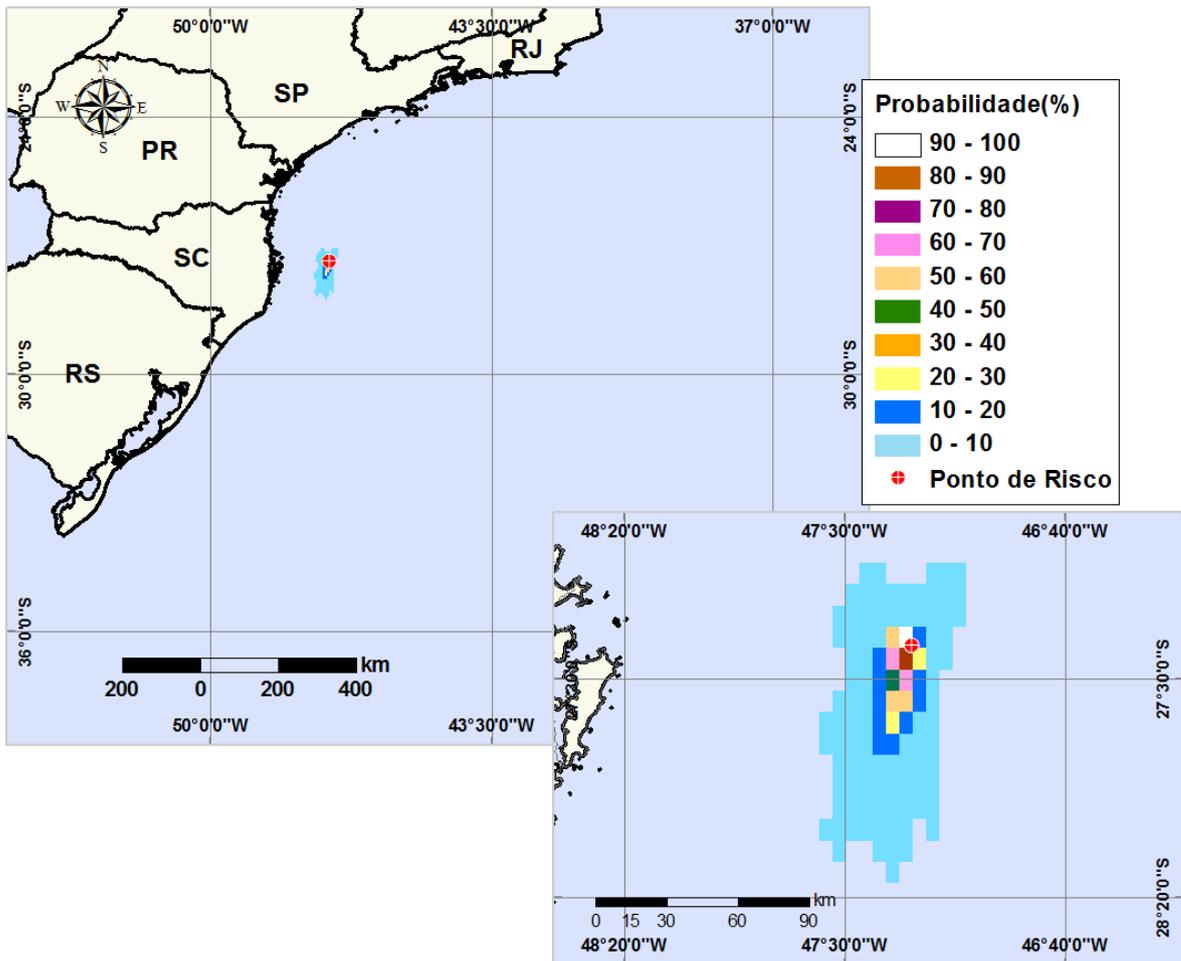
**Figura V-22** - Cenário S-6\_DIESEL\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



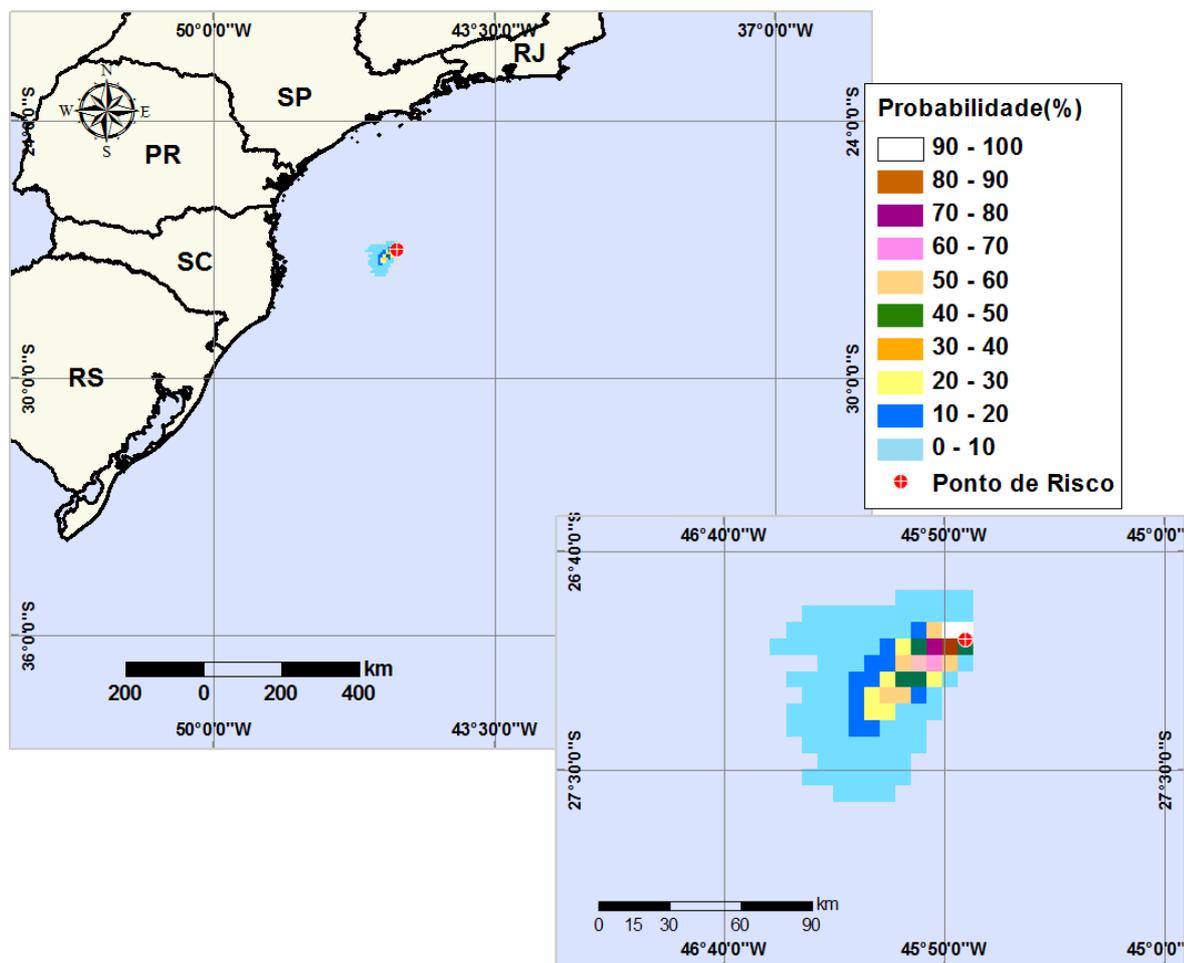
**Figura V-23** - Cenário S-7\_SCS10A\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-7 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



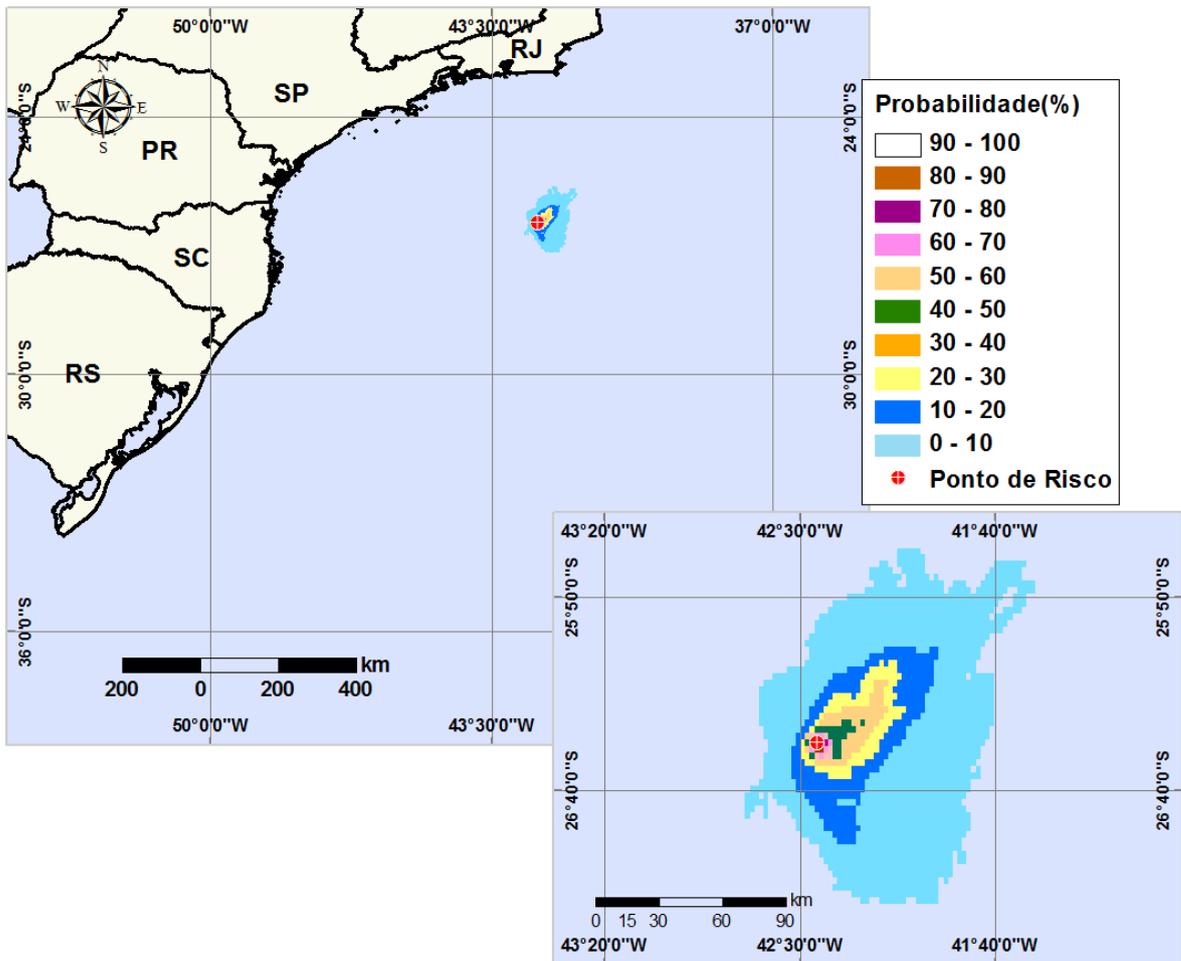
**Figura V-24** - Cenário S-8\_SCS10A\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-8 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



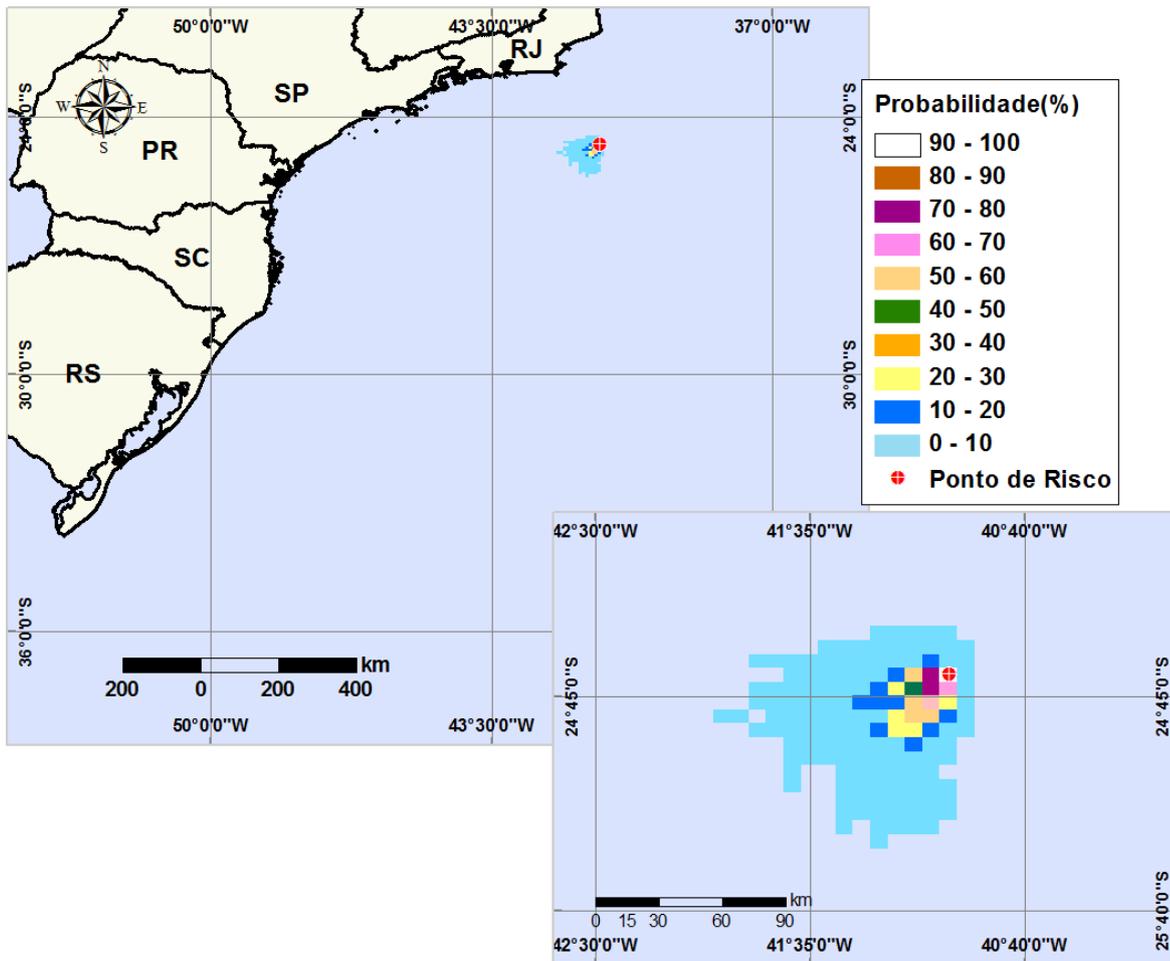
**Figura V-25 -** Cenário S-9\_SCS10A\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-9 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



**Figura V-26** - Cenário S-10\_SCS10A\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-10 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



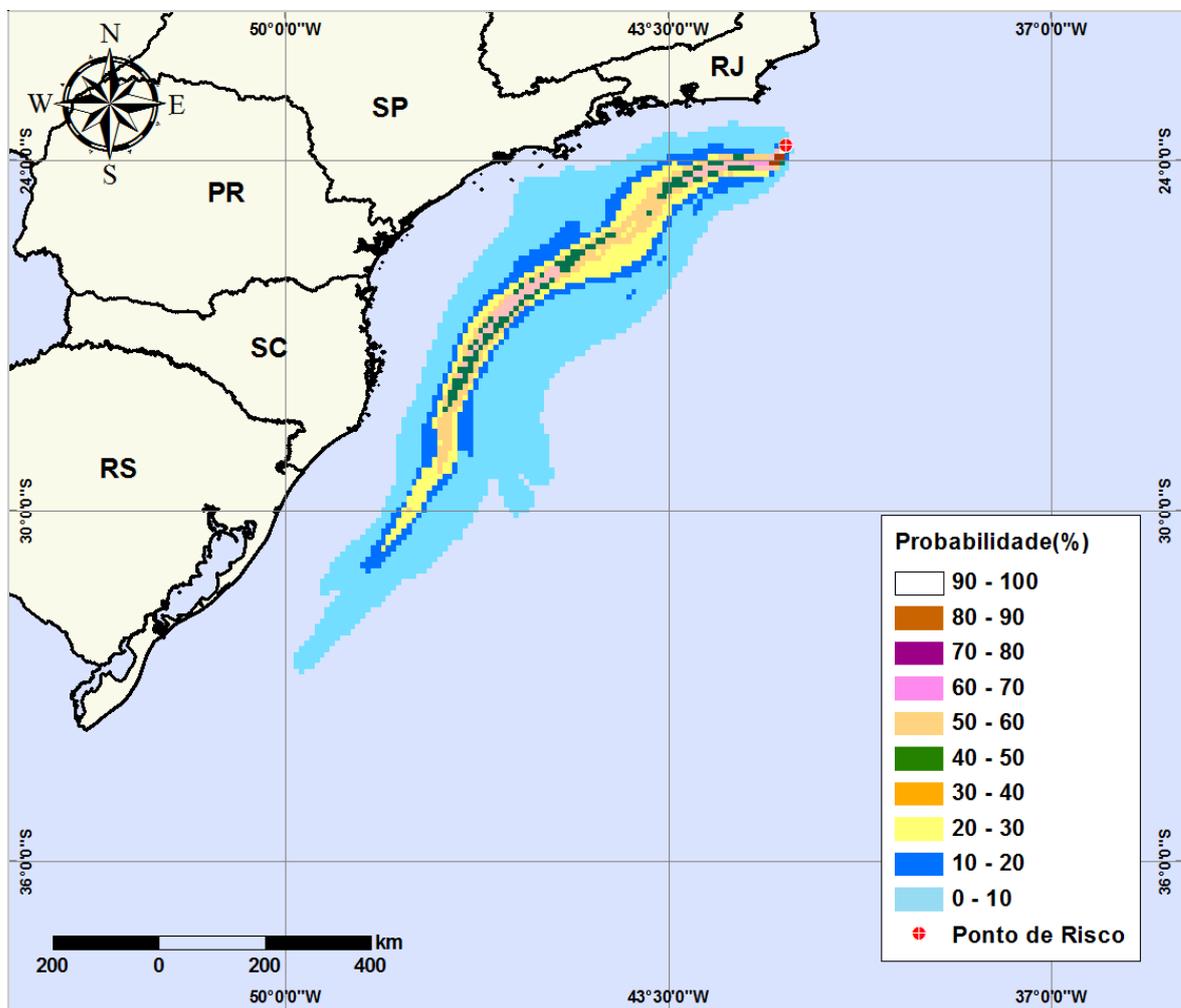
**Figura V-27** - Cenário S-11\_SPS-55\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-11 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



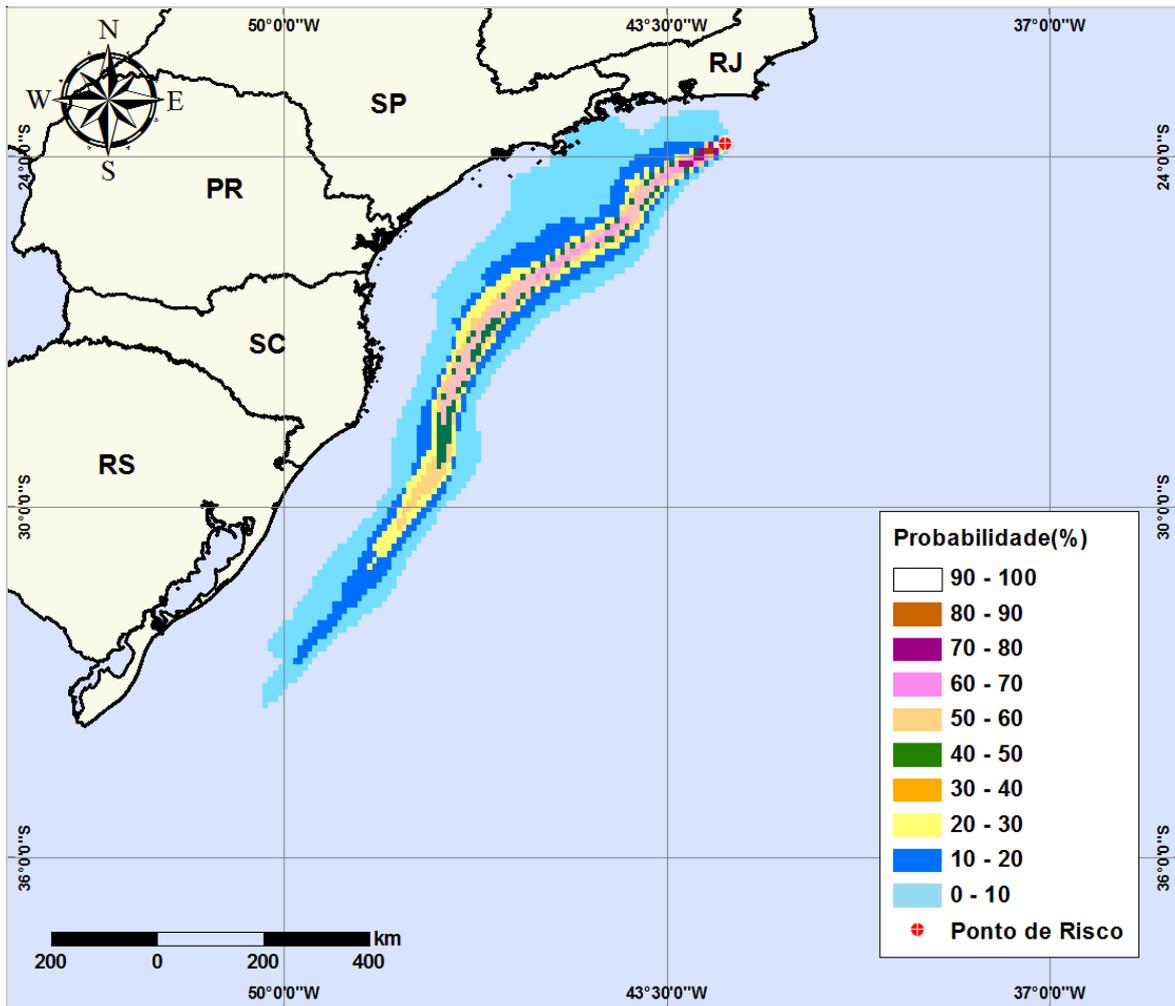
**Figura V-28** - Cenário S-12\_SPS-55\_INV\_8\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-12 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

## V.1.2 Simulações Probabilísticas para o Volume de Derrame Médio

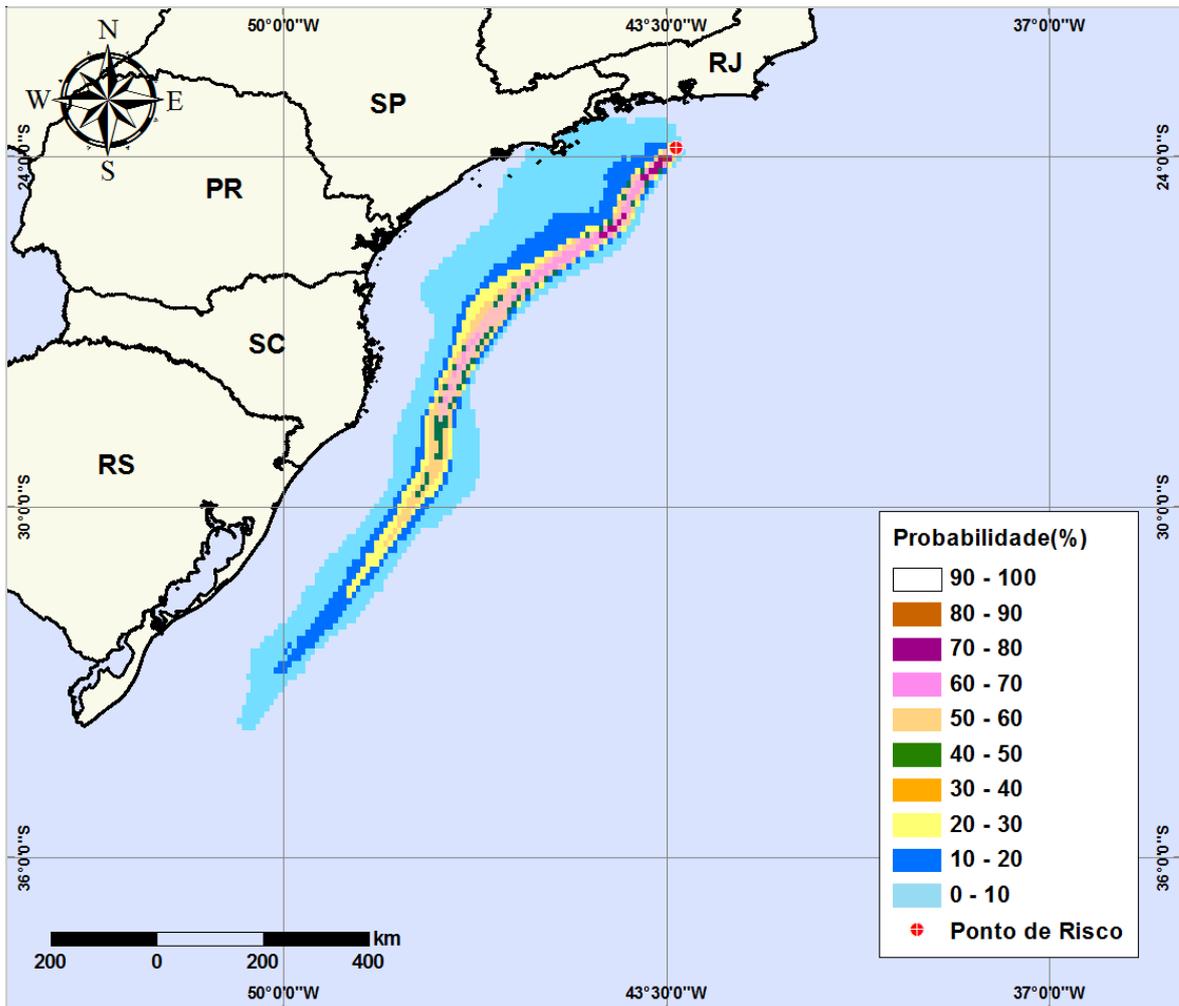
Na figura V-29 até a figura V-42 são apresentados os resultados das simulações probabilísticas para os 12 pontos de risco localizados na Área Geográfica Bacia de Santos, decorrentes potenciais acidentes com derrames de volume médio ( $200 \text{ m}^3$ ), com diferentes tipos de óleo/condensado durante os meses de verão.



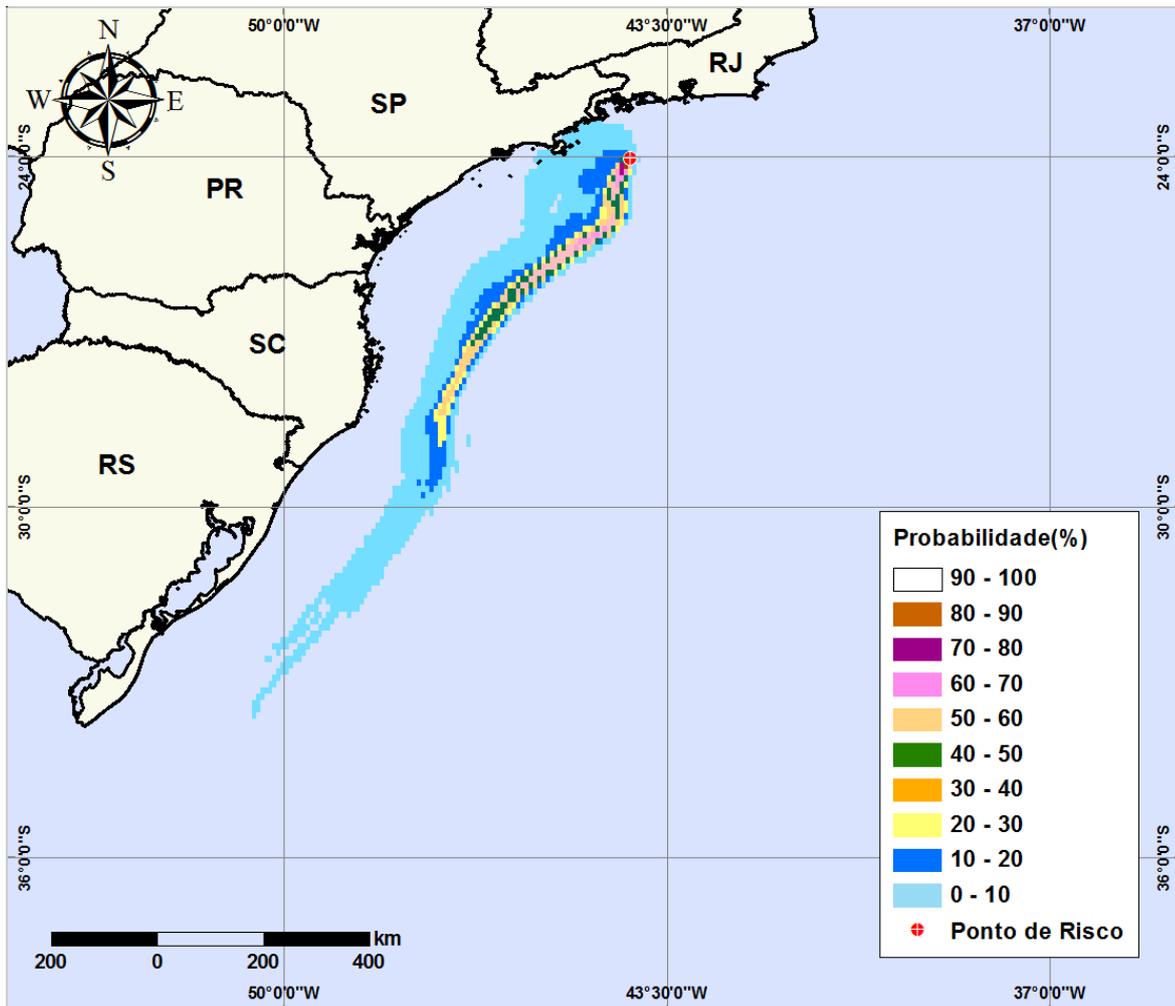
**Figura V-29** - Cenário S-1\_RJS-621\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-1 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de  $200 \text{ m}^3$  (instantâneo), após 30 dias de simulação.



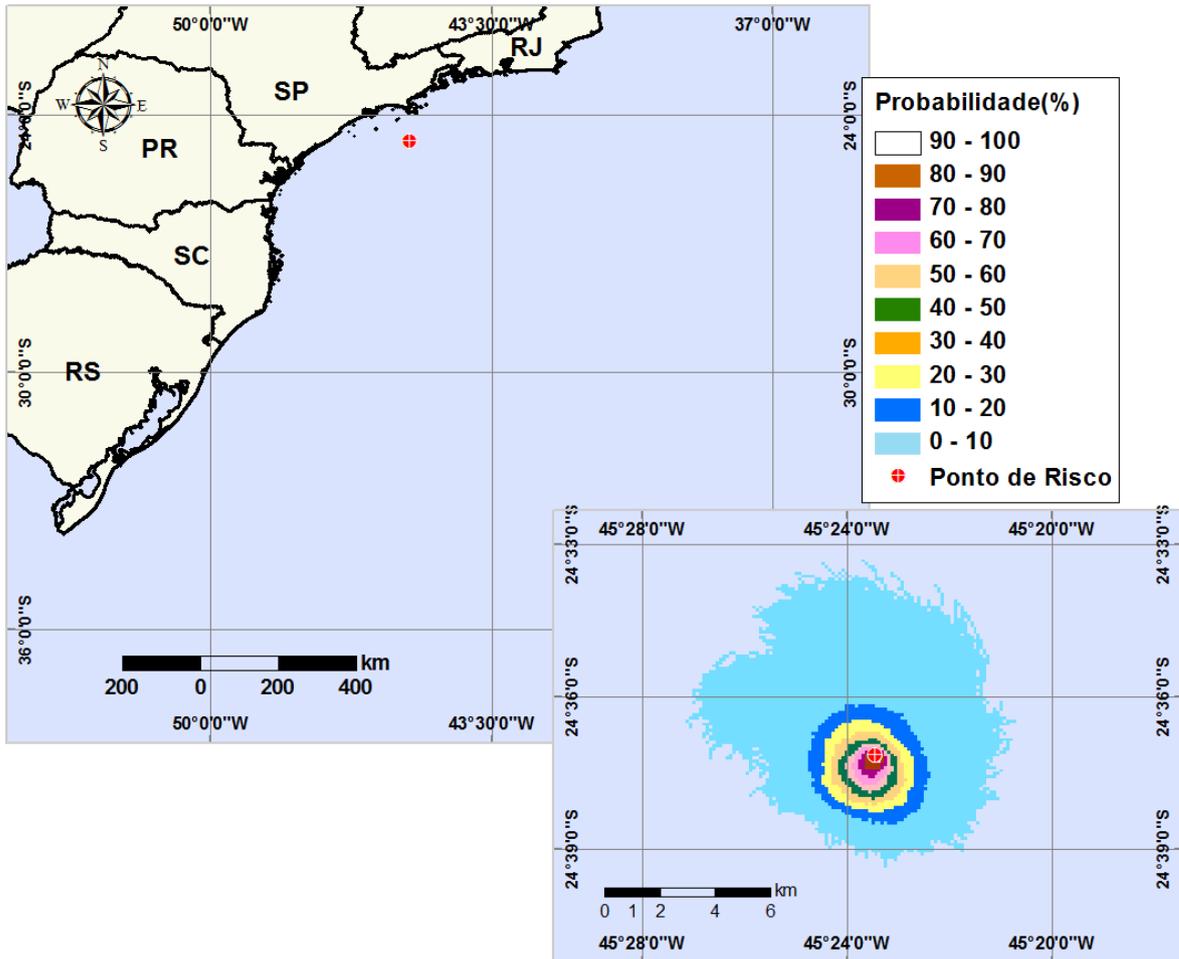
**Figura V-30** - Cenário S-2\_RJS-621\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-2 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



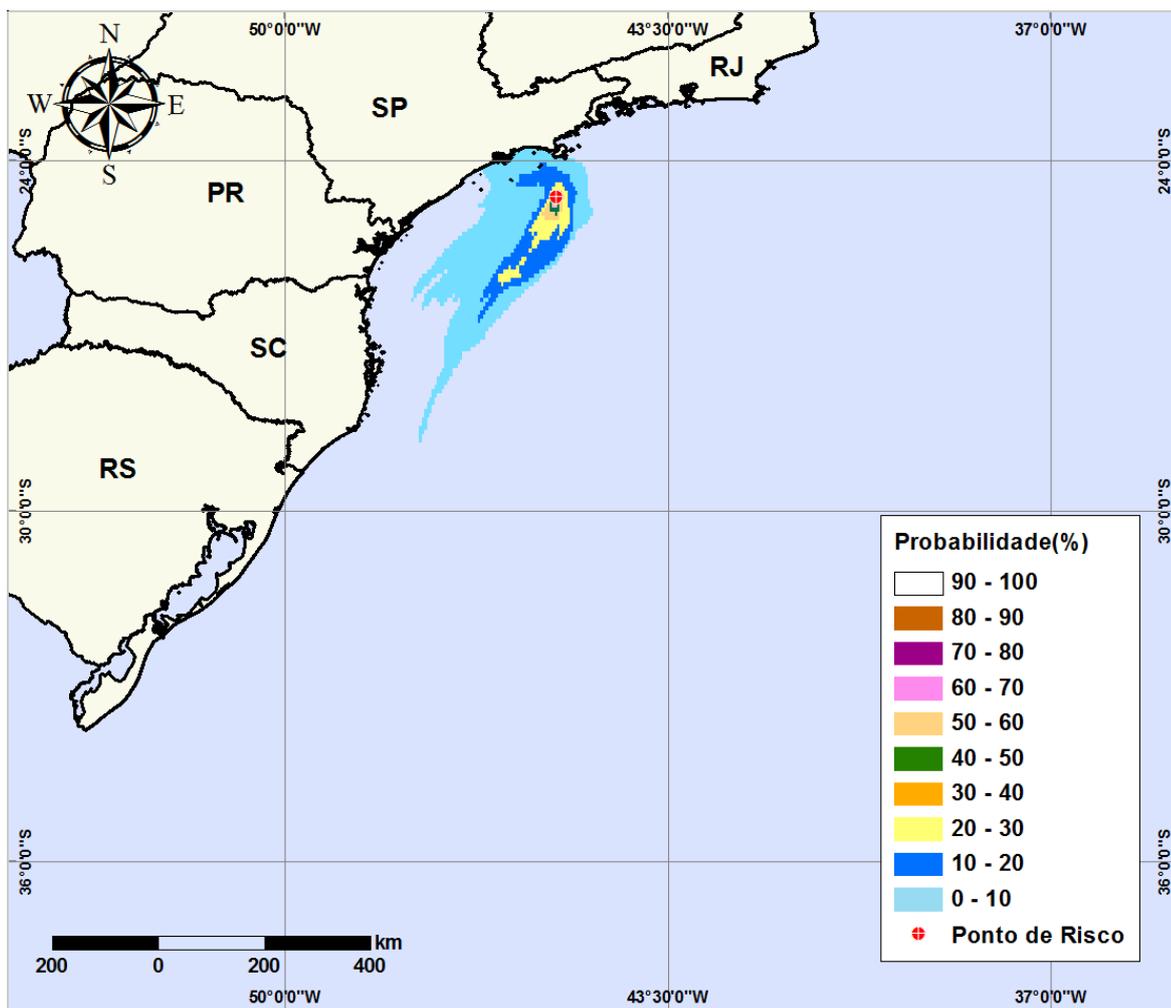
**Figura V-31** - Cenário S-3\_RJS-621\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-3 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



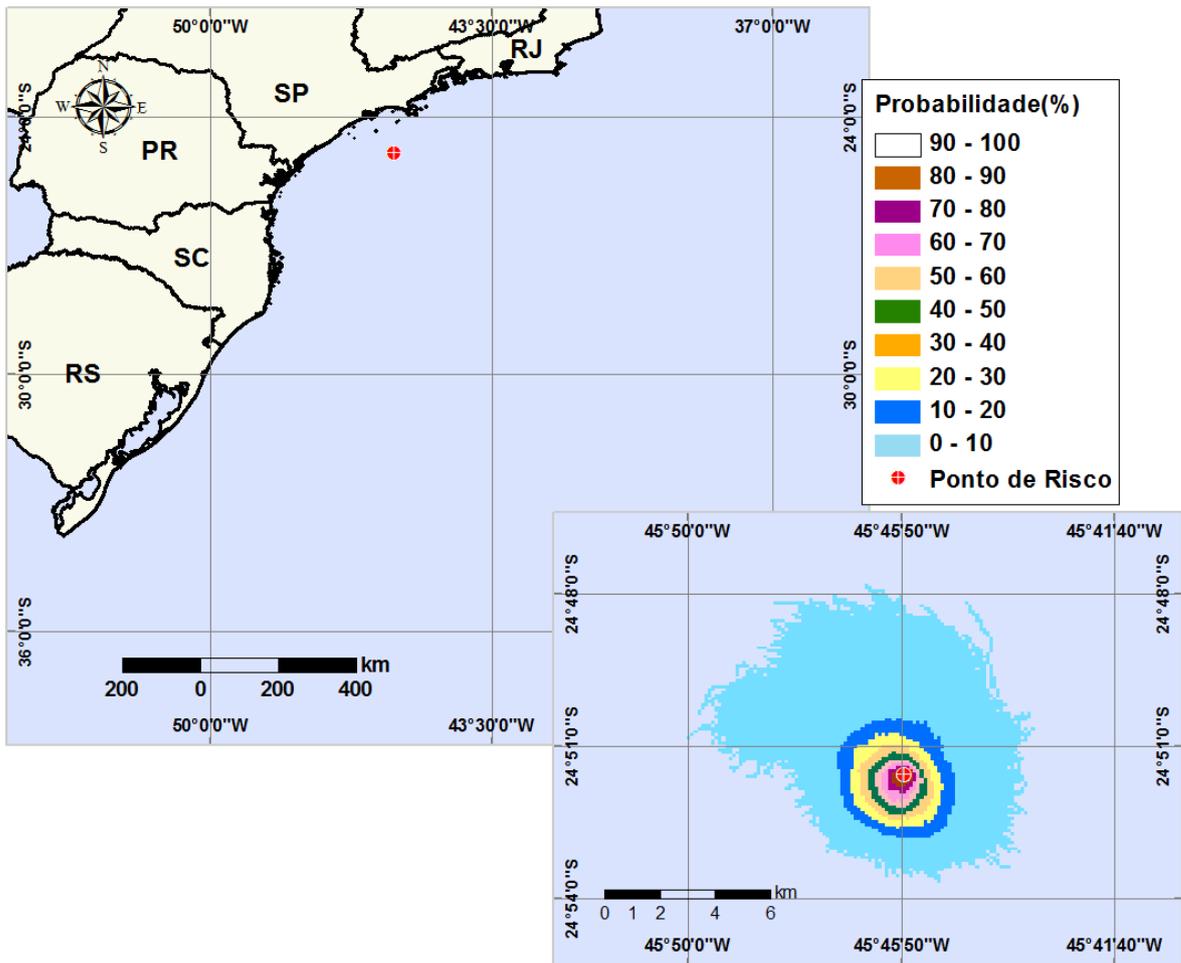
**Figura V-32** - Cenário S-4\_MXL-2H\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço MXL-2H, ocorrendo no Ponto S-4 (Polo Mexilhão), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



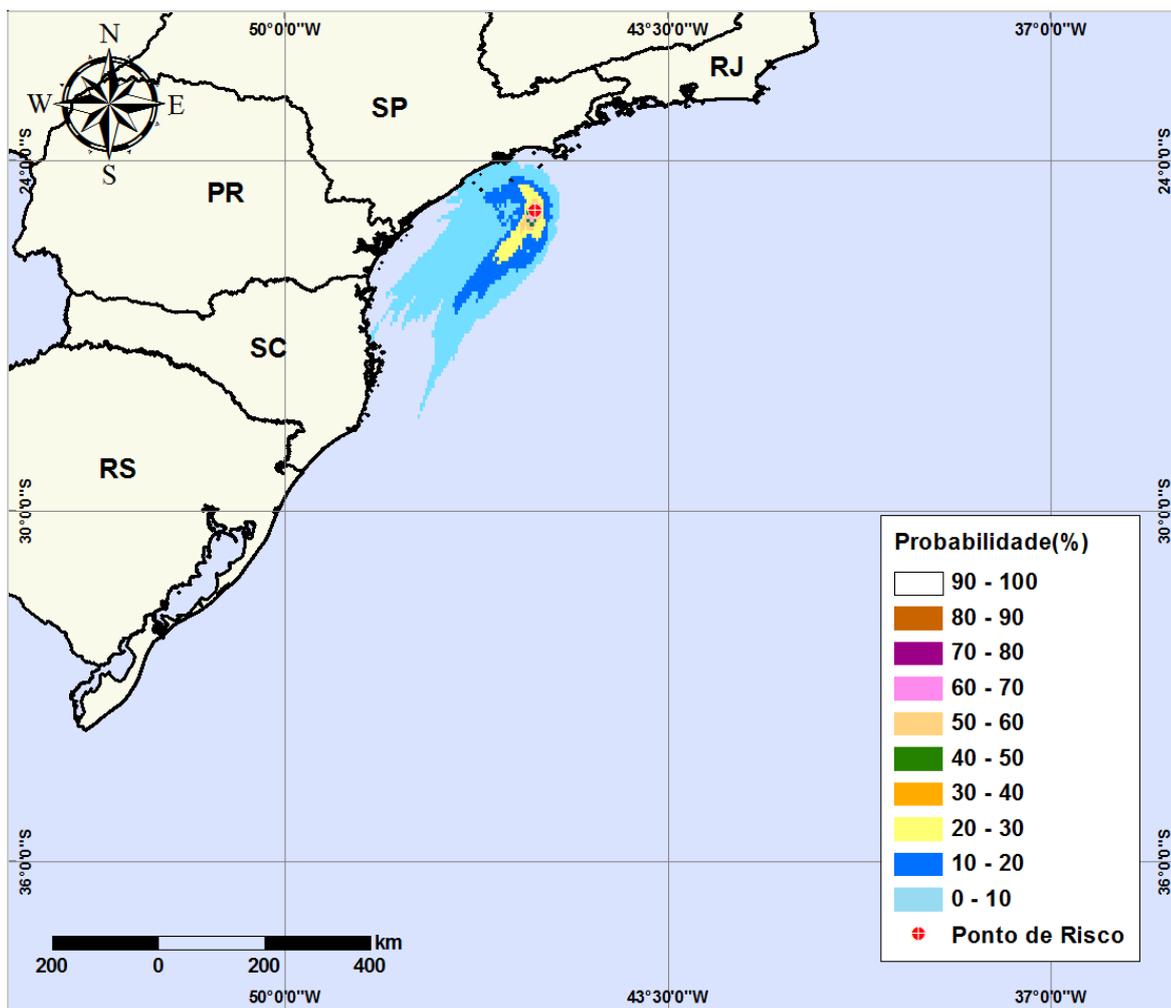
**Figura V-33** - Cenário S-5\_MLZ-3D\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



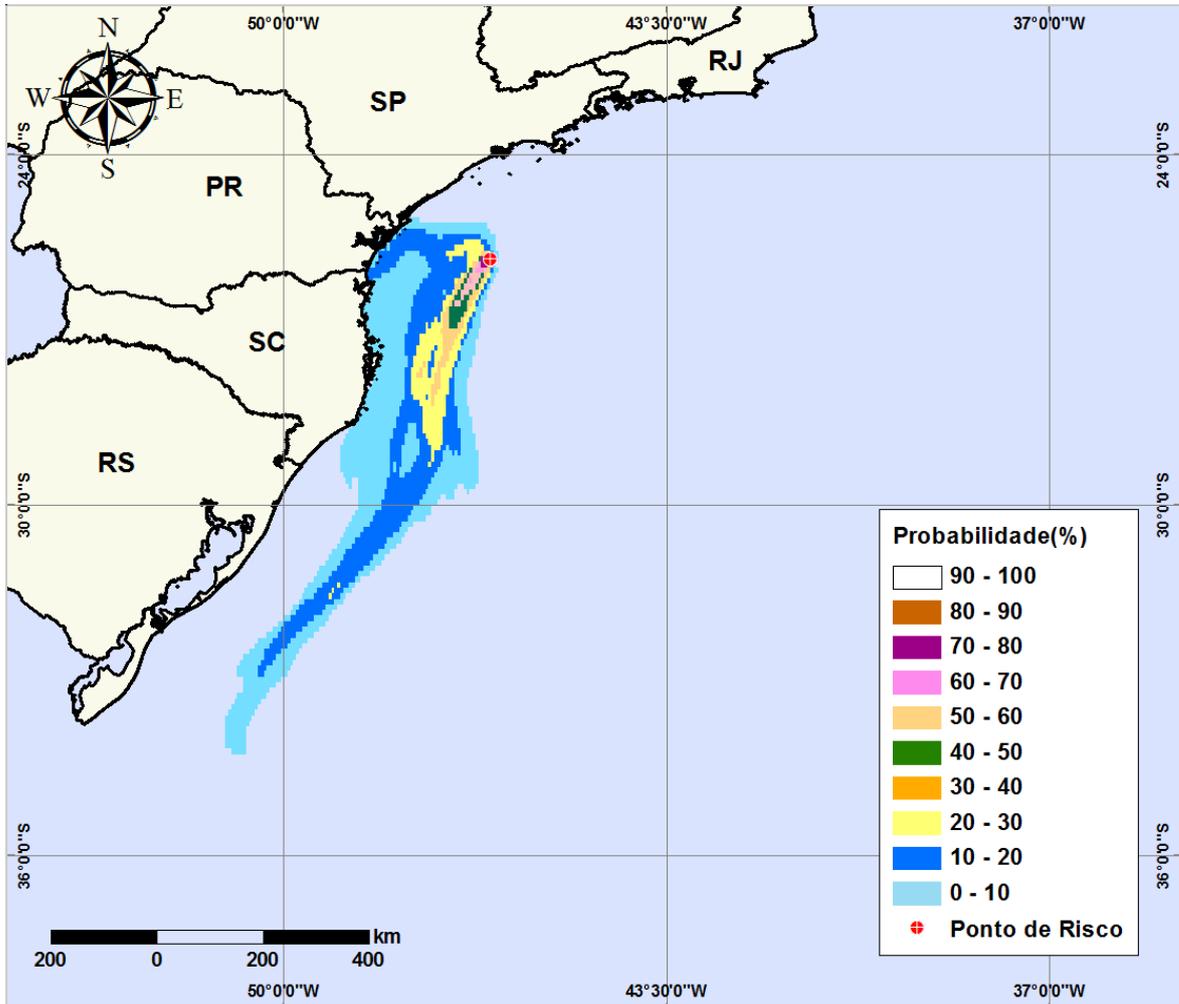
**Figura V-34** - Cenário S-5\_DIESEL\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



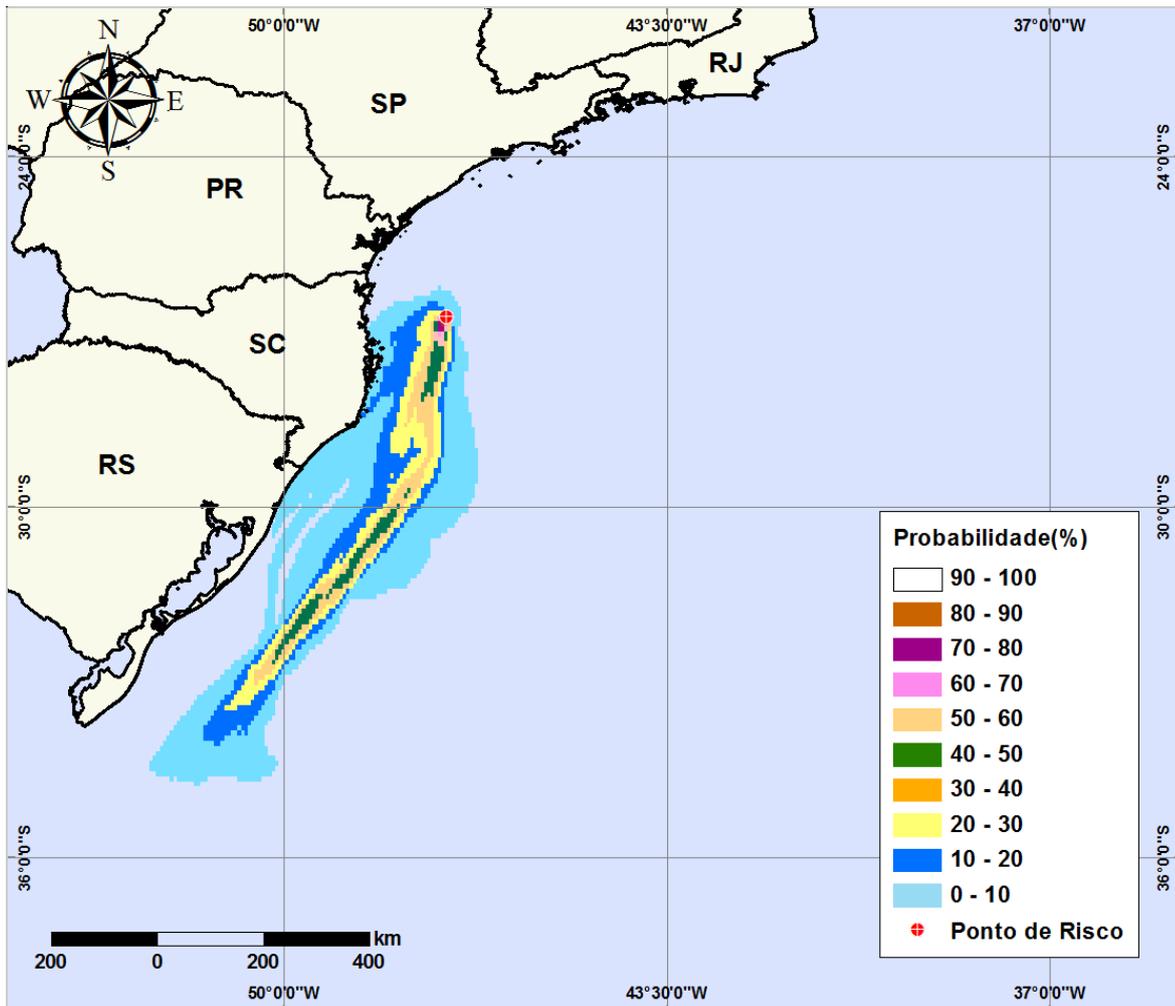
**Figura V-35** - Cenário S-6\_MLZ-3D\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



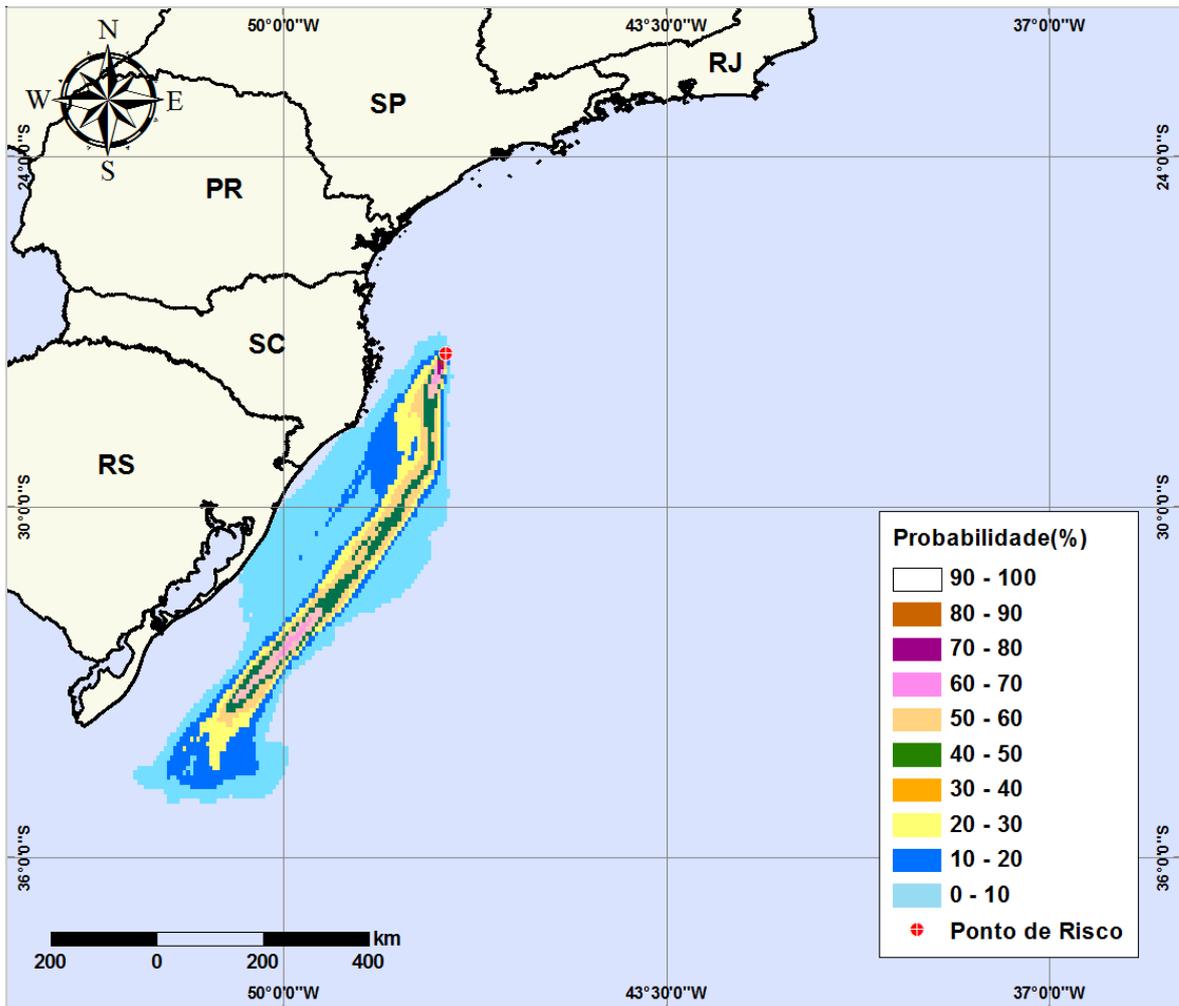
**Figura V-36** - Cenário S-6\_DIESEL\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



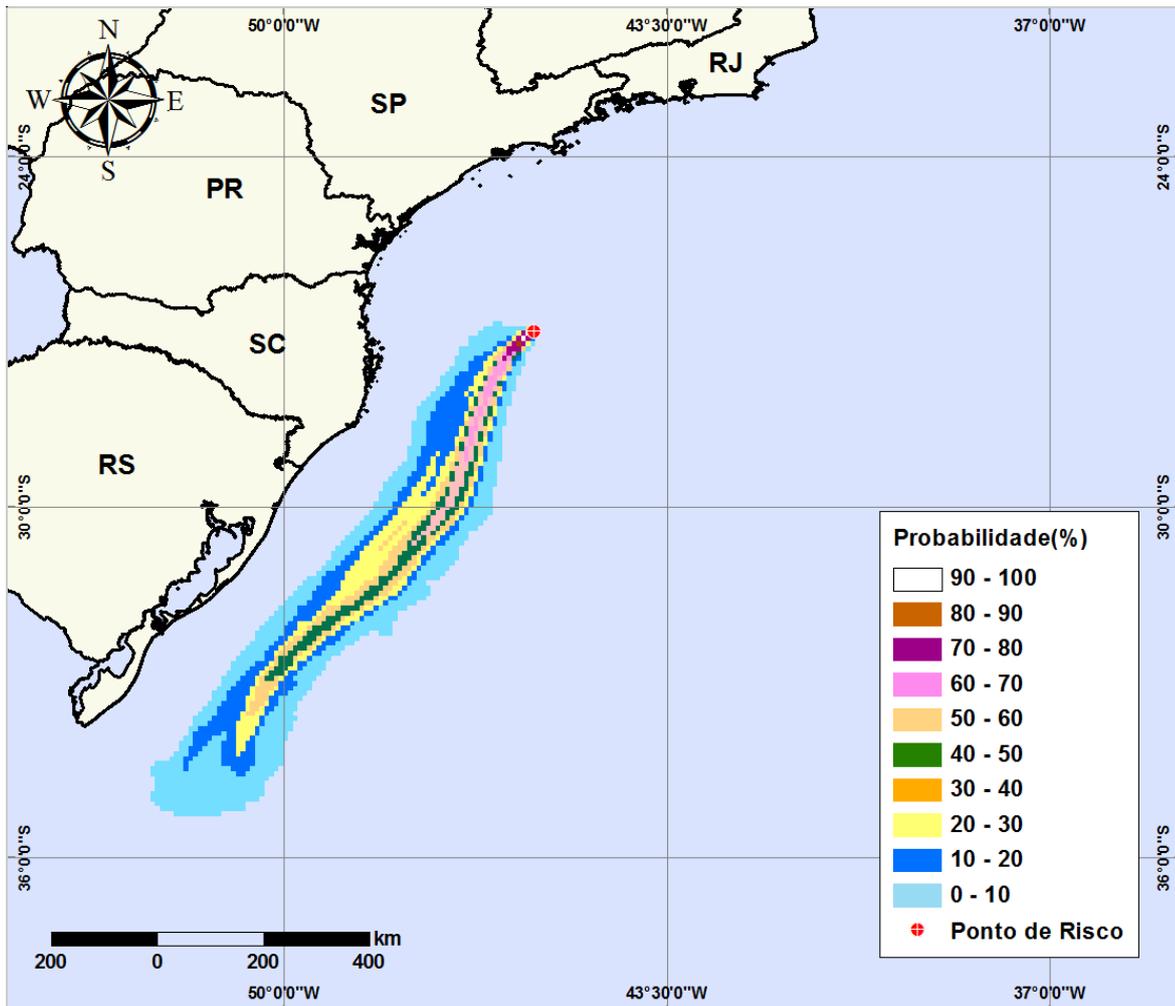
**Figura V-37** - Cenário S-7\_SCS10A\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-7 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



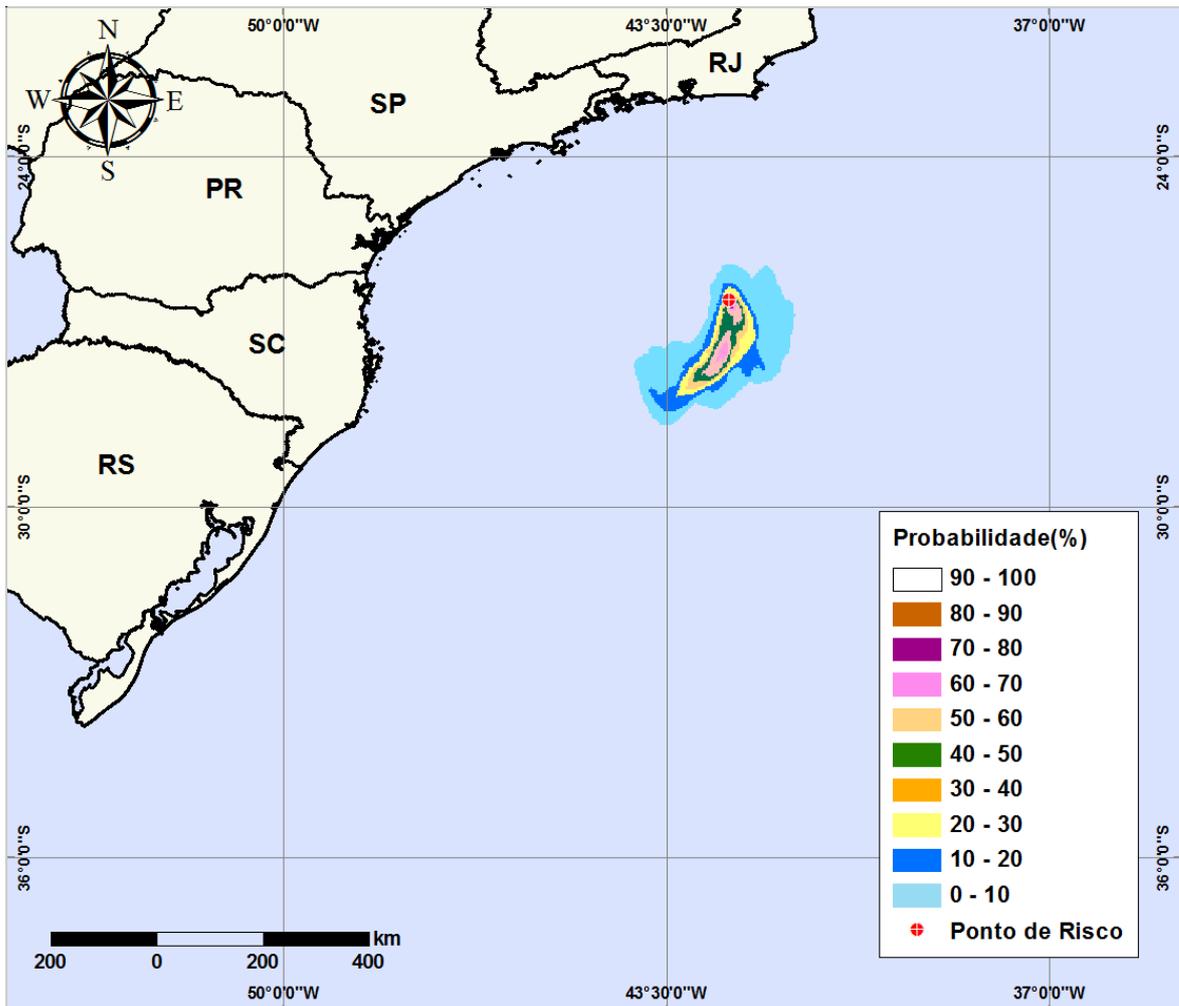
**Figura V-38** - Cenário S-8\_SCS10A\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-8 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



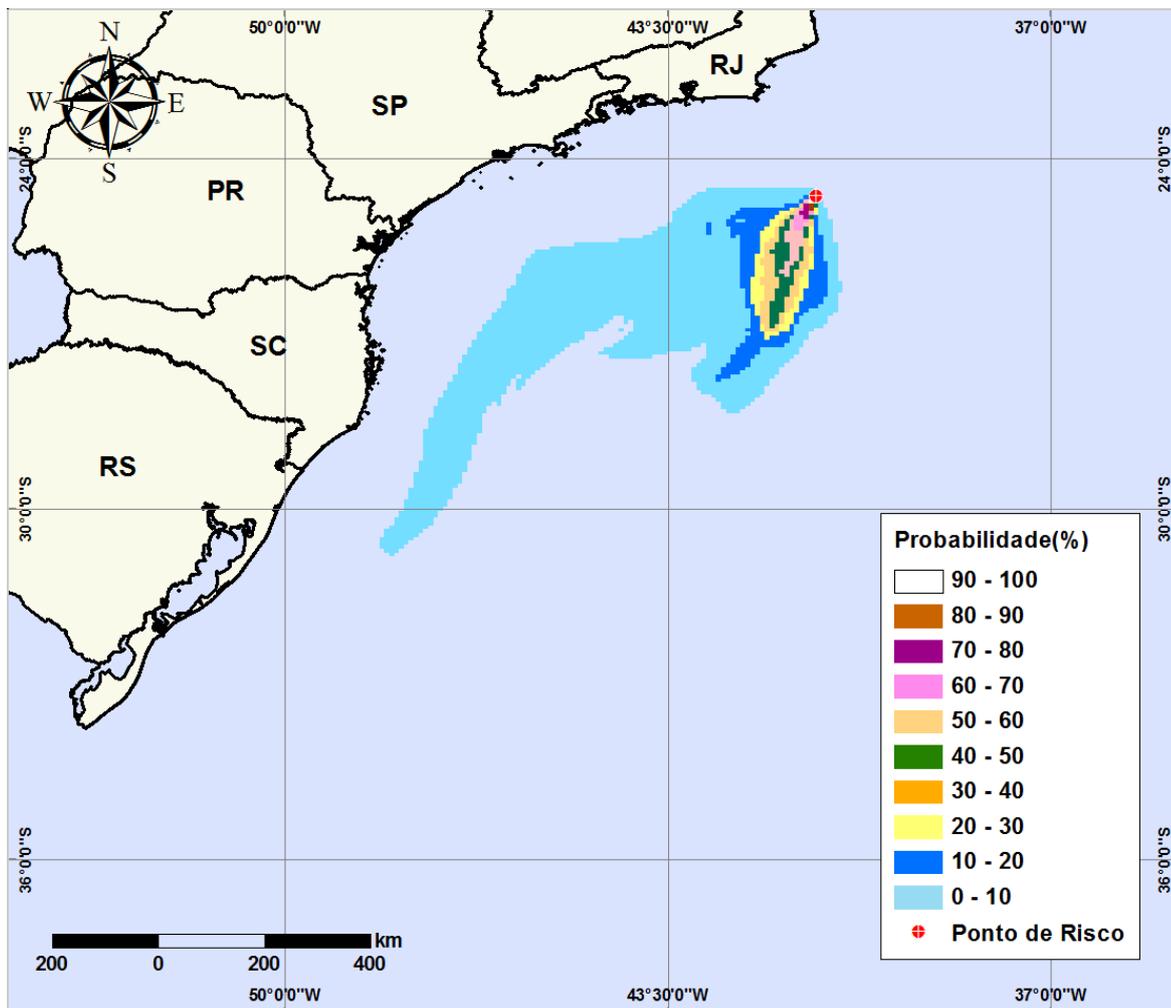
**Figura V-39** - Cenário S-9\_SCS10A\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-9 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



**Figura V-40** - Cenário S-10\_SCS10A\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-10 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

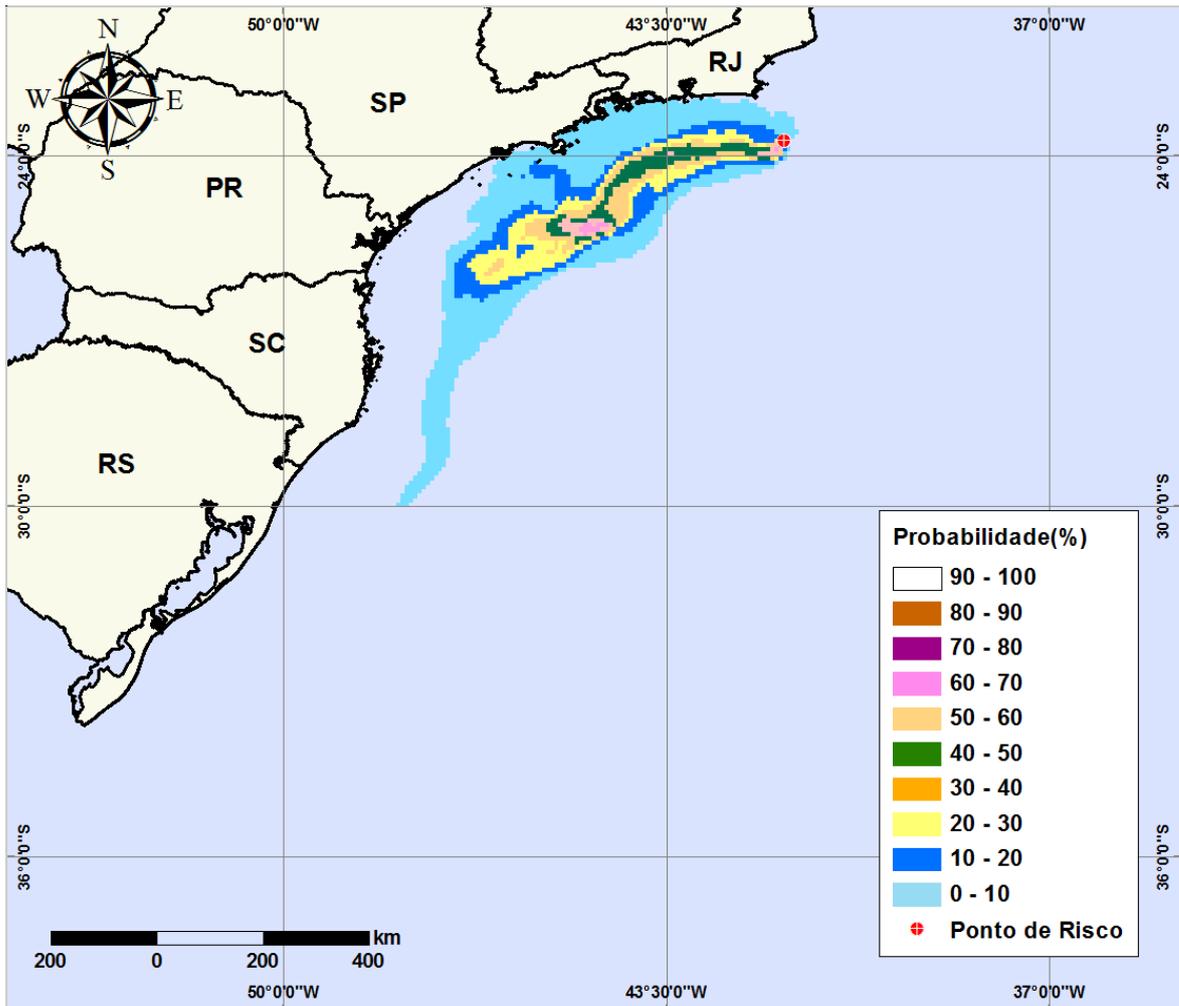


**Figura V-41** - Cenário S-11\_SPS-55\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-11 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

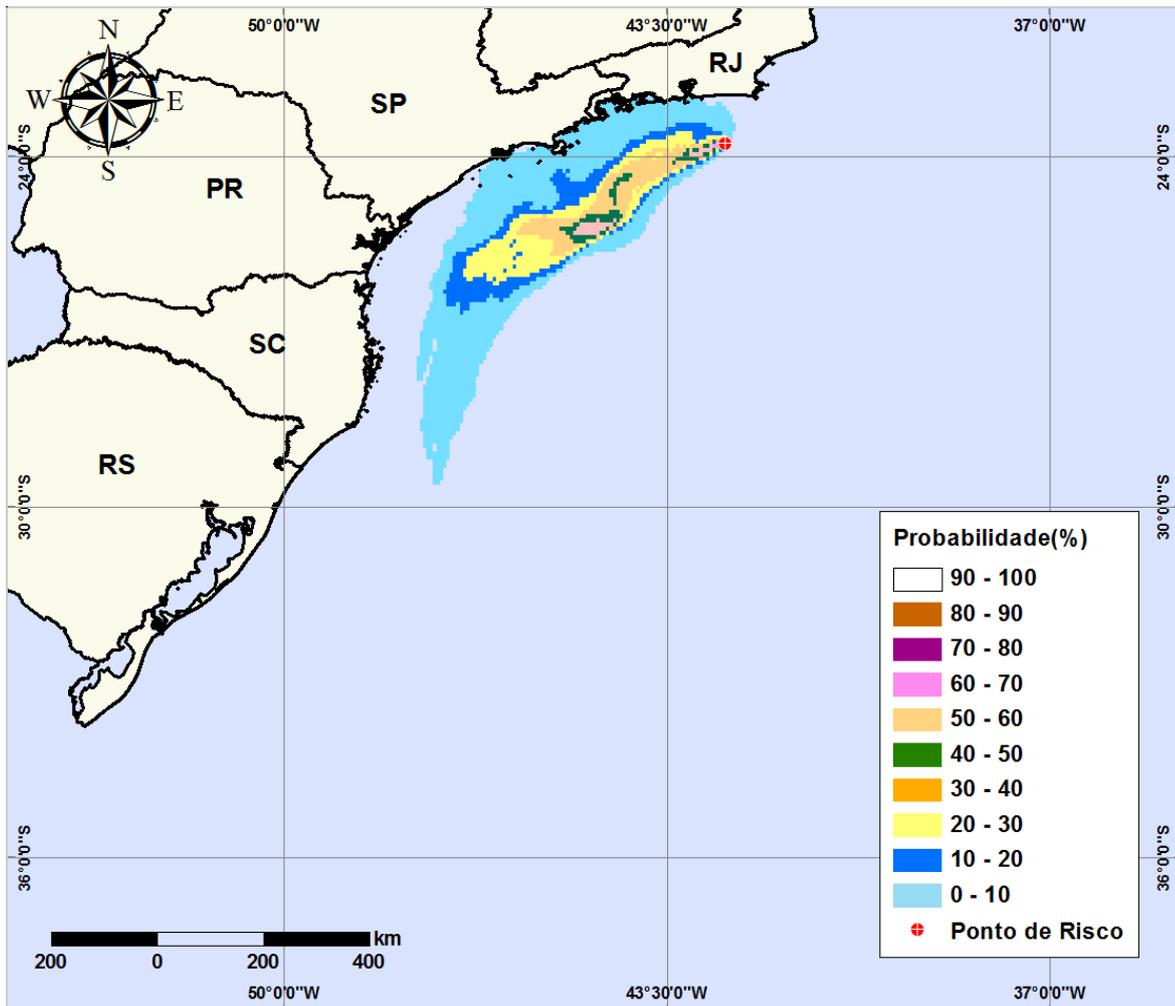


**Figura V-42** - Cenário S-12\_SPS-55\_VER\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-12 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

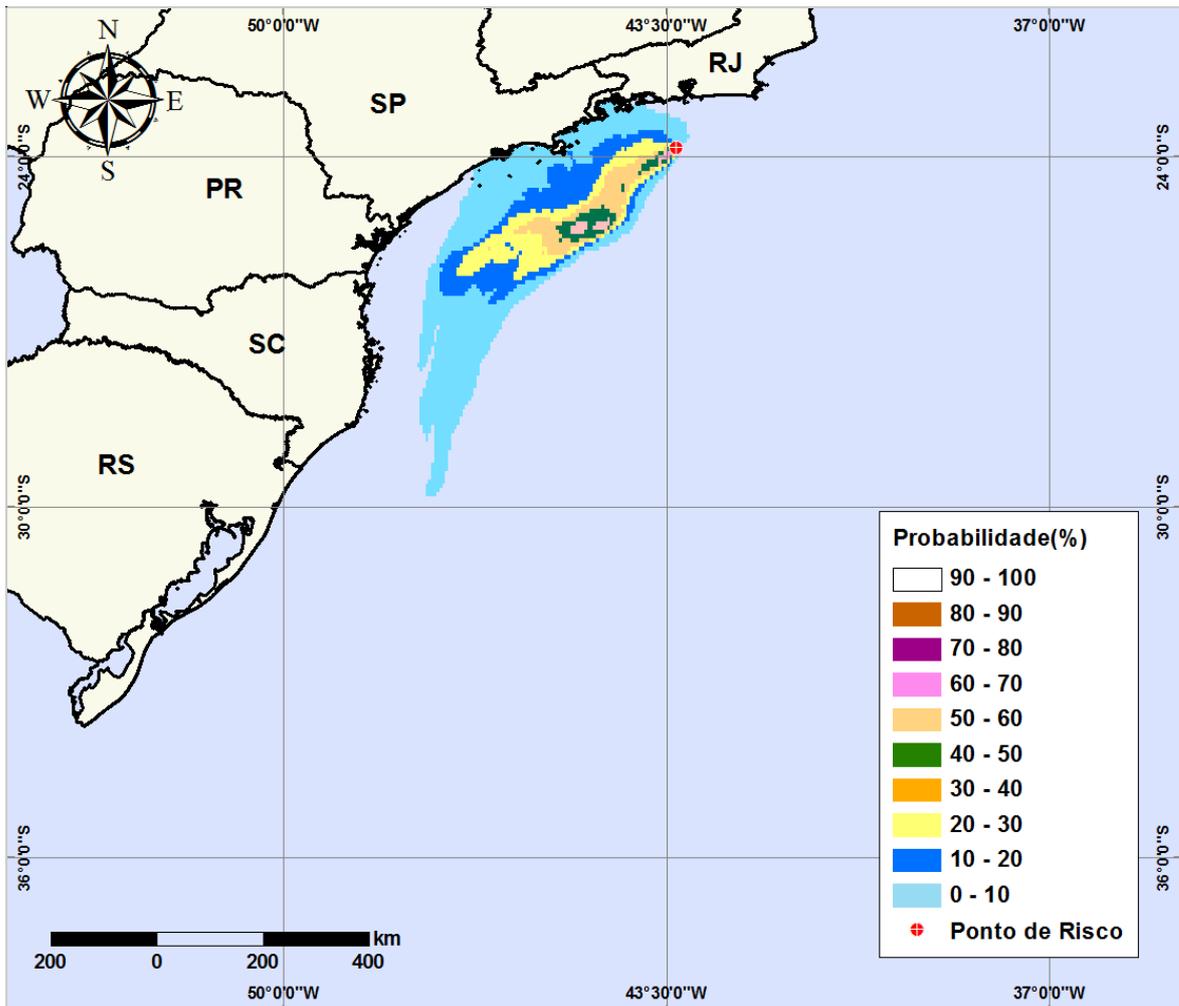
Da figura V-43 até a figura V-56 são apresentados os resultados das simulações probabilísticas para os 12 pontos de risco localizados na Área Geográfica Bacia de Santos, decorrentes potenciais acidentes com derrames de volume médio (200 m<sup>3</sup>), com diferentes tipos de óleo/condensado durante os meses de inverno.



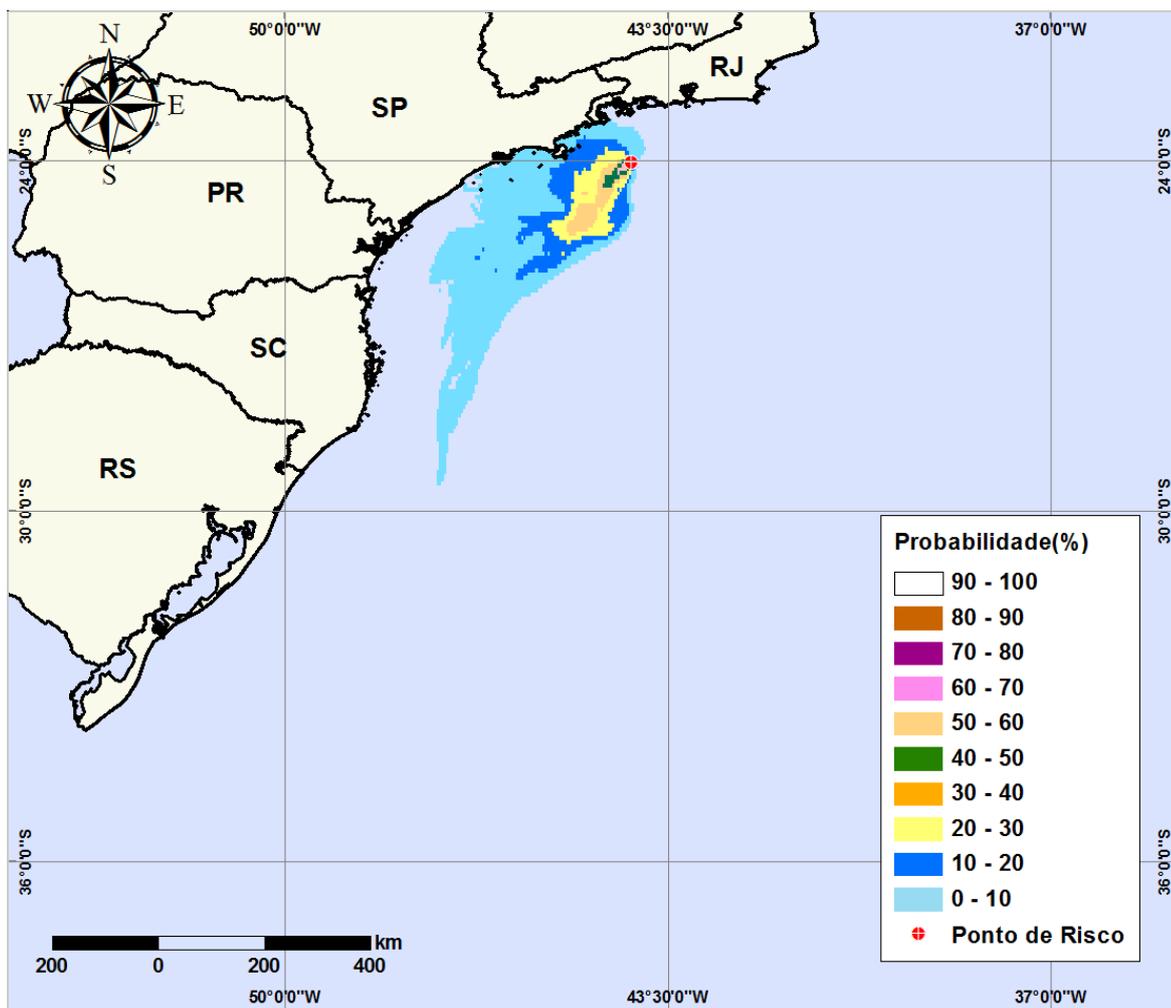
**Figura V-43** - Cenário S-1\_RJS-621\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-1 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



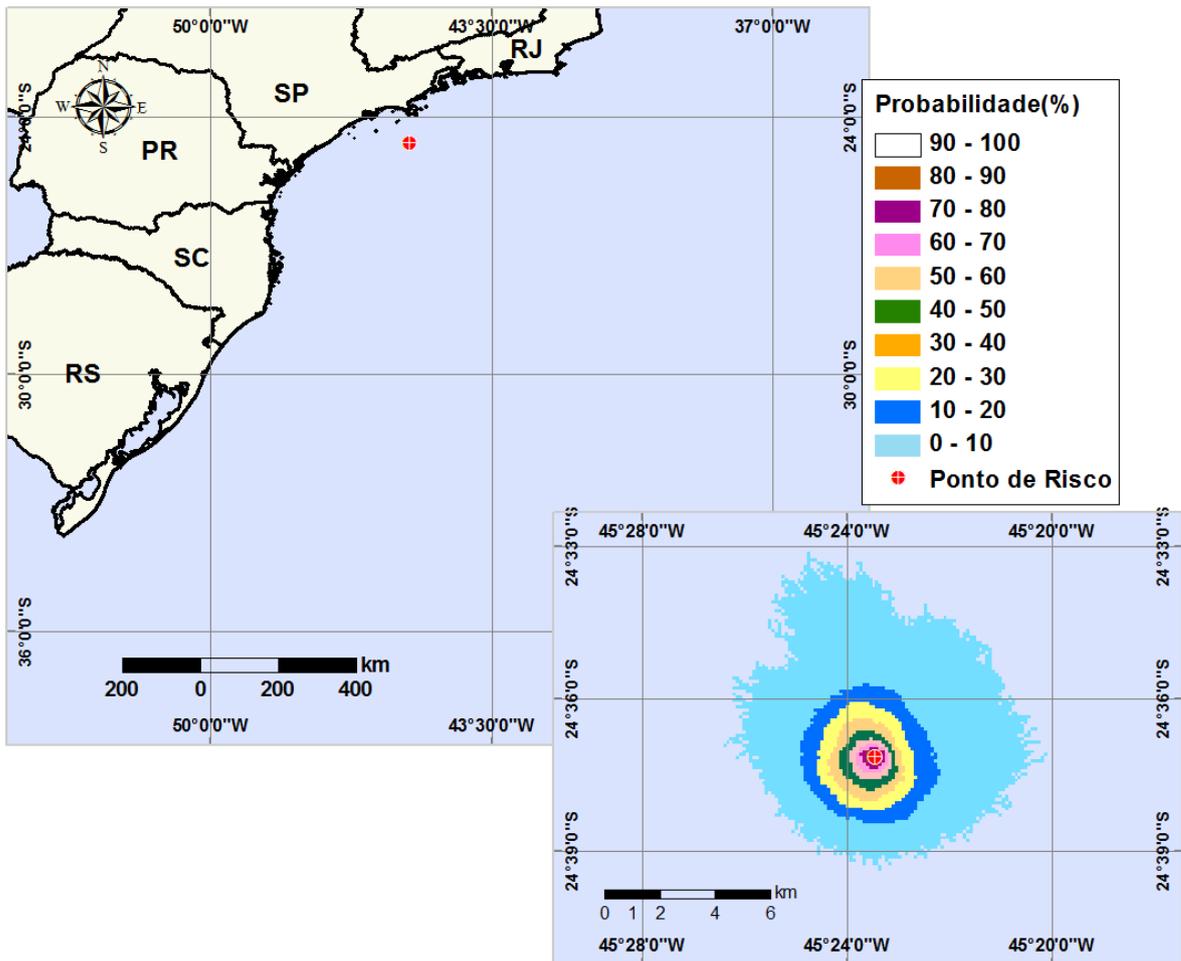
**Figura V-44** - Cenário S-2\_RJS-621\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-2 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



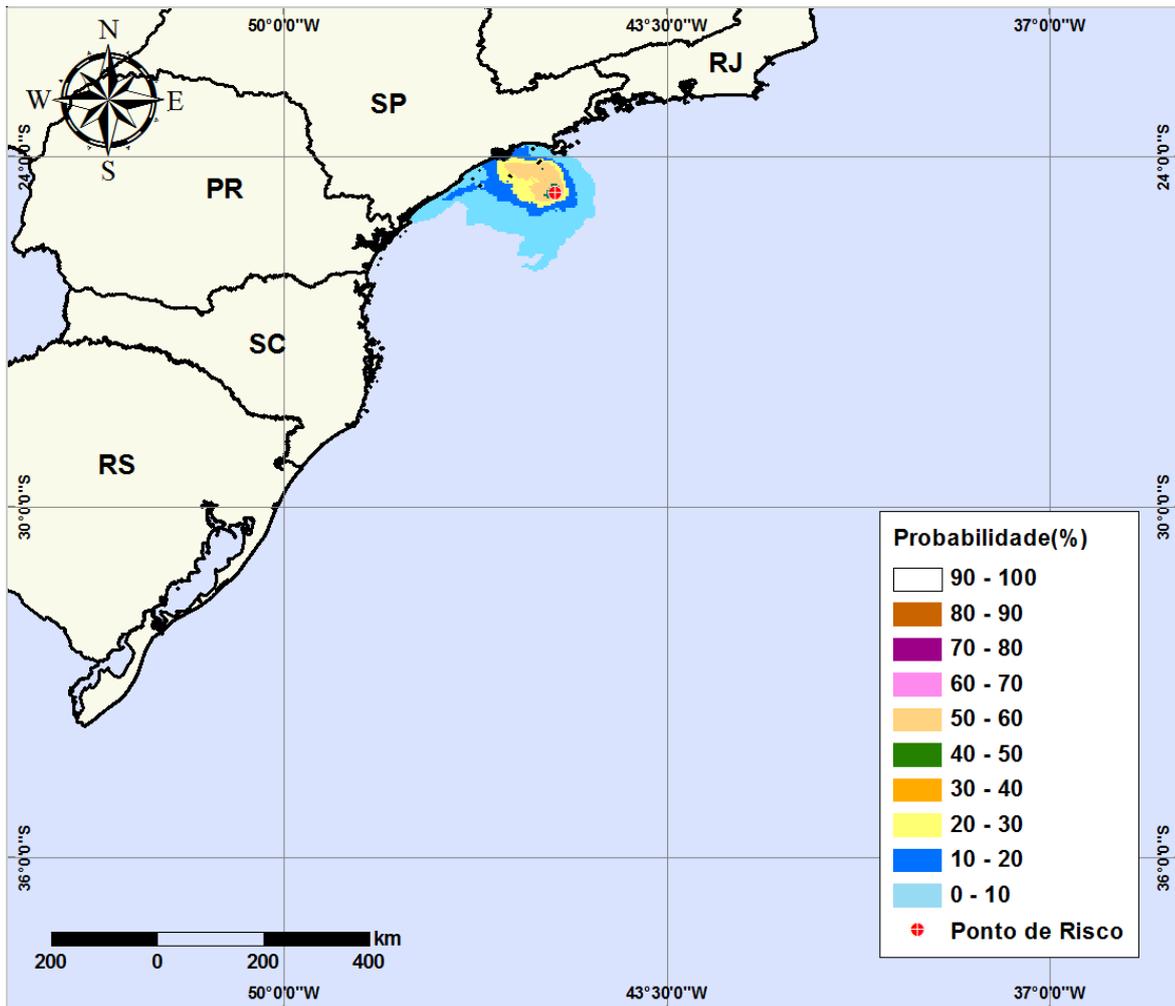
**Figura V-45** - Cenário S-3\_RJS-621\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-3 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



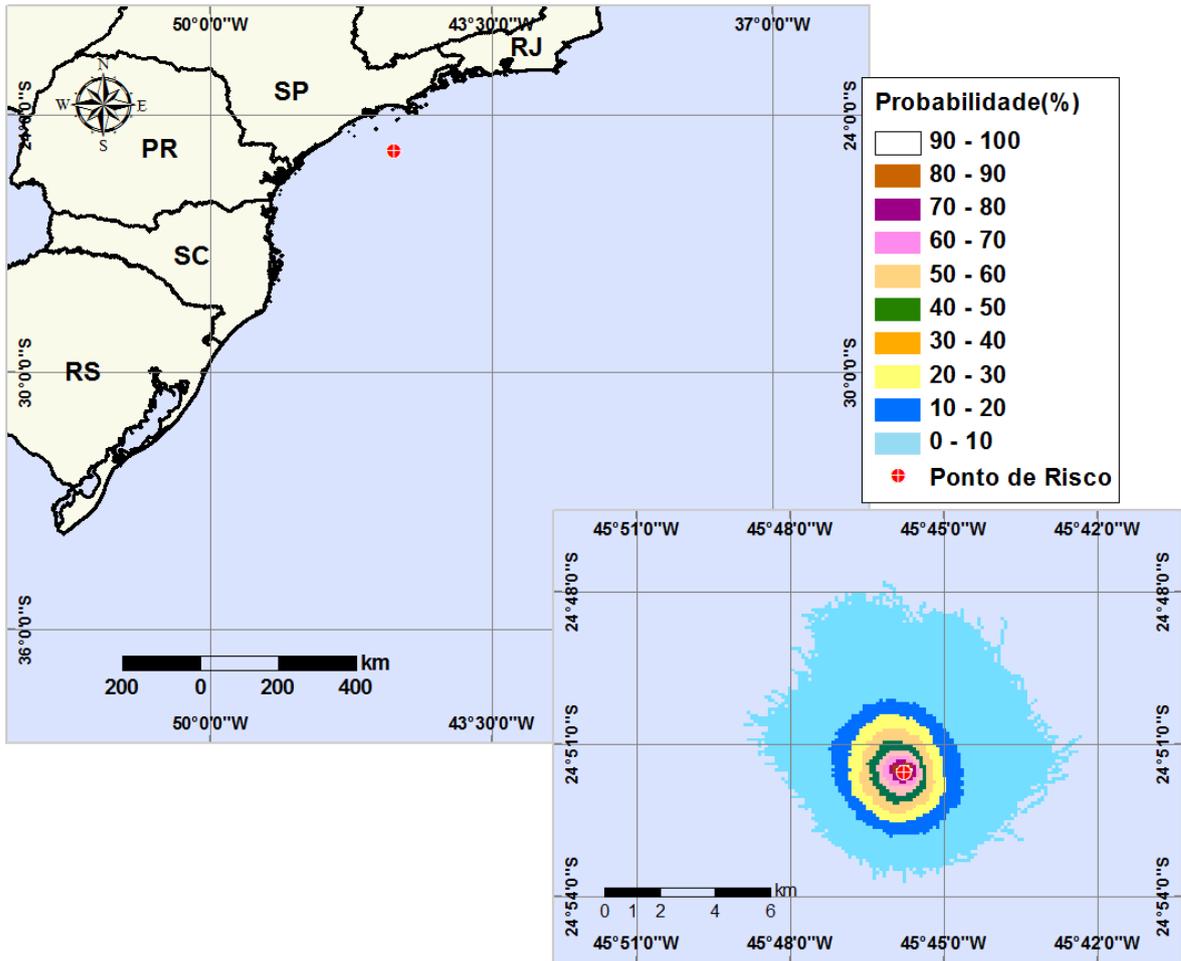
**Figura V-46** - Cenário S-4\_MXL-2H\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço MXL-2H, ocorrendo no Ponto S-4 (Polo Mexilhão), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



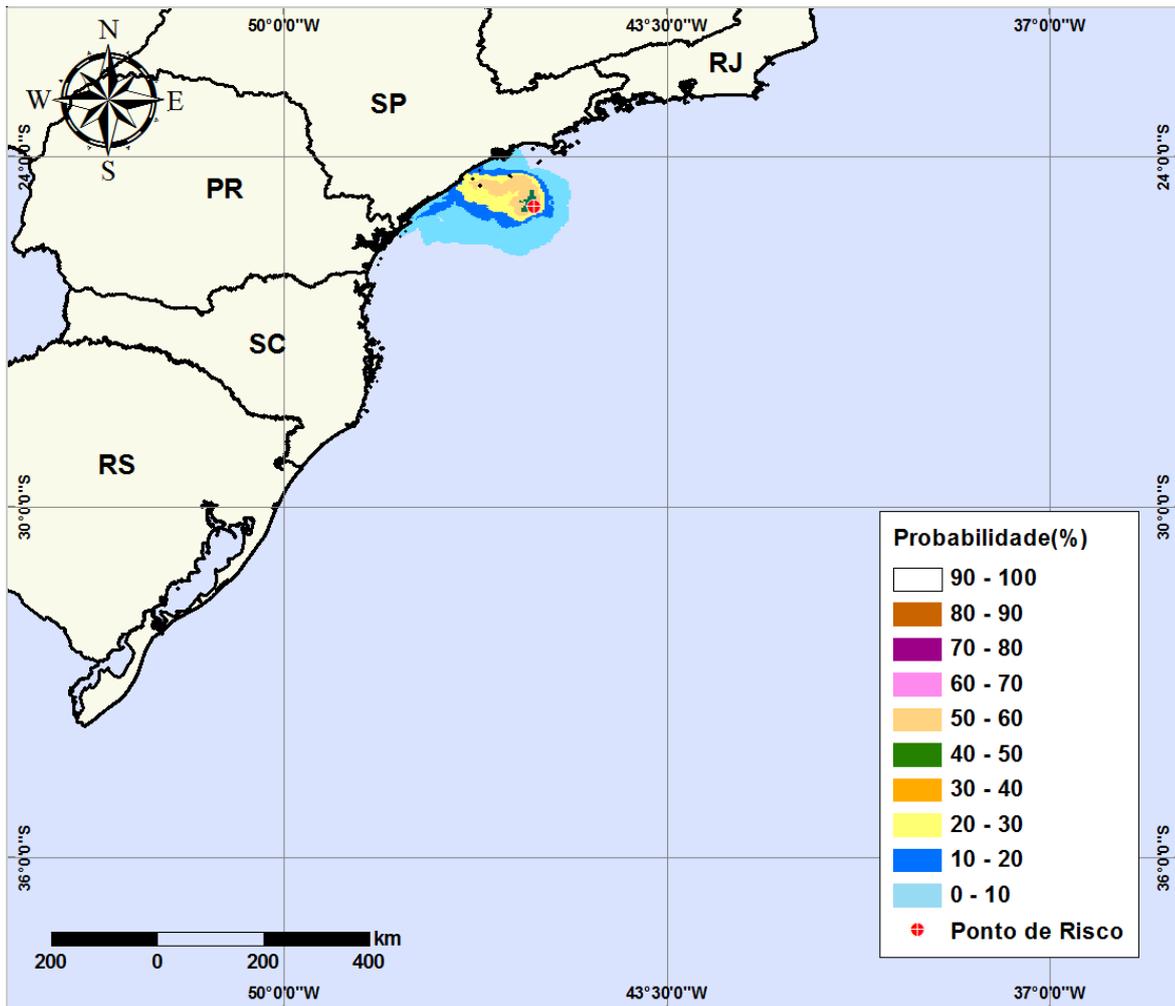
**Figura V-47** - Cenário S-5\_MLZ-3D\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



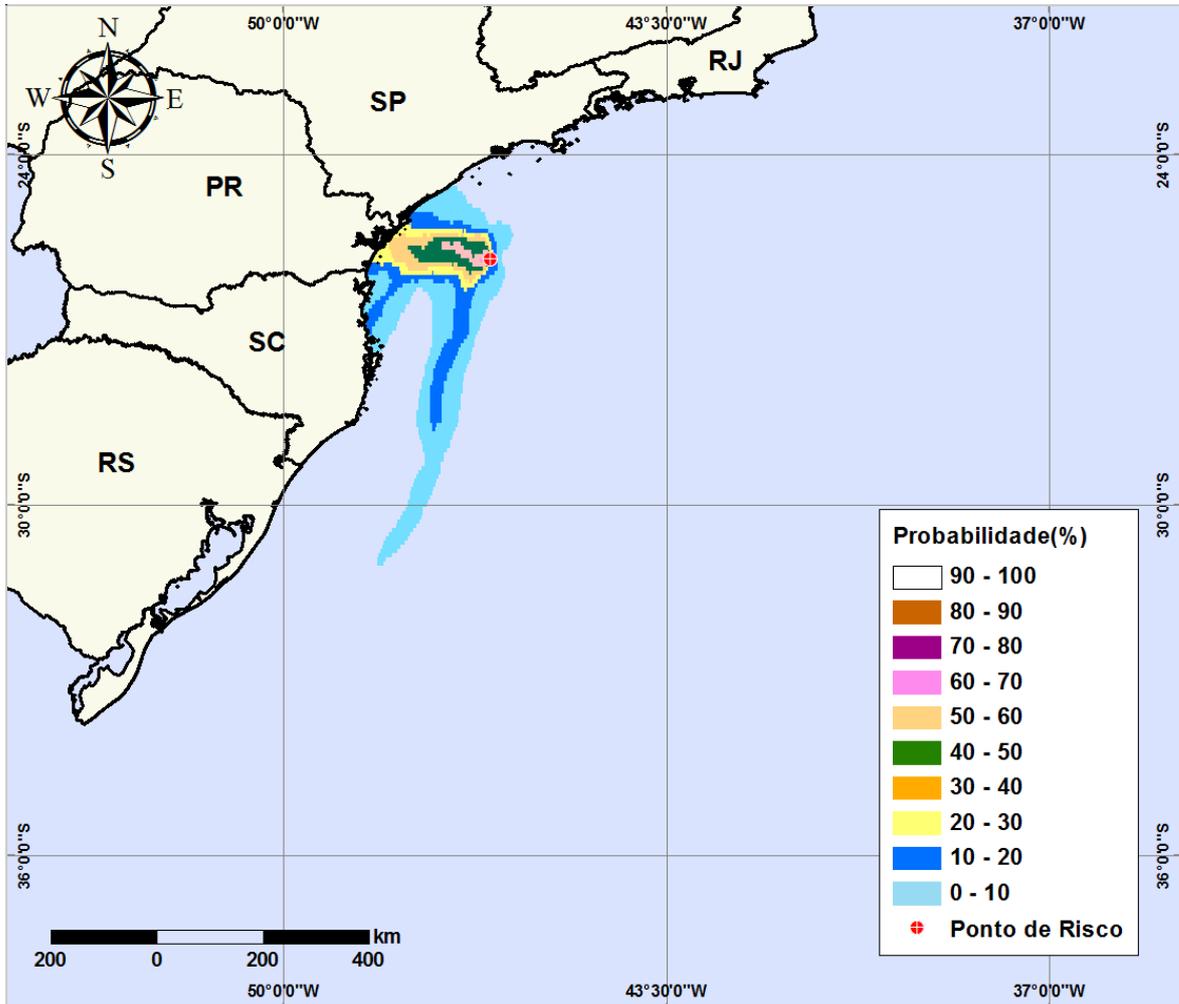
**Figura V-48** - Cenário S-5\_DIESEL\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



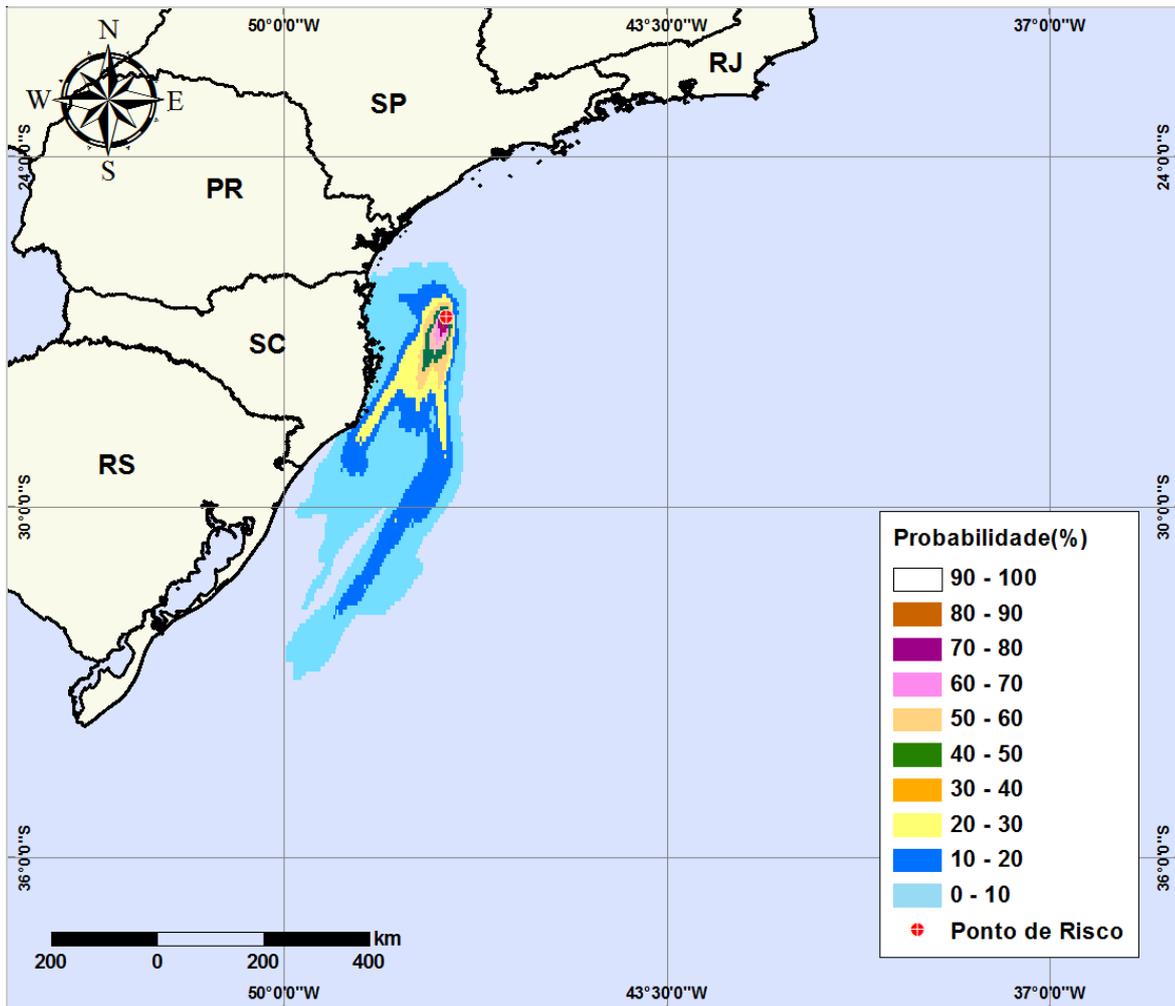
**Figura V-49** - Cenário S-6\_MLZ-3D\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



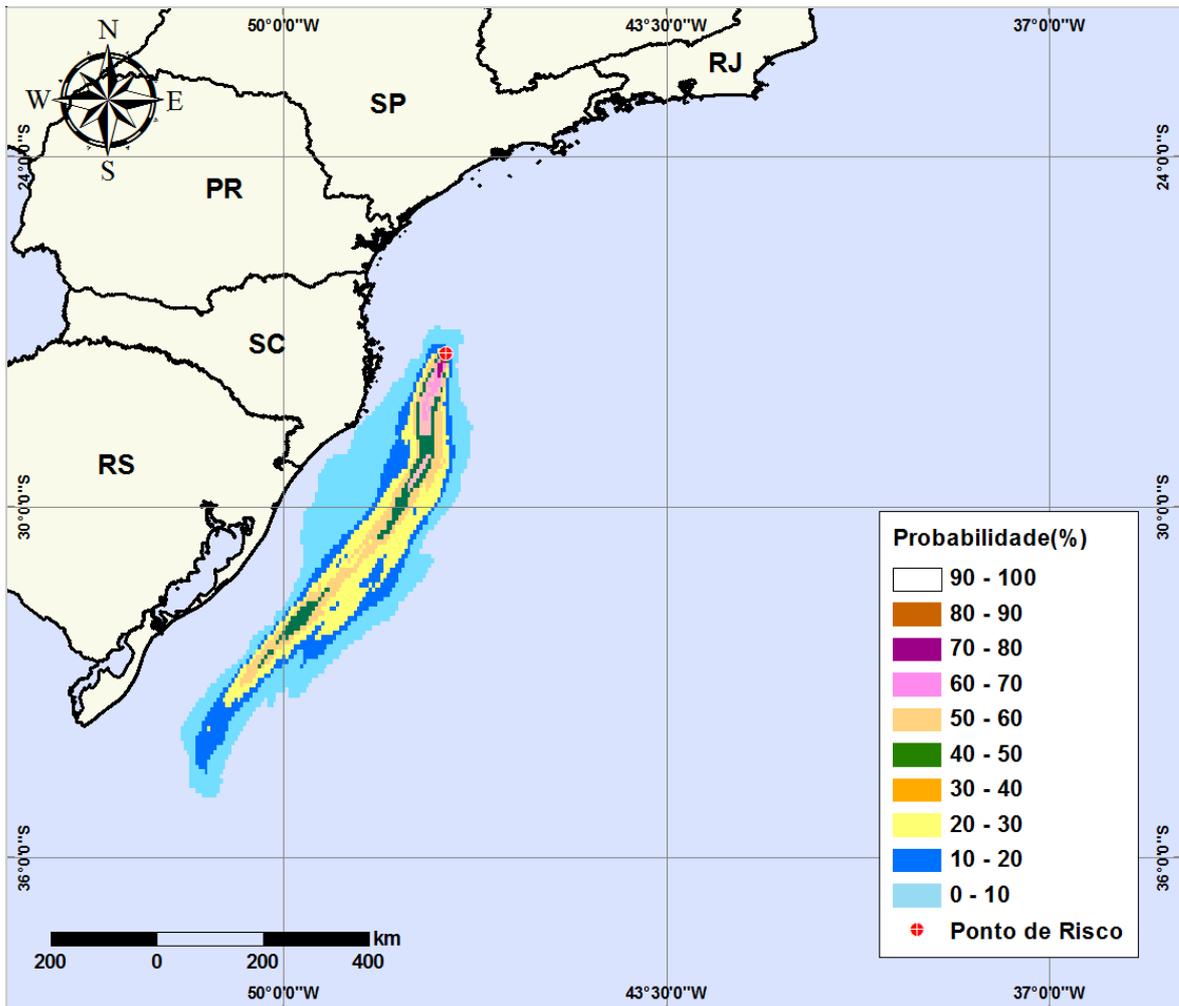
**Figura V-50** - Cenário S-6\_DIESEL\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



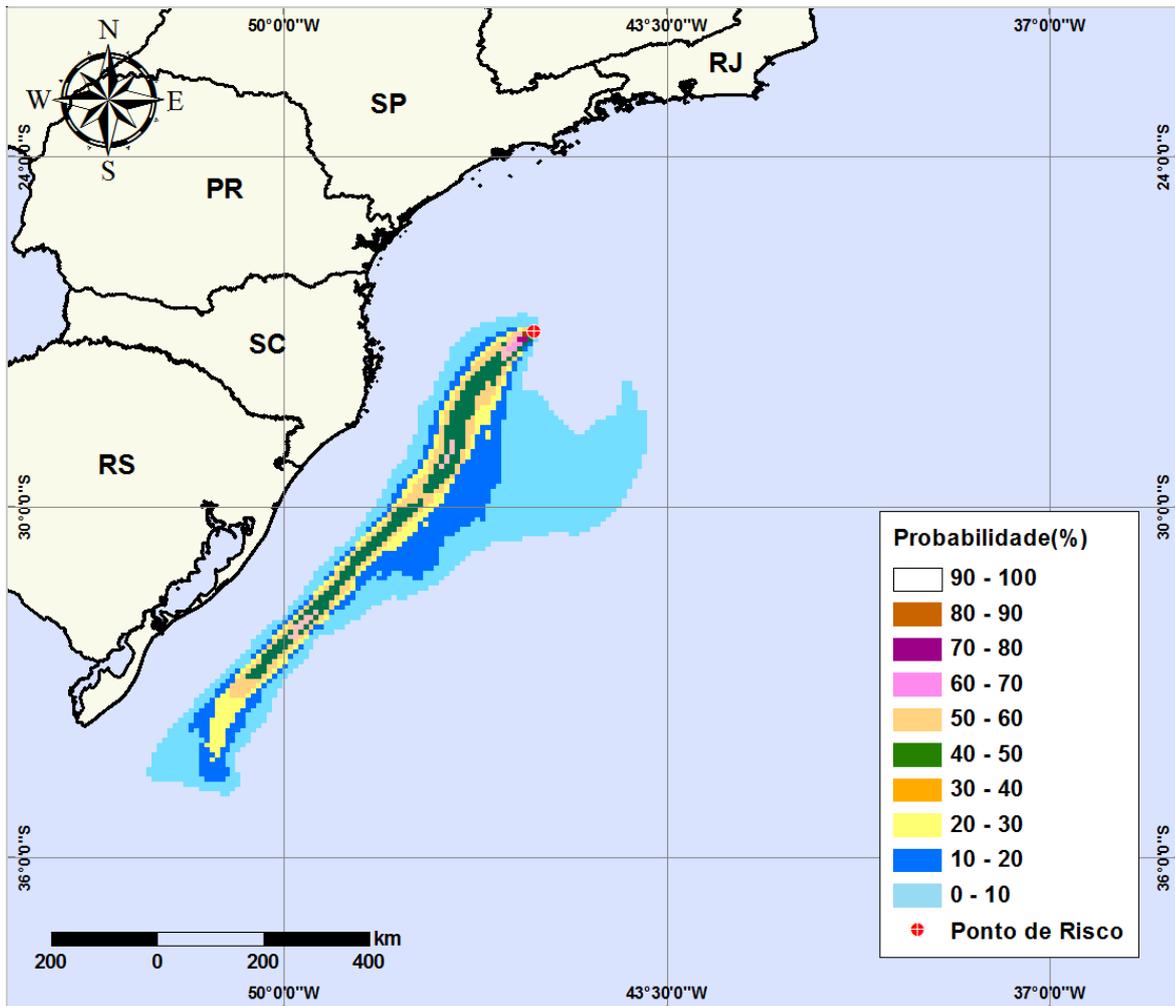
**Figura V-51** - Cenário S-7\_SCS10A\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-7 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



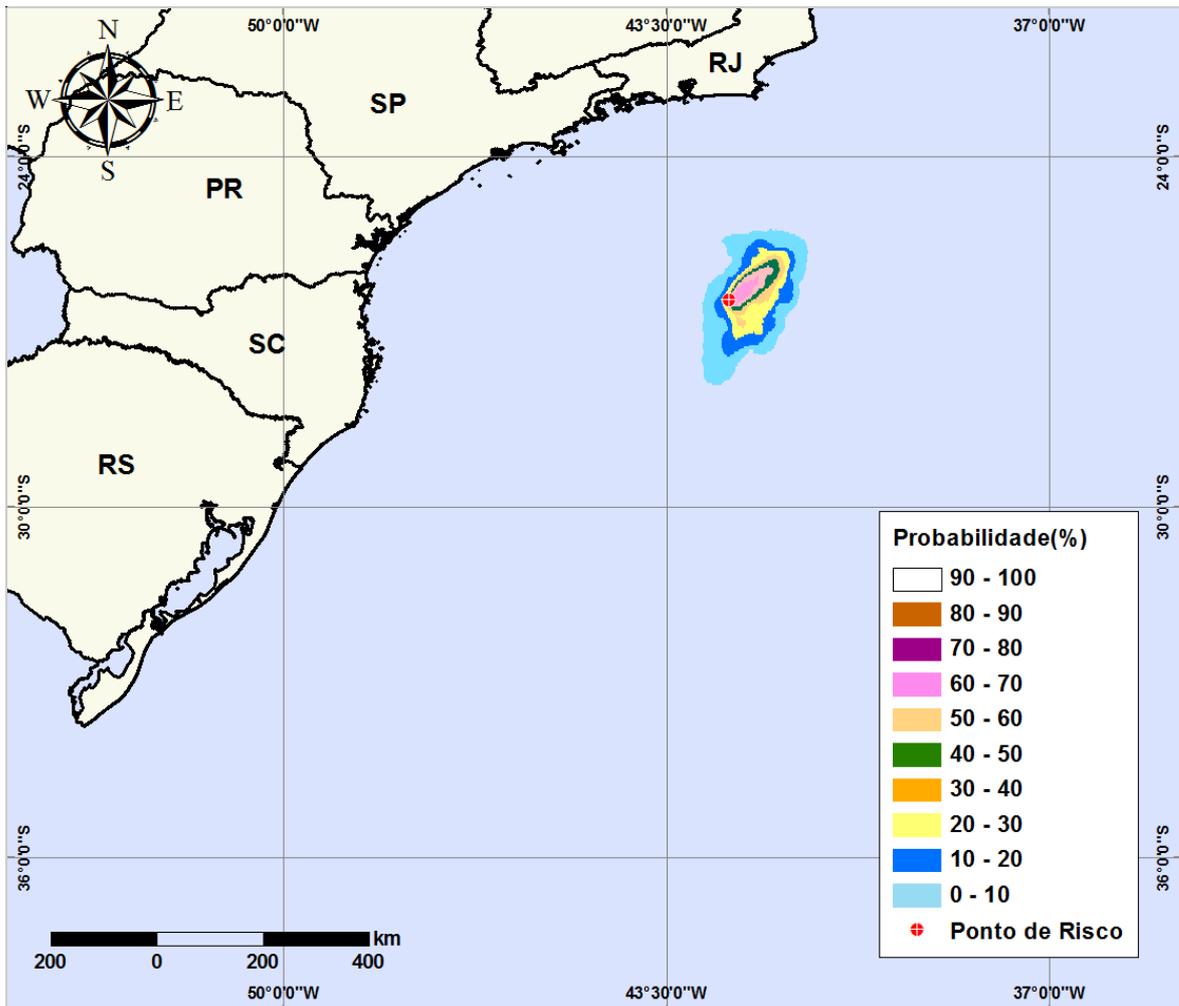
**Figura V-52** - Cenário S-8\_SCS10A\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-8 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



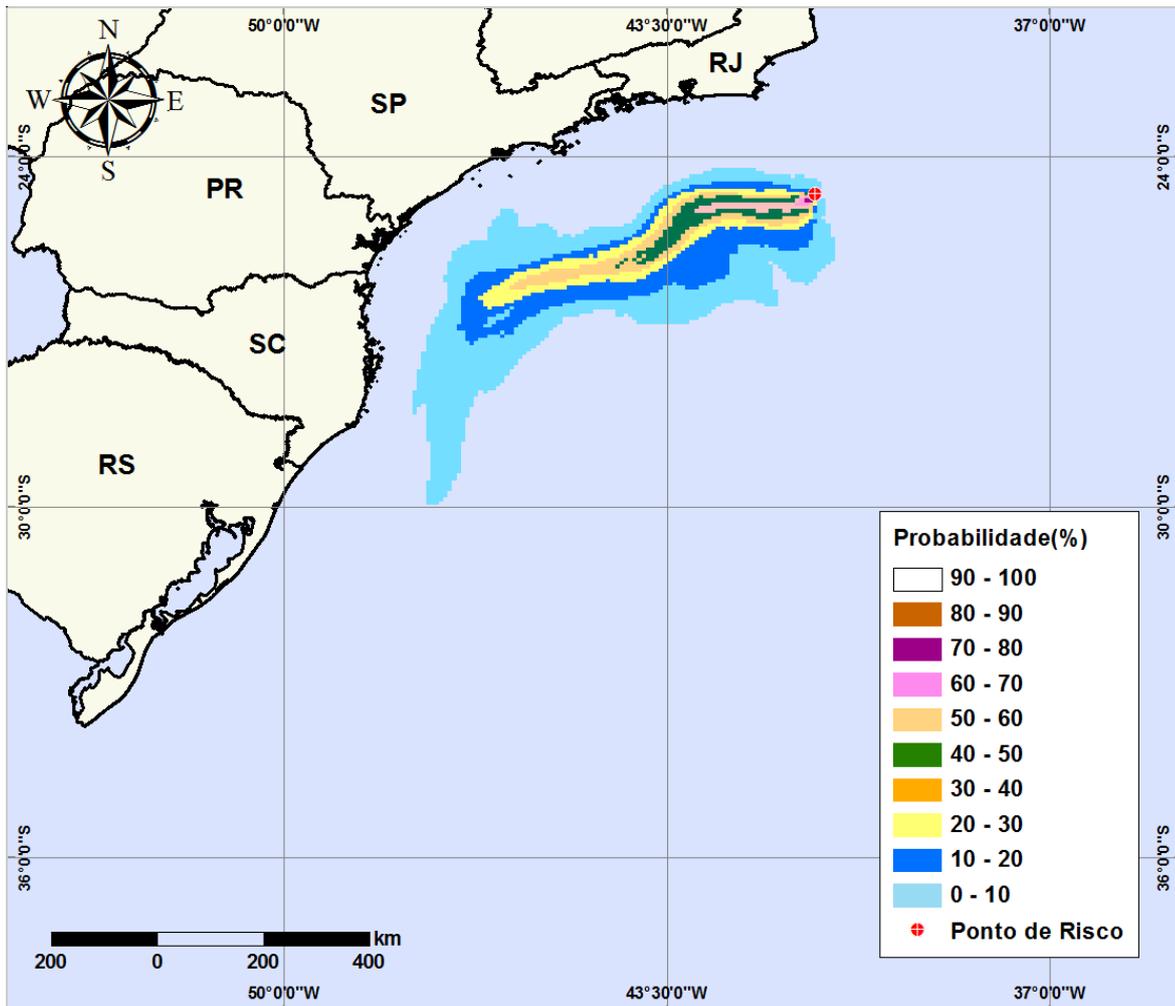
**Figura V-53** - Cenário S-9\_SCS10A\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-9 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



**Figura V-54** - Cenário S-10\_SCS10A\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-10 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



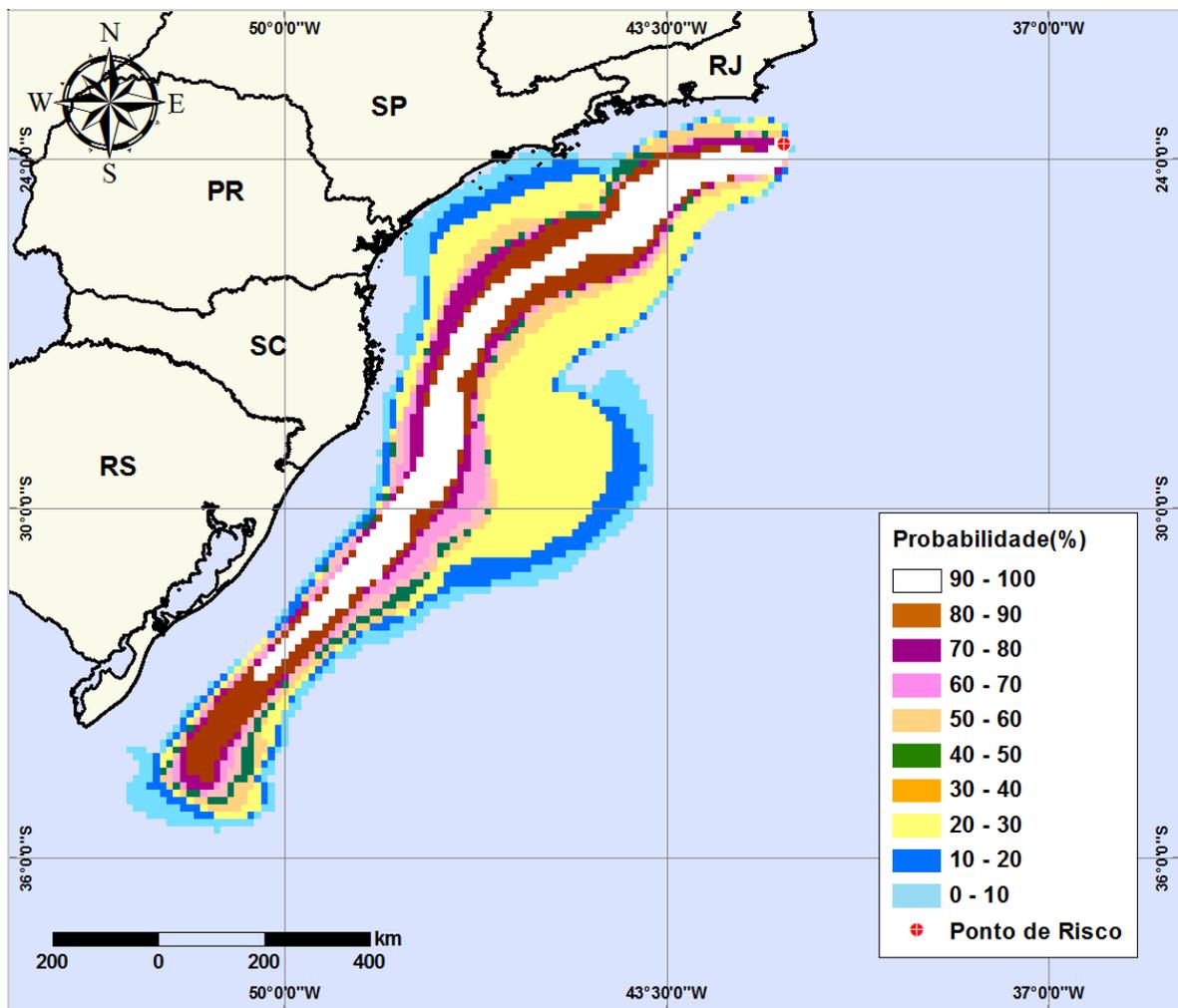
**Figura V-55** - Cenário S-11\_SPS-55\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-11 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



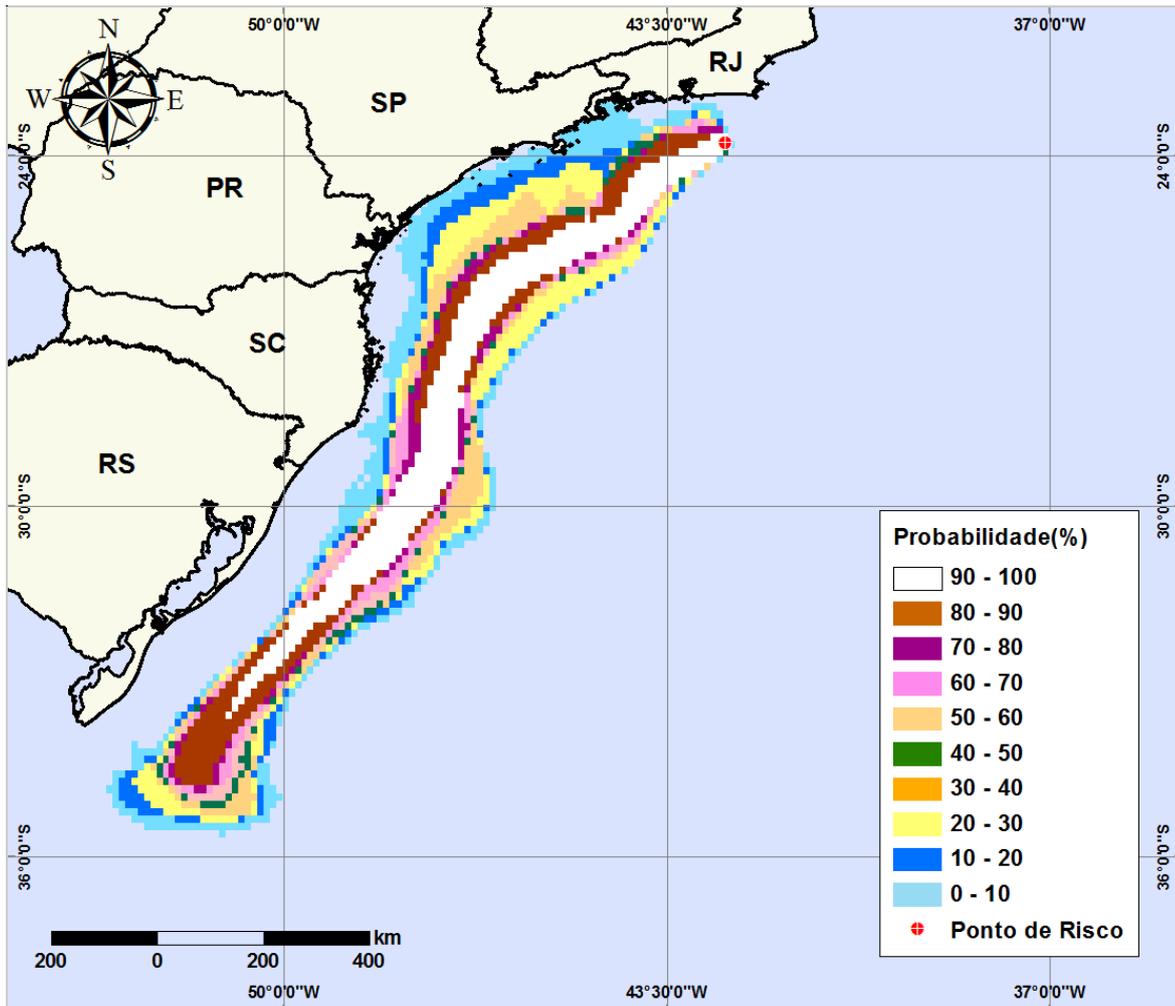
**Figura V-56** - Cenário S-12\_SPS-55\_INV\_200\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-12 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

### V.1.3 Simulações Probabilísticas para o Volume de Derrame de Pior Caso

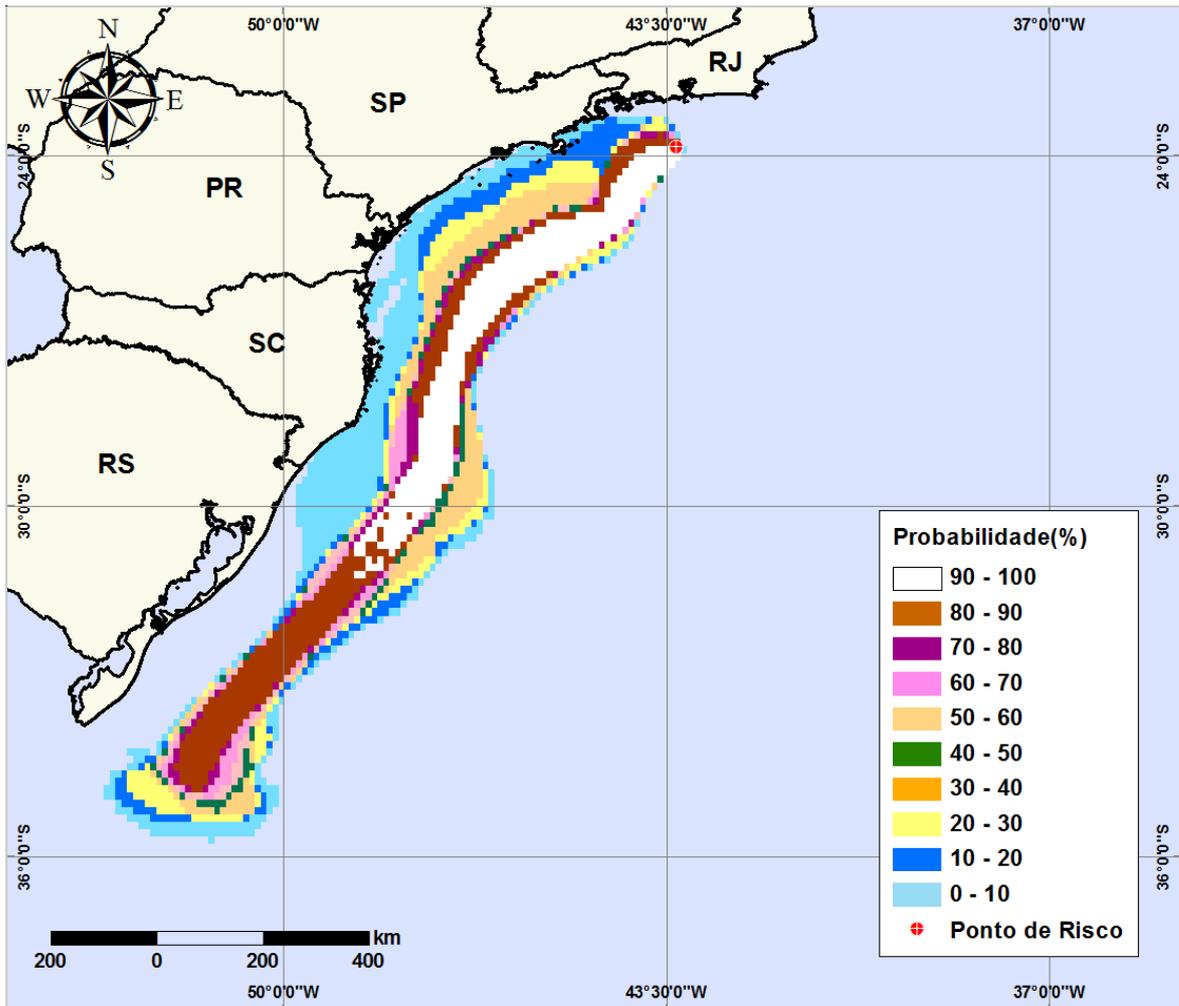
As figuras V-57 a V-70 apresentam os resultados das simulações probabilísticas para os 12 pontos de risco localizados na Área Geográfica Bacia de Santos, decorrentes potenciais acidentes com derrames de volume de pior caso, com diferentes tipos de óleo/condensado durante os meses de verão.



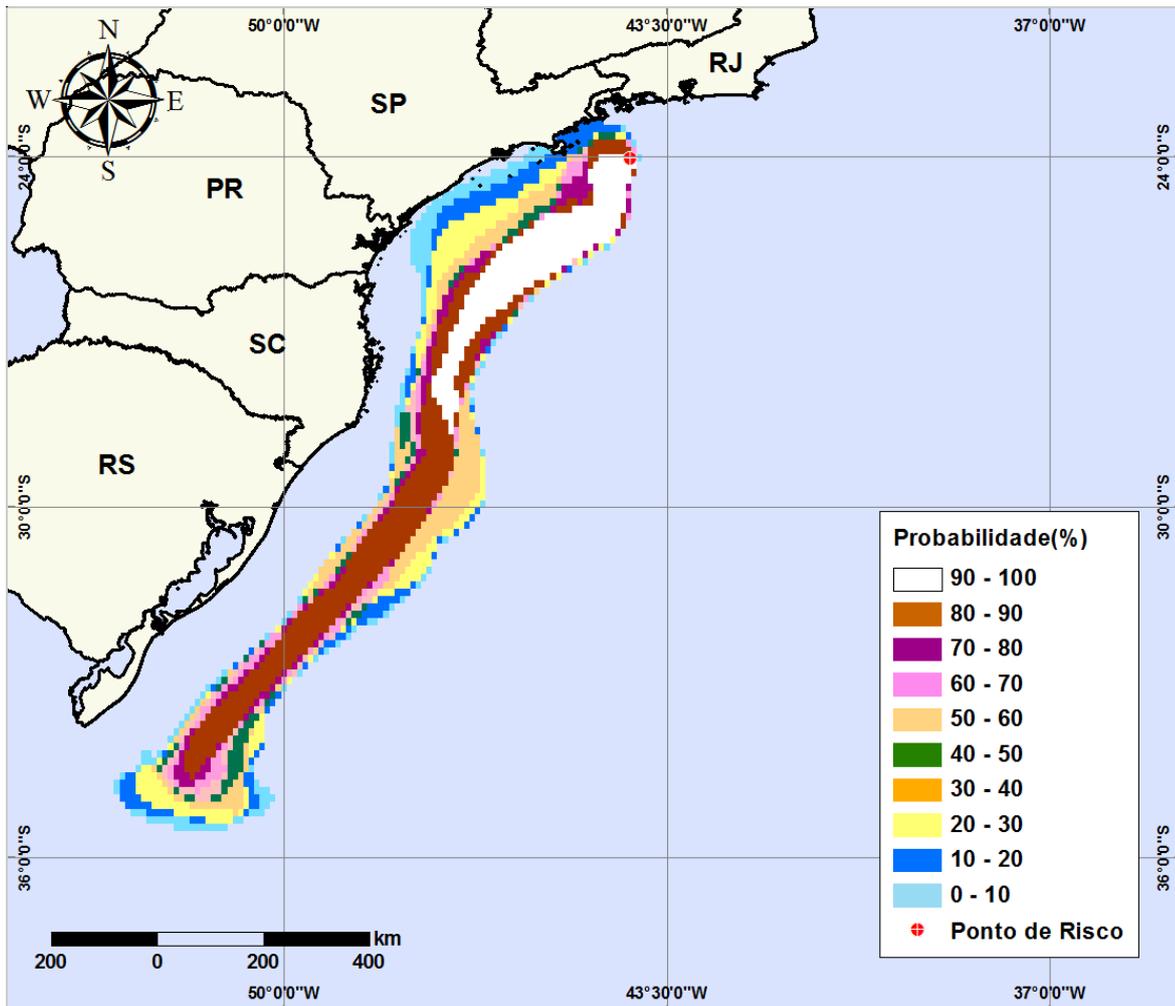
**Figura V-57** - Cenário S-1\_RJS-621\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-1 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 60.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



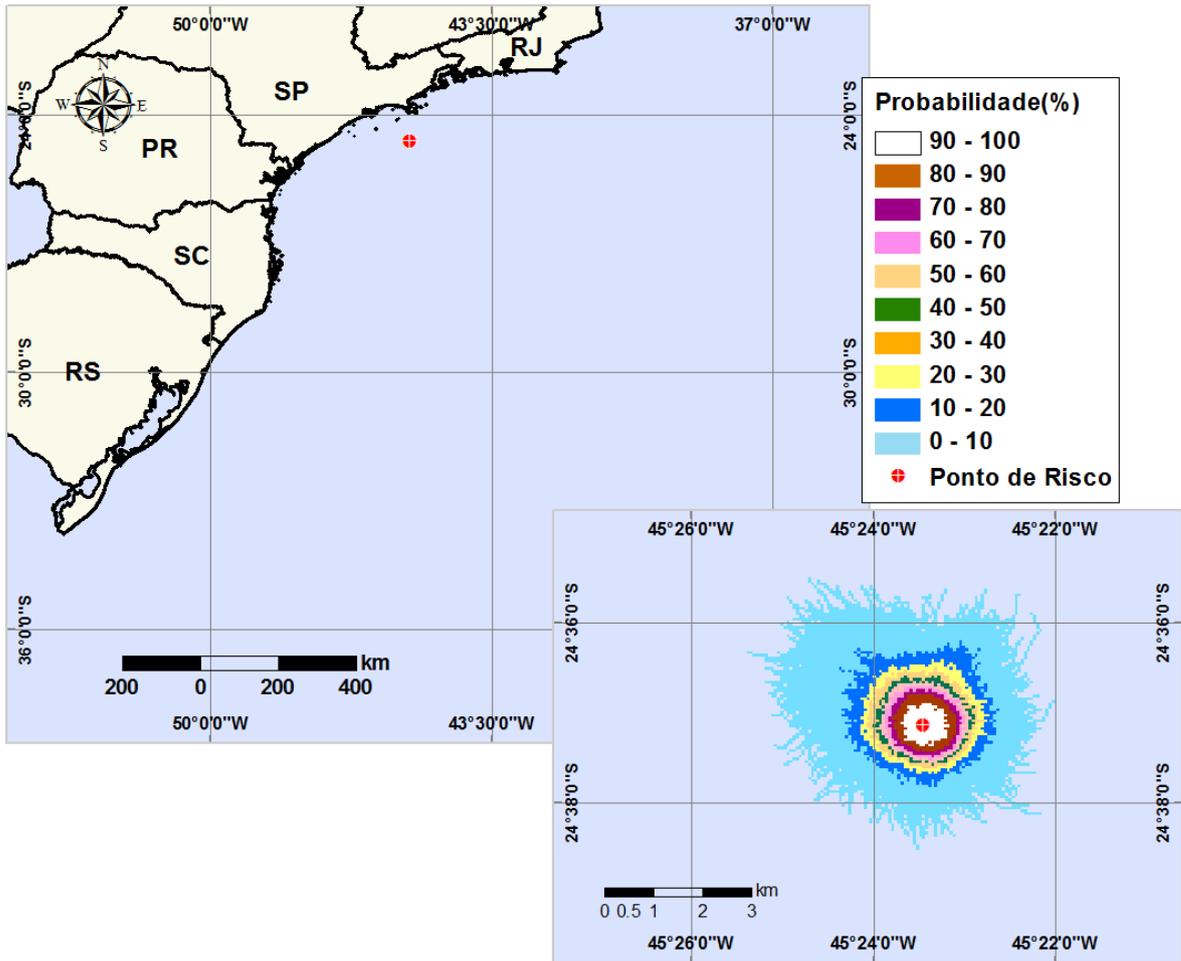
**Figura V-58** - Cenário S-2\_RJS-621\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-2 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 60.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



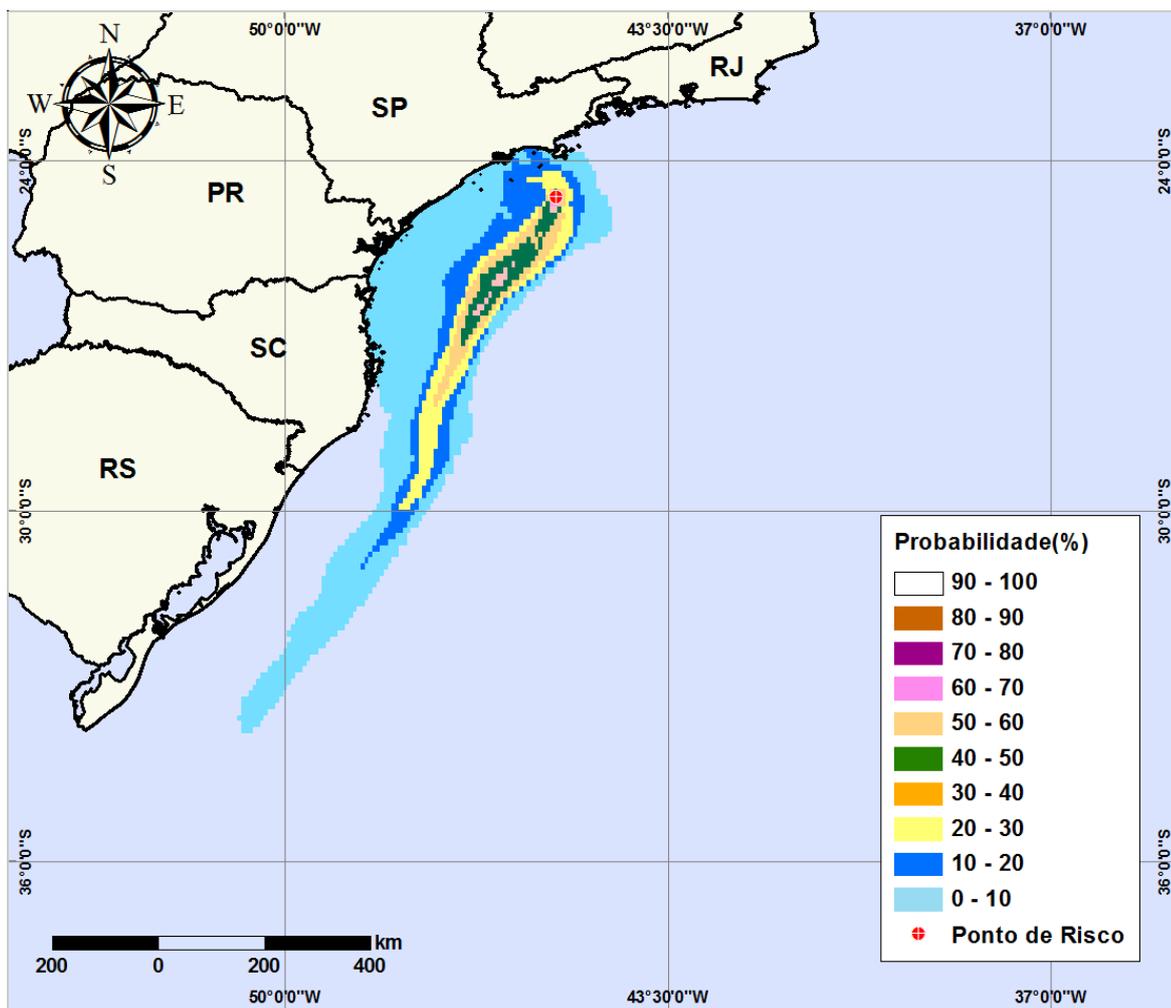
**Figura V-59** - Cenário S-3\_RJS-621\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-3 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 60.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



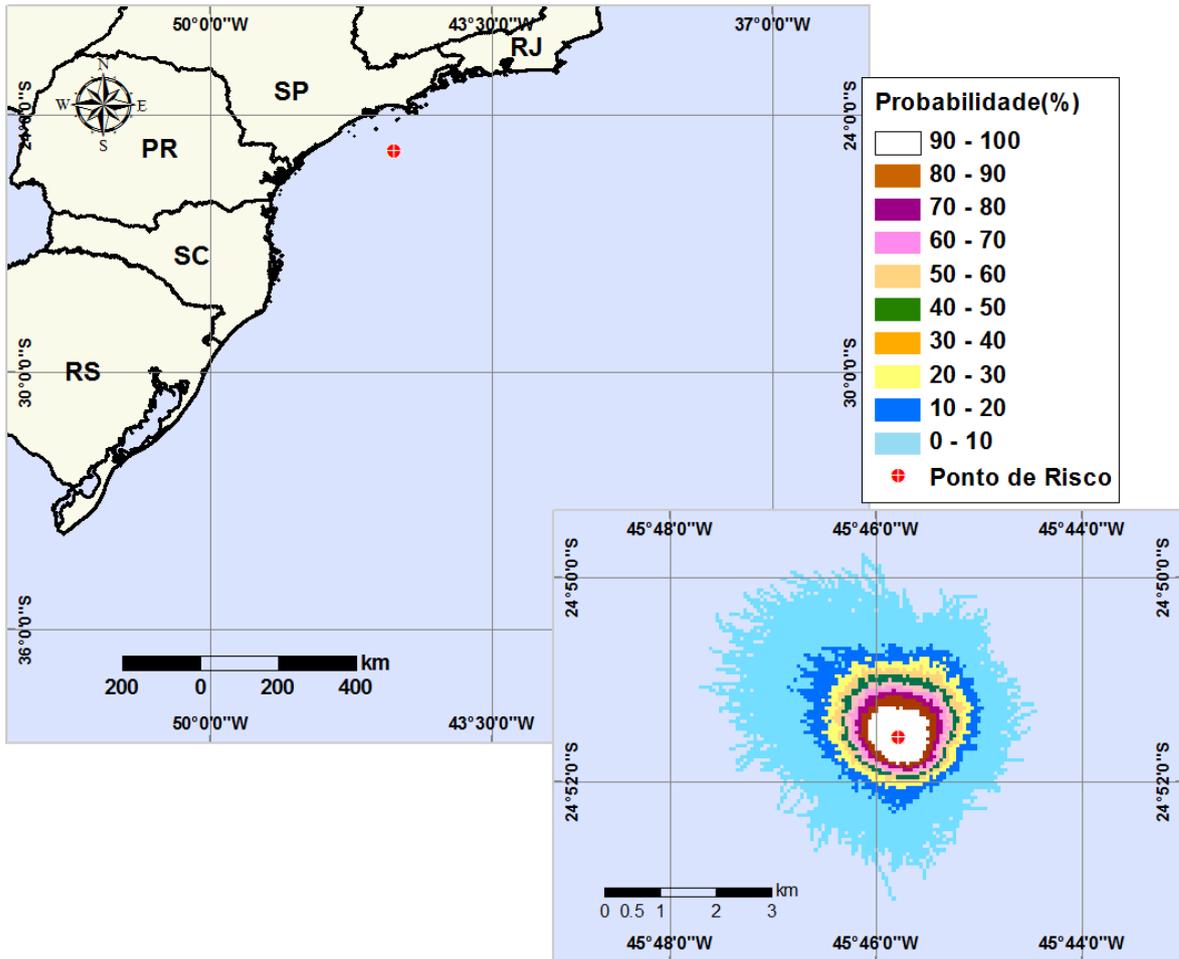
**Figura V-60** - Cenário S-4\_MXL2HP\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço MXL-2H, ocorrendo no Ponto S-4 (Polo Mexilhão), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 12.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



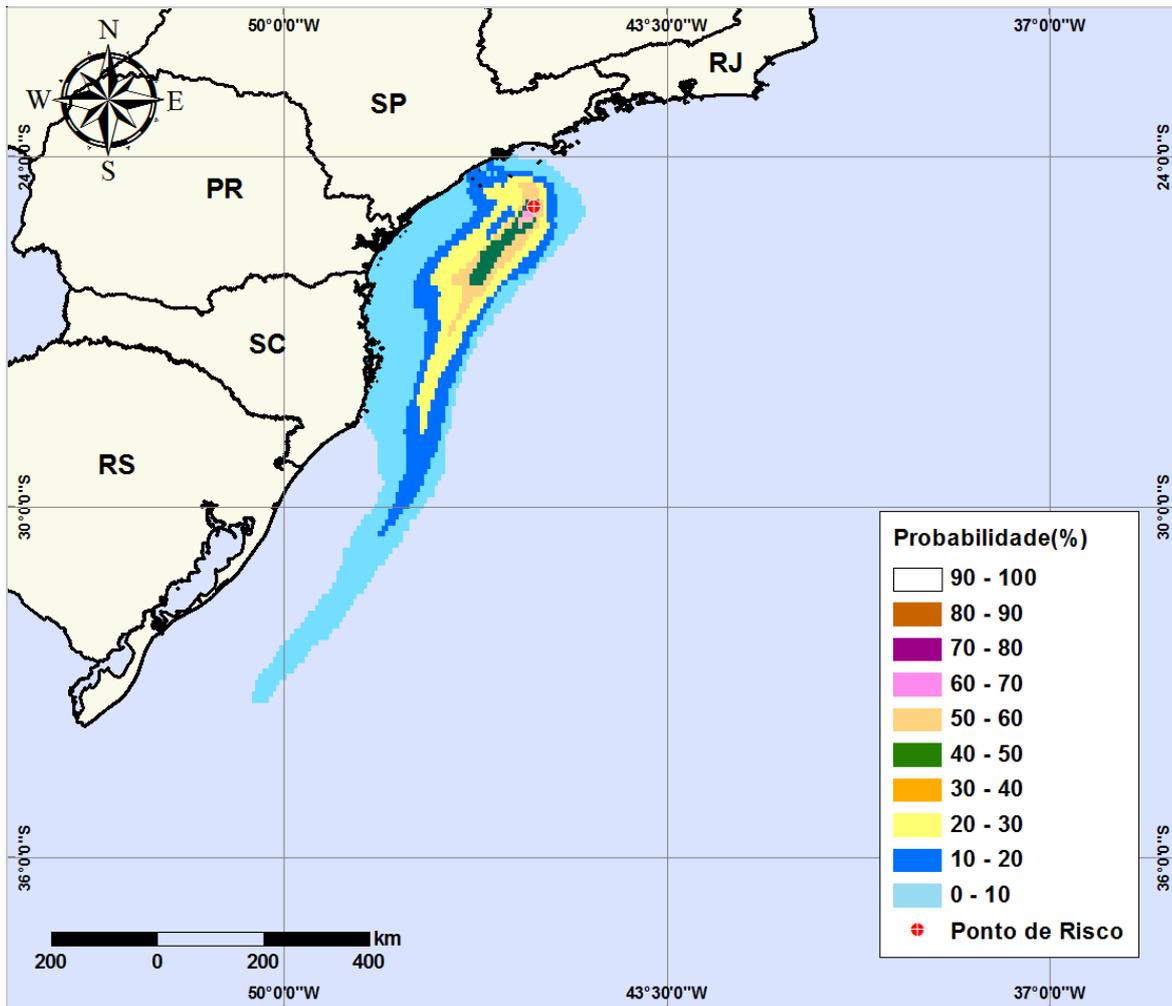
**Figura V-61** - Cenário S-5\_MLZ-3D\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 1.650 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



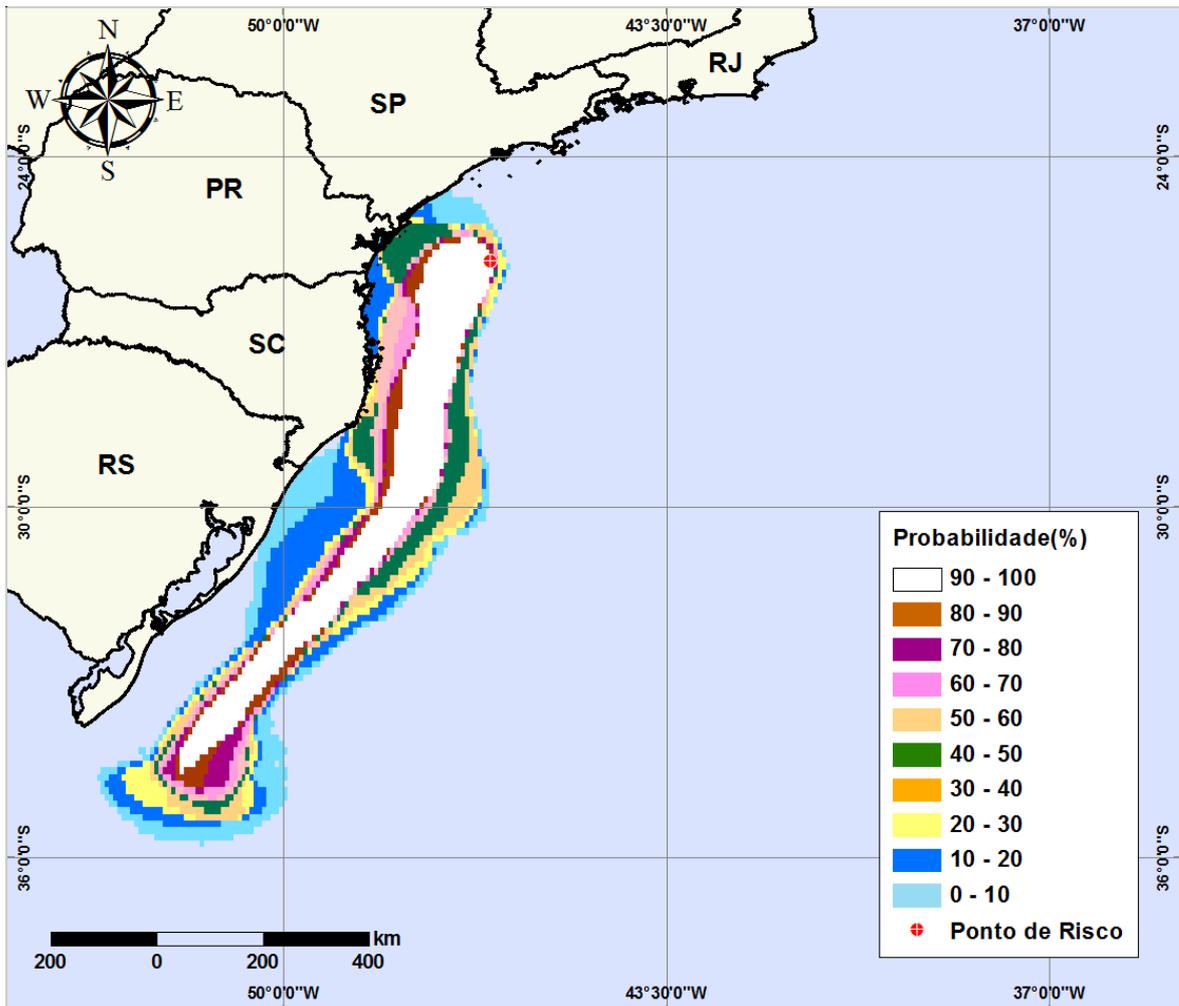
**Figura V-62** - Cenário S-5\_DIESEL\_VER\_PC\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



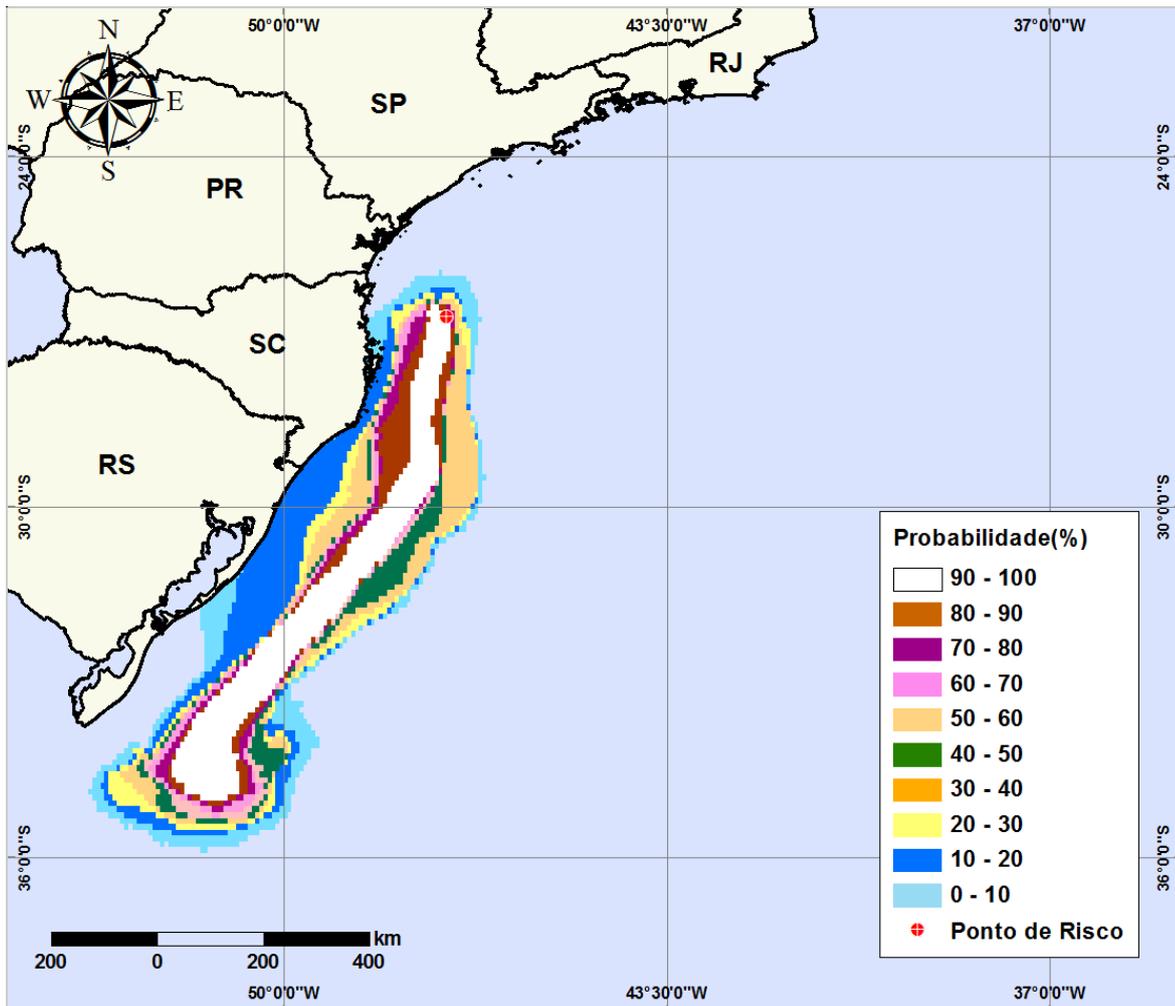
**Figura V-63** - Cenário S-6\_MLZ-3D\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de  $1.650 \text{ m}^3$  (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



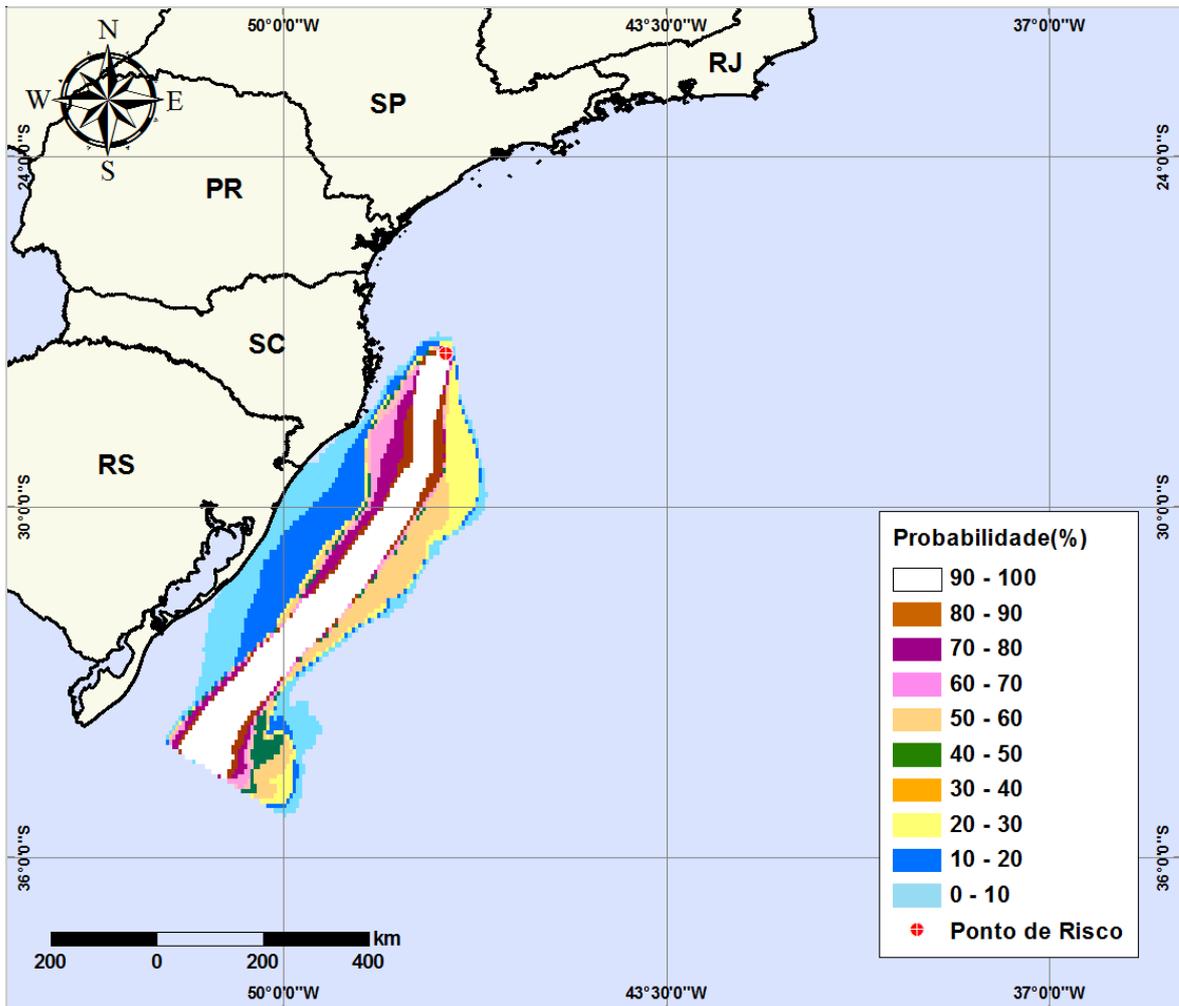
**Figura V-64** - Cenário S-6\_DIESEL\_VER\_PC\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



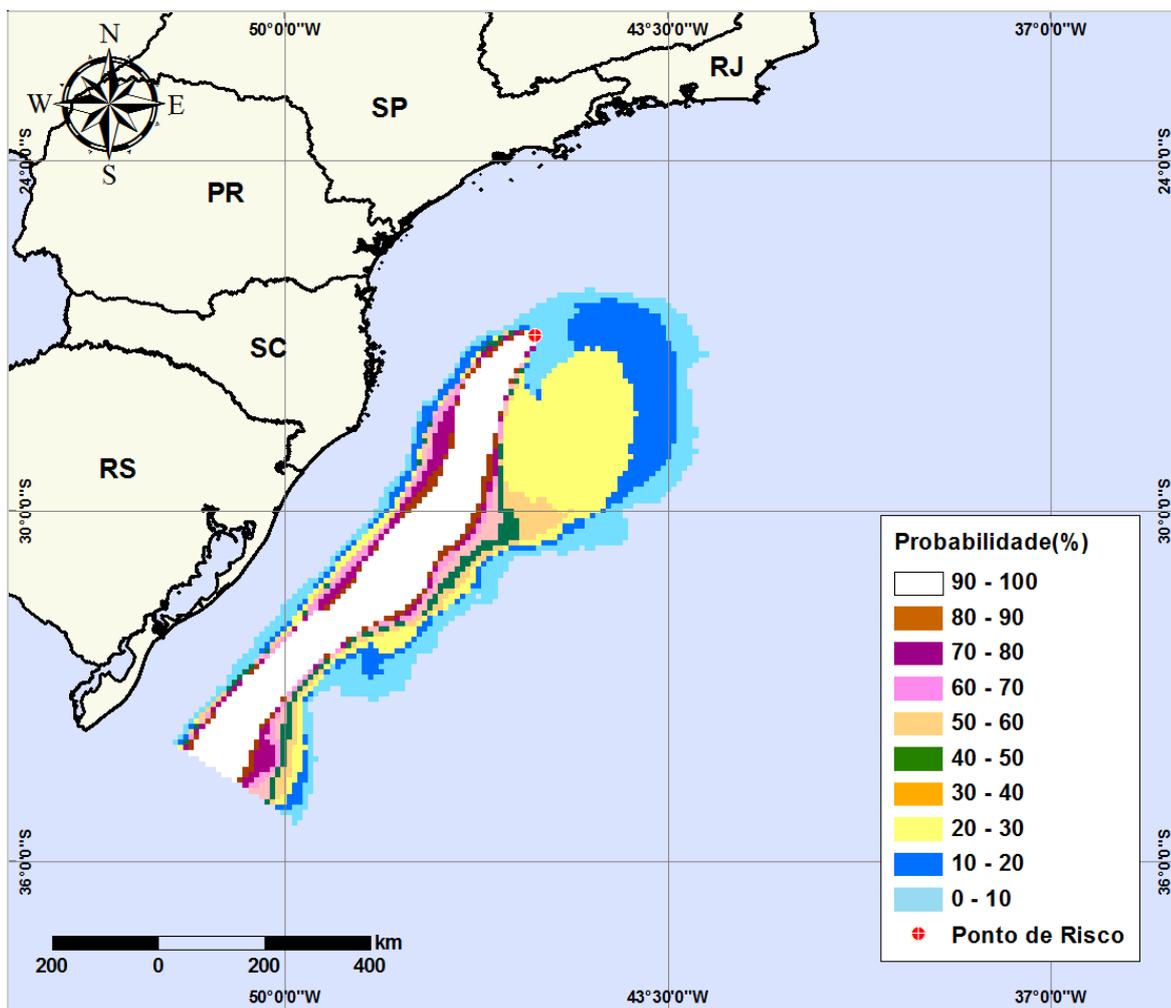
**Figura V-65** - Cenário S-7\_SCS10A\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-7 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 57.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



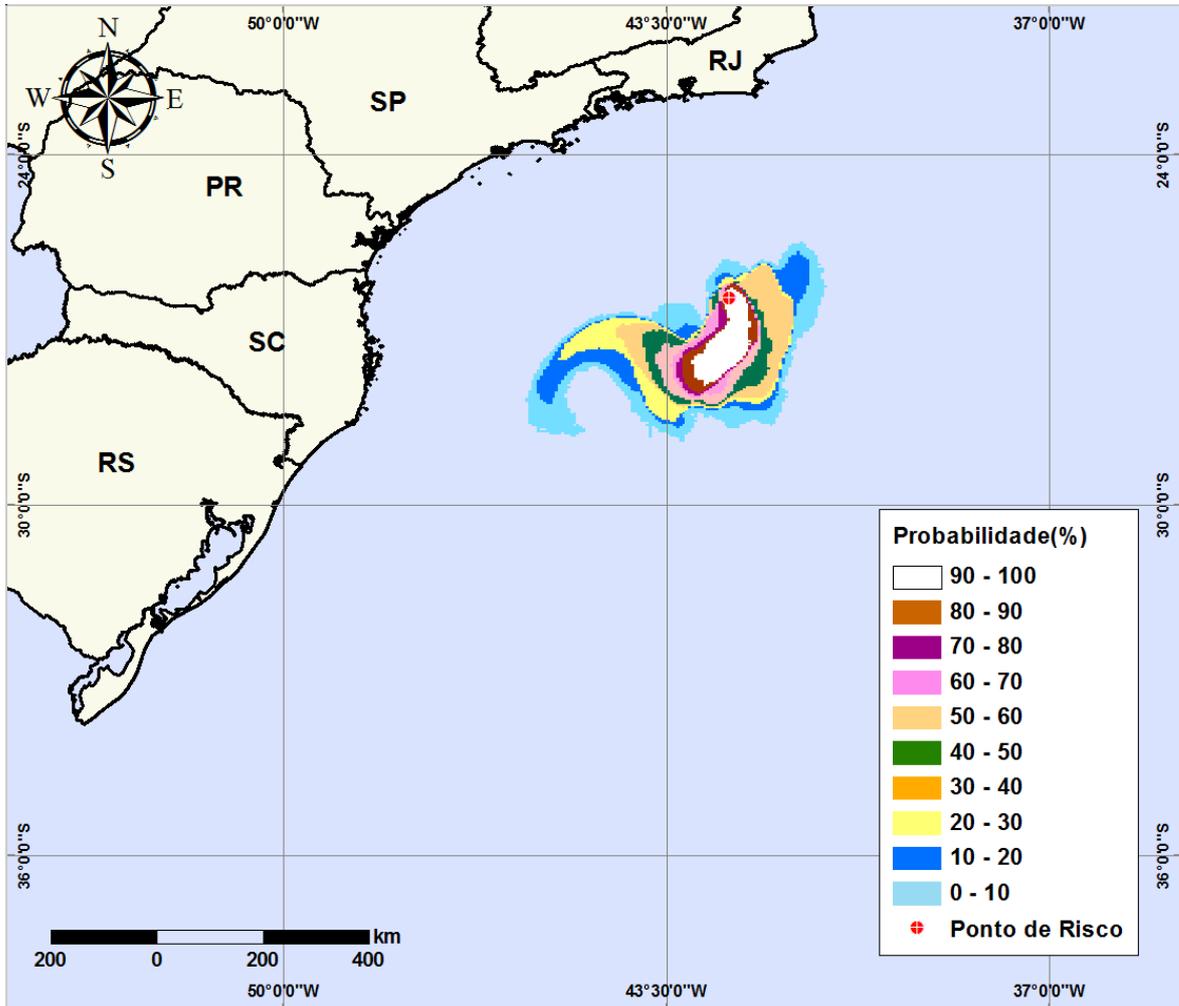
**Figura V-66** - Cenário S-8\_SCS10A\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-8 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 57.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



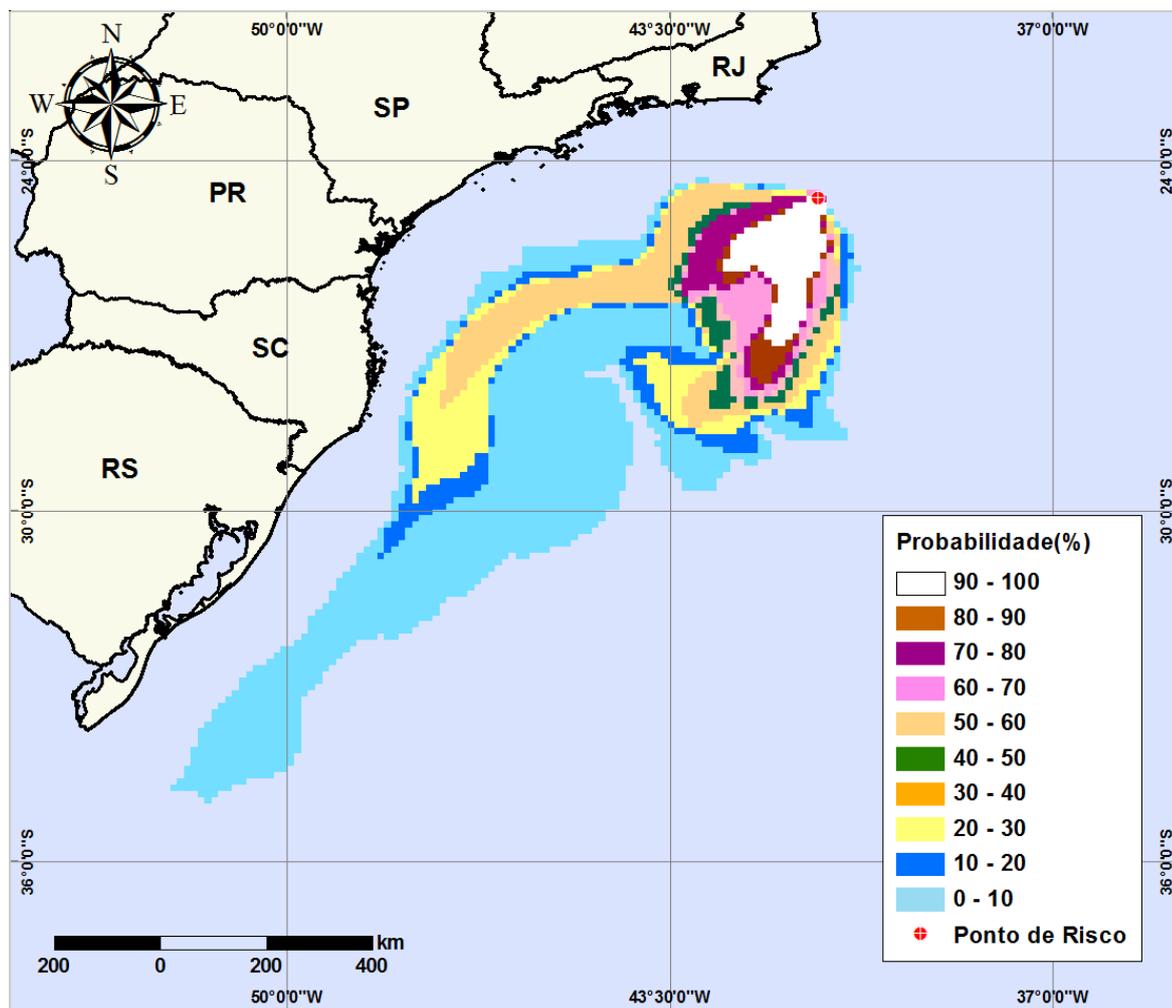
**Figura V-67** - Cenário S-9\_SCS10A\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-9 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 57.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



**Figura V-68** - Cenário S-10\_SCS10A\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-10 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 57.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.

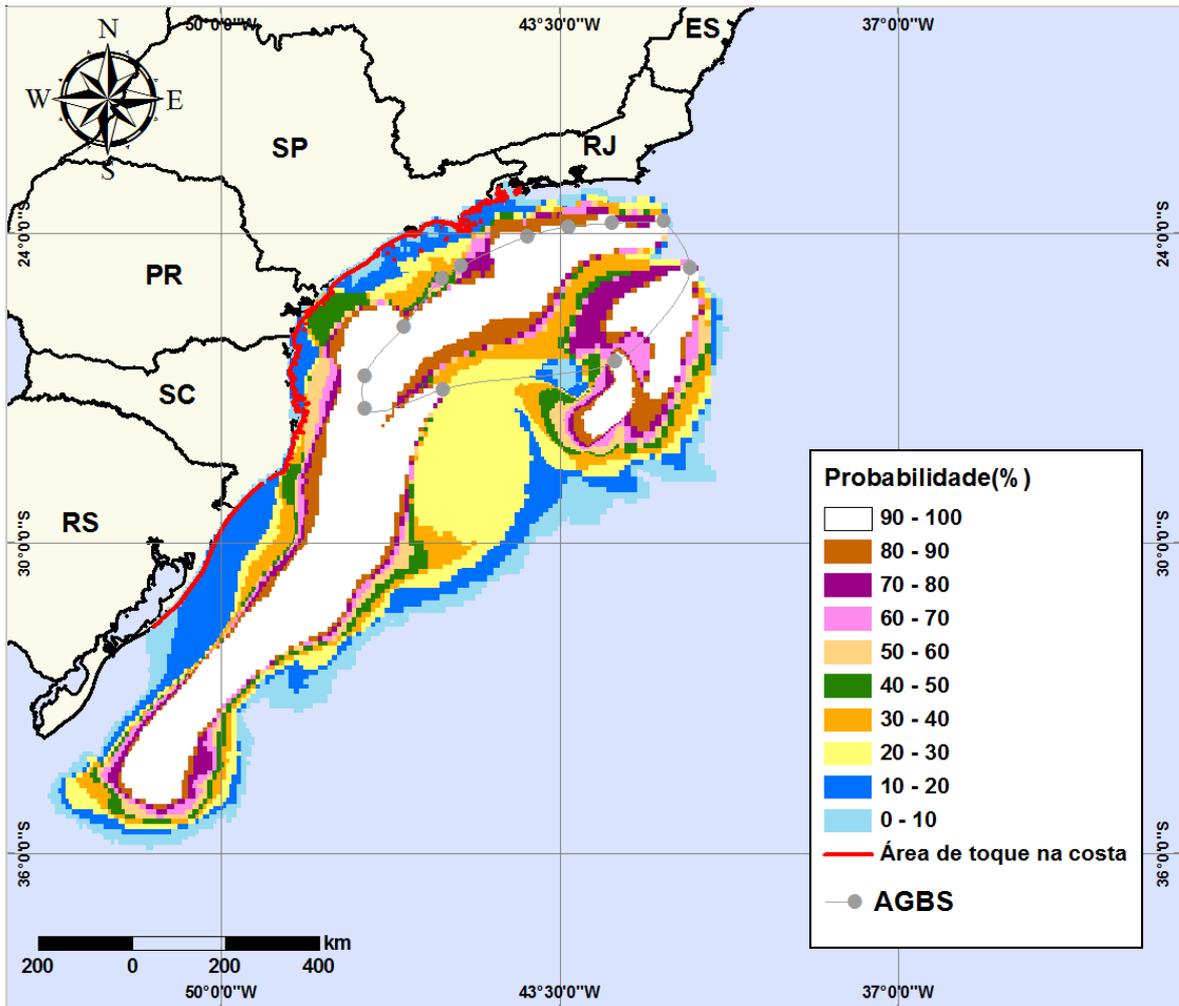


**Figura V-69** - Cenário S-11\_SPS-55\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-11 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 156.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



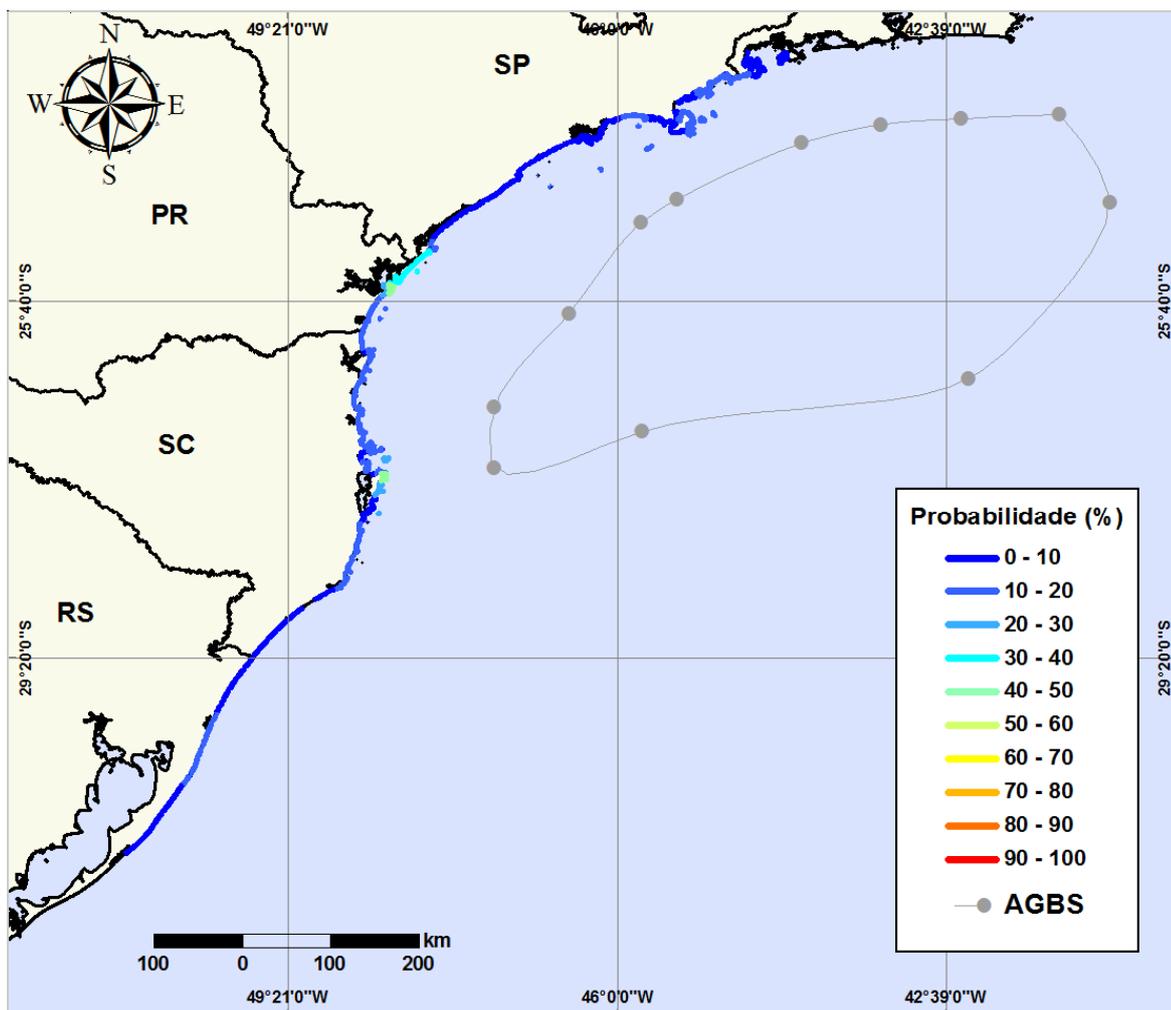
**Figura V-70** - Cenário S-12\_SPS-55\_VER\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-12 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 156.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.

A figura V-71 apresenta a área total com probabilidade de óleo na água, através da sobreposição das manchas de probabilidade obtidas para cada um dos 14 cenários simulados (12 pontos de risco e 6 tipos de óleo), em condições de verão. Na mesma figura, destaca-se em vermelho a região da linha de costa com probabilidade de toque. A probabilidade de toque na costa é apresentada em detalhe na figura V-72.



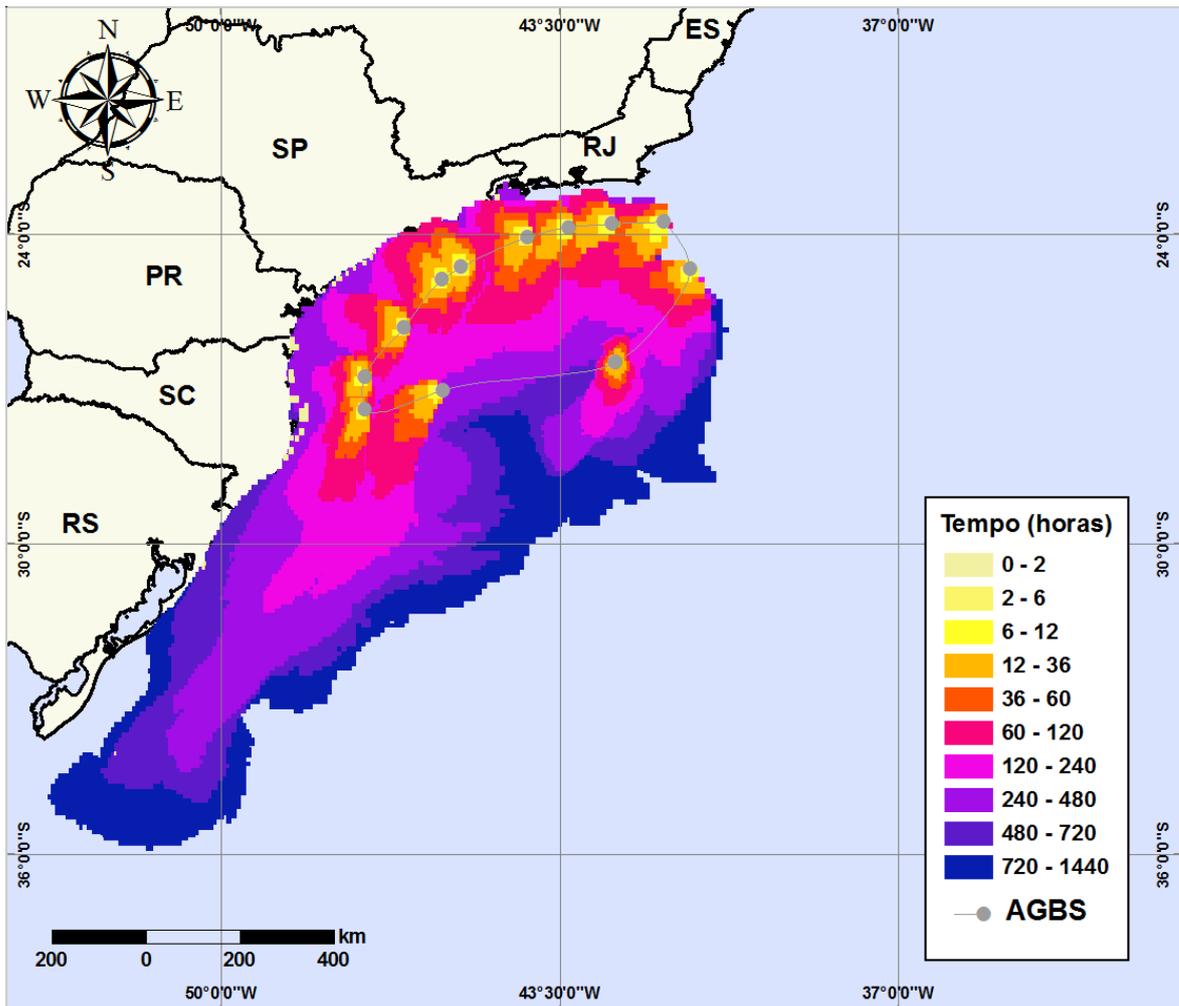
**Figura V-71** - Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para a Área Geográfica Bacia de Santos, decorrente de derrames de óleo durante os meses de verão (janeiro a março).

A figura V-72 apresenta a região da linha de costa com probabilidade de toque, através da sobreposição dos pontos de toque obtidos para cada um dos 14 cenários simulados (12 pontos de risco e 6 tipos de óleo), em condições de verão. Considerando todas as simulações realizadas, verificou-se que existe probabilidade de toque na costa em uma área que se estende por, aproximadamente, 2.522 km do Município de Angra dos Reis (RJ) até o de Tavares (RS). As maiores probabilidades de toque na costa (40-50%) ocorreram em Guaraqueçaba e Paranaguá (PR), e Florianópolis (SC).



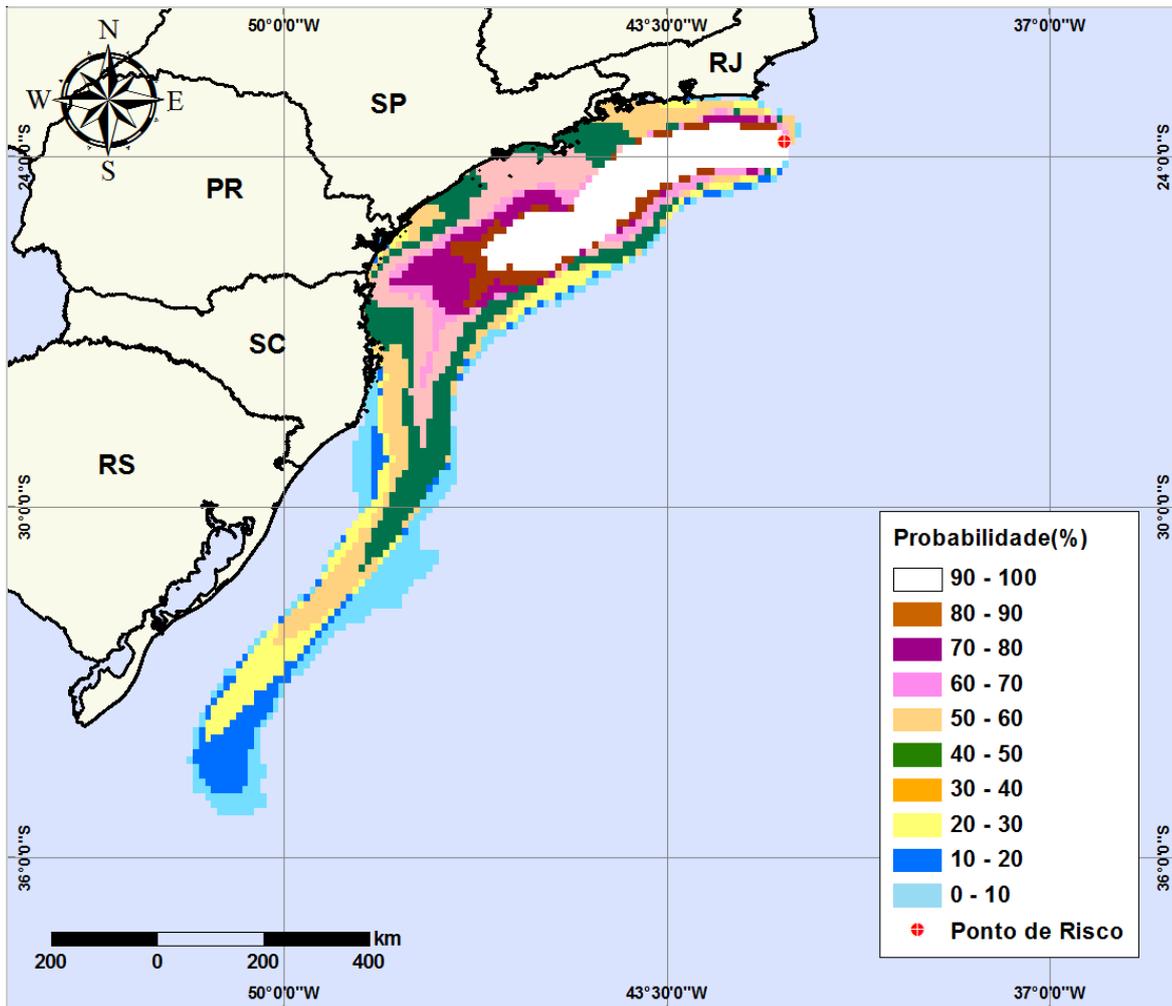
**Figura V-72** - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para a Área Geográfica Bacia de Santos, decorrente de derrames de óleo durante os meses de verão (janeiro a março).

A figura V-73 apresenta os contornos de tempo do deslocamento de óleo na água, através da sobreposição das 14 simulações de modelagem de derrame de óleo (12 pontos de risco e 6 tipos de óleo) realizadas durante o verão.

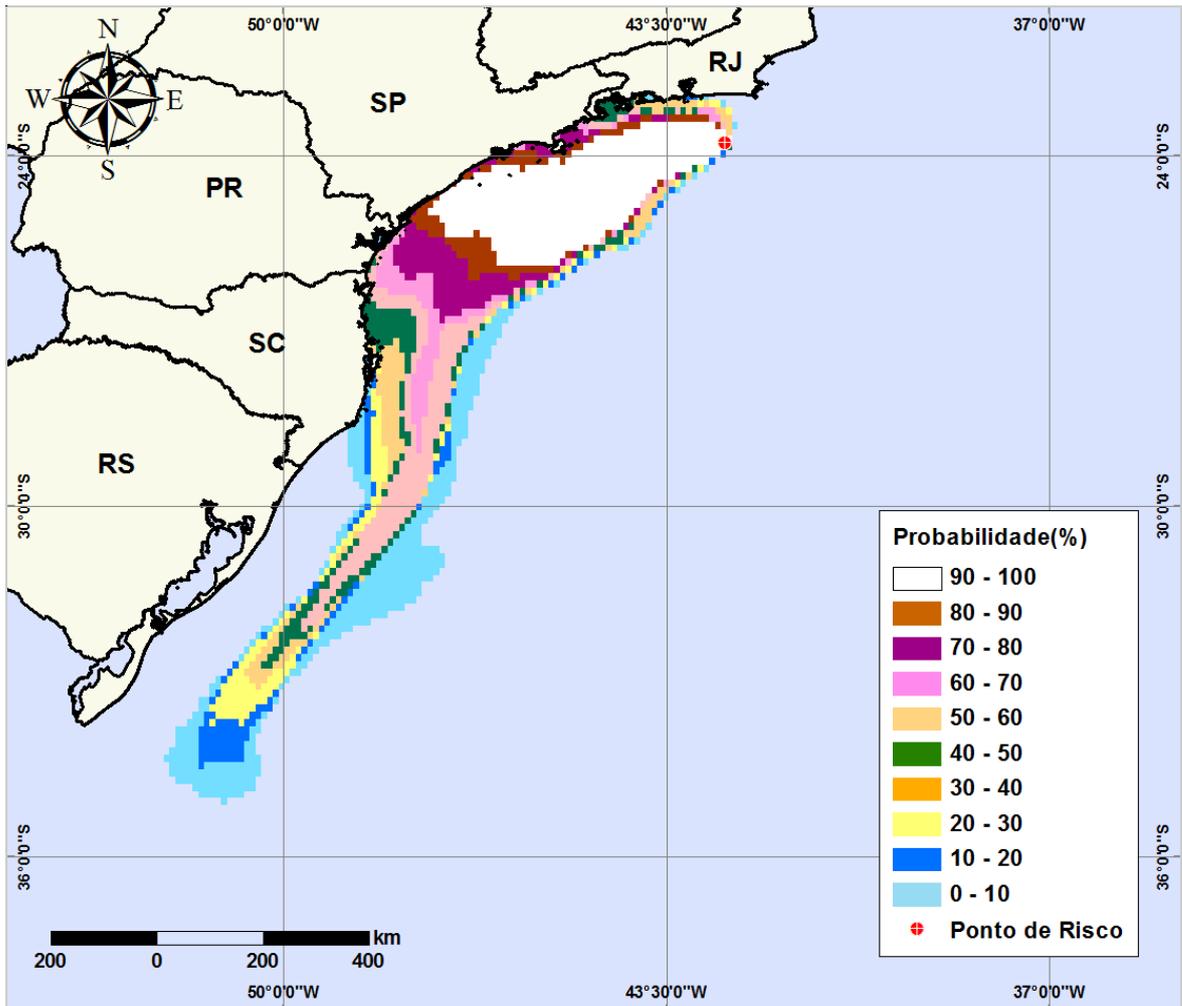


**Figura V-73** - Tempo de deslocamento de óleo na água para a Área Geográfica Bacia de Santos, decorrente de derrames de óleo durante os meses de verão (janeiro a março).

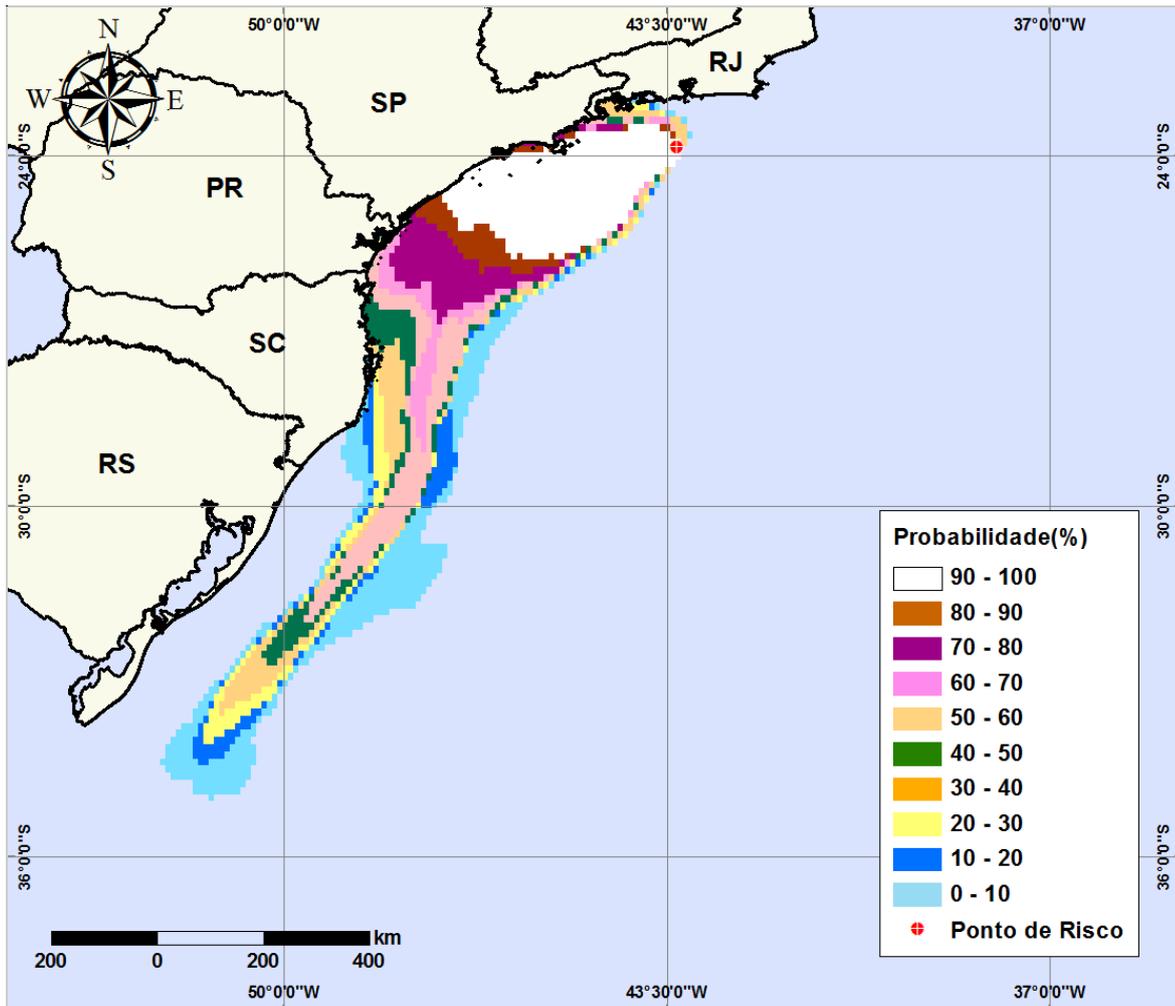
Da figura V-74 a figura V-87 são apresentados os resultados das simulações probabilísticas para os 12 pontos de risco localizados na Área Geográfica Bacia de Santos, decorrentes potenciais acidentes com derrames de volume de pior caso, com diferentes tipos de óleo/condensado durante os meses de inverno.



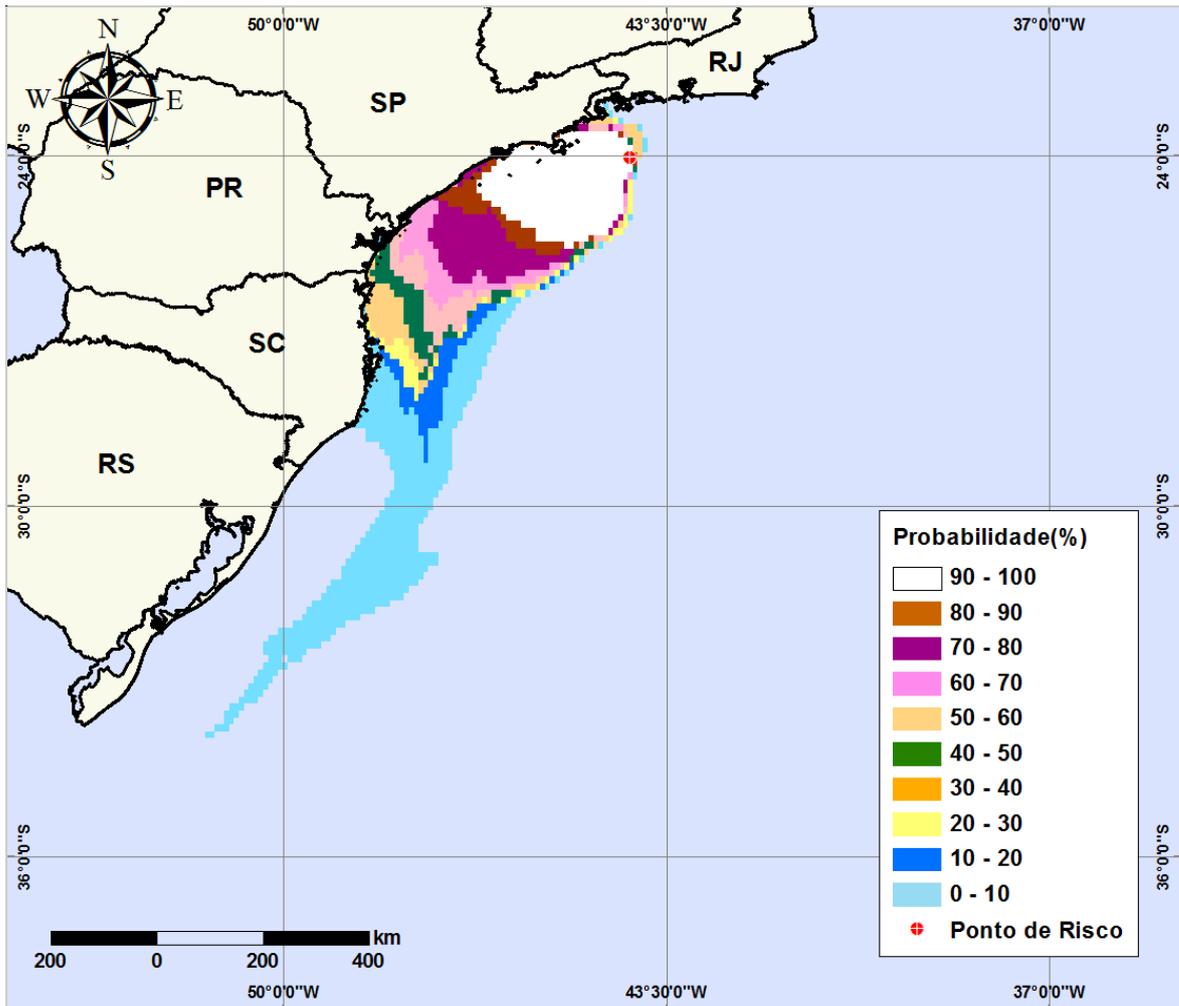
**Figura V-74** - Cenário S-1\_RJS-621\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-1 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 60.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



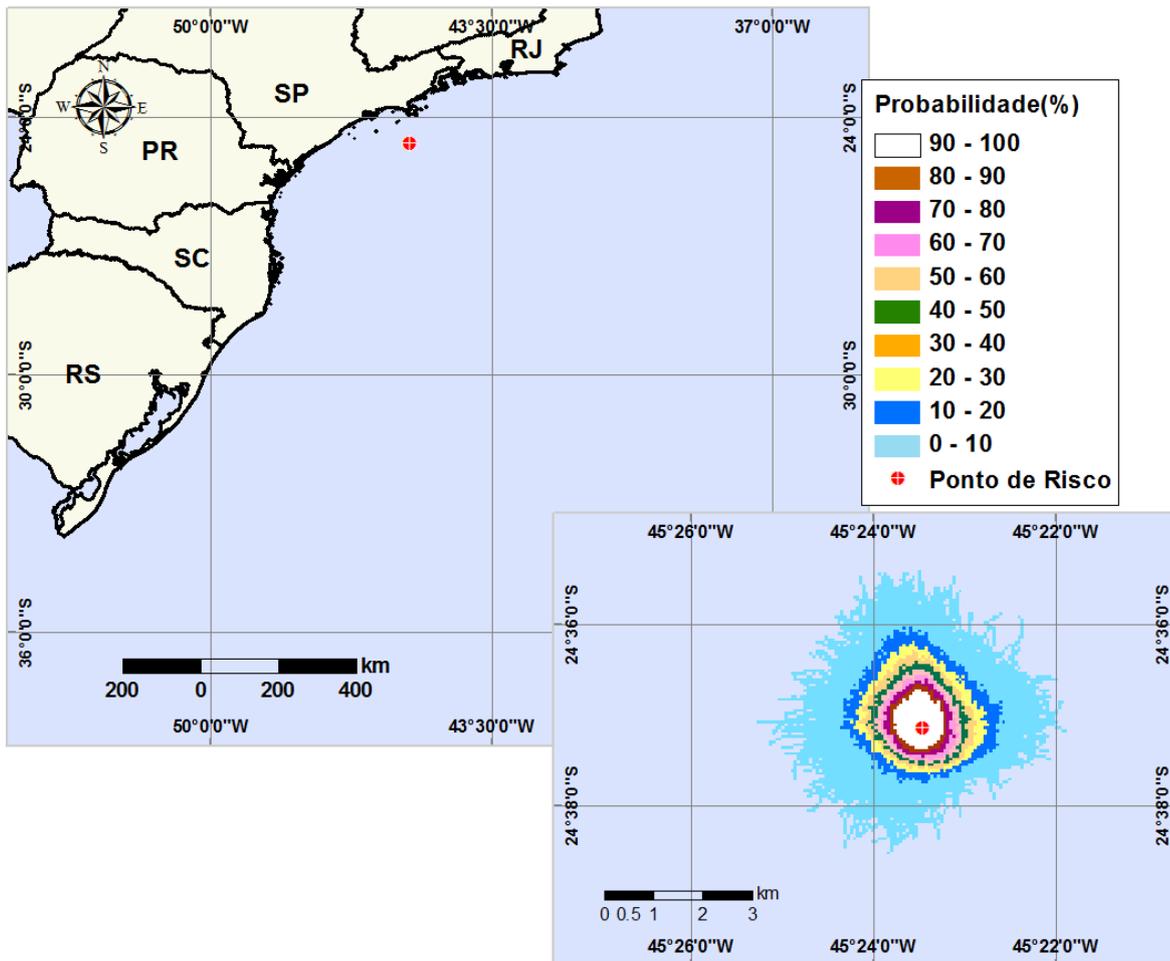
**Figura V-75** - Cenário S-2\_ RJS-621\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-2 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 60.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



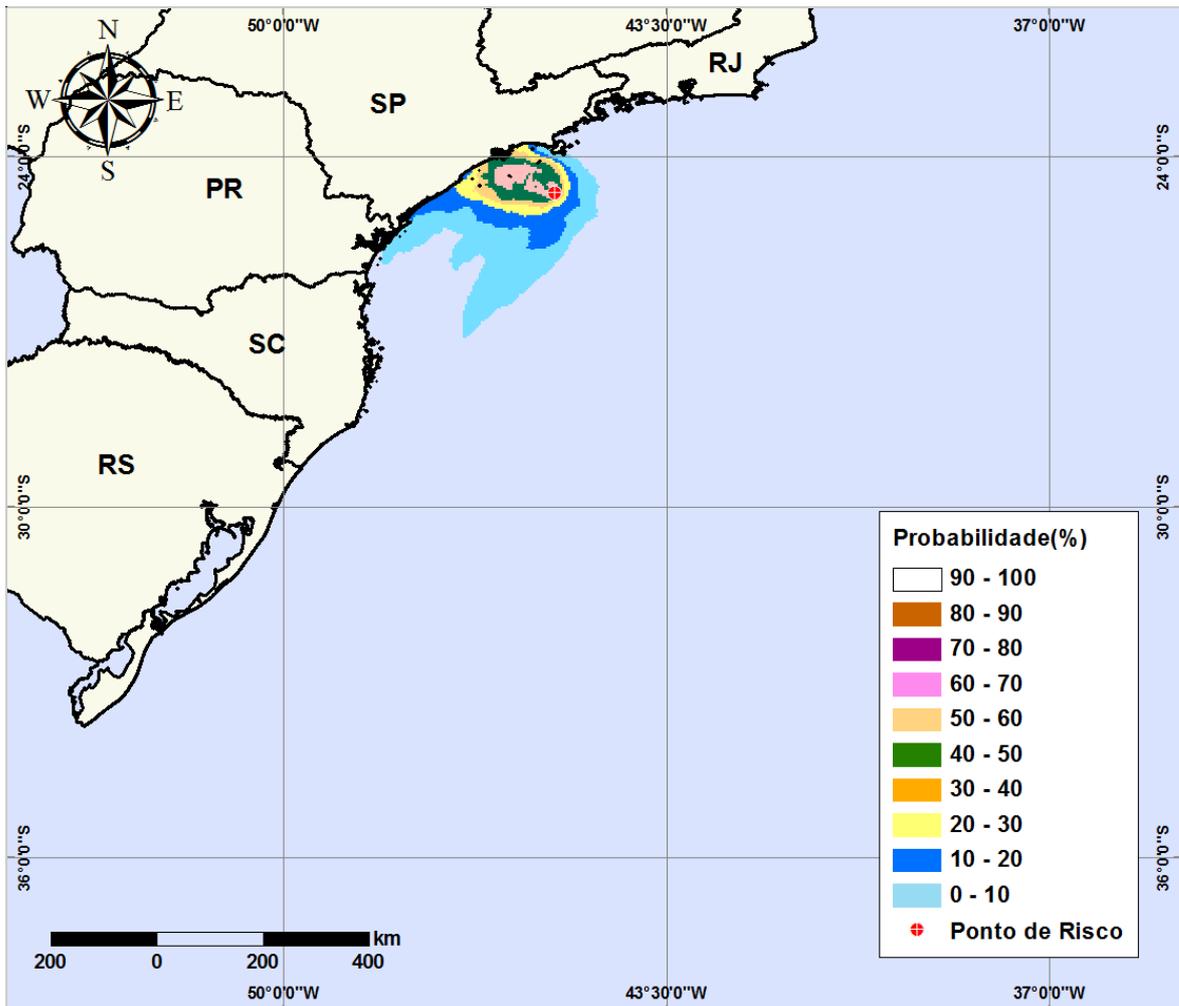
**Figura V-76** - Cenário S-3\_RJS-621\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço RJS-621, ocorrendo no Ponto S-3 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 60.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



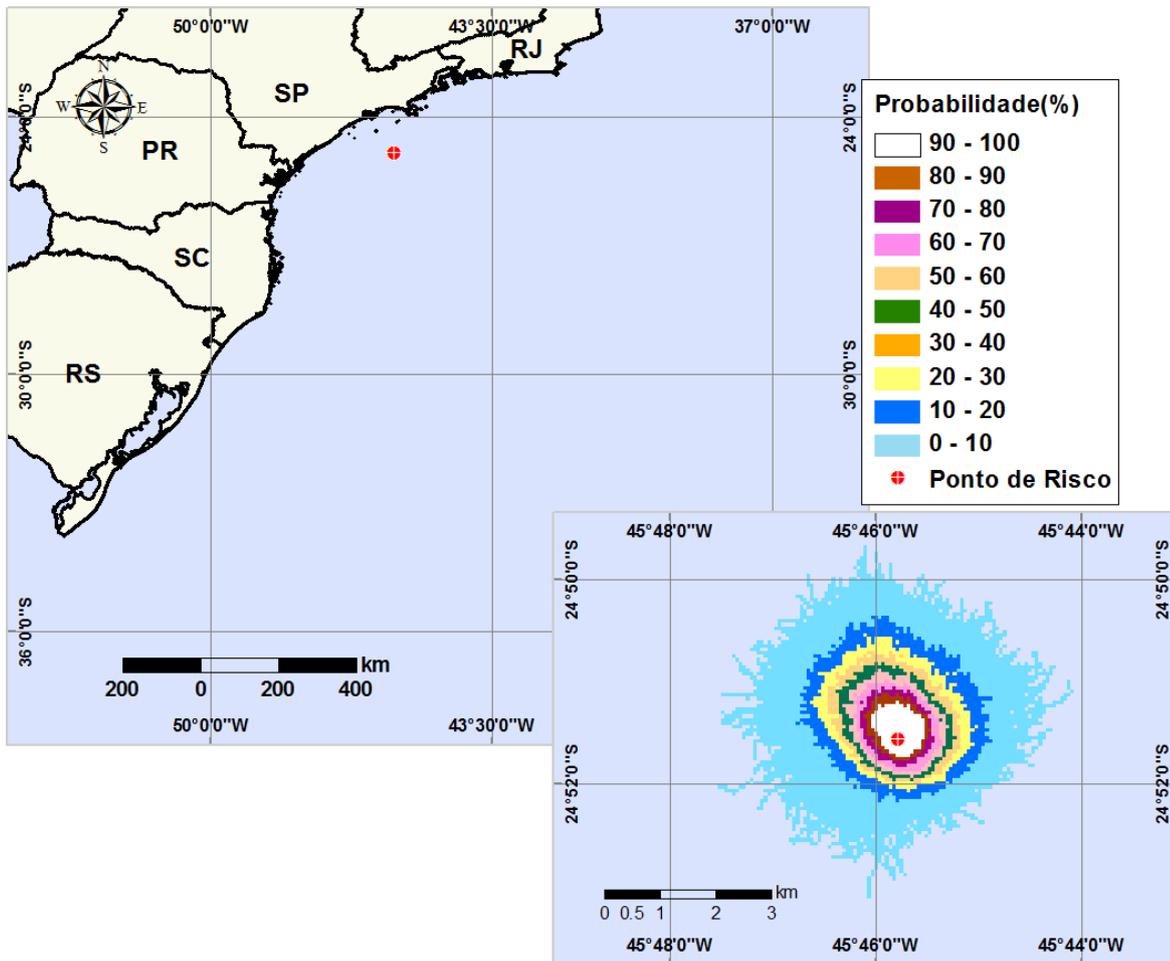
**Figura V-77** - Cenário S-4\_MXL-2H\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço MXL-2H, ocorrendo no Ponto S-4 (Polo Mexilhão), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 12.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



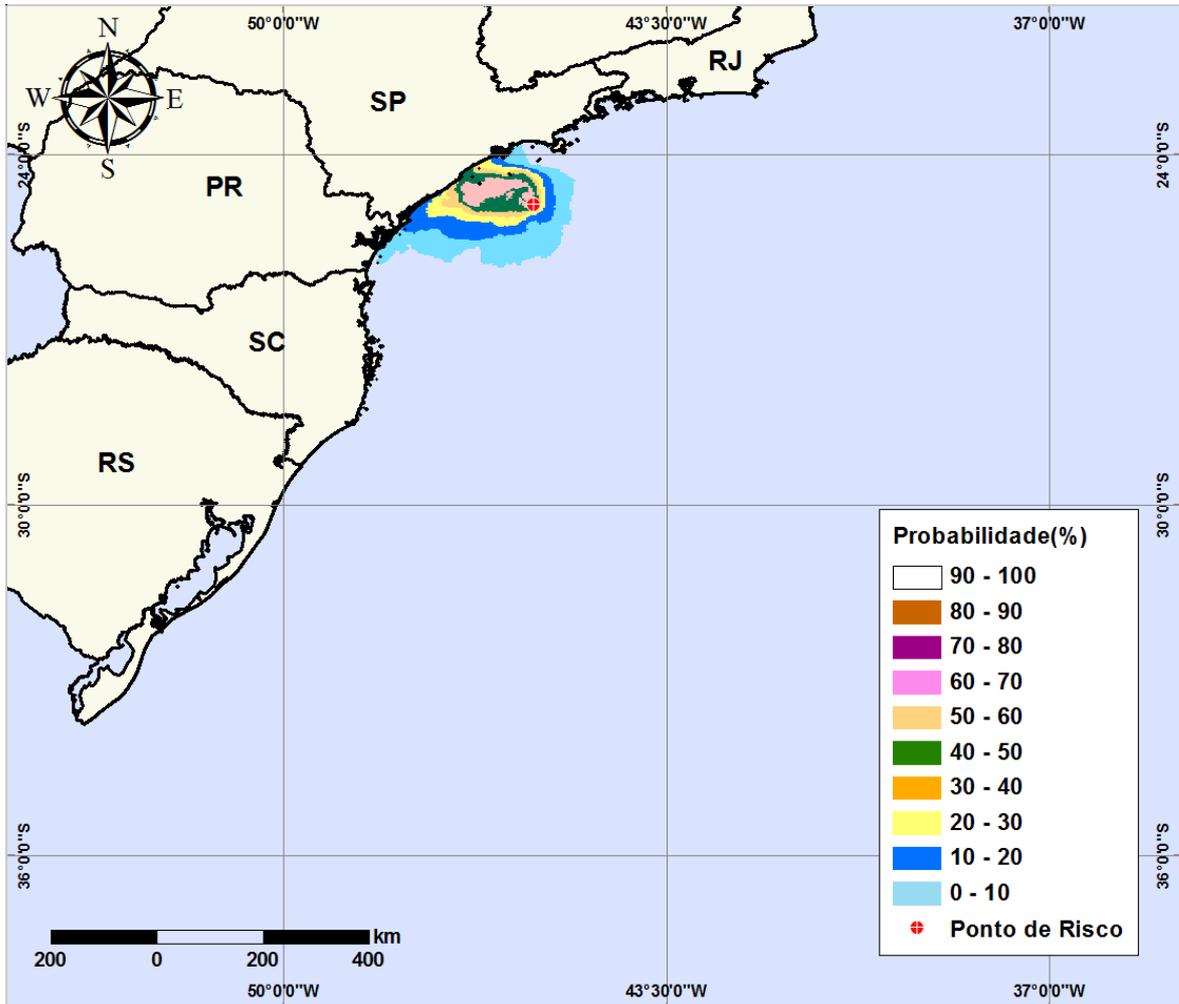
**Figura V-78** - Cenário S-5\_MLZ-3D\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 1.650 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



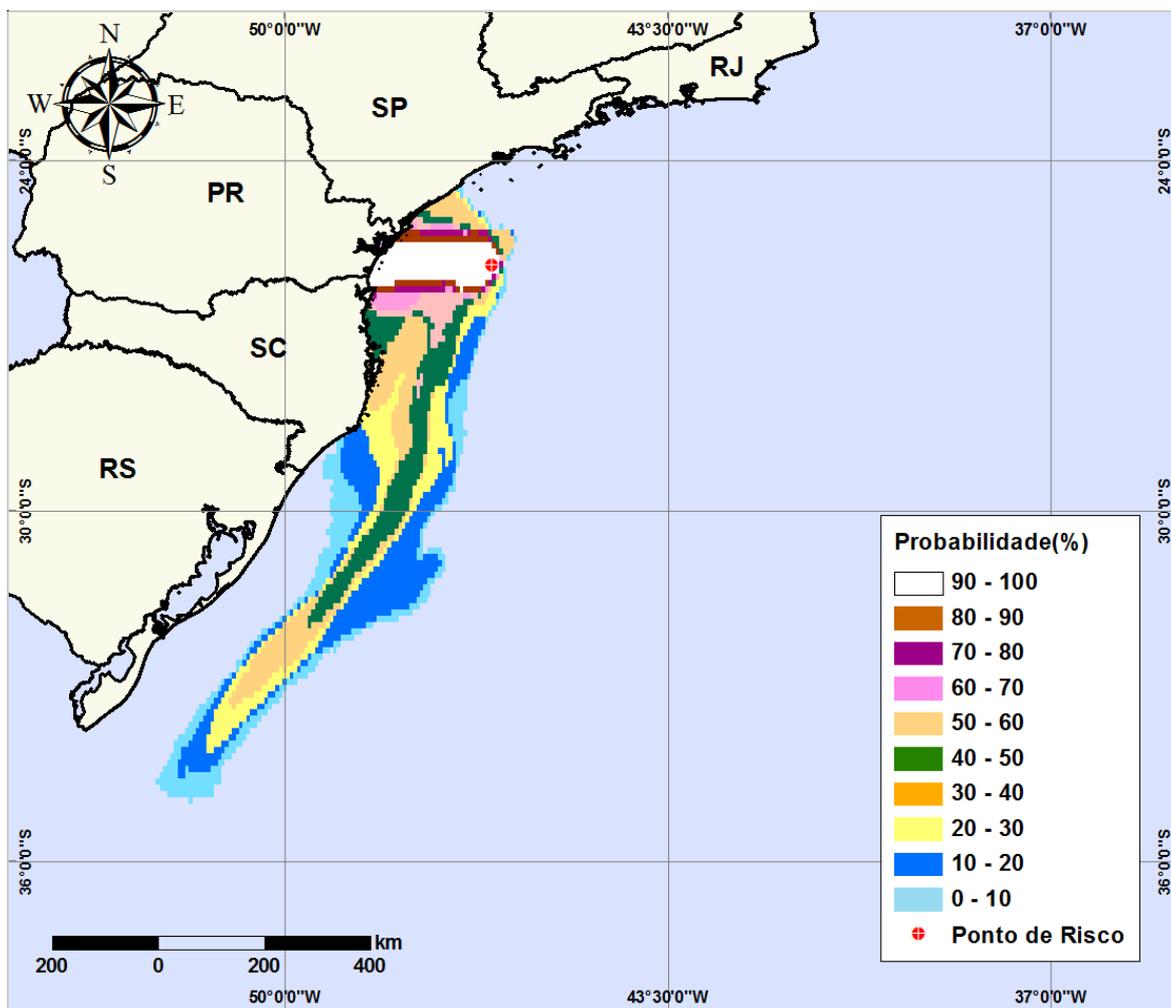
**Figura V-79** - Cenário S-5\_DIESEL\_INV\_PC\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



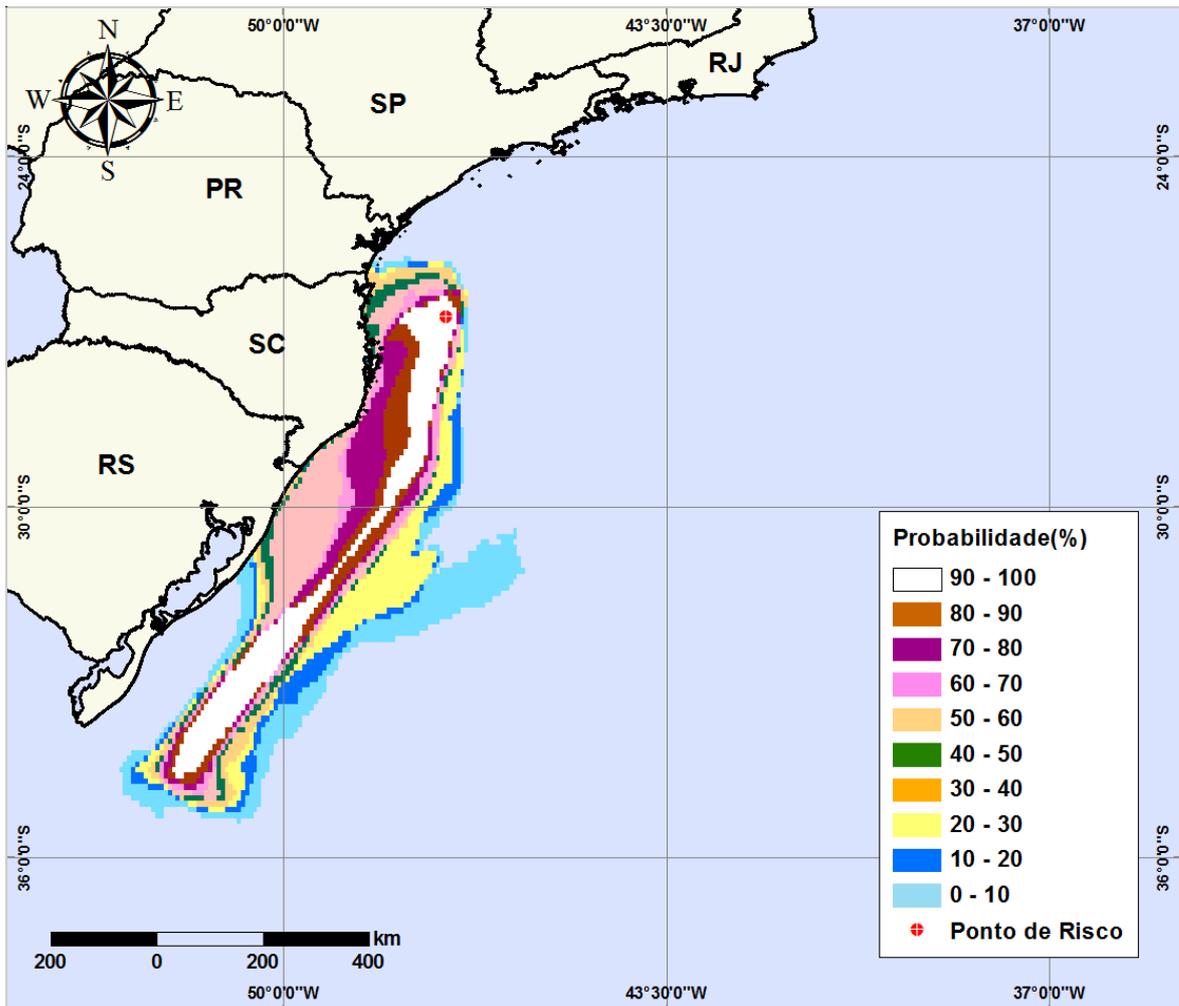
**Figura V-80** - Cenário S-6\_MLZ-3D\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com condensado do Poço MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 1.650 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



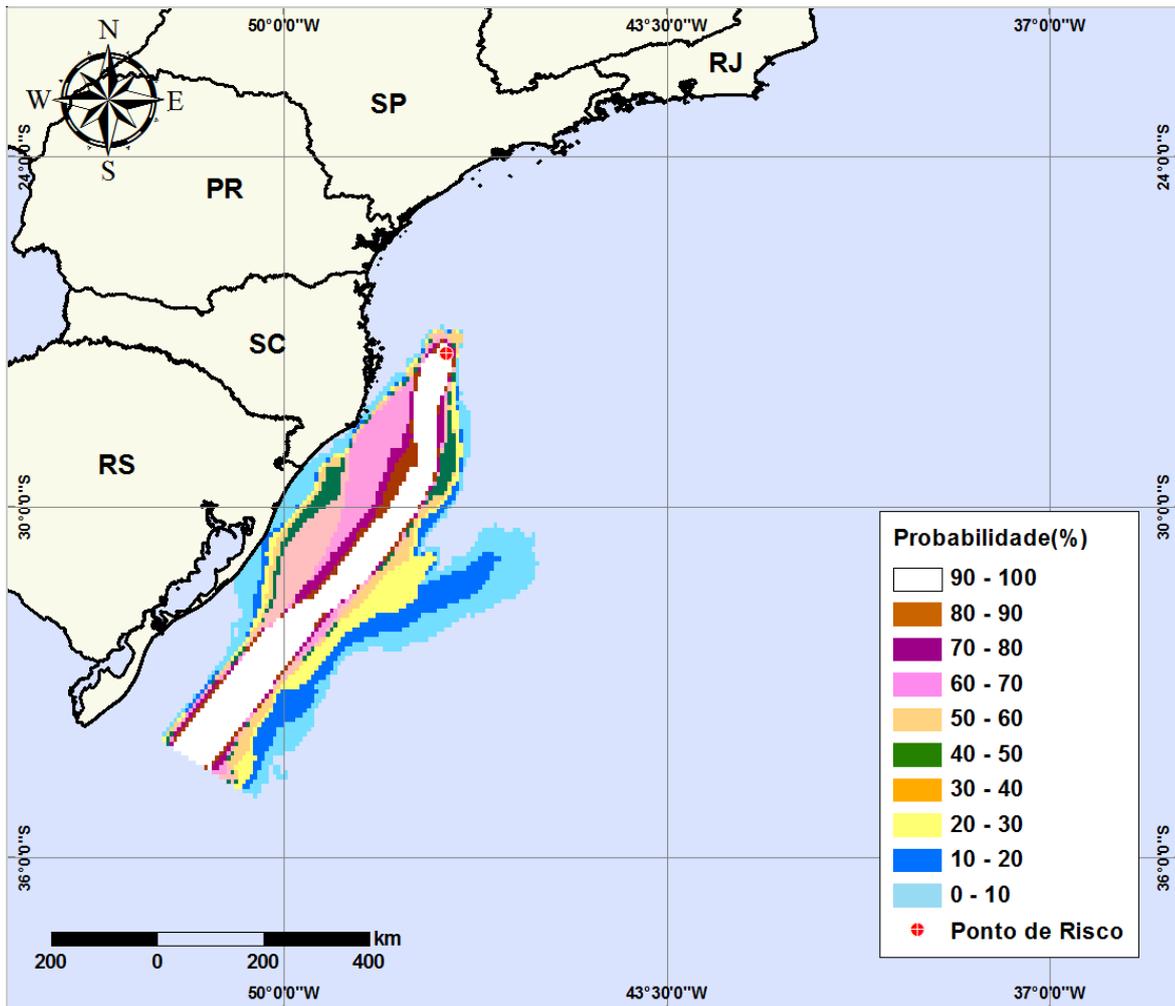
**Figura V-81** - Cenário S-6\_DIESEL\_INV\_PC\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



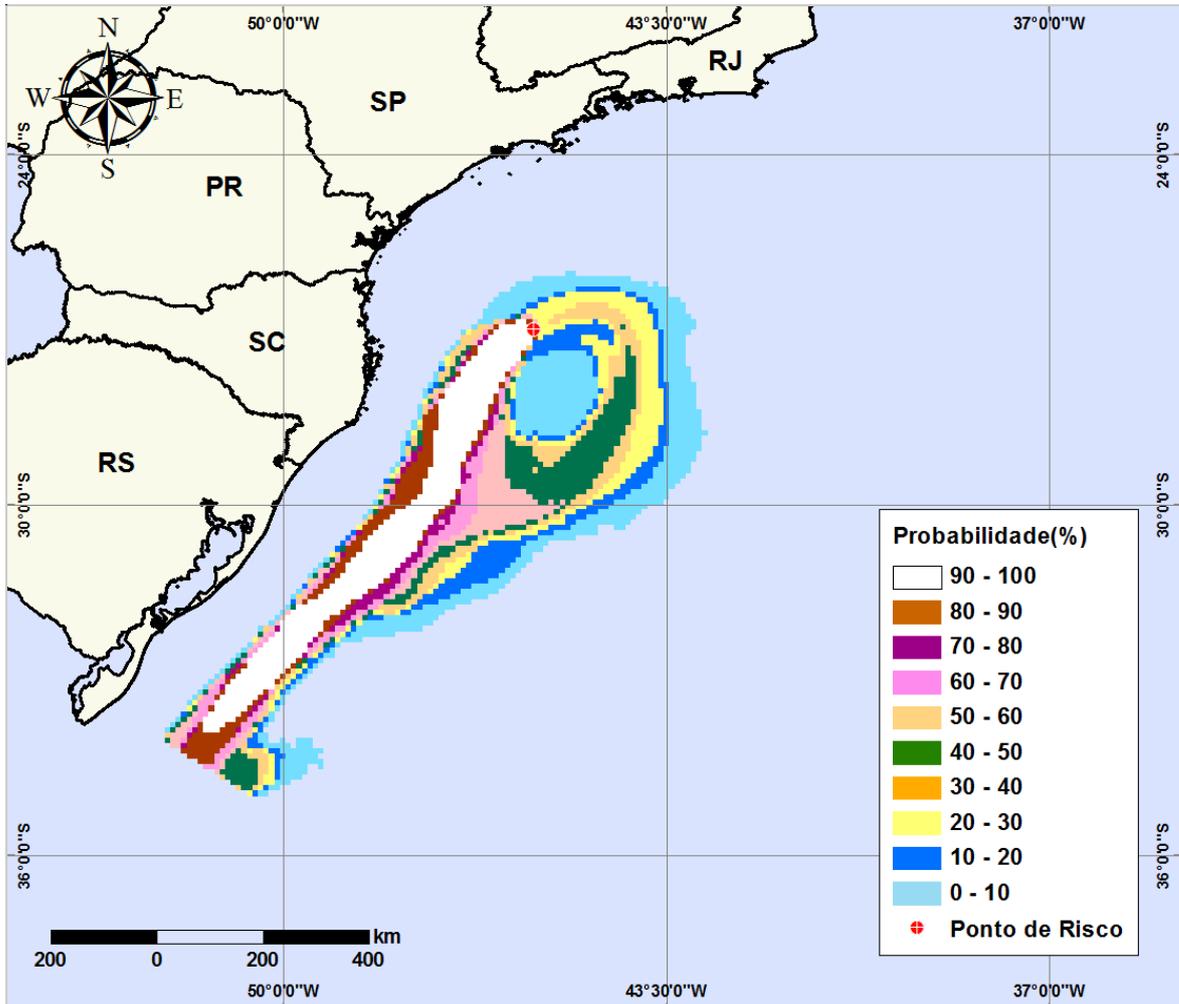
**Figura V-82** - Cenário S-7\_SCS10A\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-7 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 57.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



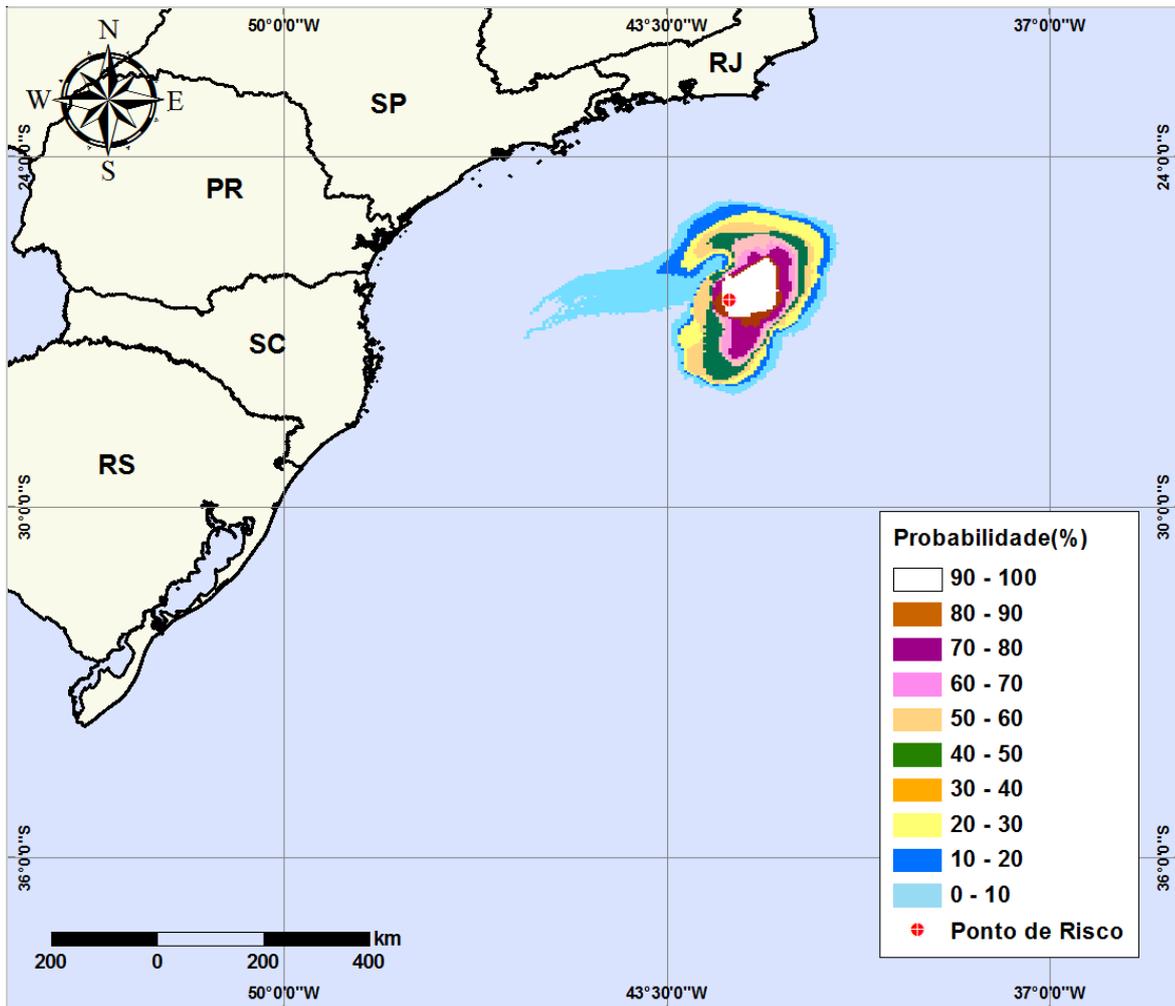
**Figura V-83** - Cenário S-8\_SCS10A\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS-10A, ocorrendo no Ponto S-8 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 57.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



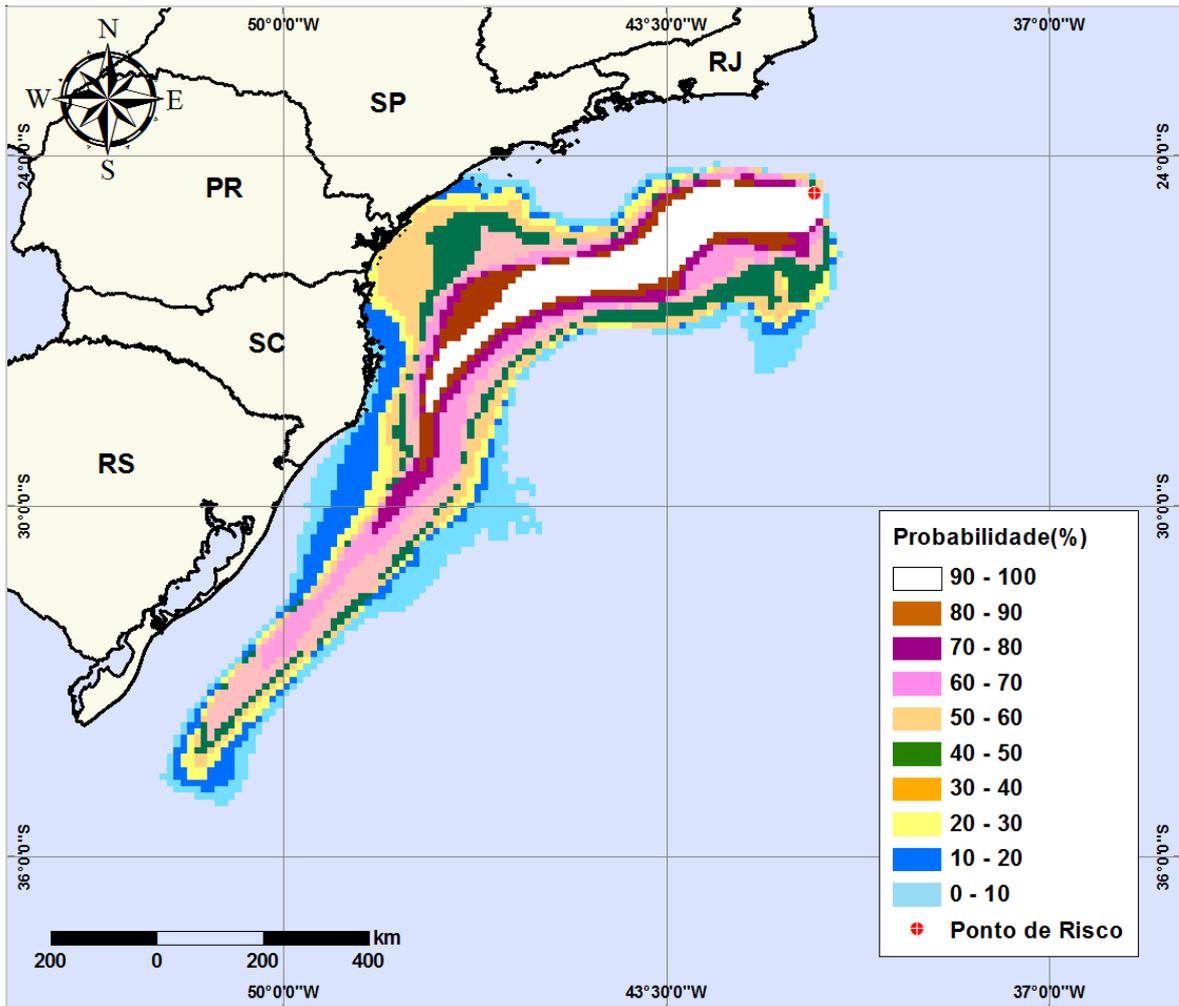
**Figura V-84** - Cenário S-9\_SCS10A\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS10A, ocorrendo no Ponto S-9 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 57.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



**Figura V-85** - Cenário S-10\_SCS10A\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SCS10A, ocorrendo no Ponto S-10 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 57.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.

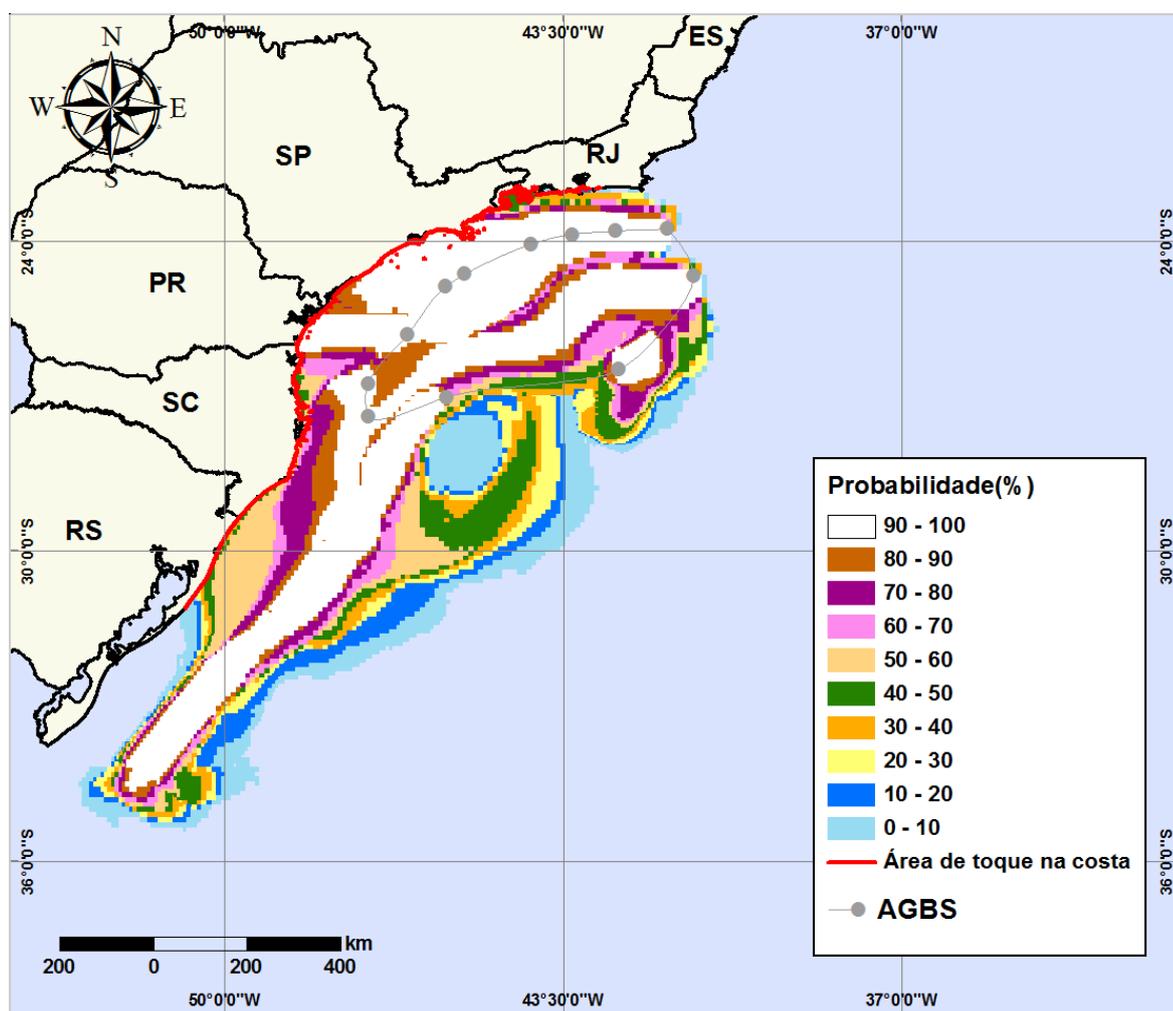


**Figura V-86** - Cenário S-11\_SPS-55\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-11 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 156.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



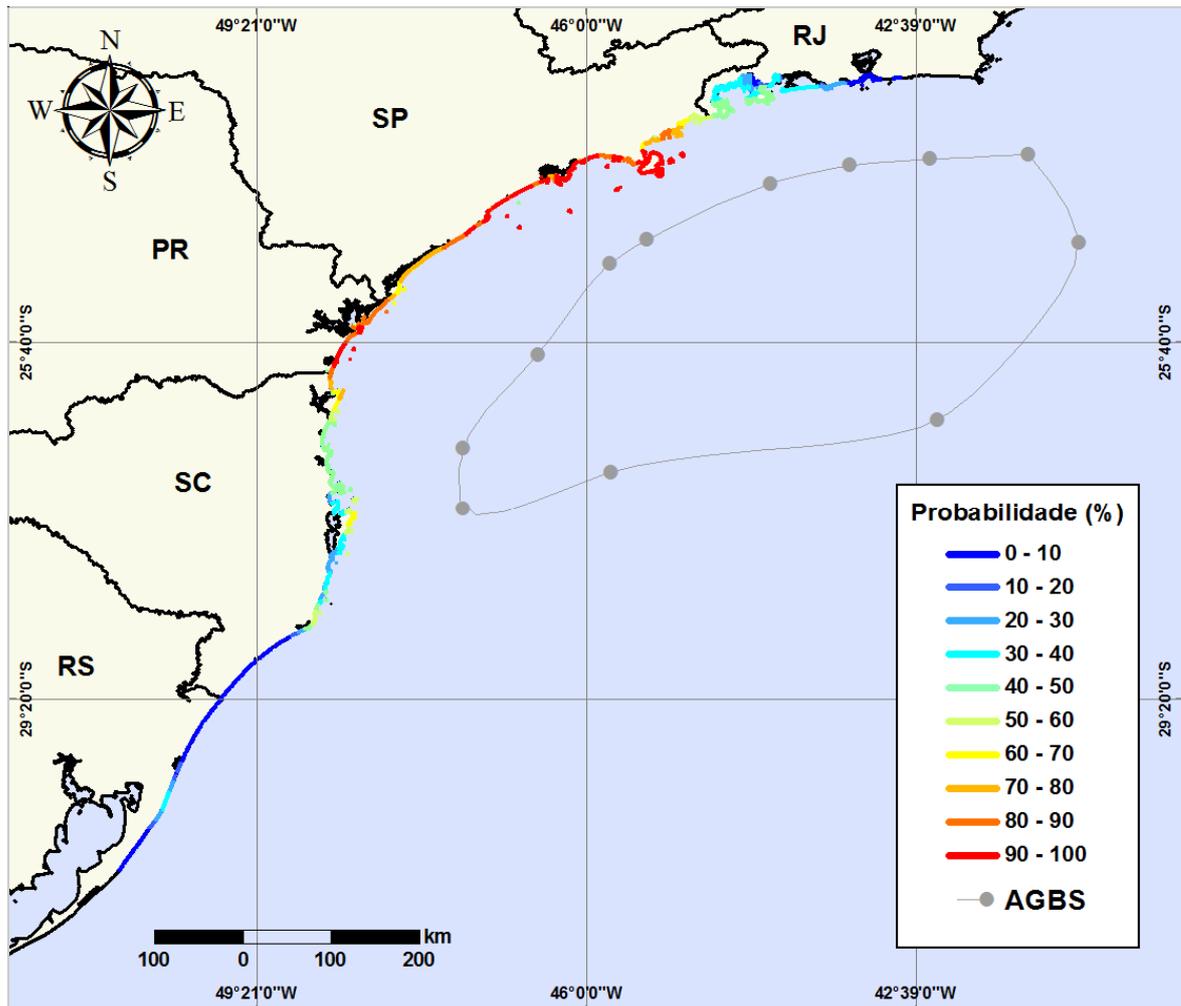
**Figura V-87** - Cenário S-12\_SPS-55\_INV\_PC\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo do Poço SPS-55, ocorrendo no Ponto S-12 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 156.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.

A figura V-88 apresenta a área total com probabilidade de óleo na água, através da sobreposição das manchas de probabilidade obtidas para cada um dos 14 cenários simulados (12 pontos de risco e 6 tipos de óleo), em condições de inverno. Na mesma figura, destaca-se em vermelho a região da linha de costa com probabilidade de toque. A probabilidade de toque na costa é apresentada em detalhe na figura V-89.



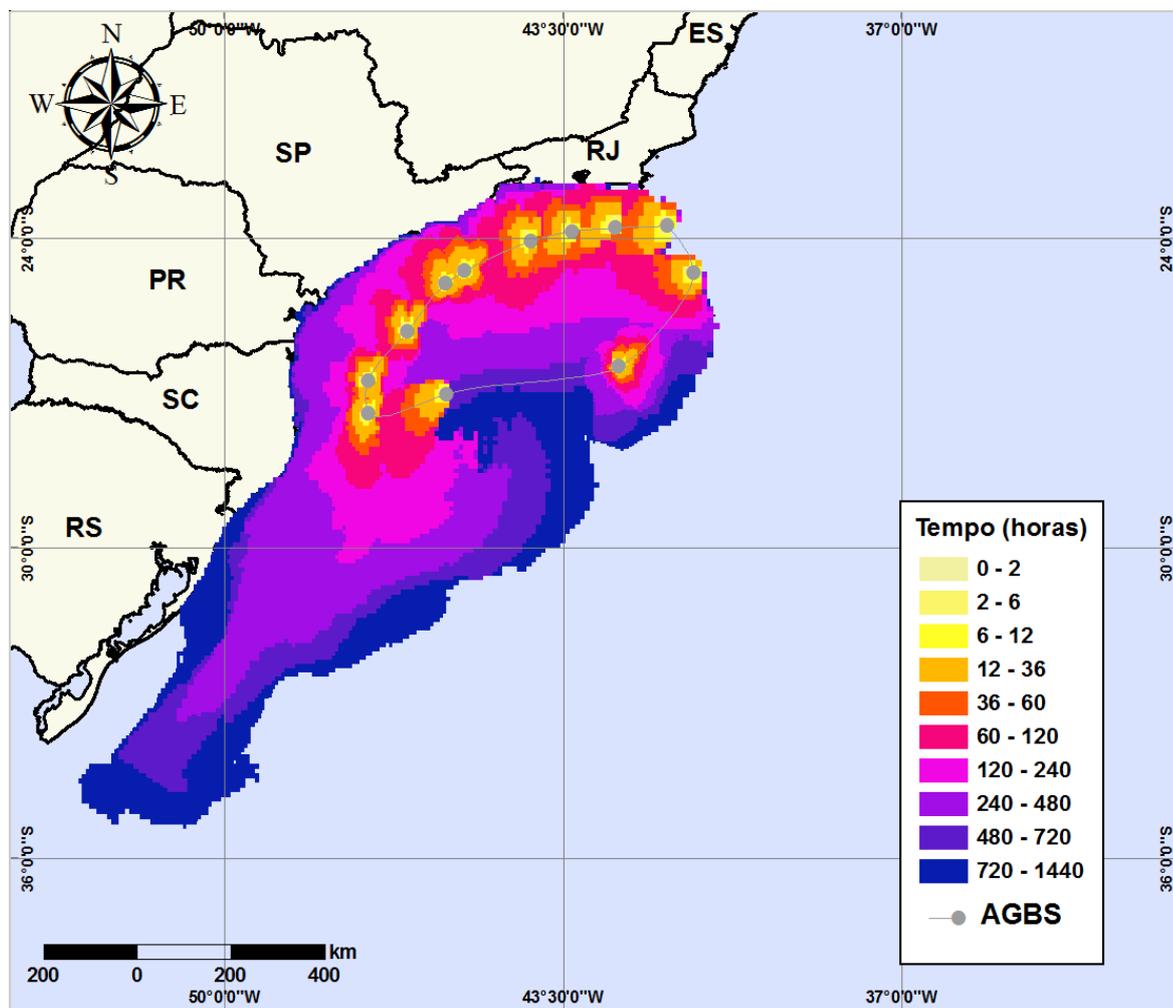
**Figura V-88** - Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para a Área Geográfica Bacia de Santos, decorrente de derrames de óleo durante os meses de inverno (junho a agosto).

A figura V-89 apresenta a região da linha de costa com probabilidade de toque, através da sobreposição dos pontos de toque obtidos para cada um dos 14 cenários simulados (12 pontos de risco e 6 tipos de óleo), em condições de inverno. Considerando todas as simulações realizadas, verificou-se que existe probabilidade de toque na costa em uma área que se estende por, aproximadamente, 3.208 km do município de Maricá (RJ) até o de Mostardas (RS). As maiores probabilidades de toque na costa (90-100%) ocorreram em entre os municípios de Caraguatatuba e Iguape (SP) e entre Paranaguá e Itapoá (PR).



**Figura V-89** - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para a Área Geográfica Bacia de Santos, decorrente de derrames de óleo durante os meses de inverno (junho a agosto).

A figura V-90 apresenta os contornos de tempo do deslocamento de óleo na água, através da sobreposição das 14 simulações da modelagem de derrame de óleo (12 pontos de risco e 6 tipos de óleo) realizadas durante o inverno.



**Figura V-90** - Tempo de deslocamento de óleo na água para a Área Geográfica Bacia de Santos, decorrente de derrames de óleo durante os meses de inverno (junho a agosto).

A tabela V-1 apresenta a extensão de linha de costa atingida nos derrames simulados com volumes de pior caso, a partir dos 12 pontos que delimitam a Área Geográfica Bacia de Santos, em condições de verão e de inverno. Observa-se, na tabela, que não há probabilidade de toque na costa para os cenários simulados a partir dos pontos S-5 e S-6 no Polo Merluza (condensado do Poço MLZ-30D), Ponto S-10 no Polo Sul (óleo SCS-10A), Ponto S-11 do Polo Pré-Sal (óleo do Poço SPS-55) e, por fim, o cenário de verão do ponto S-12 do Polo Pré-Sal (óleo do Poço SPS-55).

**Tabela V-1** - Extensão da linha de costa com probabilidade de ser atingida a partir de derrames de pior caso, em cada um dos 12 pontos que delimitam a AGBS, simulados em condições de verão e inverno.

CENÁRIO	EXTENSÃO DE LINHA DE COSTA COM PROBABILIDADE DE TOQUE (km)	
	VERÃO	INVERNO
S-1_RJS621_PC_60D	69,36	2.680,48
S-2_RJS621_PC_60D	493,35	2.752,46
S-3_RJS621_PC_60D	797,17	2.450,74
S-4_MXL2HP_PC_60D	744,59	1.906,16
S-5_DIESEL_PC_30D	1.100,38	552,83
S-6_DIESEL_PC_30D	994,09	500,28
S-7_SCA10A_PC_60D	921,99	1.007,16
S-8_SCS10A_PC_60D	862,06	997,50
S-9_SCS10A_PC_60D	189,77	184,87
S-12_SPS55_PC_60D	-	829,15
Extensão Total	2.522,0	3.208,0

As tabelas V-2 e V-3 apresentam o percentual de simulações que impactaram a linha de costa, o menor período de tempo e o tempo médio para o óleo atingir a costa, para os acidentes simulados a partir dos 12 pontos que delimitam a AGBS, ocorrendo durante os meses de verão e inverno, respectivamente. São apresentados apenas os cenários onde foram observadas probabilidades de toque na costa.

**Tabela V-2** - Resumo dos resultados da modelagem probabilística de pior caso ocorrendo durante os meses de verão na AGBS.

CENÁRIOS	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	PERCENTAGEM DE SIMULAÇÕES COM TOQUE NA COSTA (%)	MUNICÍPIO
S-1_RJS-621_VER_PC_60D	465	1312,28	7,78	Ilhabela (SP)
S-2_RJS-621_VER_PC_60D	287	999,08	11,77	Ilhabela (SP)
S-3_RJS-621_VER_PC_60D	180	707,95	19,36	Ilhabela (SP)
S-4_MXL-2H_VER_PC_60D	70	571,64	25,54	Ubatuba (SP)
S-5_DIESEL_VER_PC_30D	35	176,74	25,54	São Sebastião - Arquipélago de Alcatrazes (SP)
S-6_DIESEL_VER_PC_30D	46	209,16	26,54	Santos - Lage de Santos (SP)
S-7_SCS10A_VER_PC_60D	198	879,90	68,46	Cananéia (SP)
S-8_SCS10A_VER_PC_60D	302	424,25	15,96	Florianópolis (SC)
S-9_SCS10A_VER_PC_60D	564	699,59	100,00	Mostardas (RS)

**Tabela V-3 - Resumo dos resultados da modelagem probabilística de pior caso ocorrendo durante os meses de inverno para a AGBS.**

CENÁRIOS	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	PERCENTAGEM DE SIMULAÇÕES COM TOQUE NA COSTA (%)	MUNICÍPIO
S-1_RJS-621_INV_PC_60D	177	974,34	100,00	Maricá (RJ)
S-2_RJS-621_INV_PC_60D	132	723,47	100,00	Rio de Janeiro – Ilha de Urupira (RJ)
S-3_RJS-621_INV_PC_60D	107	526,33	100,00	Angra dos Reis – Ilha Jorge Grego (RJ)
S-4_MXL-2H_INV_PC_60D	65	314,19	100,00	Parati (RJ)
S-5_DIESEL_INV_PC_30D	65	263,20	89,42	São Sebastião – Arquipélago de Alcatrazes (SP)
S-6_DIESEL_INV_PC_30D	67	257,98	82,03	Santos – Lage de Santos (SP)
S-7_SCS10A_INV_PC_60D	247	564,97	100,00	Iguape (SP)
S-8_SCS10A_INV_PC_60D	286	769,58	89,22	Florianópolis (SC)
S-12_RJS621_INV_PC_60D	1002	1226,19	35,92	Itanhaém – Ilha da Queimada Grande (SP)

A tabela V-4 apresenta o percentual de simulações que tocam na costa, considerando a integração de todos os cenários simulados com derrames de pior caso, durante os períodos de verão e inverno, para determinados tempos (em horas). A tabela apresenta o percentual de simulações com toque em relação ao total de cenários simulados (mesmo onde a mancha não atingiu a costa) e em relação ao total de cenários que tocaram na linha de costa (no caso, 27,7% no verão e 22,2% no inverno). Não são apresentados os tempos inferiores a 120 horas, pois o menor tempo de toque na costa ocorreu em 35 horas (verão) e 65 horas (inverno).

**Tabela V-4 - Percentual de simulações com toque na costa para os cenários de verão e inverno.**

PERÍODO SAZONAL	TEMPOS (HORAS)	PERCENTUAL DE SIMULAÇÕES COM TOQUE NA COSTA (%)	
		EM RELAÇÃO AO TOTAL DE SIMULAÇÕES	EM RELAÇÃO À SIMULAÇÕES COM TOQUE
Verão	120	68,07	3,85
	180	69,90	9,35
	240	71,32	13,65
	480	76,46	29,11
	720	84,91	54,57
	1440	100,0	100,0
Inverno	120	22,33	2,02
	180	25,93	6,57
	240	30,20	11,96
	480	51,89	39,32
	720	70,00	62,15
	1440	100,0	100,0

As tabelas V-5 e V-6 apresentam a probabilidade de toque, o tempo mínimo de toque na linha de costa e o volume máximo por quilômetro de costa para os municípios com probabilidade de toque, durante os meses de verão e de inverno, respectivamente. Estas tabelas consideram a integração de todos os cenários simulados com derrames de pior caso, em cada período sazonal. Tanto no verão quanto no inverno, o Arquipélago de Alcatrazes, pertencente o município de São Sebastião (SP), destaca-se com o menor tempo de toque (35 horas no verão e 65 horas no inverno).

**Tabela V-5 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AGBS no período de verão.**

	MUNICÍPIO	PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MÍNIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m <sup>3</sup> /km)
RJ	Angra dos Reis-Ilha Grande	1	388	0,58
	Parati	16	70	27,10
SP	Ubatuba	16	70	35,77
	Ubatuba-Ilha Comprida	16	94	24,96
	Ubatuba-Ilha das Couves	16	94	24,96
	Ubatuba-Ilha Anchieta	16	127	21,25
	Ubatuba-Ilha do Mar Virado	12	182	10,72
	Caraguatatuba	6	238	2,32
	Caraguatatuba - Ilha do Tamandua	3	209	0,58
	Ilhabela	17	88	39,34
	Ilhabela-Ilha da Vitória	17	92	8,02
	Ilhabela-Ilha dos Búzios	17	162	31,81
	Ilhabela-Ilha Sumitica	17	162	31,81
	São Sebastião	13	60	83,47
	São Sebastião-Ilha do ToqueToque	5	105	3,69
	São Sebastião-Arquipélago de Alcatrazes	14	35	112,55
	Bertioga	13	72	104,74
	Guarujá	10	88	92,27
	Guarujá-Ilha da Moela	10	93	92,27
	Santos	10	93	92,27
	Santos-Lage de Santos	17	46	174,66
	São Vicente	8	97	114,27
	Praia Grande	8	93	114,27
	Mongaguá	8	102	85,45
	Itanhaém	8	112	60,84
	Itanhaém-Ilha da Queimada Grande	14	81	23,76
Itanhaém-Ilha Queimada Pequena	13	106	67,83	
Peruíbe	8	141	63,13	
Peruíbe-Laje da Conceição	6	112	9,78	
Peruíbe-Ilha do Guarau	8	235	63,13	

(continua)

**Tabela V-5 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AGBS no período de verão (continuação).**

	MUNICÍPIO	PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MÍNIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m <sup>3</sup> /km)
SP	Iguape	5	257	35,87
	Ilha Comprida	18	234	99,45
	Cananéia	33	198	99,45
	Cananéia-Ilha de Bom Abrigo	18	234	99,45
	Cananéia-Ilha do Cambriu	32	198	67,02
	Cananéia-Ilha do Castilho	1	512	0,02
	Cananéia-Ilha da Figueira	40	213	107,69
PR	Guaraqueçaba	41	266	68,73
	Paranaguá	41	339	49,31
	Paranaguá-Ilha do Mel	41	339	49,31
	Pontal do Paraná	24	360	31,88
	Matinhos	15	408	37,62
	Matinhos-Ilhas Currais	17	347	42,22
	Matinhos-Ilha Itacolomis	15	394	54,52
	Guaratuba	15	423	185,97
SC	Itapoá	15	423	188,33
	São Francisco do Sul	16	383	188,33
	S Francisco Sul-Ilha da Paz	15	390	27,51
	S Francisco Sul-Ilhas Tamboretas	15	383	11,5
	Balneário Barra do Sul	16	393	22,46
	Balneário Barra Sul-Ihas Remédios	16	393	22,46
	Araquari	16	425	13,72
	Barra Velha	16	418	13,72
	Piçarras	16	418	9,45
	Piçarras-Ilhas Itacolomis	12	418	18,72
	Piçarras-Ilha Fea	16	424	18,72
	Penha	16	412	18,72
	Navegantes	16	424	9,45
	Itajaí	16	434	9,58
	Balneário Camboriú	17	422	27,30
	Itapema	17	422	27,30
Porto Belo	18	388	32,42	

(continua)

**Tabela V-5 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AGBS no período de verão (continuação).**

	MUNICÍPIO	PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m <sup>3</sup> /km)
SC	Bombinhas	18	388	32,42
	Bombinhas-Ilha do Amendoim	17	401	32,42
	Bombinhas-Ilha da Gale	18	384	34,59
	Tijucas	17	449	11,71
	Governador Celso Ramos	17	417	21,81
	Gov. Celso Ramos-I. Santana Fora	18	405	31,57
	Gov. Celso Ramos-Ilha de Ganchos	17	430	21,81
	Biguaçu	16	461	6,13
	São José	8	537	6,13
	Florianópolis	41	302	31,2
	Florianópolis-Ilha dos Moleques	23	358	22,51
	Florianópolis-Ilha Deserta	28	311	95,56
	Florianópolis-Ilhas das Aranhas	41	302	31,20
	Florianópolis-Ilha do Xavier	27	343	11,77
	Florianópolis-Ilha do Campeche	6	403	6,28
	Florianópolis-Ilha Irma de Fora	6	390	2,45
	Florianópolis-Iha Irmã do Meio	10	390	3,28
	Florianópolis-Ilha do Arvoredo	28	311	95,56
	Palhoça	10	404	3,28
	Paulo Lopes	14	404	9,1
	Paulo Lopes-Ilha de Coral	10	403	3,28
	Garopaba	17	408	34,05
	Imbituba	18	405	98,08
	Imbituba-Ilha das Araras	18	405	31,57
	Imbituba-I. de Santana de Dentro	18	405	31,57
	Laguna	19	417	98,08
	Laguna-Ilha dos Lobos	18	414	16,02
	Jaguaruna	14	434	22,06
	Içara	1	500	0,78
	Araranguá	4	543	3,00
Balneário Arroio do Silva	5	523	4,55	

(continua)

**Tabela V-5** - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AGBS no período de verão (conclusão).

MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m <sup>3</sup> /km)
SC	Balneário Gaivota	6	579	6,05
RS	Passo de Torres	7	579	11,94
	Torres	9	589	23,03
	Arroio do Sal	9	613	23,03
	Terra de Areia	9	681	16,44
	Capão da Canoa	9	647	16,44
	Xangri-Lá	11	652	16,96
	Imbé	12	652	43,62
	Osório	12	652	43,62
	Tramandaí	13	620	43,62
	Cidreira	14	626	41,52
	Balneário Pinhal	15	637	37,95
	Palmares do Sul	15	564	37,95
	Mostardas	14	564	13,25
	Tavares	1	1146	0,71

**Tabela V-6** - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AGBS no período de inverno.

MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m <sup>3</sup> /km)
RJ	Maricá	1	177	0,63
	Niterói	1	369	0,65
	Niterói-Ilha da Mãe	1	363	0,03
	Niterói-Ilha do Pai	1	363	0,03
	Rio de Janeiro	31	132	8,25
	Rio de Janeiro-Ilha de Guaratiba	30	169	6,83
	Rio de Janeiro-Ilha de Palmas	4	160	1,25
	Rio de Janeiro-Ilhas Cagarras	4	160	1,25
	Rio de Janeiro-Ilhas Tijucas	10	287	1,92
	Rio de Janeiro-Ilha Urupira	29	132	5,79
	Itaguaí	37	146	20,14
	Itaguaí-Ilha Itacuruca	1	651	1,22
	Mangaratiba	37	203	21,43

(continua)

**Tabela V-6** - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AGBS no período de inverno (continuação).

	MUNICÍPIO	PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m <sup>3</sup> /km)
RJ	Mangaratiba-Ilha Itacuruca	1	651	1,22
	Mangaratiba-Ilha de Jaguanum	6	651	1,75
	Mangaratiba-Ilha de Guaiba	32	367	4,7
	Angra dos Reis	43	248	30,73
	Angra dos Reis-Ilha Jorge Grego	47	107	69,13
	Angra dos Reis-Ilha Grande	47	127	69,13
	Angra dos Reis-Ilha da Gipoia	34	254	6,23
	Parati	54	65	109,29
SP	Ubatuba	81	89	109,28
	Ubatuba-Ilha Comprida	57	151	85,57
	Ubatuba-Ilha das Couves	57	151	85,57
	Ubatuba-Ilha Anchieta	80	196	109,28
	Ubatuba-Ilha do Mar Virado	81	207	73,56
	Caraguatatuba	98	194	46,12
	Caraguatatuba-Ilha do Tamandua	78	194	19,04
	Ilhabela	100	80	103,3
	Ilhabela-Ilha da Vitória	99	108	91,18
	Ilhabela-Ilha dos Búzios	100	119	48,4
	Ilhabela-Ilha Sumitica	100	131	84,02
	São Sebastião	98	89	163,5
	São Sebastião-Ilha do ToqueToque	85	92	19,2
	São Sebastião-Arquipélago de Alcatrazes	99	65	128,01
	Bertioga	98	141	181,65
	Guarujá	98	117	131,38
	Guarujá-Ilha da Moela	98	108	131,38
	Santos	98	196	124,41
	Santos-Lage de Santos	99	73	223,78
	São Vicente	92	198	104,48
	Praia Grande	94	176	143,59
	Mongaguá	94	207	91,1
	Itanhaém	94	225	101,49
Itanhaém-Ilha da Queimada Grande	99	133	61,28	
Itanhaém-Ilha Queimada Pequena	96	194	96,65	

(continua)

**Tabela V-6 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AGBS no período de inverno (continuação).**

MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m <sup>3</sup> /km)
SP	Peruíbe	92	234	96,81
	Peruíbe-Laje da Conceição	48	733	25,29
	Peruíbe-Ilha do Guarau	92	237	50,9
	Iguape	91	246	107,95
	Ilha Comprida	81	286	251,28
	Cananéia	87	331	384,76
	Cananéia-Ilha de Bom Abrigo	70	345	145,6
	Cananéia-Ilha do Cambriu	68	367	384,76
	Cananéia-Ilha do Castilho	62	332	56,43
	Cananéia-Ilha da Figueira	87	331	136,56
PR	Guaraqueçaba	87	354	226,23
	Paranaguá	98	414	281,6
	Paranaguá-Ilha do Mel	98	414	281,6
	Pontal do Paraná	94	437	164,97
	Matinhos	94	449	116,56
	Matinhos-Ilhas Currais	99	419	223,06
	Matinhos-Ilha Itacolomis	97	378	137,01
	Guaratuba	92	458	313,73
SC	Itapoá	89	404	313,73
	São Francisco do Sul	75	351	146,47
	S Francisco Sul-Ilha da Paz	75	351	117,1
	S Francisco Sul-Ilhas Tamboretas	57	399	115,64
	Balneário Barra do Sul	54	416	115,64
	Balneário Barra Sul-Ilhas Remédios	57	399	104,1
	Araquari	45	470	78,88
	Barra Velha	43	466	102,17
	Piçarras	43	466	102,17
	Piçarras-Ilhas Itacolomis	42	441	118,63
	Piçarras-Ilha Fea	42	466	93,79
	Penha	43	441	118,63
	Navegantes	43	479	101,72
	Itajaí	43	499	94,54
	Balneário Camboriú	42	487	195,05

(continua)

**Tabela V-6** - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AGBS no período de inverno (continuação).

MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m <sup>3</sup> /km)
SC	Itapema	42	504	195,05
	Porto Belo	42	488	119,3
	Bombinhas	42	488	119,3
	Bombinhas-Ilha do Amendoim	41	488	119,3
	Bombinhas-Ilha da Gale	44	483	57,07
	Tijucas	42	569	76,76
	Governador Celso Ramos	40	560	30,76
	Gov. Celso Ramos-I. Santana Fora	48	382	32,03
	Gov. Celso Ramos-Ilha de Ganchos	38	592	20,53
	Biguaçu	11	647	15,39
	São José	5	647	1,59
	Florianópolis	66	286	123,29
	Florianópolis-Ilha dos Moleques	60	342	35,81
	Florianópolis-Ilha Deserta	56	303	112,65
	Florianópolis-Ilhas das Aranhas	66	290	123,29
	Florianópolis-Ilha do Xavier	56	372	34,37
	Florianópolis-Ilha do Campeche	36	409	17,24
	Florianópolis-Ilha Irma de Fora	36	385	21,71
	Florianópolis-Iha Irmã do Meio	30	434	9,23
	Florianópolis-Ilha do Arvoredo	56	303	112,65
	Palhoça	30	434	9,23
	Paulo Lopes	30	434	33,58
	Paulo Lopes-Ilha de Coral	30	411	9,71
	Garopaba	35	456	71,53
	Imbituba	48	381	71,53
	Imbituba-Ilha das Araras	48	382	32,03
	Imbituba-I. de Santana de Dentro	48	382	32,03
	Laguna	52	381	57,91
	Laguna-Ilha dos Lobos	52	381	24,34
	Jaguaruna	48	417	14,76
	Içara	1	864	0,78
	Araranguá	5	955	2,22
Balneário Arroio do Silva	5	891	2,22	

(continua)

**Tabela V-6** - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AGBS no período de inverno (conclusão).

MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m <sup>3</sup> /km)
SC	Balneário Gaivota	8	902	2,8
	Passo de Torres	9	975	3,64
RS	Torres	9	824	3,64
	Arroio do Sal	8	824	6,47
	Terra de Areia	4	963	2,87
	Capão da Canoa	5	907	3,54
	Xangri-Lá	7	919	3,6
	Imbé	12	930	3,64
	Osório	12	919	3,64
	Tramandaí	13	932	4,33
	Cidreira	28	926	7,25
	Balneário Pinhal	34	926	10,13
	Palmares do Sul	34	929	11,59
	Mostardas	27	955	5,8

## V.2 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS

A análise dos resultados das simulações probabilísticas realizadas permitiu identificar os cenários determinísticos críticos de verão e inverno. Em cada período, de todas as 600 simulações realizadas para cada ponto de risco, foram considerados como mais críticos os cenários que apresentaram o menor tempo para o primeiro toque do óleo na costa ou a menor distância em relação a esta (para aqueles onde não há probabilidade de toque).

Vale ressaltar que cada um dos 12 pontos selecionados para as simulações representa de fato um conjunto de poços com características similares numa dada subregião. Portanto, os cenários críticos aqui apresentados são representativos de cada uma dessas subregiões.

As tabelas V-7 e V-8 apresentam um resumo dos cenários críticos de verão e inverno obtidos para as simulações de derrame de óleo na Área Geográfica Bacia de Santos, considerando o menor tempo de toque na costa e a menor distância em relação à costa, respectivamente.

**Tabela V-7 - Resumo dos cenários determinísticos críticos de verão e de inverno para os cenários com menor tempo de toque na costa.**

CENÁRIOS	DATA DE INÍCIO DA SIMULAÇÃO	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	VOLUME FINAL DE ÓLEO QUE CHEGA À COSTA (m <sup>3</sup> )	MUNICÍPIO COM O PRIMEIRO TOQUE
DET_S-1_RJS-621_VER_PC_60D	02/01/1992 – 14:00h	465	0,32	Ilhabela (SP)
DET_S-1_RJS-621_INV_PC_60D	10/06/1992 – 19:00h	177	27.888,00	Maricá (RJ)
DET_S-2_RJS-621_VER_PC_60D	04/01/1992 – 11:00h	287	740,00	Ilhabela (SP)
DET_S-2_RJS-621_INV_PC_60D	15/07/1992 – 19:00h	132	14.094,00	Rio de Janeiro – Ilha Urupira (RJ)
DET_S-3_RJS-621_VER_PC_60D	12/01/1992 – 7:00h	180	19,00	Ilhabela (SP)
DET_S-3_RJS-621_INV_PC_60D	18/07/1992 – 2:00h	107	15.213,00	Angra dos Reis – Ilha Jorge Grego (RJ)
DET_S-4_MXL-2H_VER_PC_60D	15/01/1992 – 22:00h	70	6,36	Ubatuba (SP)
DET_S-4_MXL-2H_INV_PC_60D	21/07/1992 – 23:00h	65	171,00	Parati (RJ)
DET_S-5_DIESEL_VER_PC_30D	15/01/1992 – 22:00h	35	1.882,00	São Sebastião – Arquipélago de Alcatrazes (SP)
DET_S-5_DIESEL_INV_PC_30D	23/07/1992 – 1:00h	65	1.383,00	São Sebastião – Arquipélago de Alcatrazes (SP)
DET_S-6_DIESEL_VER_PC_30D	15/01/1992 – 22:00h	46	1.332,00	Santos - Lage de Santos (SP)
DET_S-6_DIESEL_INV_PC_30D	08/01/1992 – 3:00h	67	1.806,00	Santos - Lage de Santos (SP)
DET_S-7_SCS10A_VER_PC_60D	10/01/1992 – 01:00h	198	35,00	Cananéia (SP)
DET_S-7_SCS10A_INV_PC_60D	14/07/1992 – 11:00h	247	31.050,00	Iguape (SP)
DET_S-8_SCS10A_VER_PC_60D	14/01/1992 – 18:00h	302	918,00	Florianópolis (SC)
DET_S-8_SCS10A_INV_PC_60D	31/08/1992 – 3:00h	286	289,00	Florianópolis (SC)
DET_S-9_SCS10A_VER_PC_60D	09/01/1992 – 10:00h	584	19,00	Mostardas (RS)
DET_S-9_SCS10A_INV_PC_60D	08/08/1992 – 12:00h	824	113,00	Arroio do Sal (RS)
DET_S-12_SPS55_INV_PC_60D	03/07/1992 – 06:00h	1002	25.726,00	Itanhaém – Ilha da Queimada Grande (SP)

**Tabela V-8 - Resumo dos cenários determinísticos críticos de verão e de inverno para os cenários com a menor distância em relação à costa (sem probabilidade de toque).**

CENÁRIOS	DATA DE INÍCIO	MENOR DISTÂNCIA EM RELAÇÃO À COSTA (km)
DET_S-5_MLZ3D_VER_PC_60D	28/02/1992 – 13:00h	67
DET_S-5_MLZ3D_INV_PC_60D	21/07/1992 – 0:00h	62
DET_S-6_MLZ3D_VER_PC_30D	28/02/1992 – 15:00h	67
DET_S-6_MLZ3D_INV_PC_60D	16/07/1992 – 1:00h	70
DET_S-10_SCS10A_VER_PC_30D	11/01/1992 – 18:00h	86
DET_S-10_SCS10A_INV_PC_60D	28/08/1992 – 5:00h	83
DET_S-11_SPS55_VER_PC_60D	18/01/1992 – 15:00h	263
DET_S-11_SPS55_INV_PC_60D	15/07/1992 – 19:00h	254
DET_S-12_SPS55_VER_PC_60D	30/03/1992 – 22:00h	52

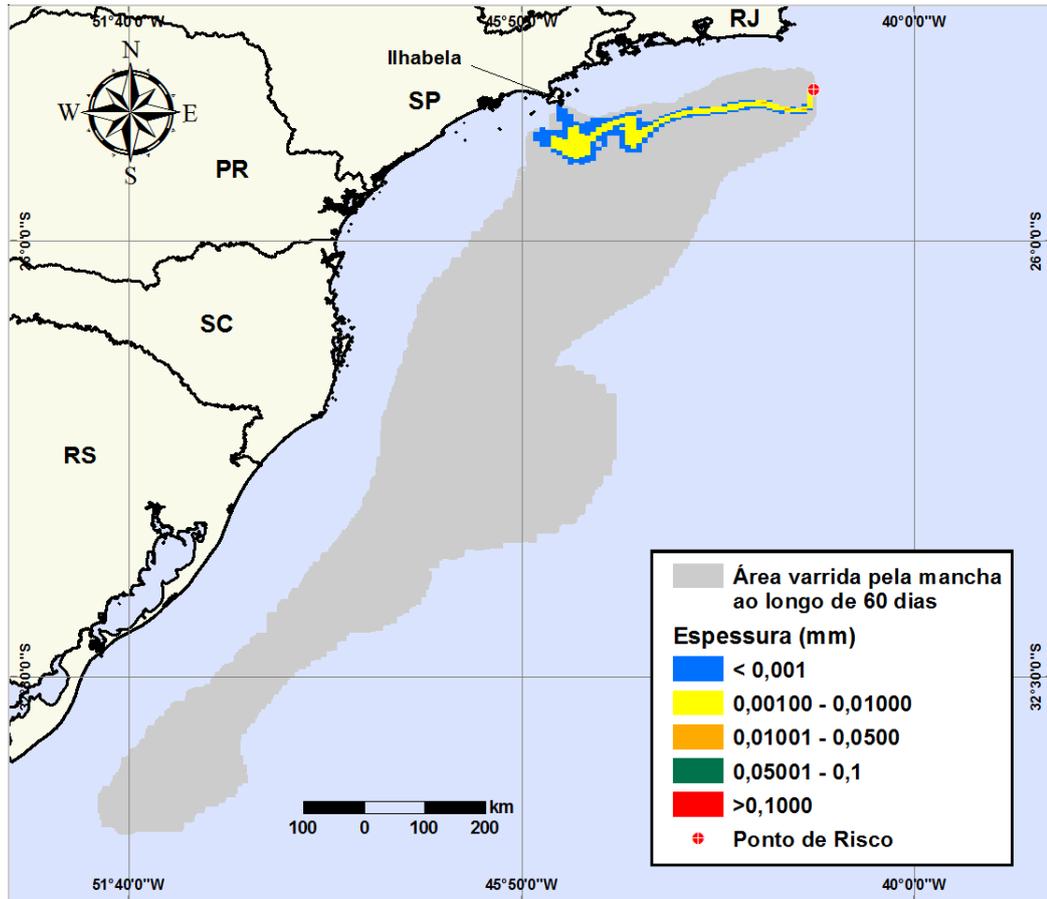
Em condições de verão, não ocorreu toque na costa para os cenários simulados a partir dos pontos S-10 (Polo Sul), S-11 e S-12 (ambos no Polo Pré-sal), localizados na porção leste do polígono da AGBS (mais afastados da costa), bem como nos cenários de condensado a partir dos pontos S-5 e S-6 (Polo Merluza). Em condições de inverno não ocorreu toque na costa para os cenários simulados a partir dos pontos localizados na porção leste do polígono, mais afastados da costa (Ponto S-10 no Polo Sul e Ponto S-11 no Polo Pré-sal), bem como nos cenários de condensado a partir dos pontos S-5 e S-6 no Polo Merluza.

Os maiores volumes de óleo na costa, ao final da simulação, foram calculados para os derrames a partir do Ponto S-5 (Polo Merluza) no verão (1.882 m<sup>3</sup>) para o óleo diesel marítimo e do Ponto S-7 (Polo Sul) no inverno (31.050 m<sup>3</sup>). Os menores tempos de toque na costa foram identificados para os cenários simulados com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-5 (localizado no Polo Merluza, na porção oeste da AGBS), tanto no verão (35 horas) quanto no inverno (65 horas).

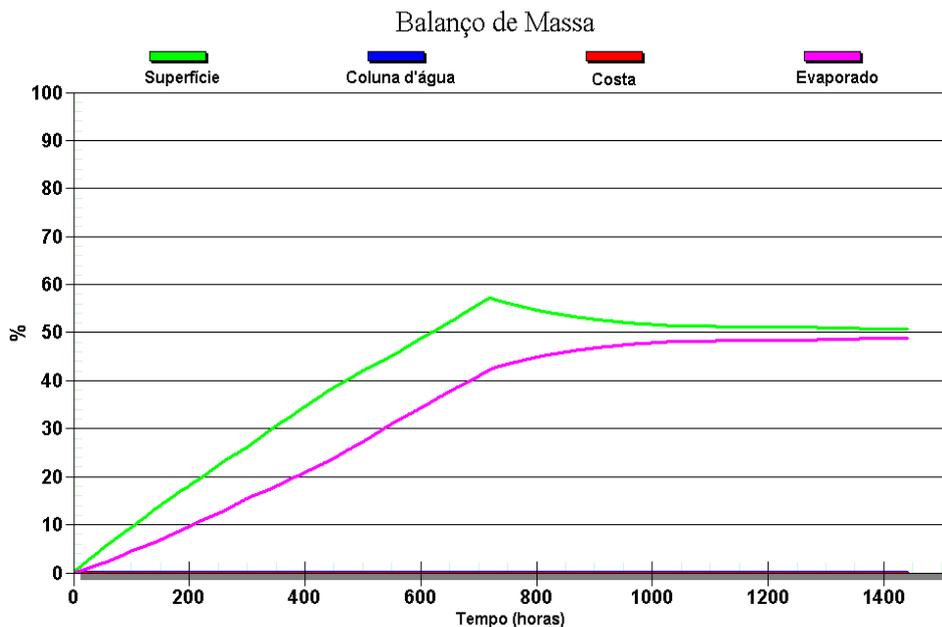
Nas figuras V-91 a V-118 são apresentados os resultados das simulações determinísticas críticas de verão, na forma de duas figuras. Uma das figuras apresenta os contornos de espessura no instante do primeiro toque na linha de costa e a área varrida pela mancha ao longo dos 60 dias de simulação (ou 30 dias quando do derrame de diesel marítimo). A cor cinza representa a região por onde a mancha se deslocou durante os 60 dias de duração da simulação (ou 30 dias para derrame de diesel) e, portanto, não está associada a uma espessura. A mancha no instante de primeiro toque (ou de maior proximidade em relação à costa) é aquela representada pela escala de cores indicada nas legendas.

A outra figura apresenta um gráfico com o balanço de massa (óleo na superfície, na costa, evaporado e na coluna d'água) para as simulações determinísticas críticas. No geral, observa-se que a evaporação é o principal processo responsável pela redução da massa de óleo nas simulações realizadas.

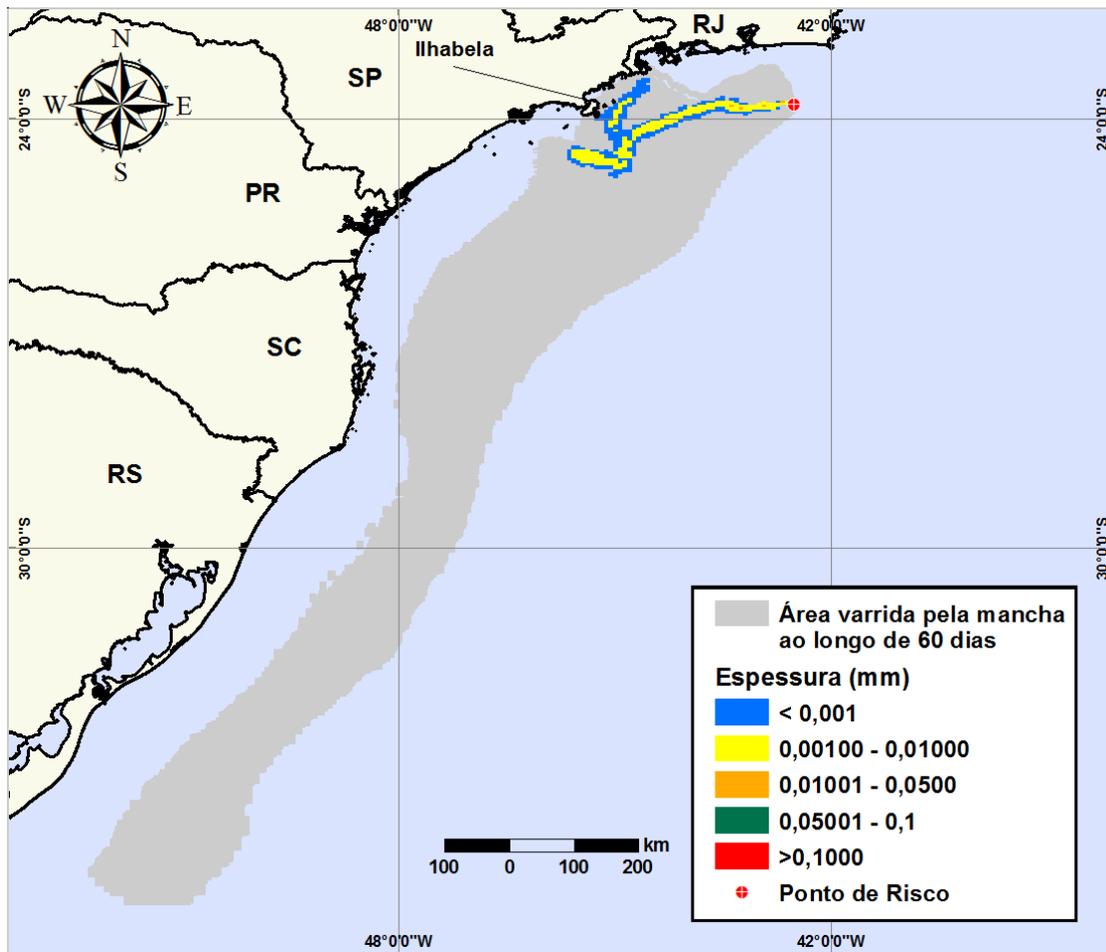
Vale ressaltar que, em alguns cenários determinísticos críticos de verão e inverno, o primeiro toque na costa ocorreu em algumas ilhas: Ilha Urupira – próximo ao Rio de Janeiro, RJ; Ilha Jorge Grego – Município de Angra dos Reis, RJ, Arquipélago de Alcatrazes – nas proximidades de São Sebastião, SP; Lage de Santos – próximo ao município de Santos, SP; Ilha da Queimada Grande – município de Itanhaém, SP.



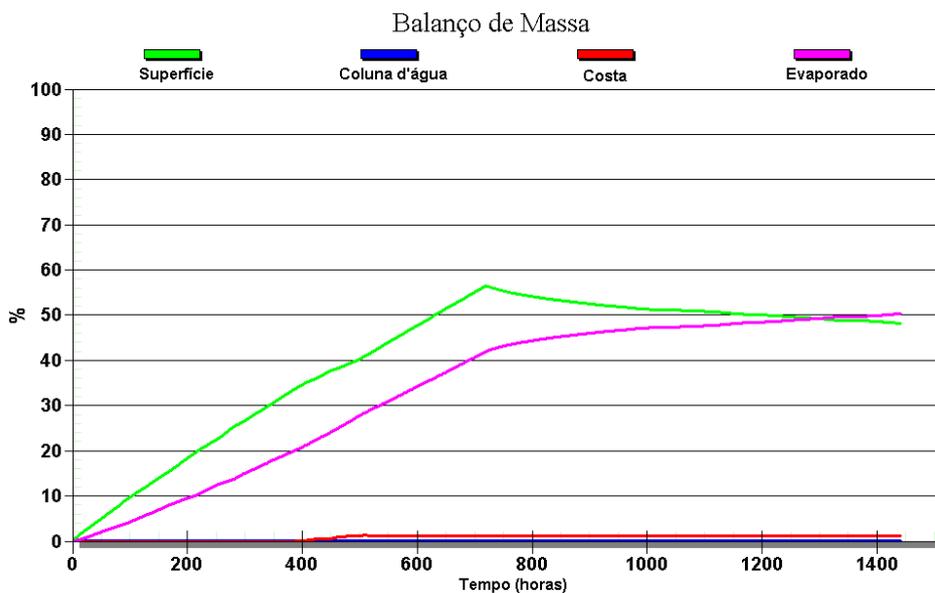
**Figura V-91 - DET\_S-1\_RJS-621\_VER\_PC\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço RJS-621 a partir do Ponto S-1 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos.



**Figura V-92 - Balanço de massa do cenário DET\_S-1\_RJS-621\_VER\_PC\_60D.**



**Figura V-93** - DET\_S-2\_RJS-621\_VER\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço RJS-621 a partir do Ponto S-2 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos.



**Figura V-94** - Balanço de massa do cenário DET\_S-2\_RJS-621\_VER\_PC\_60D.

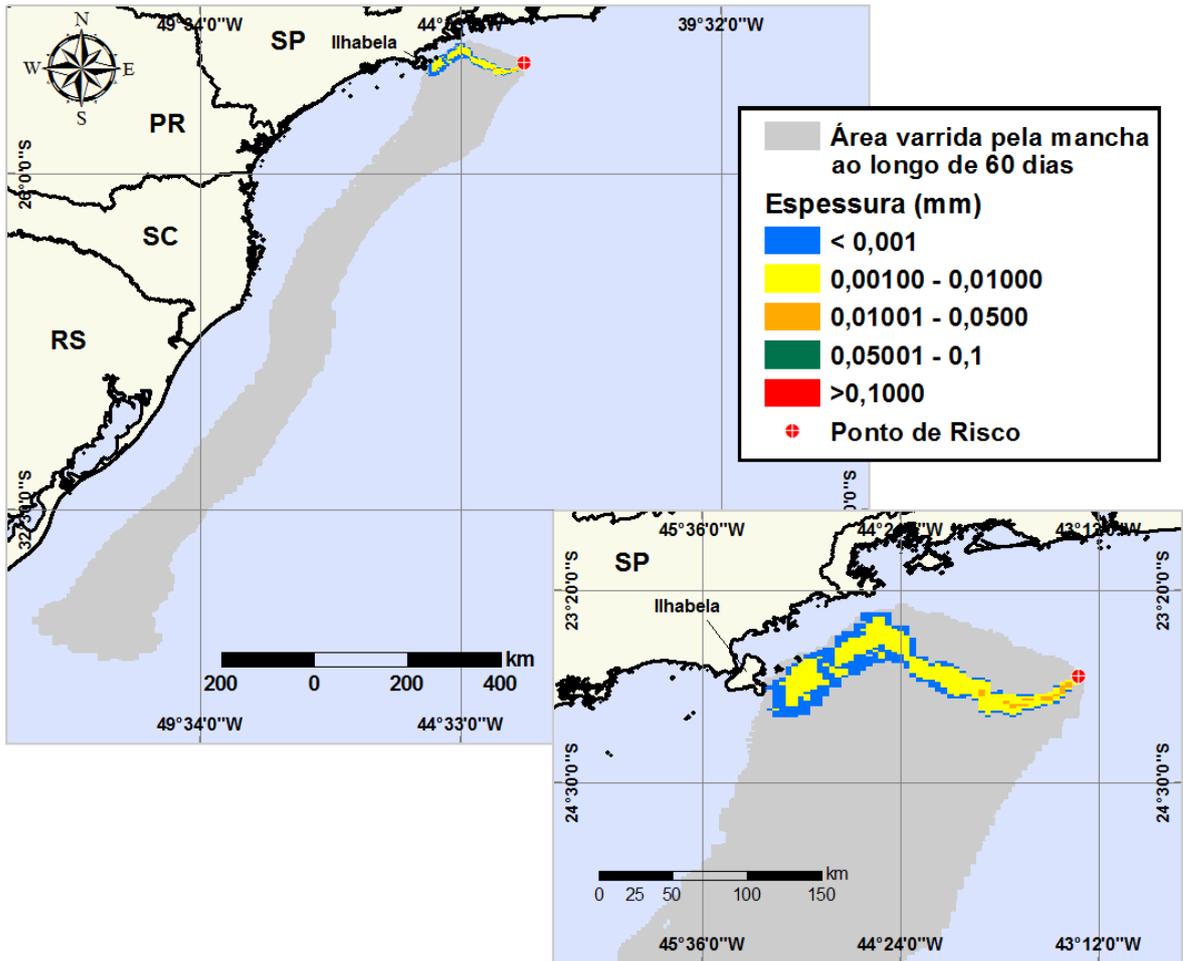


Figura V-95 - DET\_S-3\_RJS-621\_VER\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço RJS-621 a partir do Ponto S-3 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos.

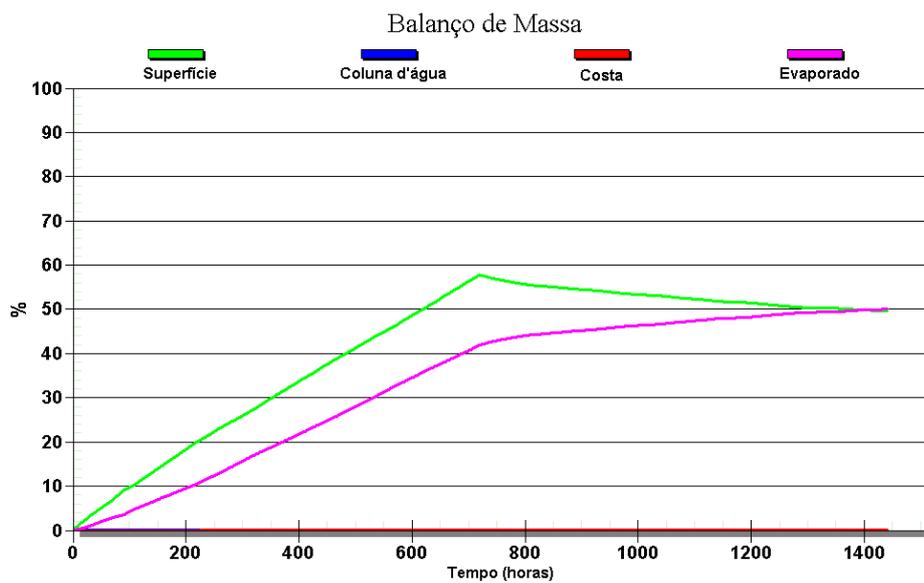


Figura V-96 - Balanço de massa do cenário DET\_S-3\_RJS-621\_VER\_PC\_60D.

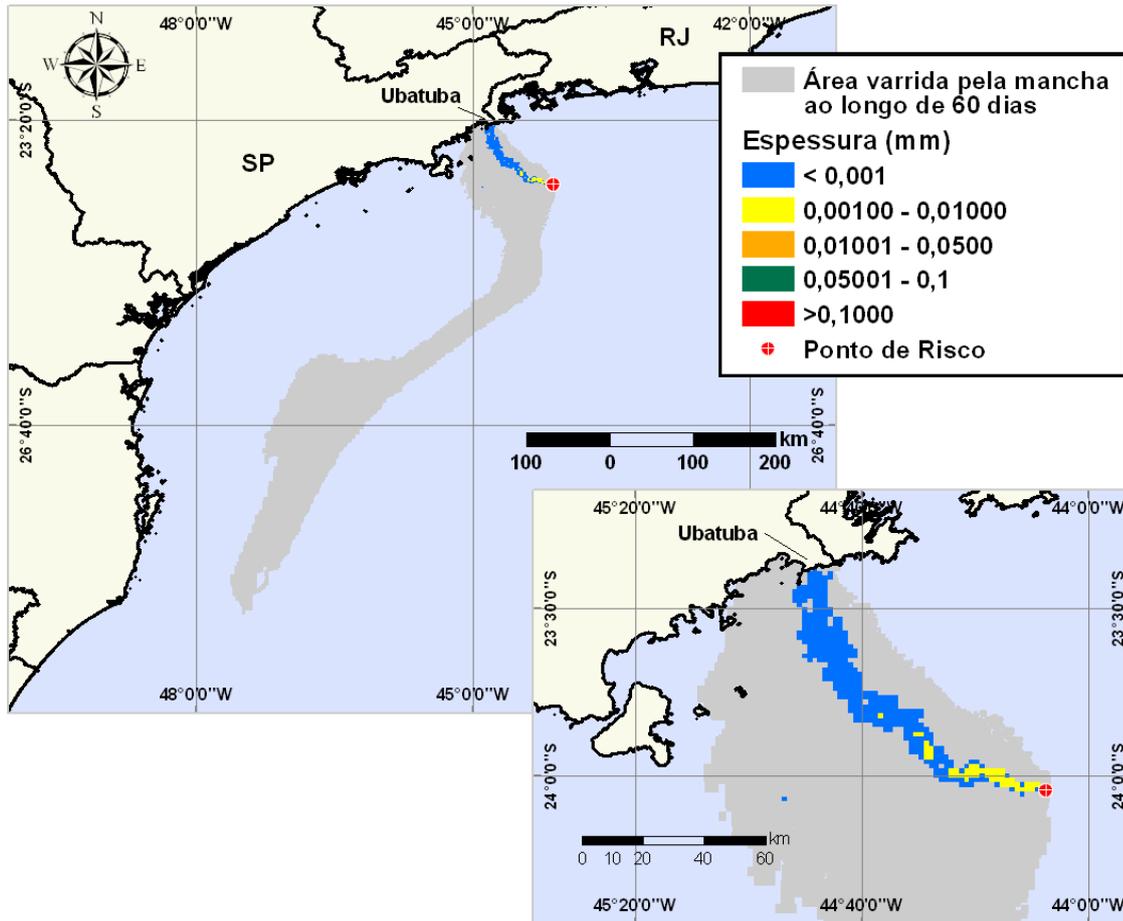


Figura V-97 - DET\_S-4\_MXL-2H\_VER\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço MXL-2H a partir do Ponto S-4 (Polo Mexilhão), Área Geográfica Bacia de Santos.

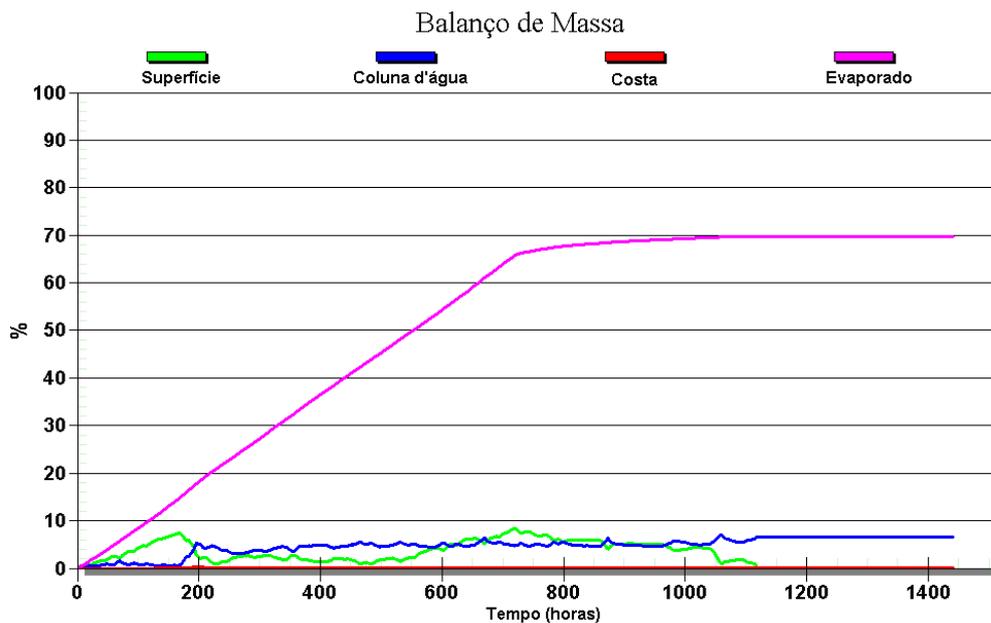
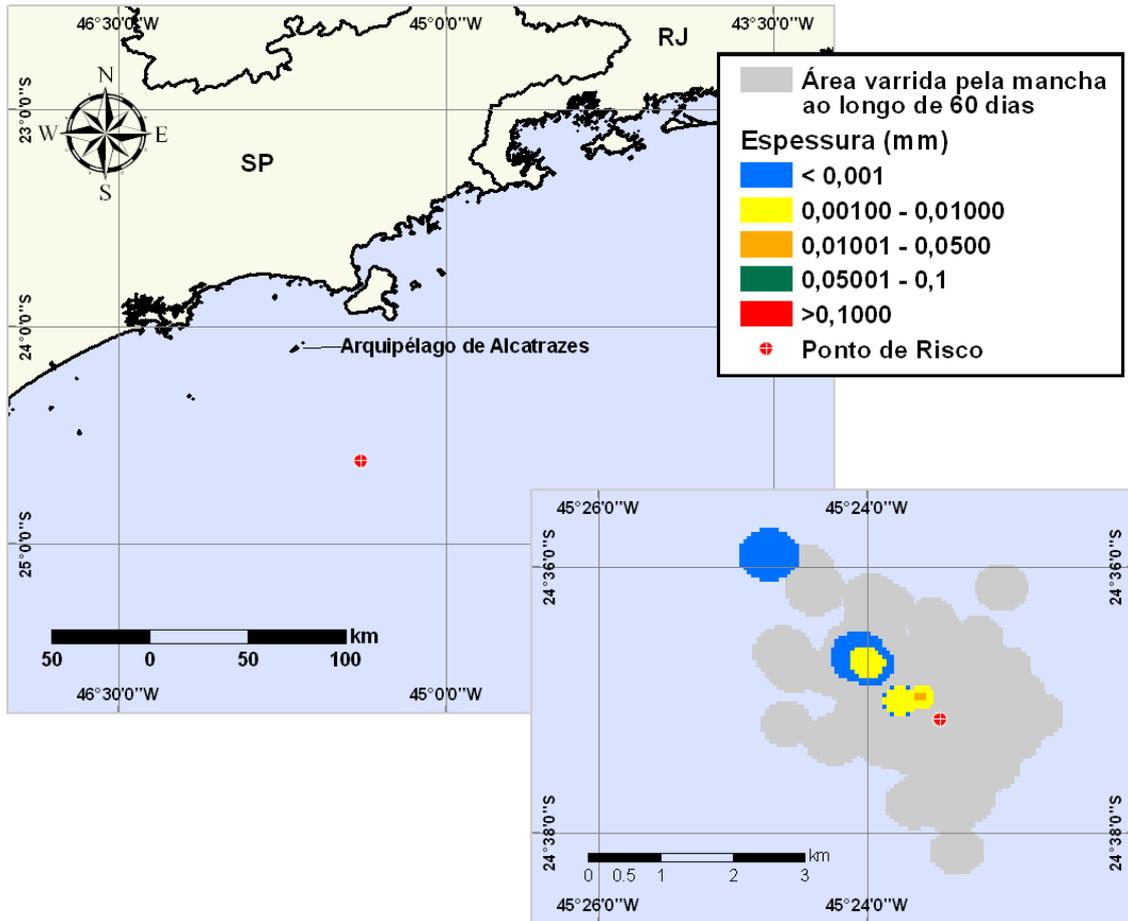
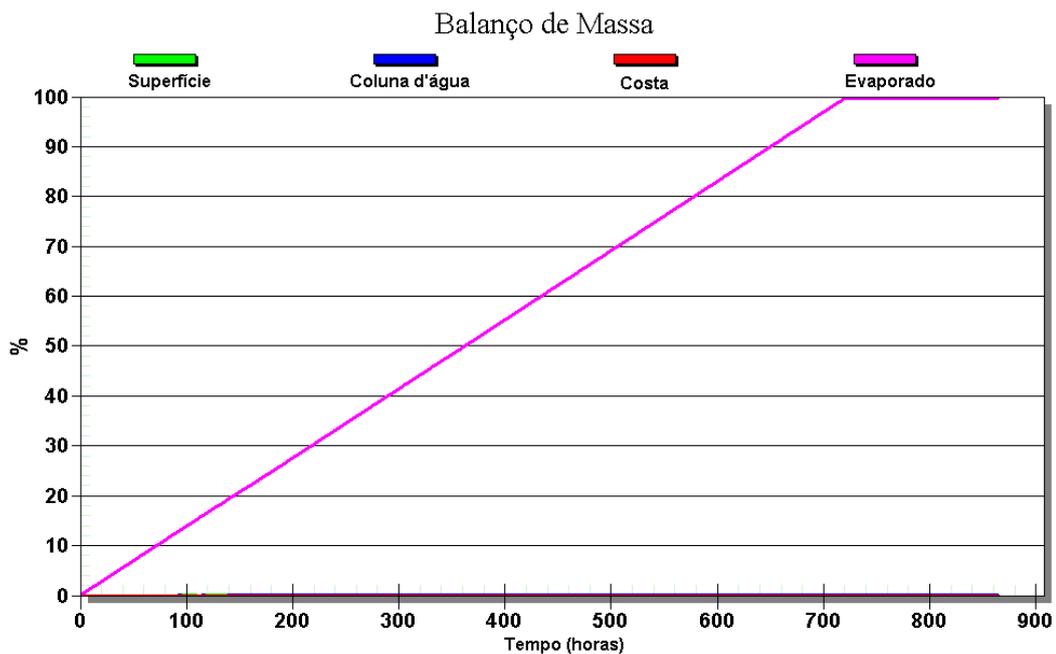


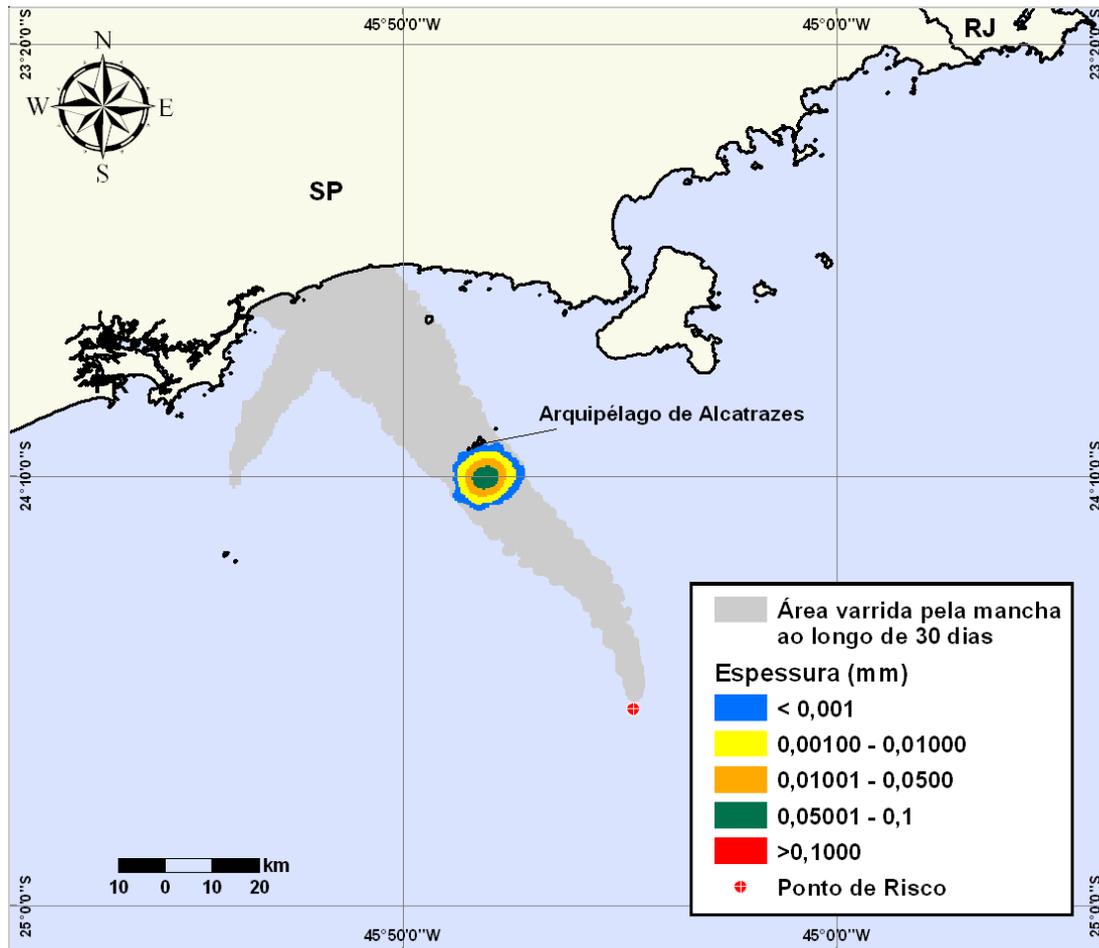
Figura V-98 - Balanço de massa do cenário DET\_S-4\_MXL-2H\_VER\_PC\_60D.



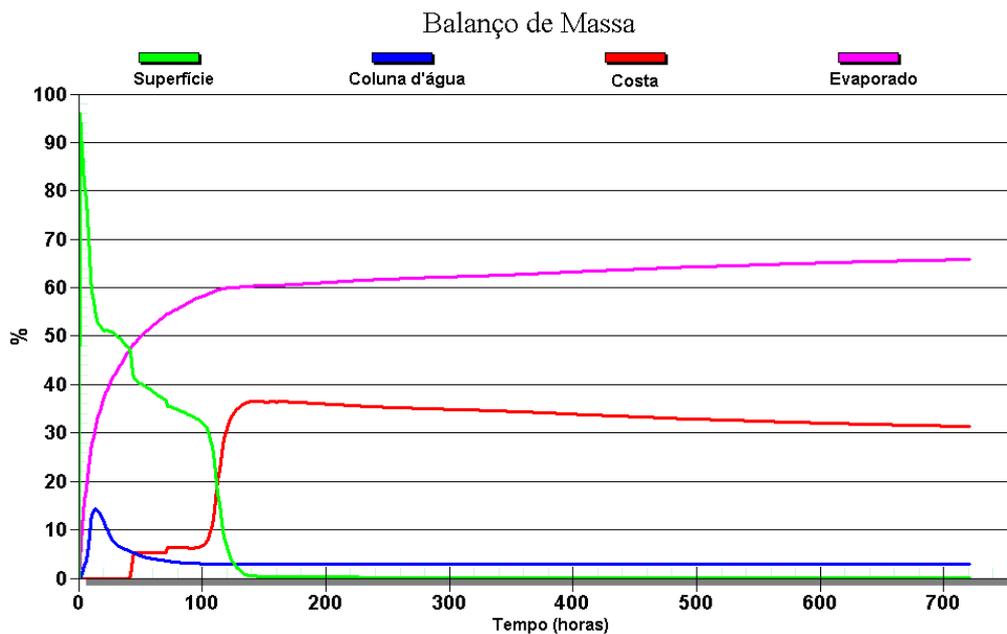
**Figura V-99 - DET\_S-5\_MLZ-3D\_VER\_PC\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com condensado do Poço MLZ-3D a partir do Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos.



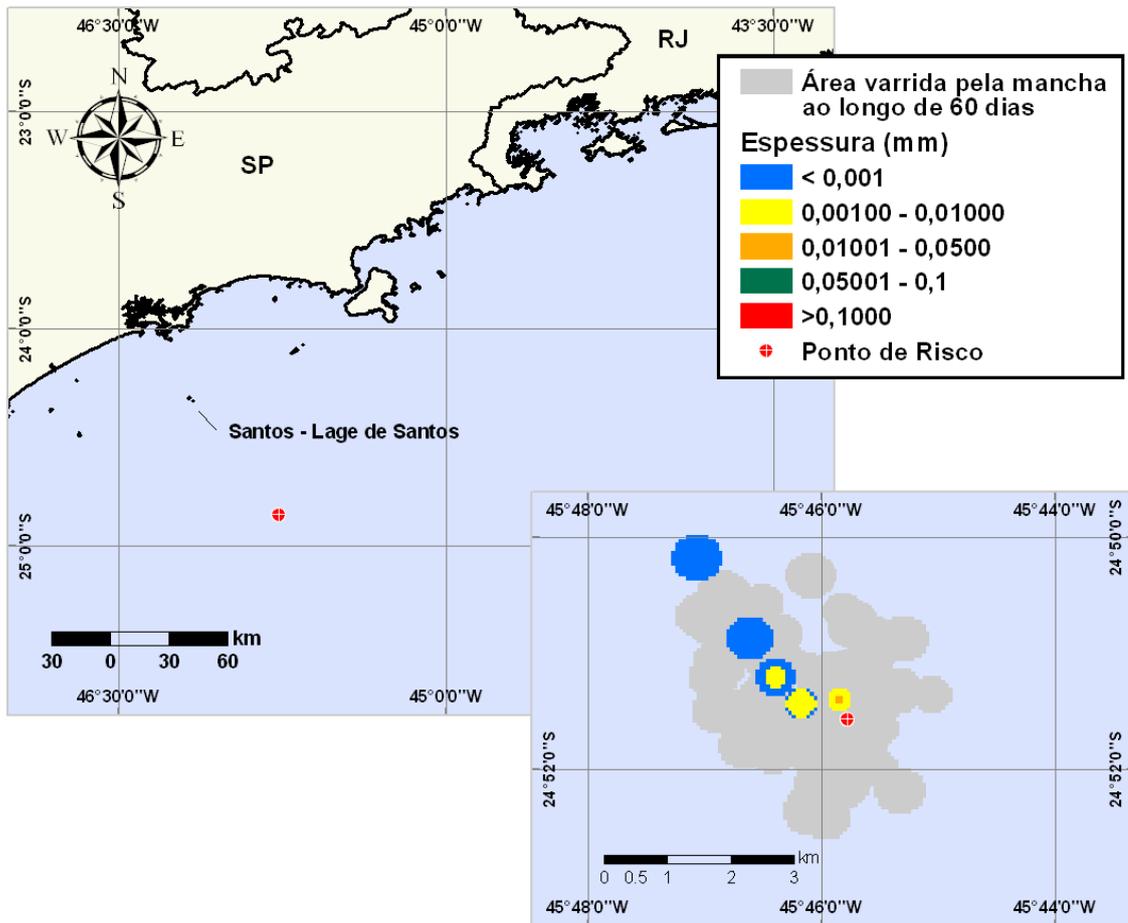
**Figura V-100 - Balanço de massa do cenário DET\_S-5\_MLZ-3D\_VER\_PC\_60D.**



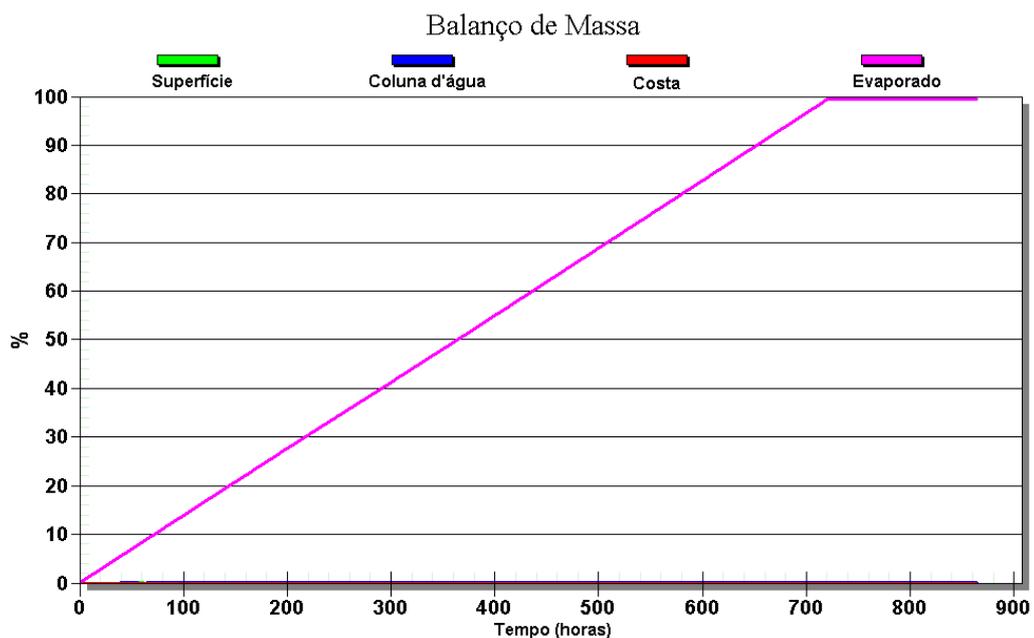
**Figura V-101 - DET\_S-5\_DIESEL\_VER\_PC\_30D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos.



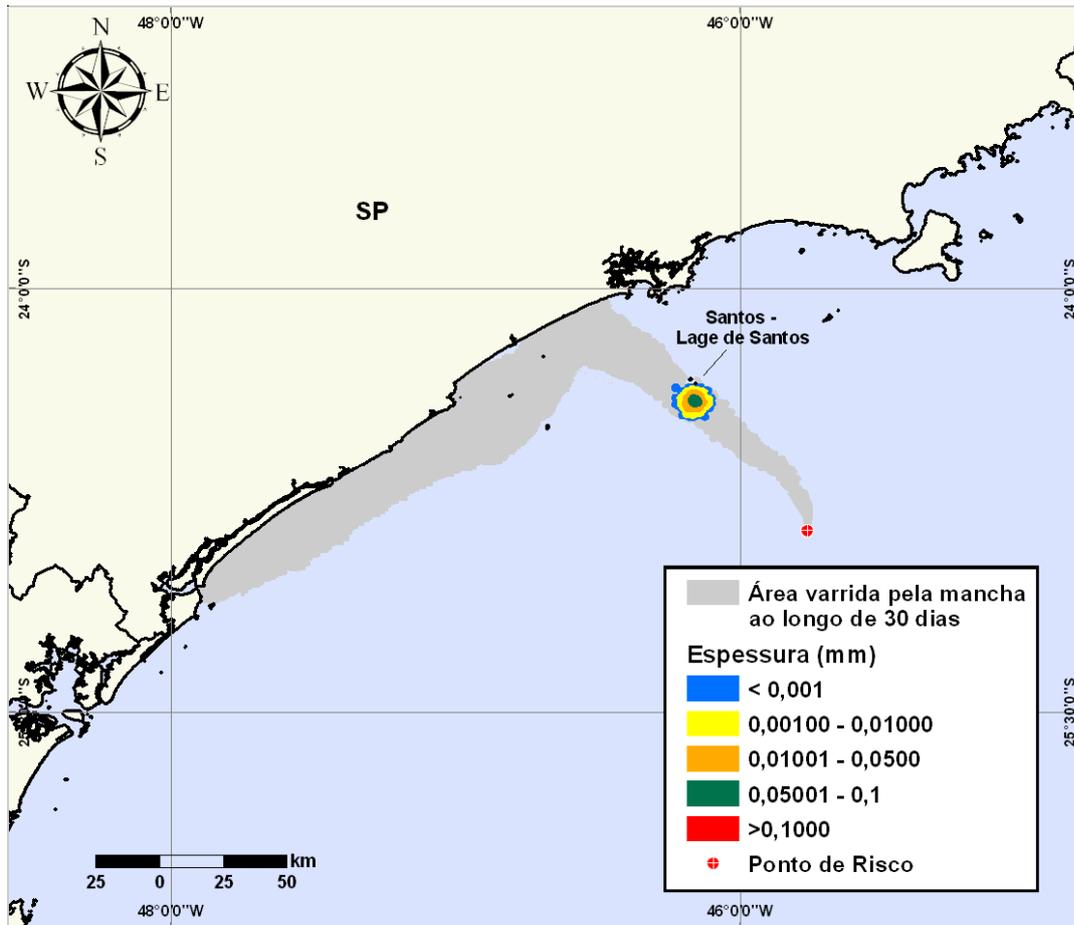
**Figura V-102 - Balanço de massa do cenário DET\_S-5\_DIESEL\_VER\_PC\_30D.**



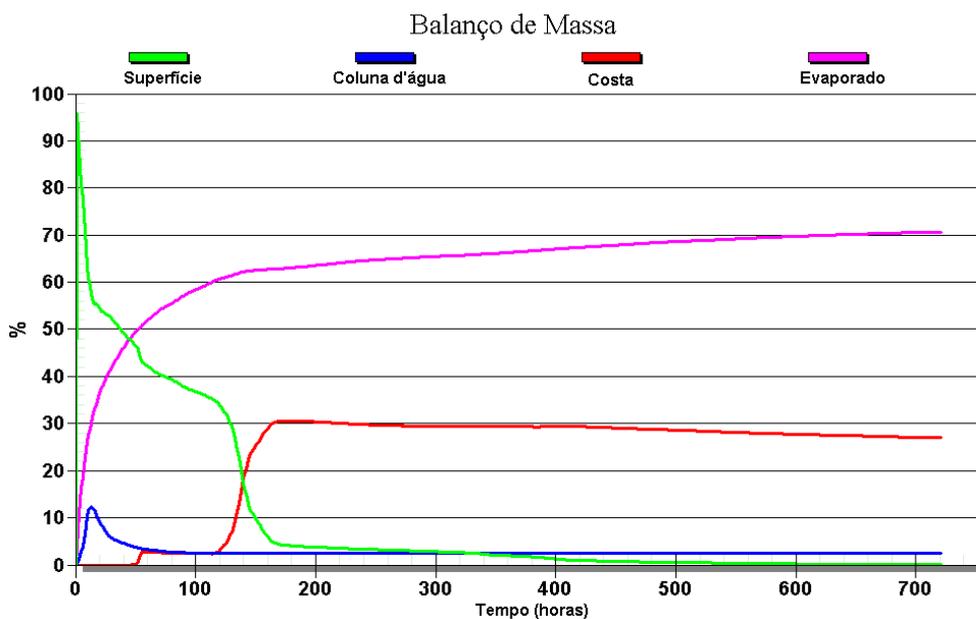
**Figura V-103 - DET\_S-6\_MLZ-3D\_VER\_PC\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com condensado do Poço MLZ-3D a partir do Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos.



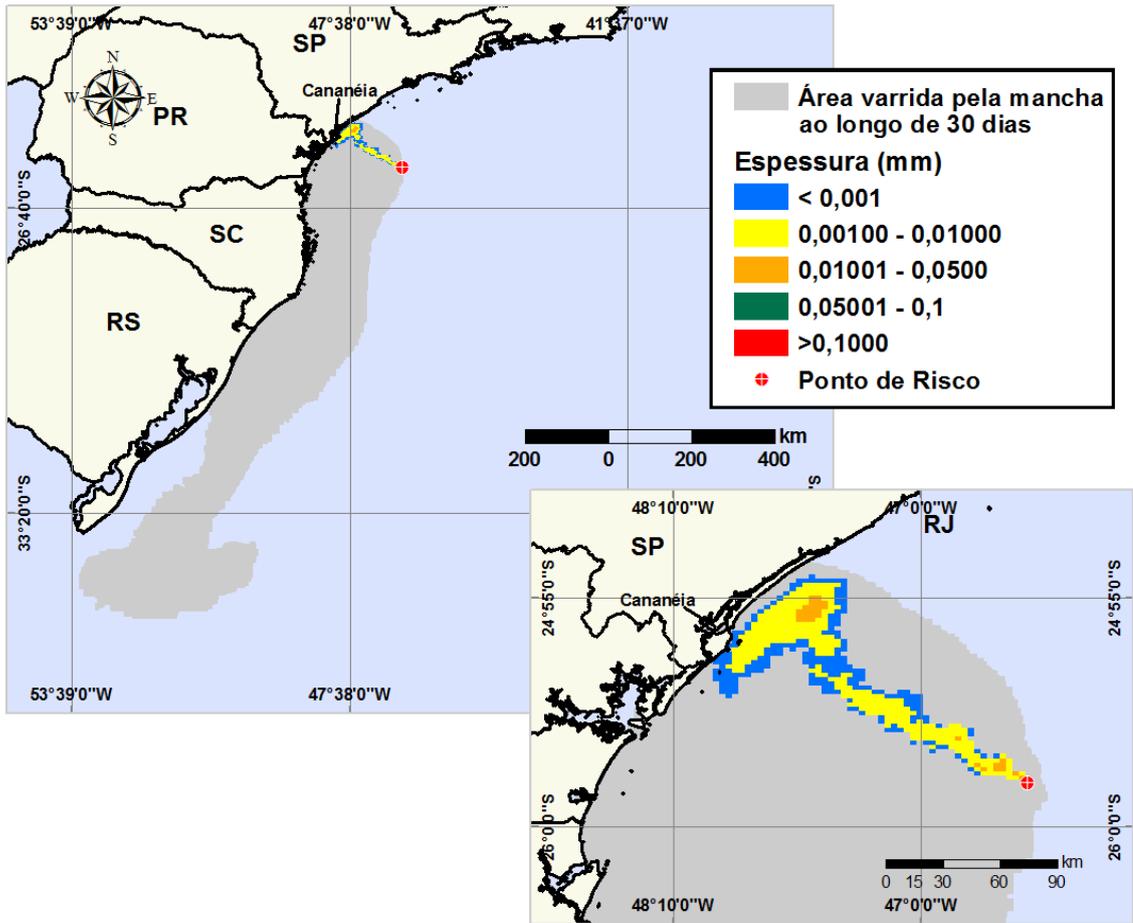
**Figura V-104 - Balanço de massa do cenário DET\_S-6\_MLZ-3D\_VER\_PC\_60D.**



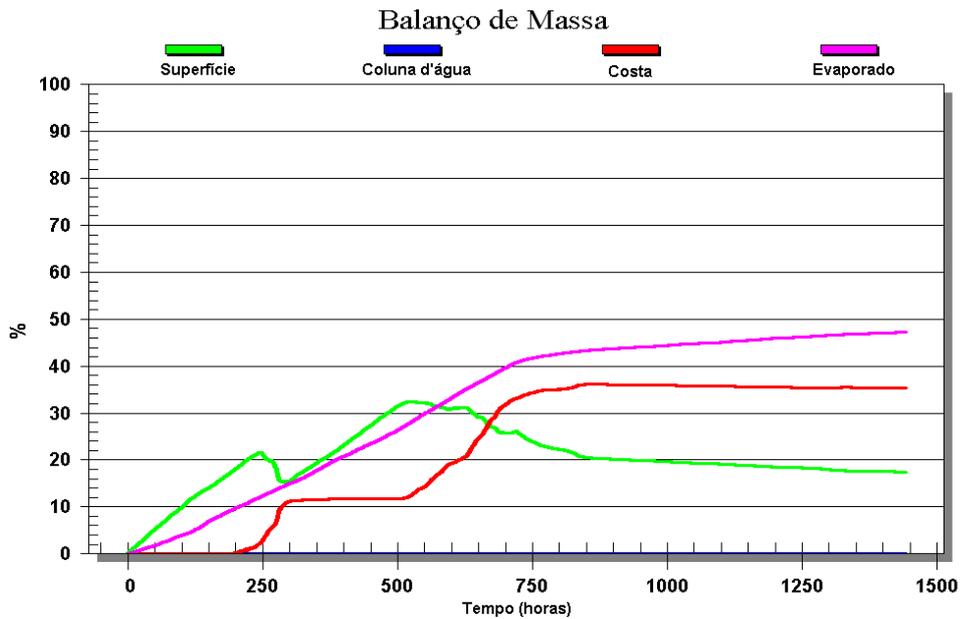
**Figura V-105 - DET\_S-6\_DIESEL\_VER\_PC\_30D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos.



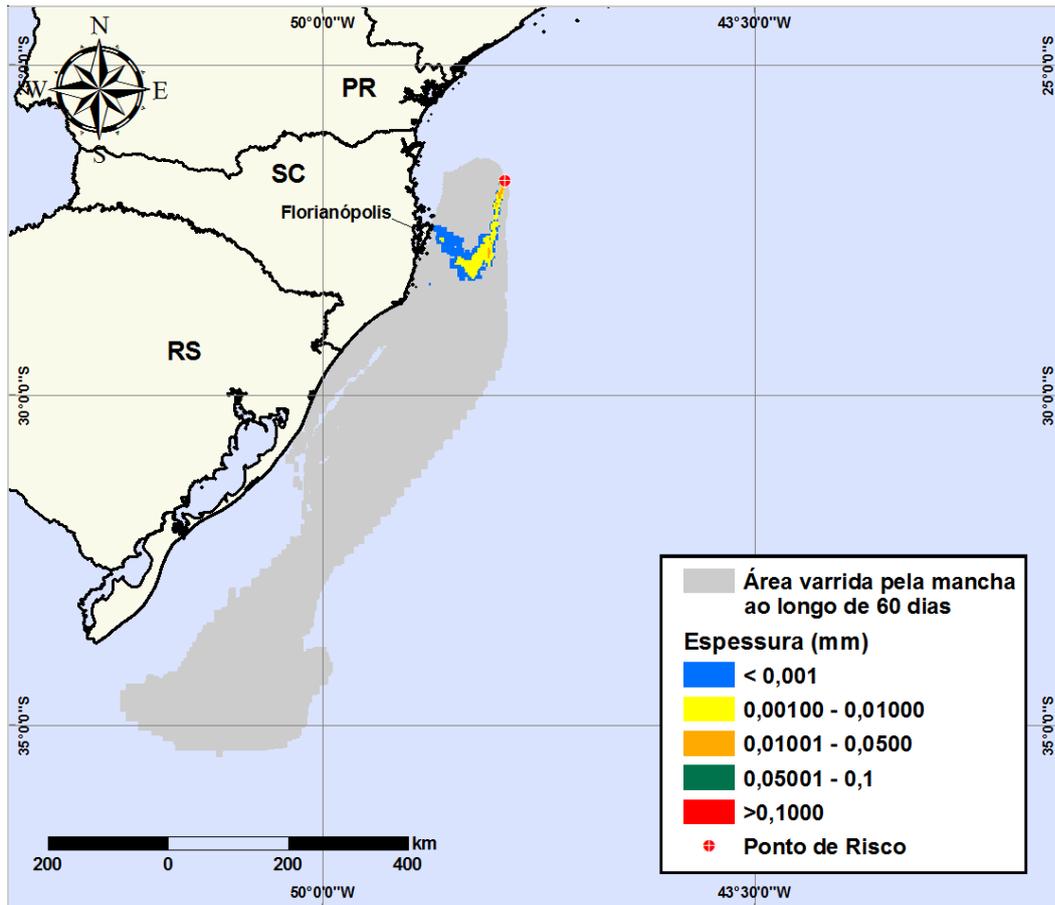
**Figura V-106 - Balanço de massa do cenário DET\_S-6\_DIESEL\_VER\_PC\_30D.**



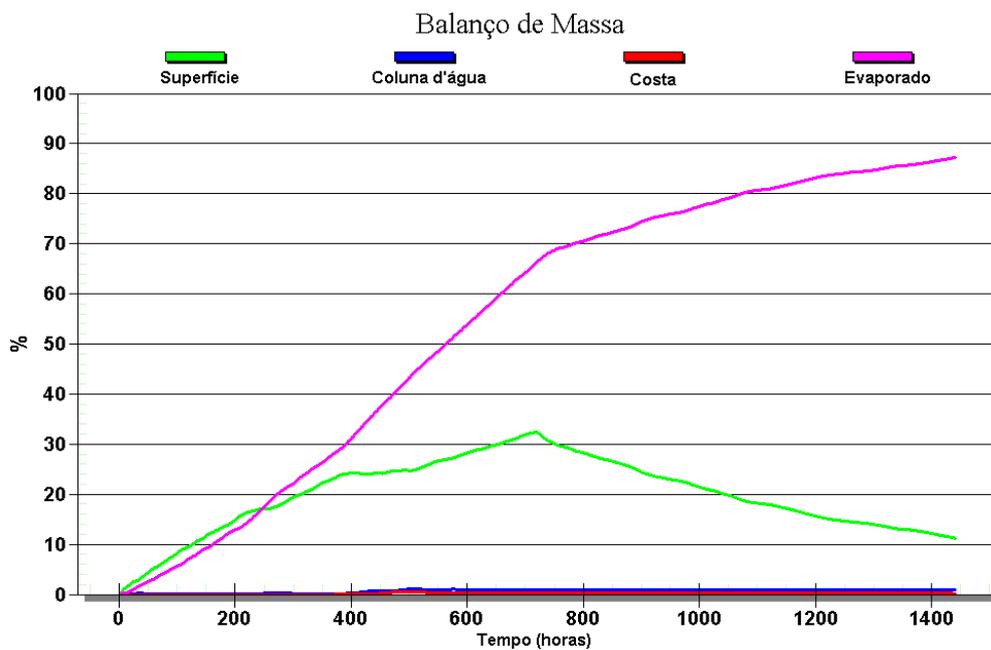
**Figura V-107 - DET\_S-7\_SCS10A\_VER\_PC\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço SCS10A a partir do Ponto S-7 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos.



**Figura V-108 - Balanço de massa do cenário DET\_S-7\_SCS10A\_VER\_PC\_60D.**



**Figura V-109 - DET\_S-8\_SCS10A\_VER\_PC\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço SCS10A a partir do Ponto S-8 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos.



**Figura V-110 - Balanço de massa do cenário DET\_S-8\_SCS10A\_VER\_PC\_60D.**

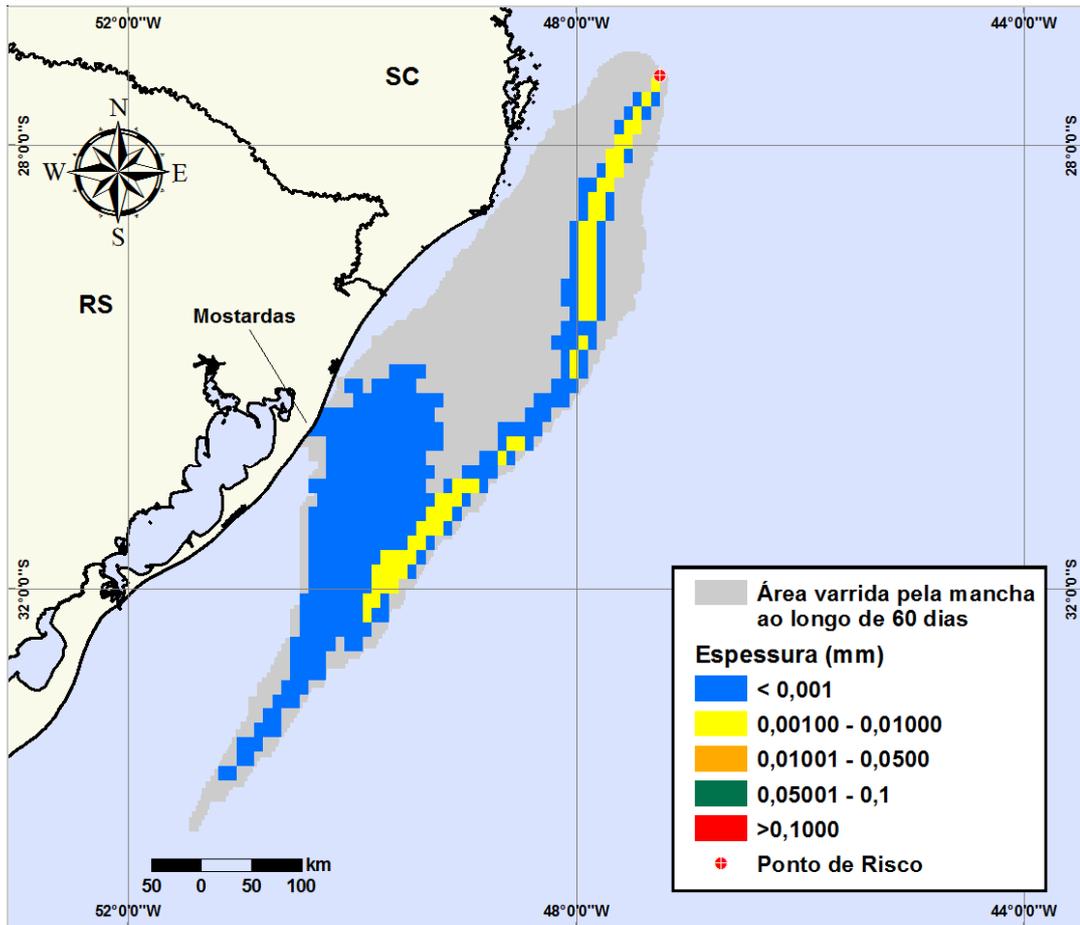


Figura V-111 - DET\_S-9\_SCS10A\_VER\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço SCS10A a partir do Ponto S-9 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos.

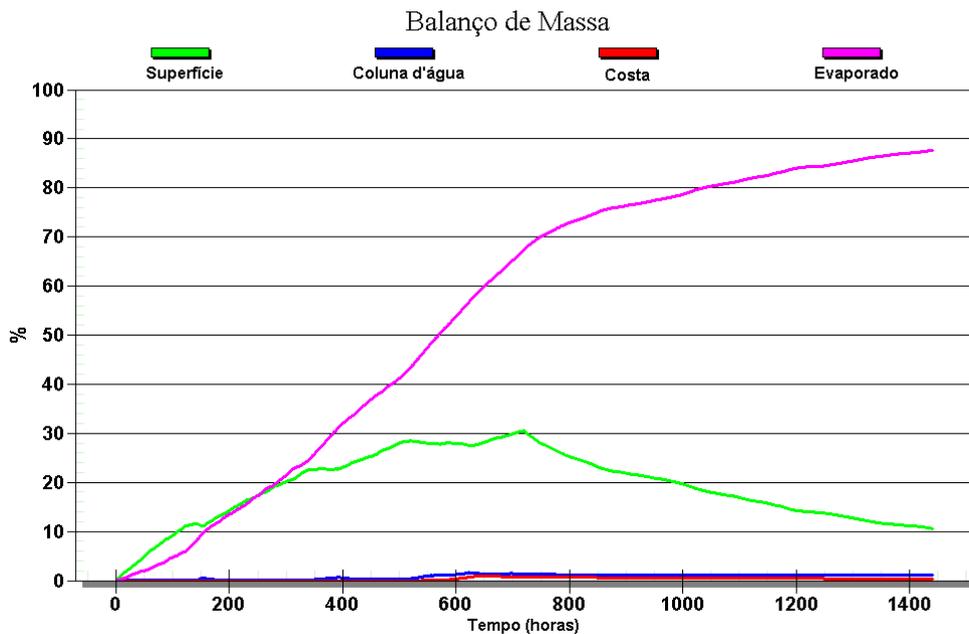
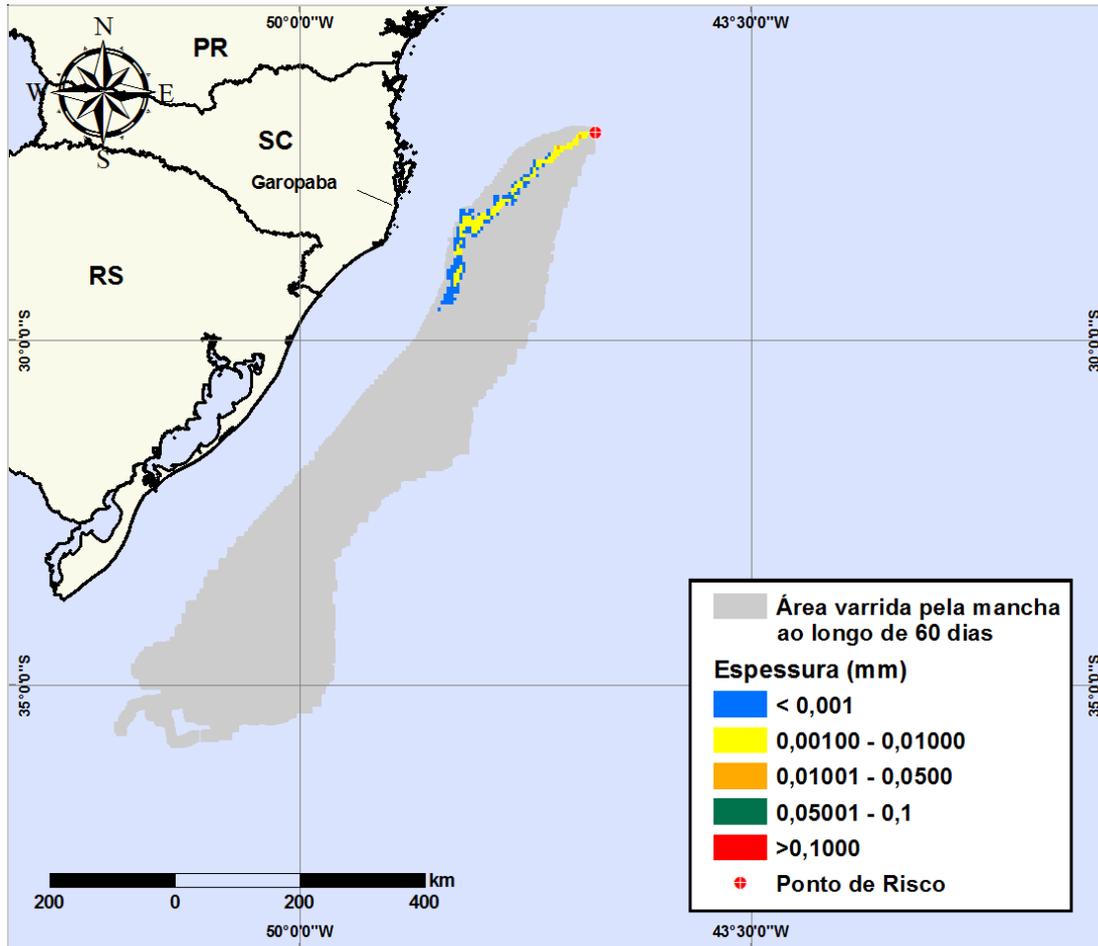
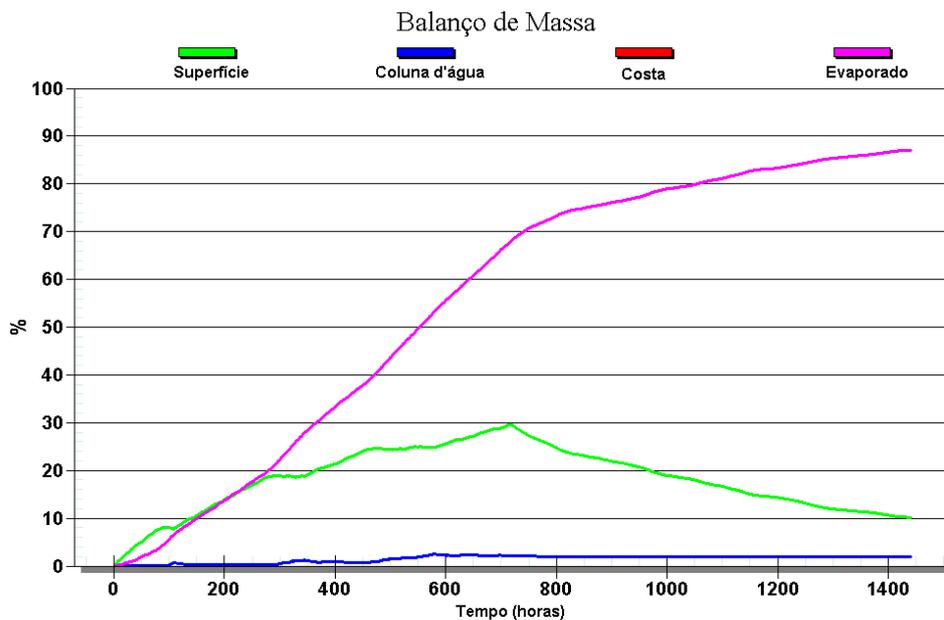


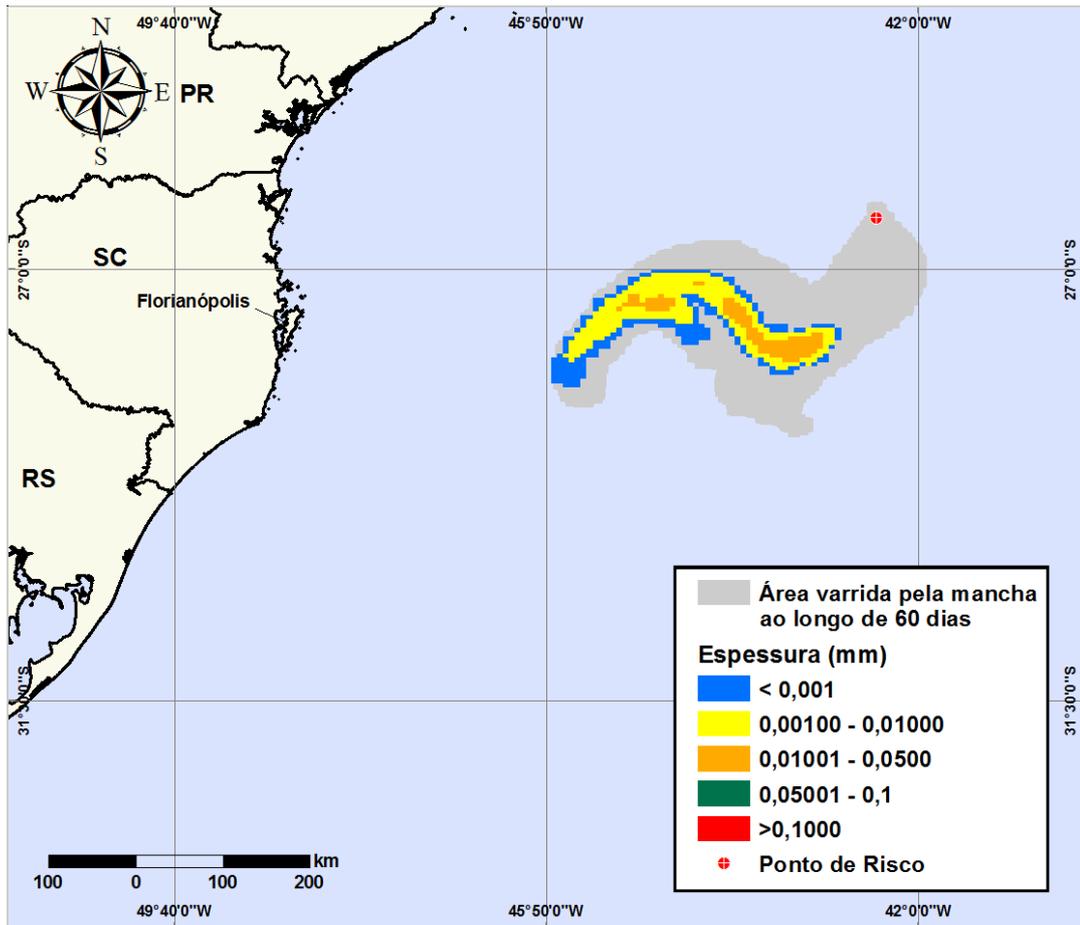
Figura V-112 - Balanço de massa do cenário DET\_S-9\_SCS10A\_VER\_PC\_60D.



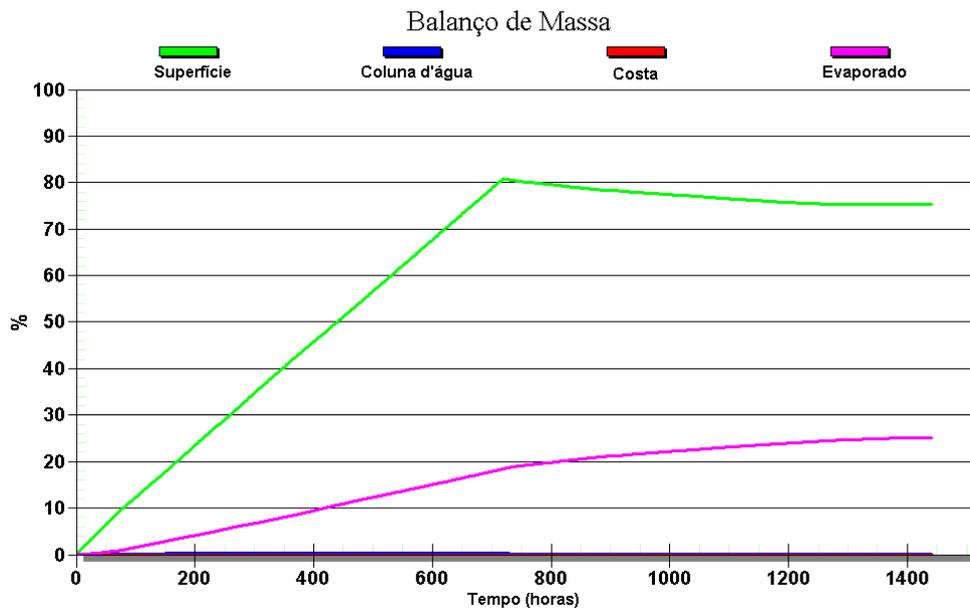
**Figura V-113 - DET\_S-10\_SCS10A\_VER\_PC\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço SCS10A a partir do Ponto S-10 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos.



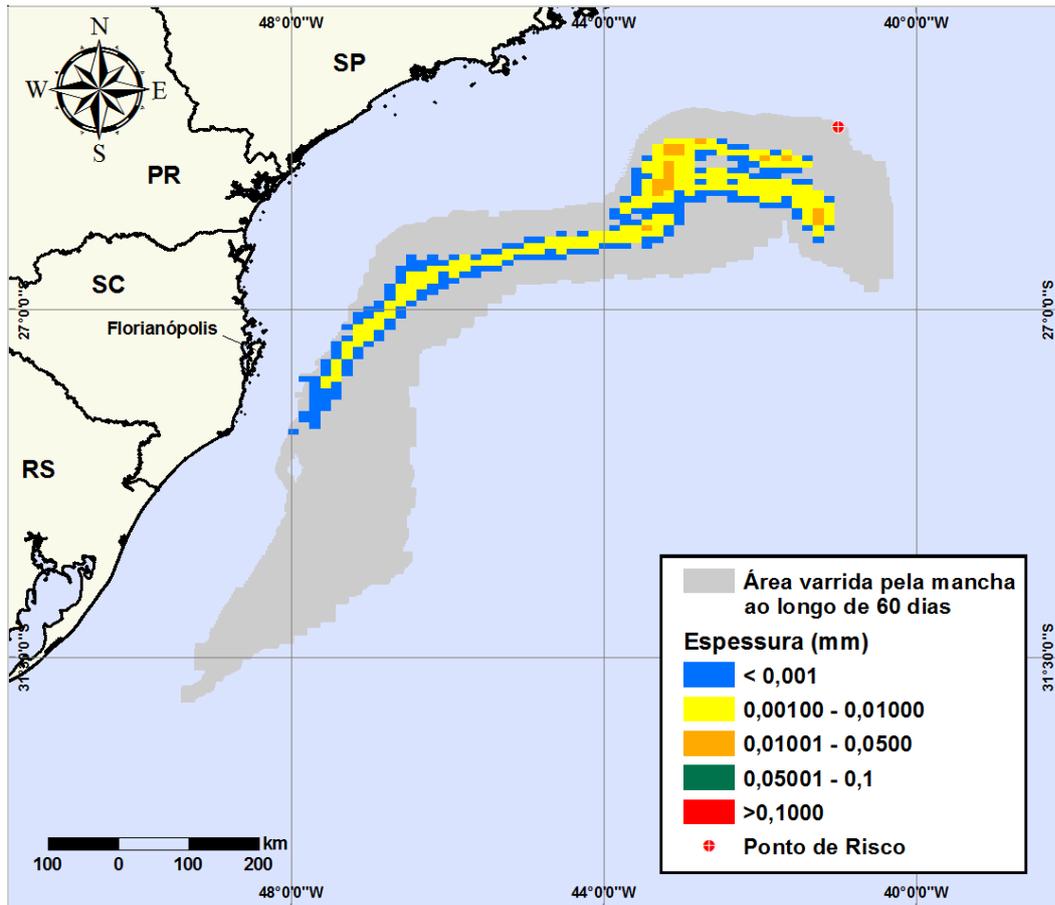
**Figura V-114 - Balanço de massa do cenário DET\_S-10\_SCS10A\_VER\_PC\_60D.**



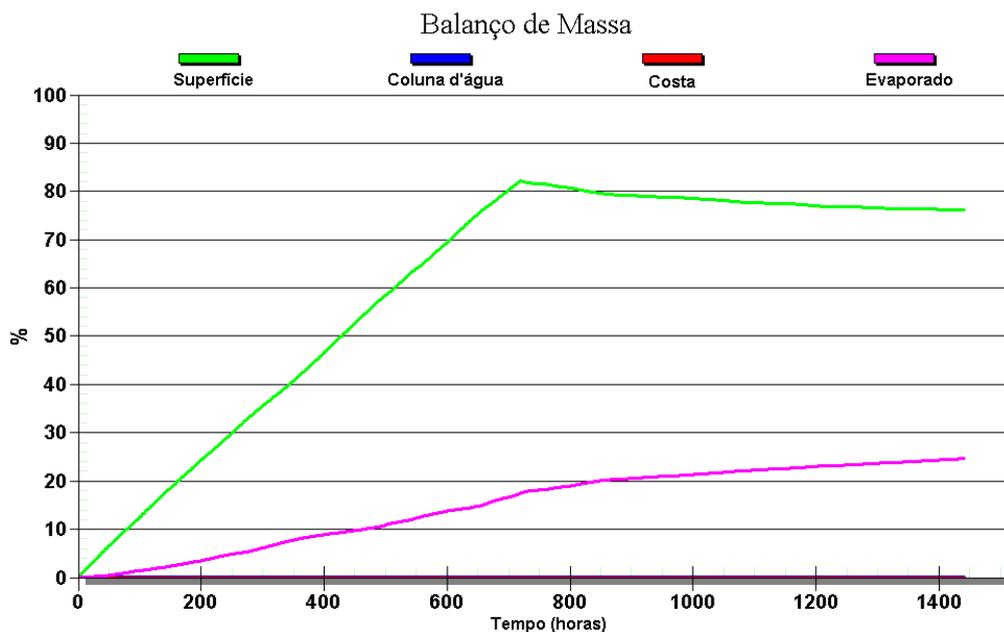
**Figura V-115 - DET\_S-11\_SPS-55\_VER\_PC\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço SPS-55 a partir do Ponto S-11 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos.



**Figura V-116 - Balanço de massa do cenário DET\_S-11\_SPS-55\_VER\_PC\_60D.**



**Figura V-117** - DET\_S-12\_SPS-55\_VER\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo do Poço SPS-55 a partir do Ponto S-12 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos.



**Figura V-118** - Balanço de massa do cenário DET\_S-12\_SPS-55\_VER\_PC\_60D.

Nas figuras V-119 a V-146 são apresentados os resultados das simulações determinísticas críticas de inverno, na forma de duas figuras. Assim como no verão, uma das figuras apresenta os contornos de espessura no instante do primeiro toque na linha de costa e a área varrida pela mancha ao longo dos 60 dias de simulação (ou 30 dias quando do derrame de diesel marítimo). A cor cinza representa a região por onde a mancha se deslocou durante os 60 dias de duração da simulação (ou 30 dias para derrame de diesel) e, portanto, não está associada a uma espessura.

A mancha no instante de primeiro toque (ou de maior proximidade em relação à costa) é aquela representada pela escala de cores indicada nas legendas. A outra figura apresenta um gráfico com o balanço de massa (óleo na superfície, na costa, evaporado e na coluna d'água) para as simulações determinísticas críticas. No geral, observa-se que a evaporação é o principal processo responsável pela redução da massa de óleo nas simulações realizadas durante o inverno.

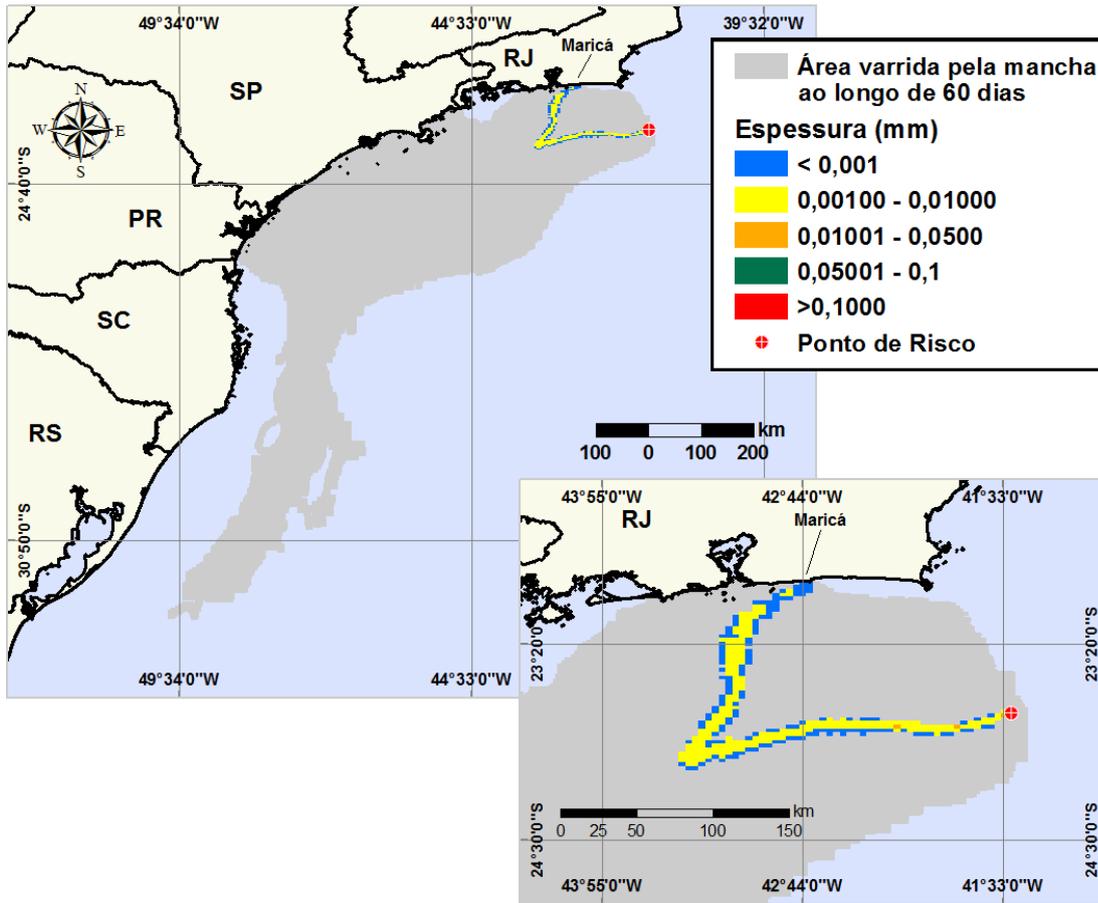


Figura V-119 - DET\_S-1\_RJS-621\_INV\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço RJS-621 a partir do Ponto S-1 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos.

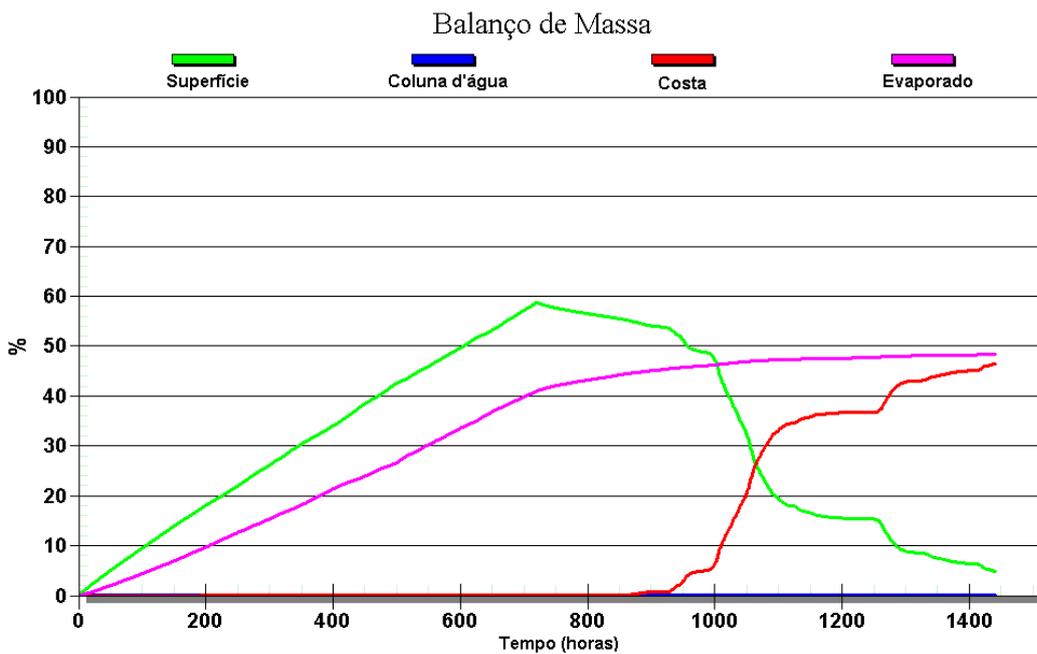


Figura V-120 - Balanço de massa do cenário DET\_S-1\_RJS-621\_INV\_PC\_60D.

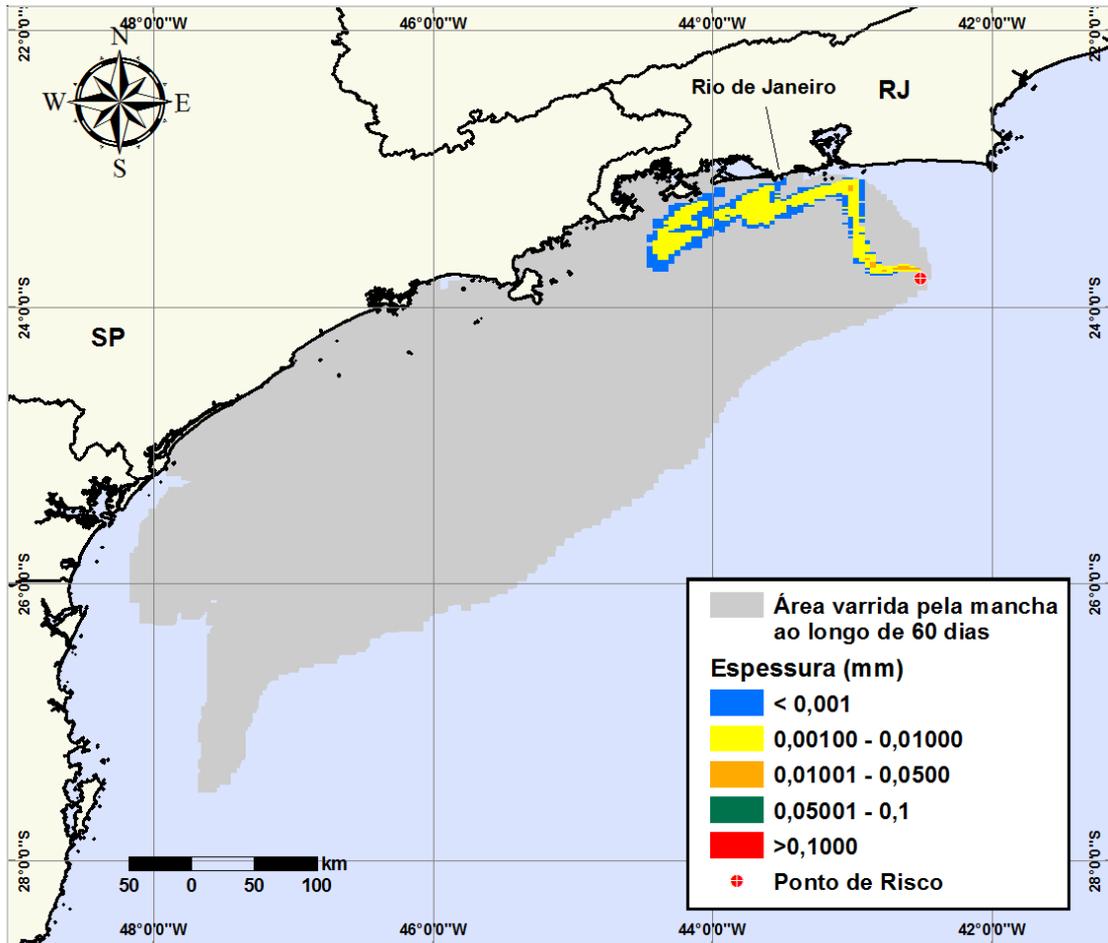


Figura V-121 - DET\_S-2\_RJS-621\_INV\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço RJS-621 a partir do Ponto S-2 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos.

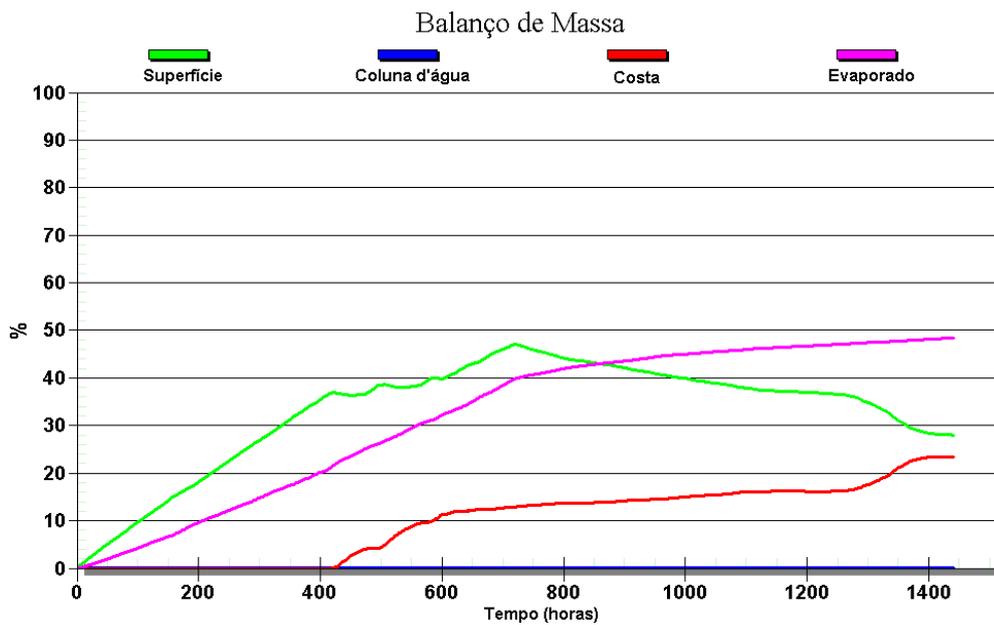


Figura V-122 - Balanço de massa do cenário DET\_S-2\_RJS-621\_INV\_PC\_60D.

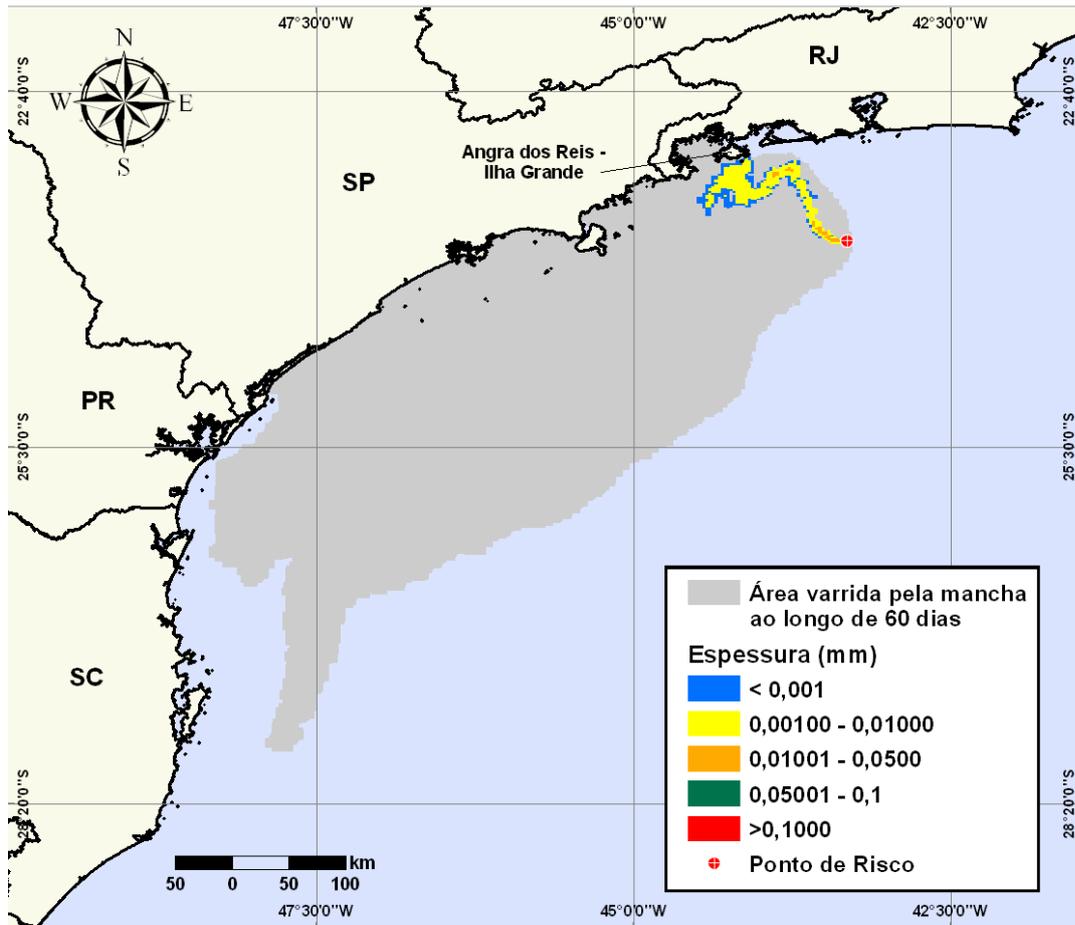


Figura V-123 - DET\_S-3\_RJS-621\_INV\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço RJS-621 a partir do Ponto S-3 (Polo Uruguá), Área Geográfica Bacia de Santos.

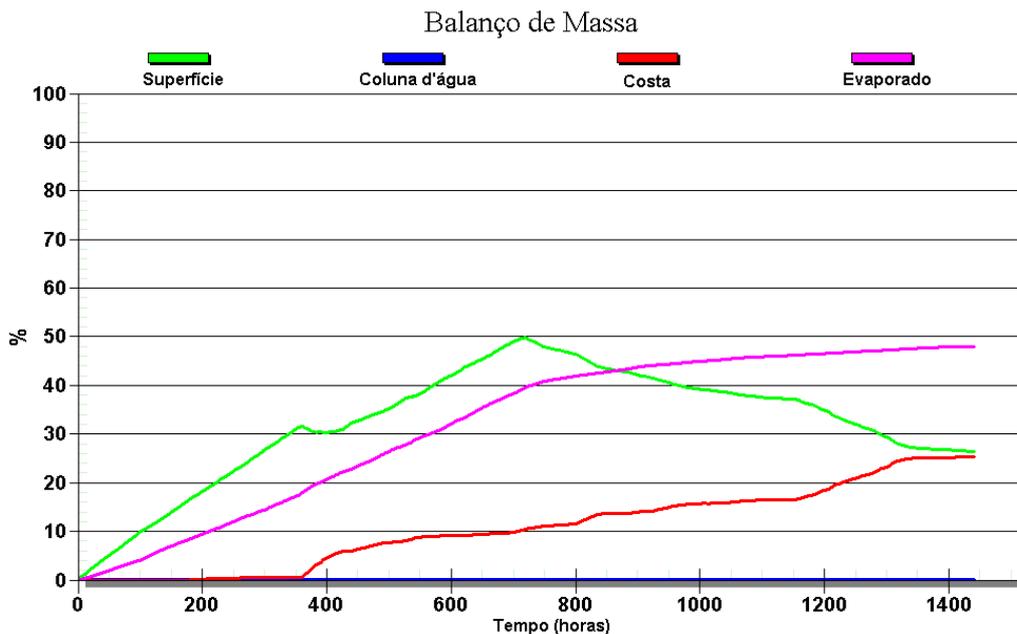
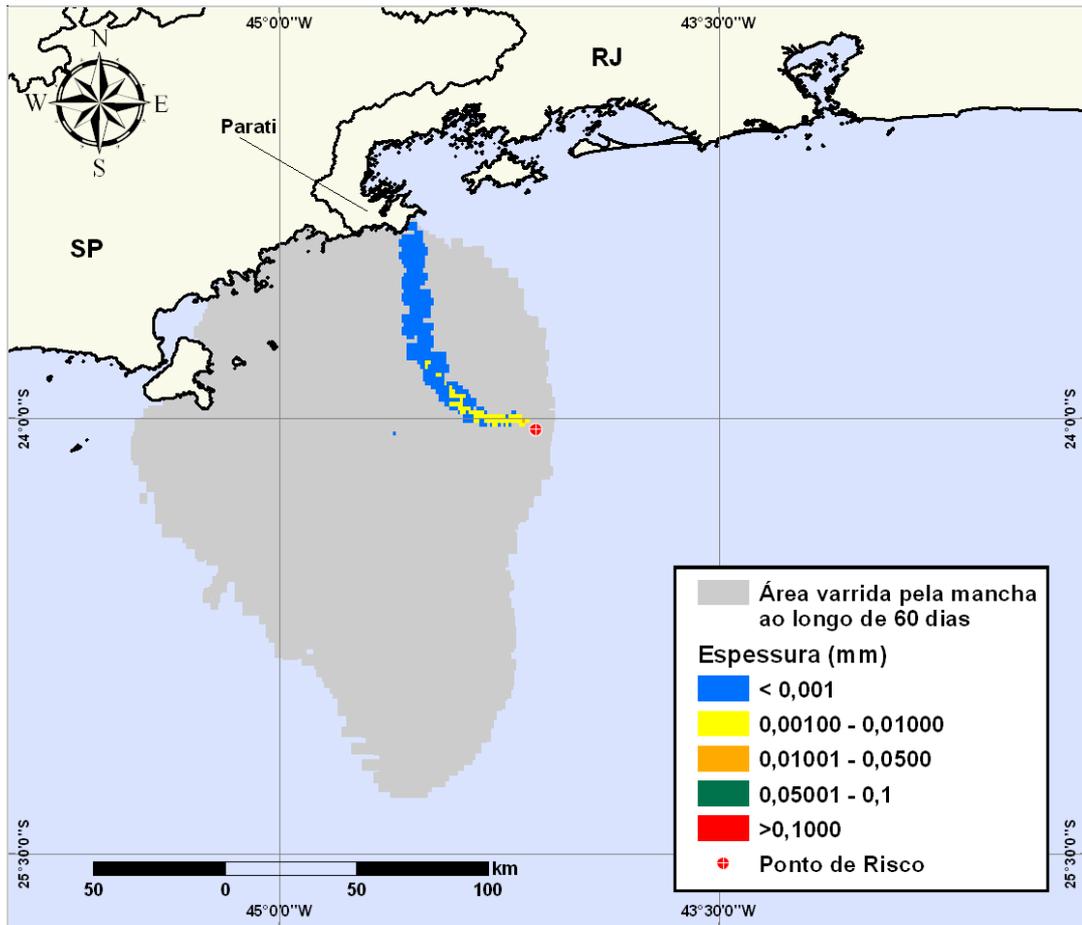
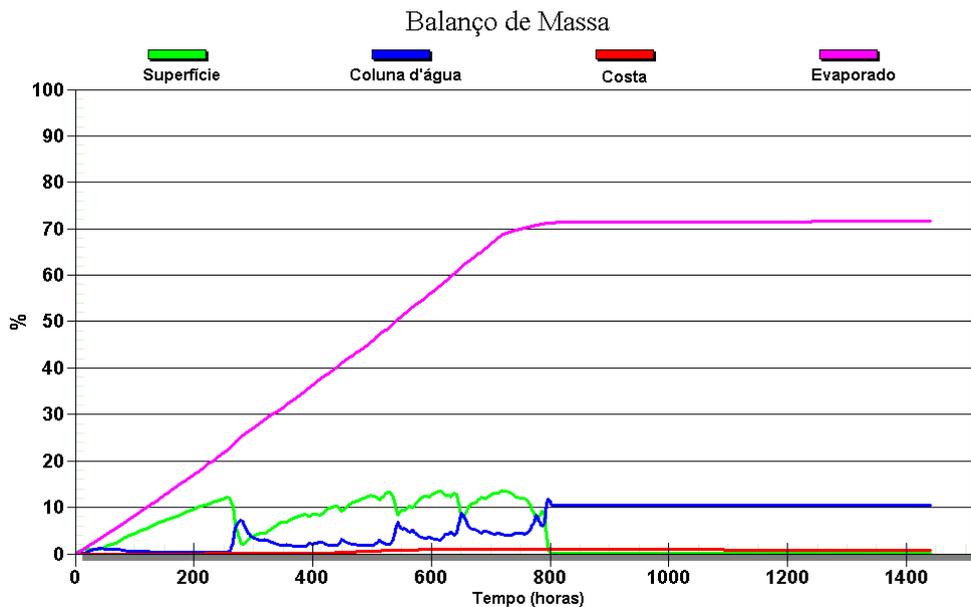


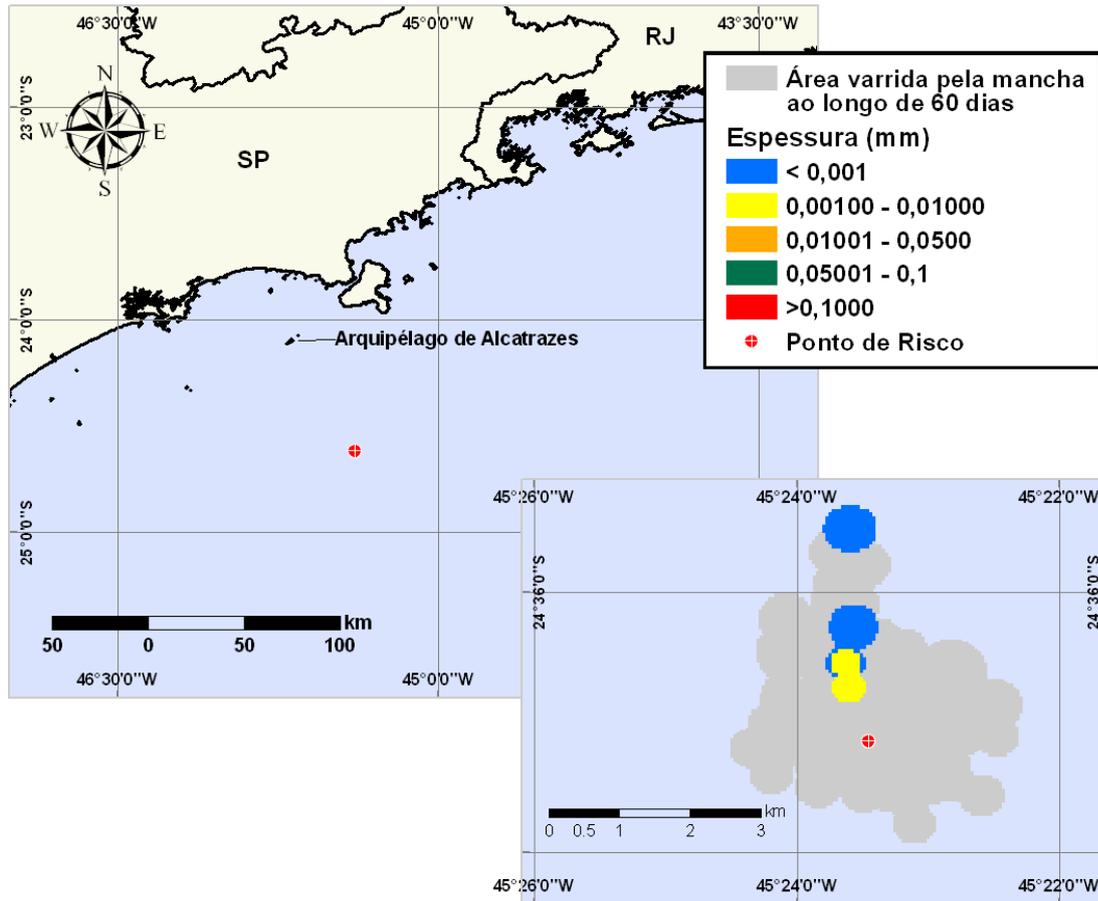
Figura V-124 - Balanço de massa do cenário DET\_S-3\_RJS-621\_INV\_PC\_60D.



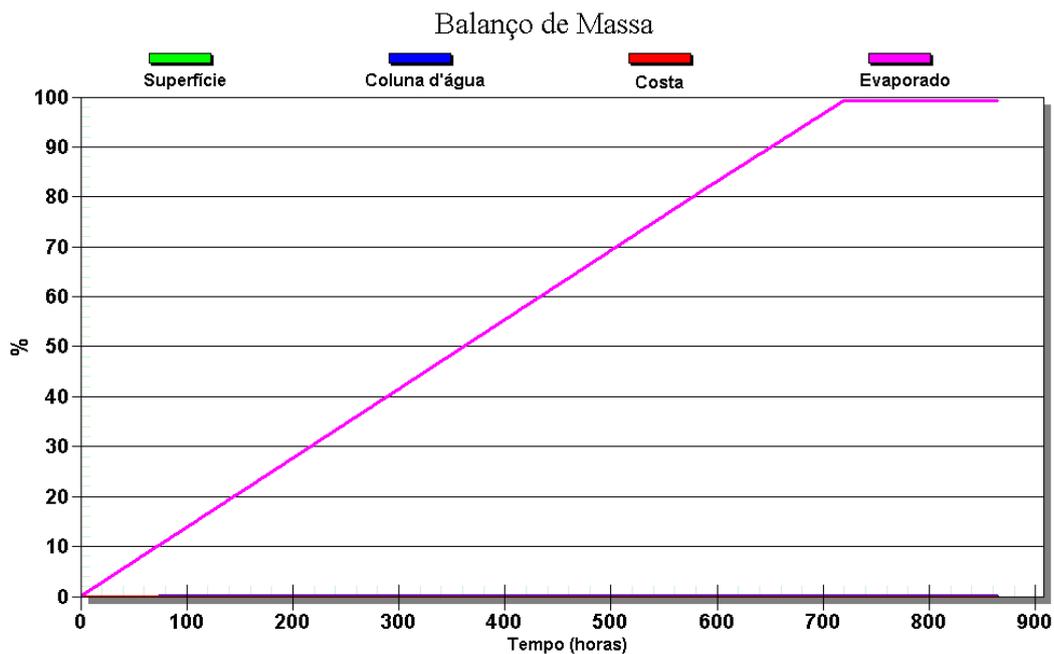
**Figura V-125 - DET\_S-4\_MXL-2H\_INV\_PC\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço MXL-2H a partir do Ponto S-4 (Polo Mexilhão), Área Geográfica Bacia de Santos.



**Figura V-126 - Balanço de massa do cenário DET\_S-4\_MXL-2H\_INV\_PC\_60D.**



**Figura V-127 - DET\_S-5\_MLZ-3D\_INV\_PC\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço MLZ-3D a partir do Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos.



**Figura V-128 - Balanço de massa do cenário DET\_S-5\_MLZ-3D\_INV\_PC\_60D.**

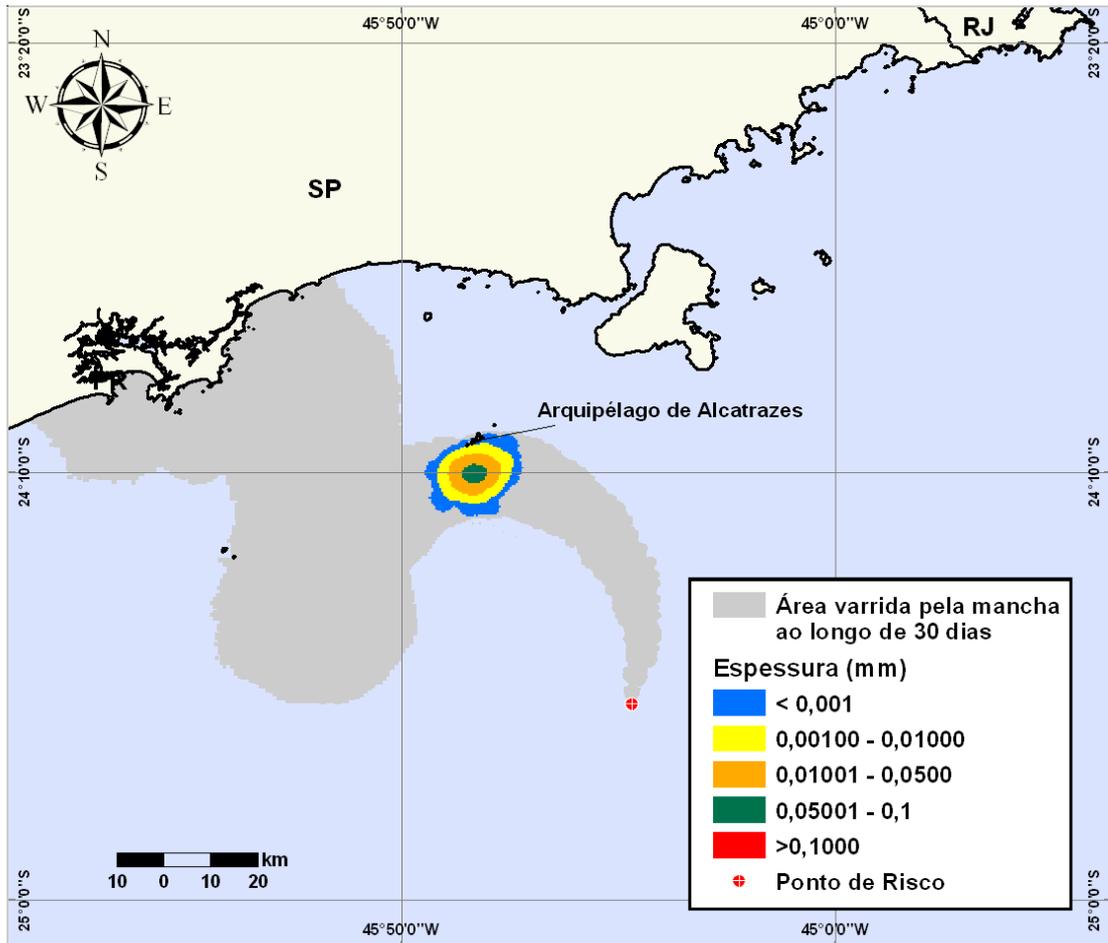


Figura V-129 - DET\_S-5\_DIESEL\_INV\_PC\_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-5 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos.

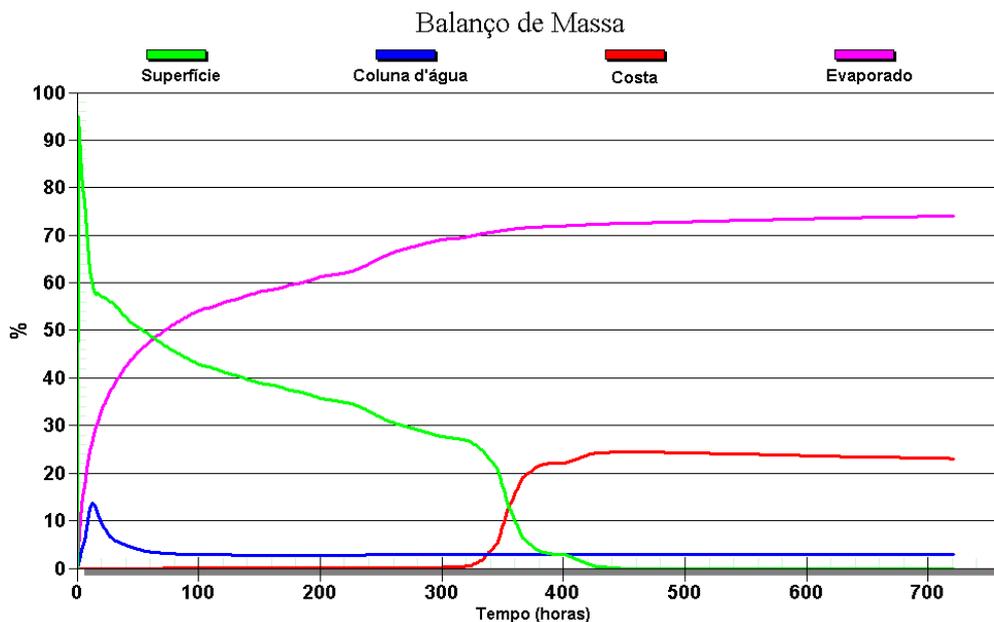
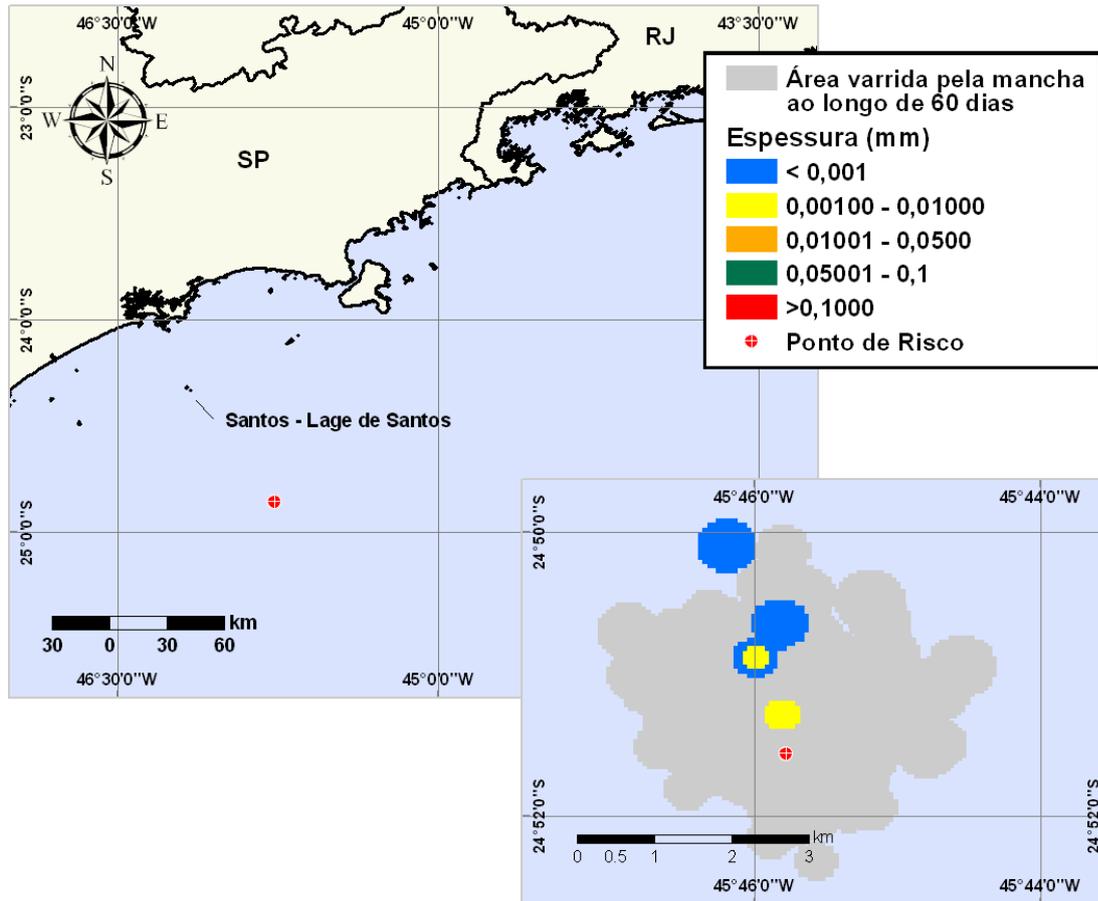
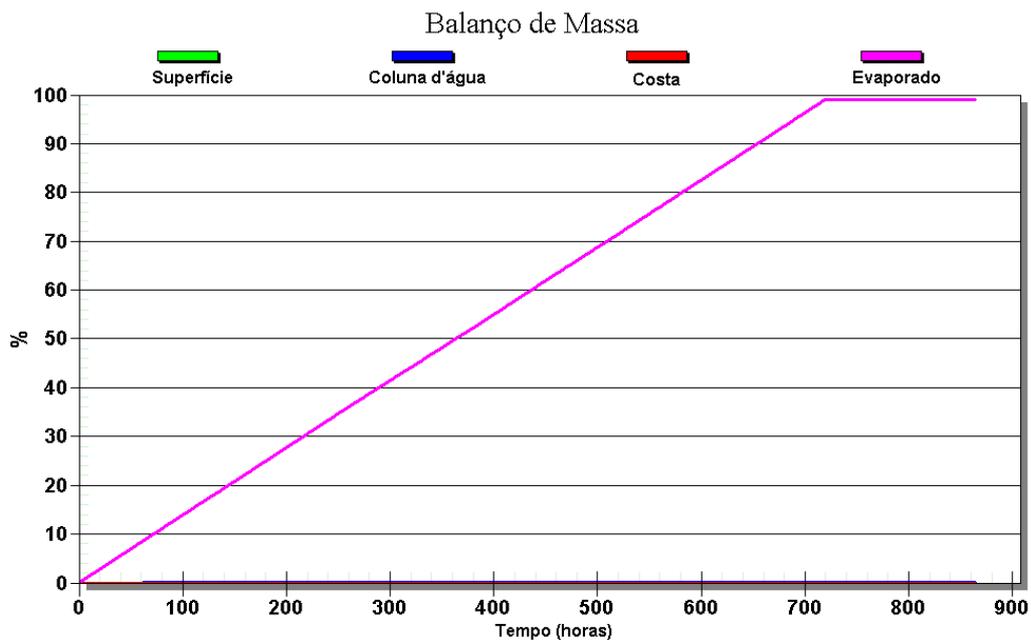


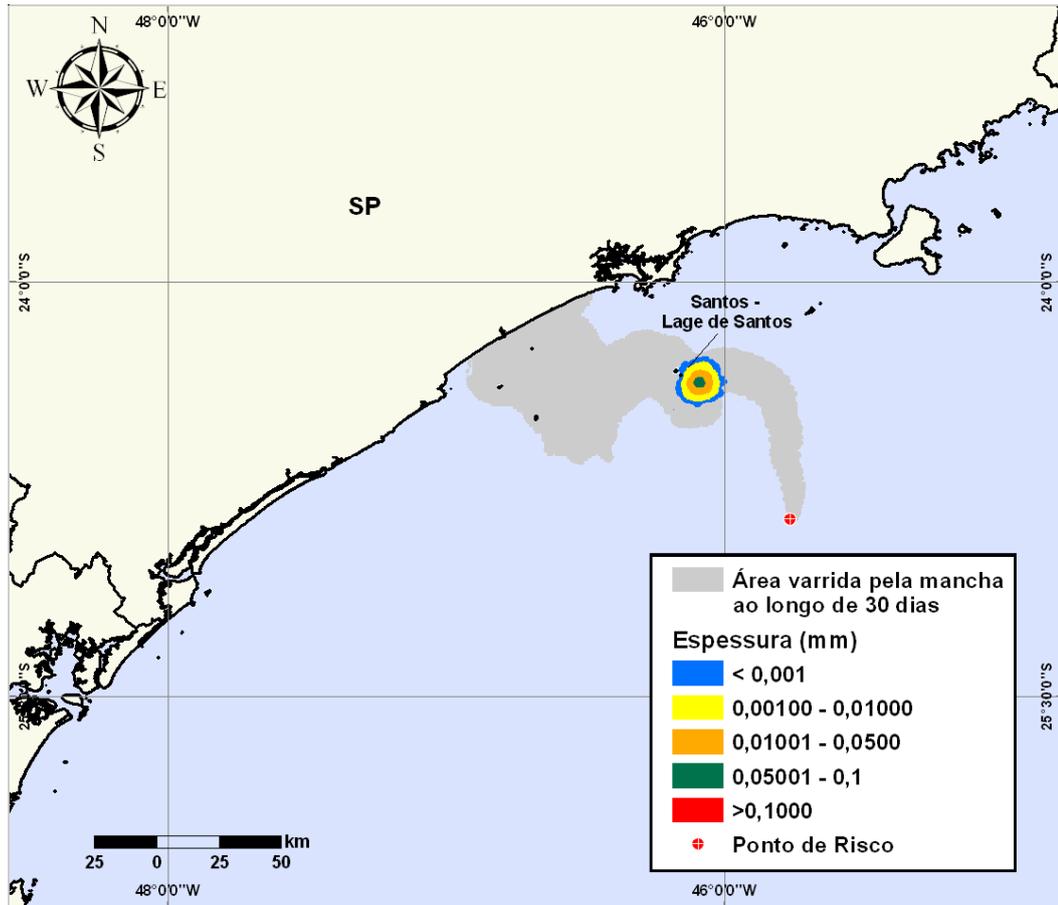
Figura V-130 - Balanco de massa do cenário DET\_S-5\_DIESEL\_INV\_PC\_30D.



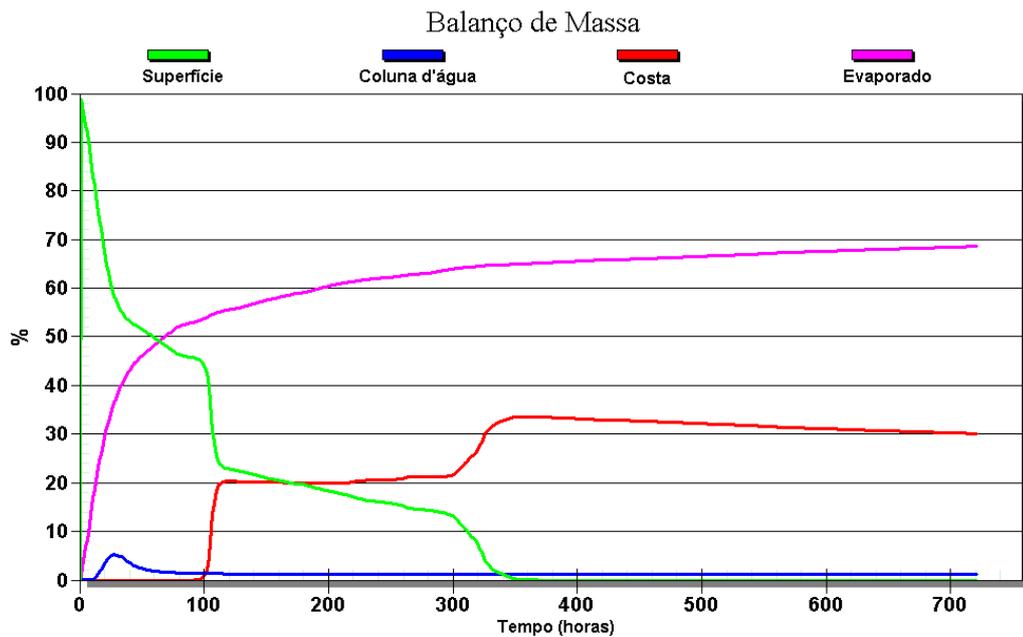
**Figura V-131 - DET\_S-6\_MLZ-3D\_INV\_PC\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço MLZ-3D a partir do Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos.



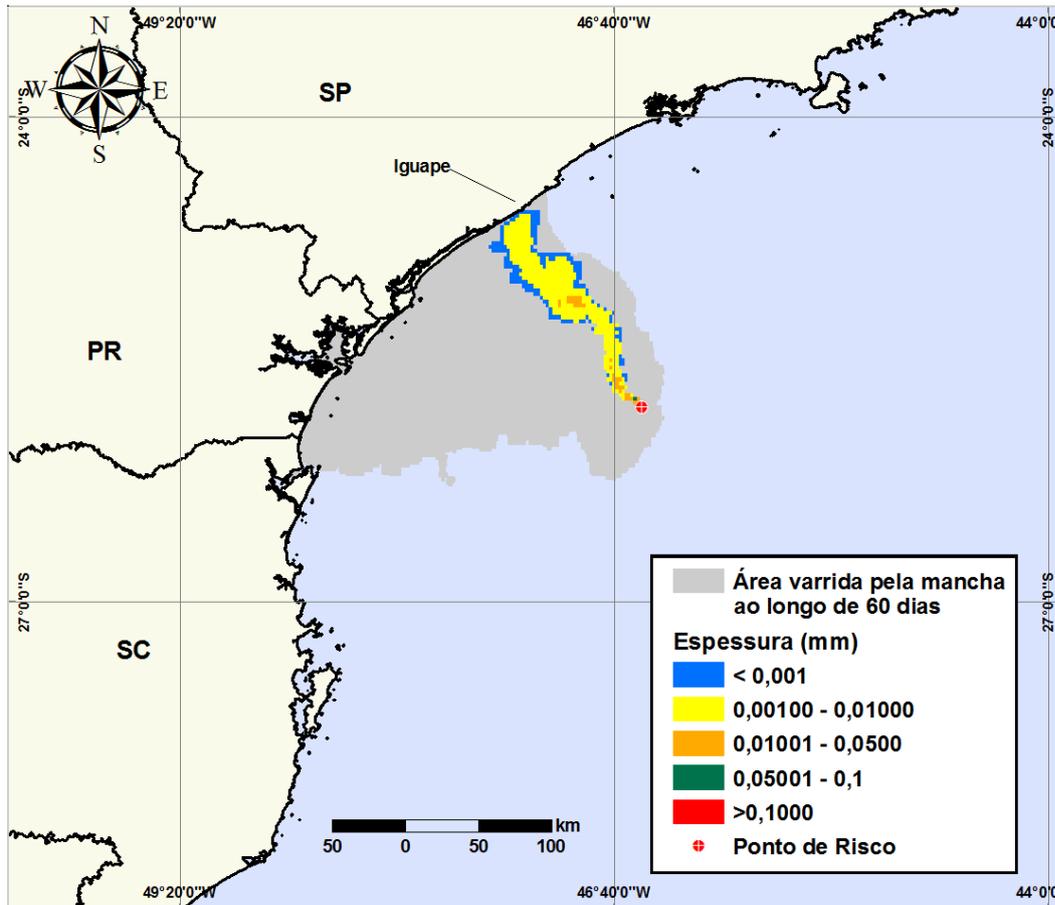
**Figura V-132 - Balanço de massa do cenário DET\_S-6\_MLZ-3D\_INV\_PC\_60D.**



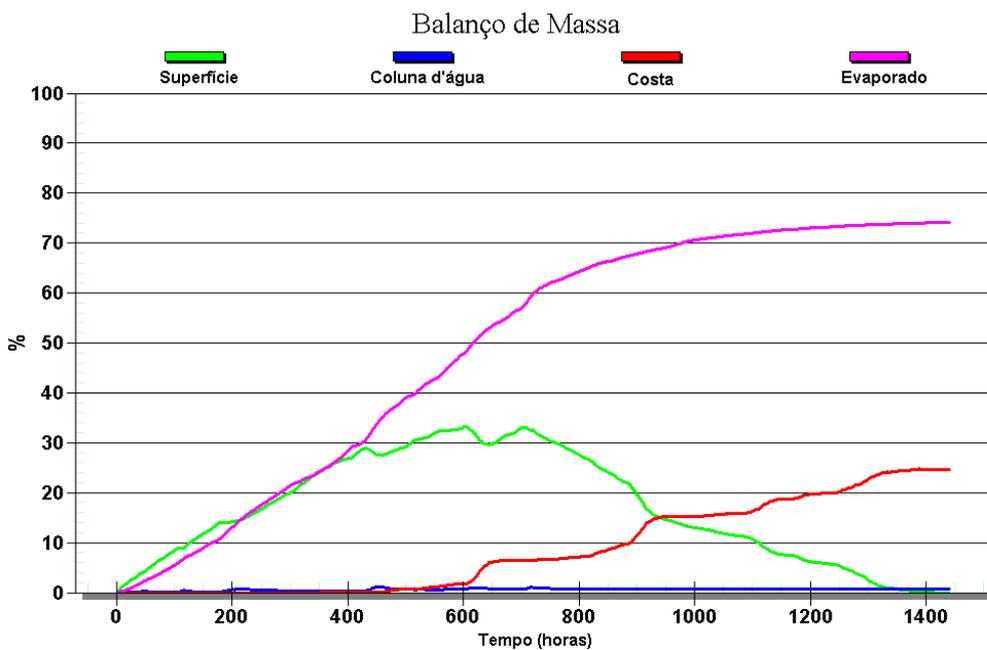
**Figura V-133 - DET\_S-6\_DIESEL\_INV\_PC\_30D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-6 (Polo Merluza), Área Geográfica Bacia de Santos.



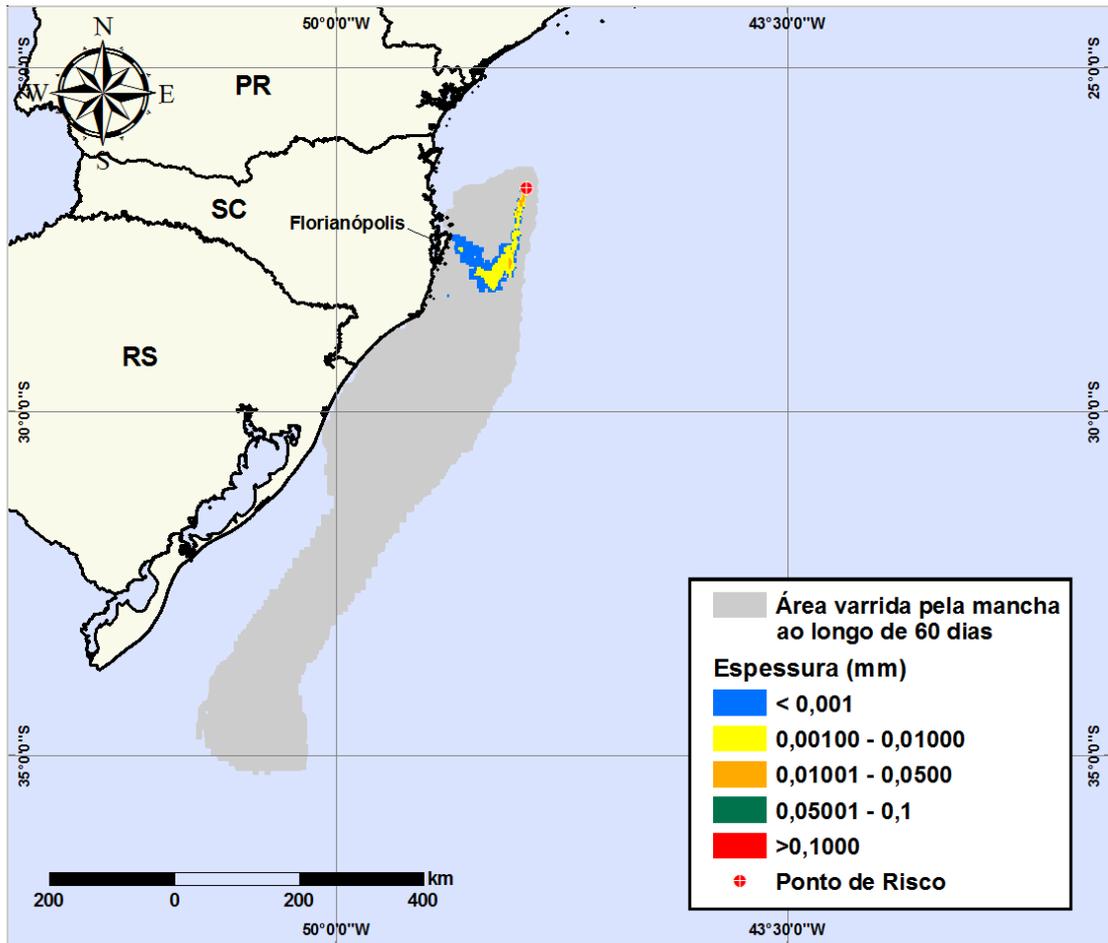
**Figura V-134 - Balanço de massa do cenário DET\_S-6\_DIESEL\_INV\_PC\_30D.**



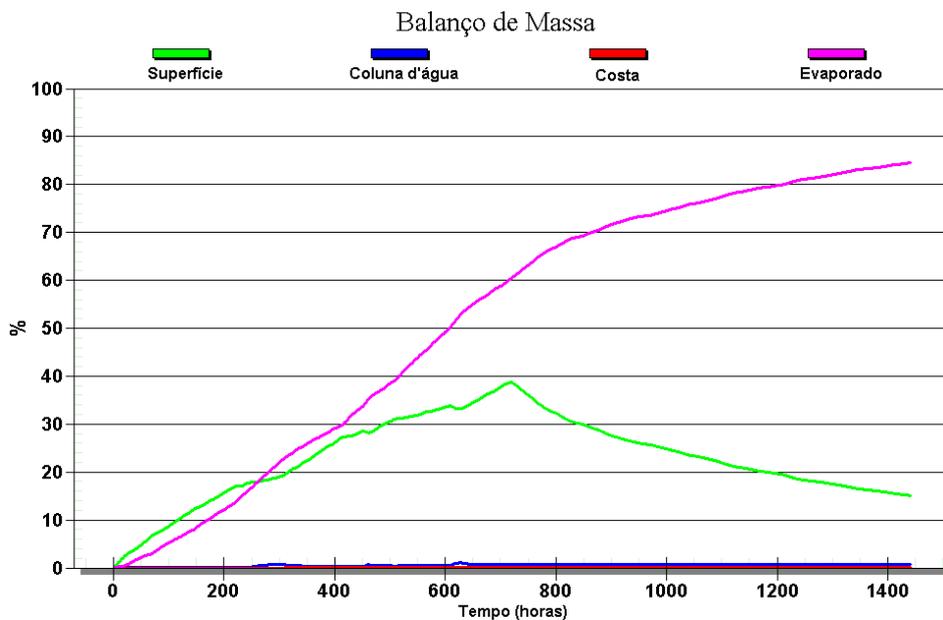
**Figura V-135 - DET\_S-7\_SCS10A\_INV\_PC\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço SCS10A a partir do Ponto S-7 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos.



**Figura V-136 - Balanço de massa do cenário DET\_S-7\_SCS10A\_INV\_PC\_60D.**



**Figura V-137 - DET\_S-8\_SCS10A\_INV\_PC\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço SCS10A a partir do Ponto S-8 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos.



**Figura V-138 - Balanço de massa do cenário DET\_S-8\_SCS10A\_INV\_PC\_60D.**

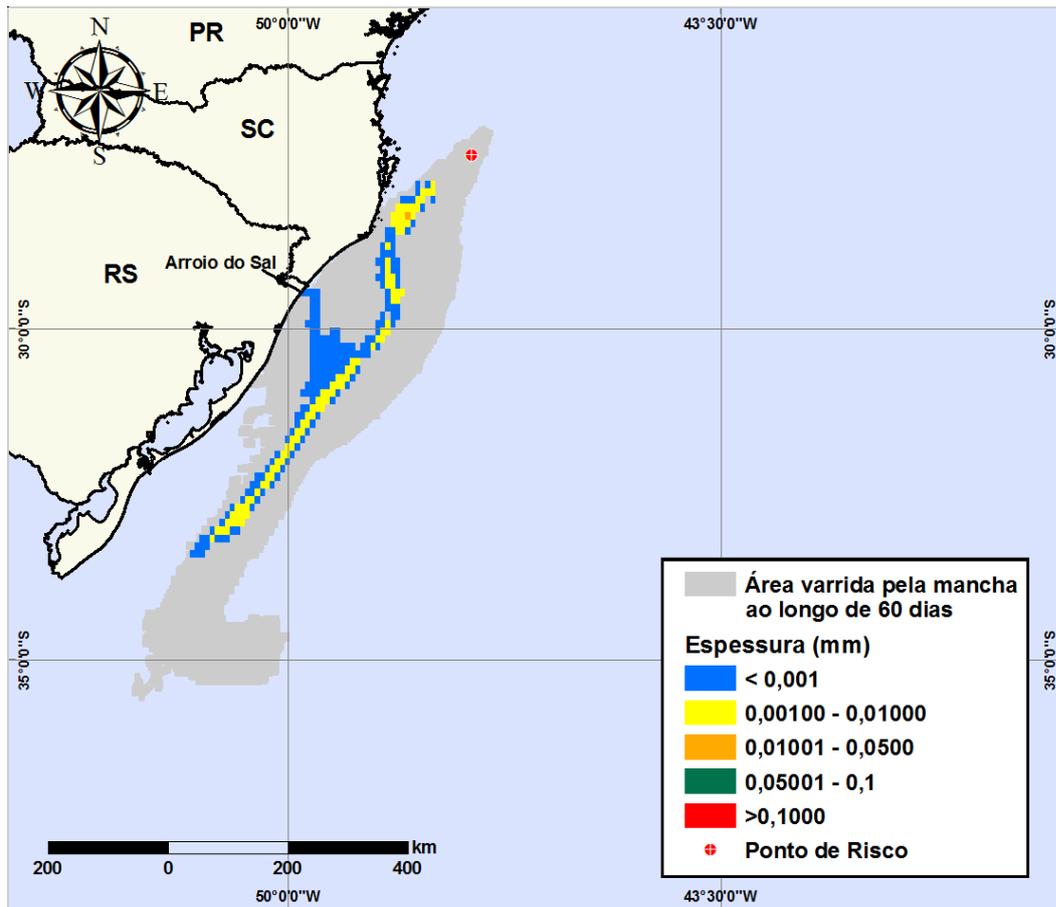


Figura V-139 - DET\_S-9\_SCS10A\_INV\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço SCS10A a partir do Ponto S-9 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos.

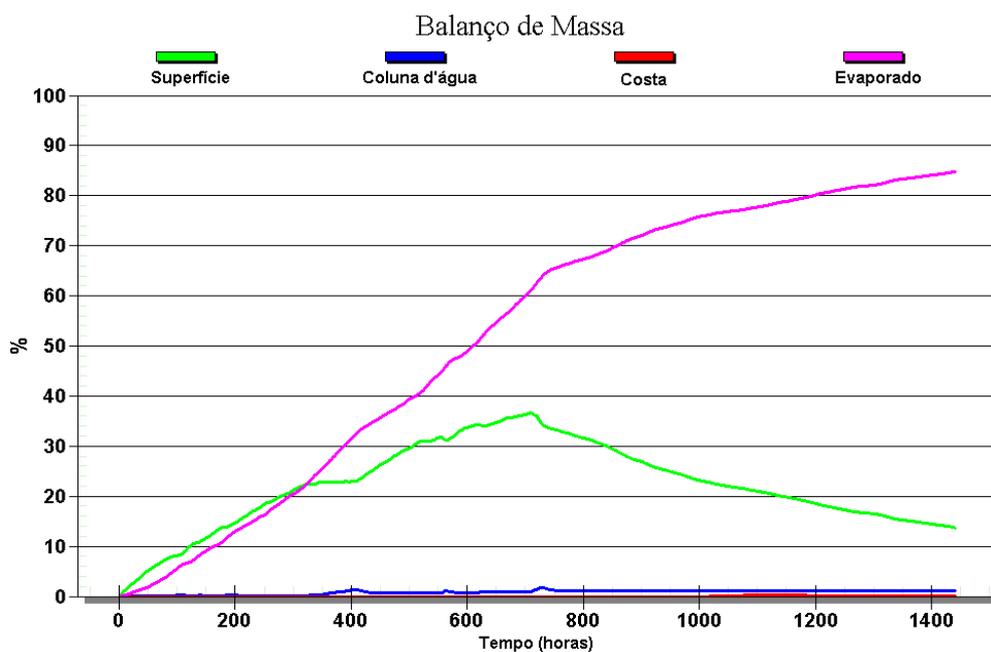
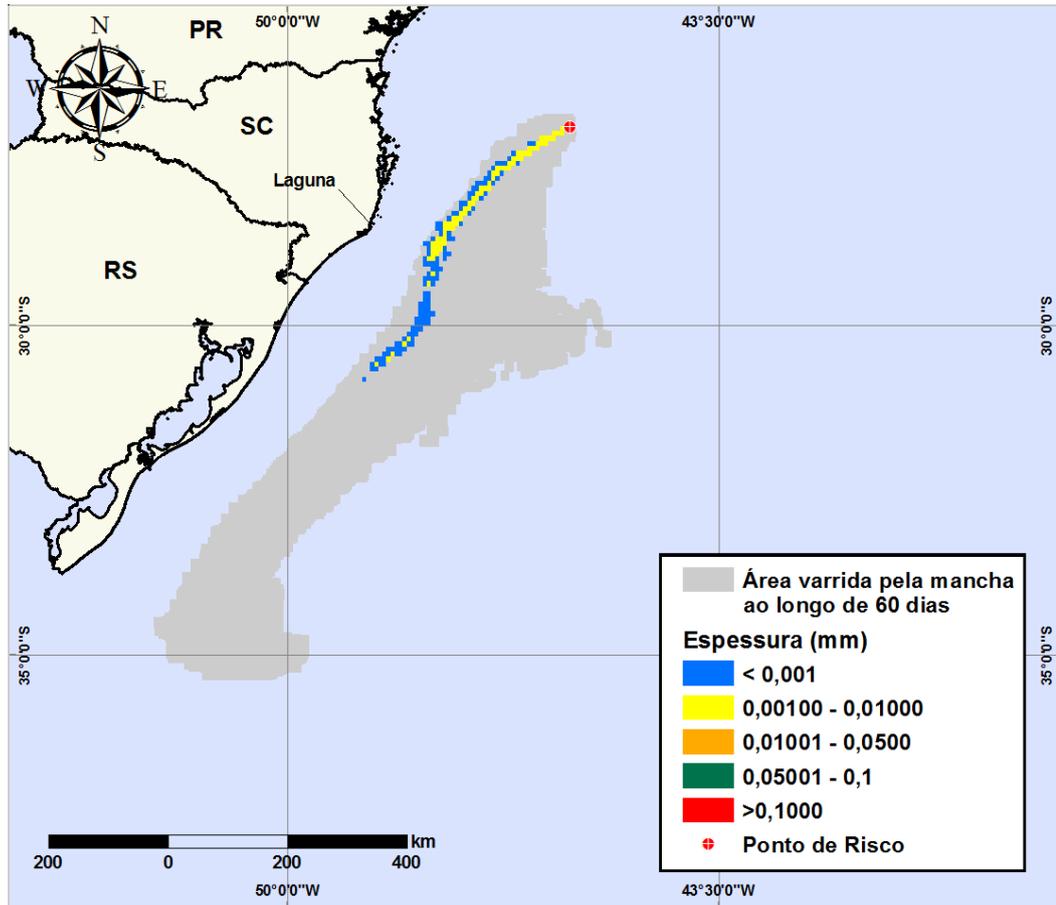
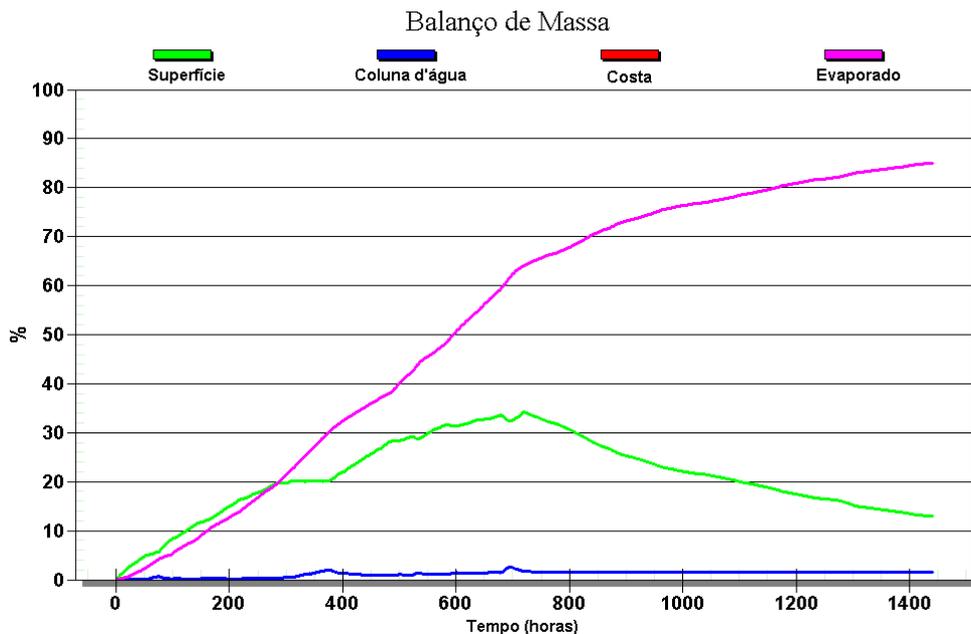


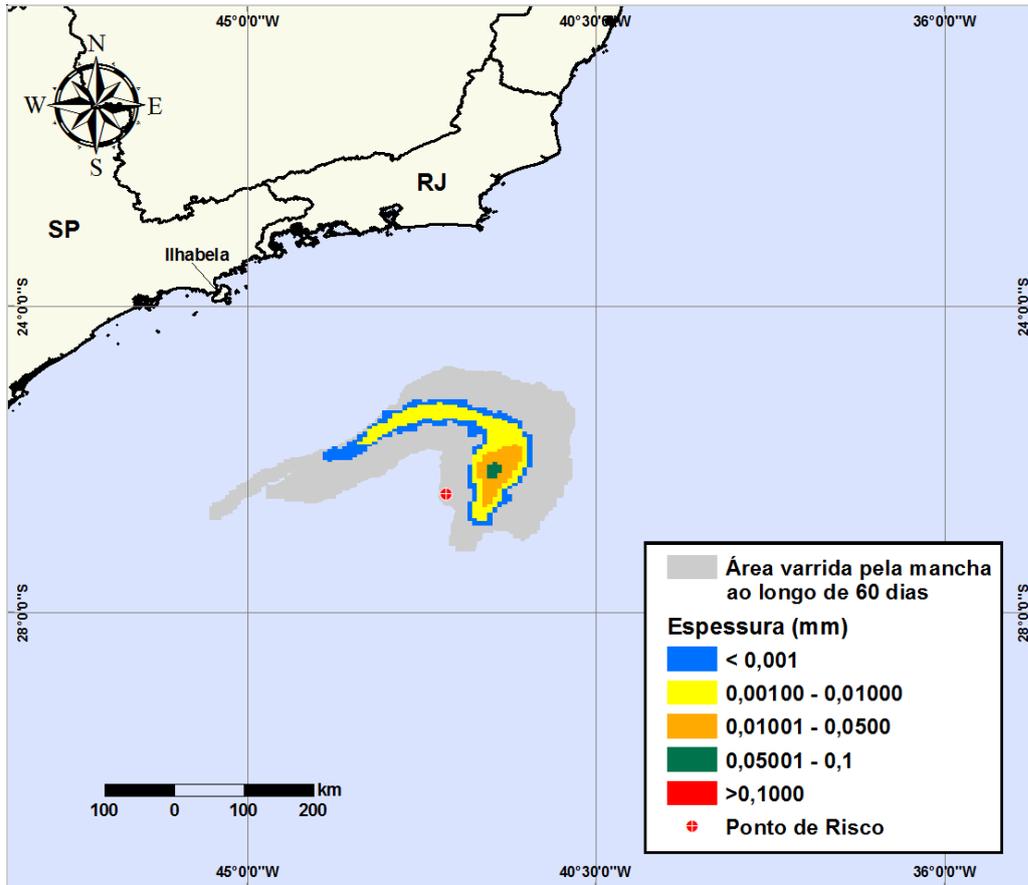
Figura V-140 - Balanço de massa do cenário DET\_S-9\_SCS10A\_INV\_PC\_60D.



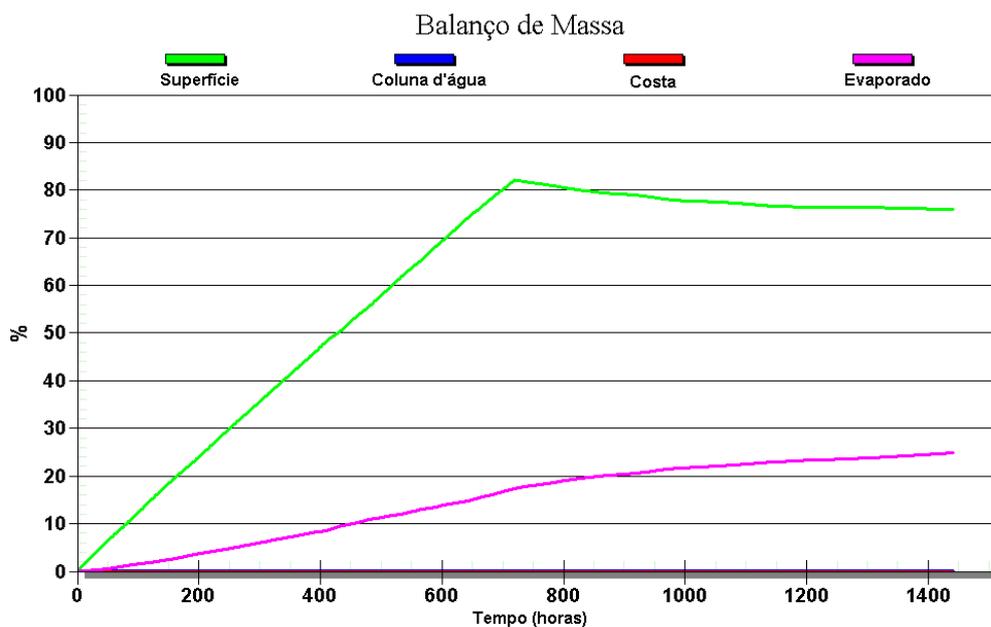
**Figura V-141** - DET\_S-10\_SCS10A\_INV\_PC\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço SCS10A a partir do Ponto S-10 (Polo Sul), Área Geográfica Bacia de Santos.



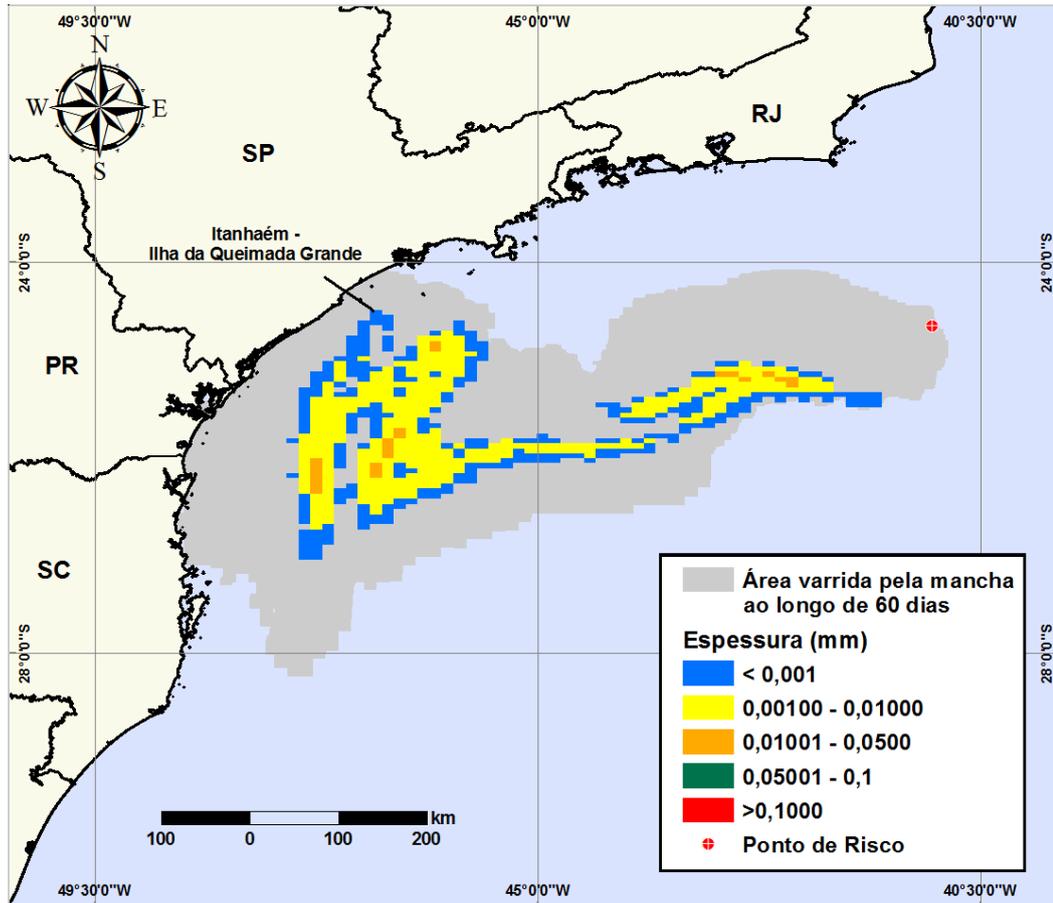
**Figura V-142** - Balanço de massa do cenário DET\_S-10\_SCS10A\_INV\_PC\_60D.



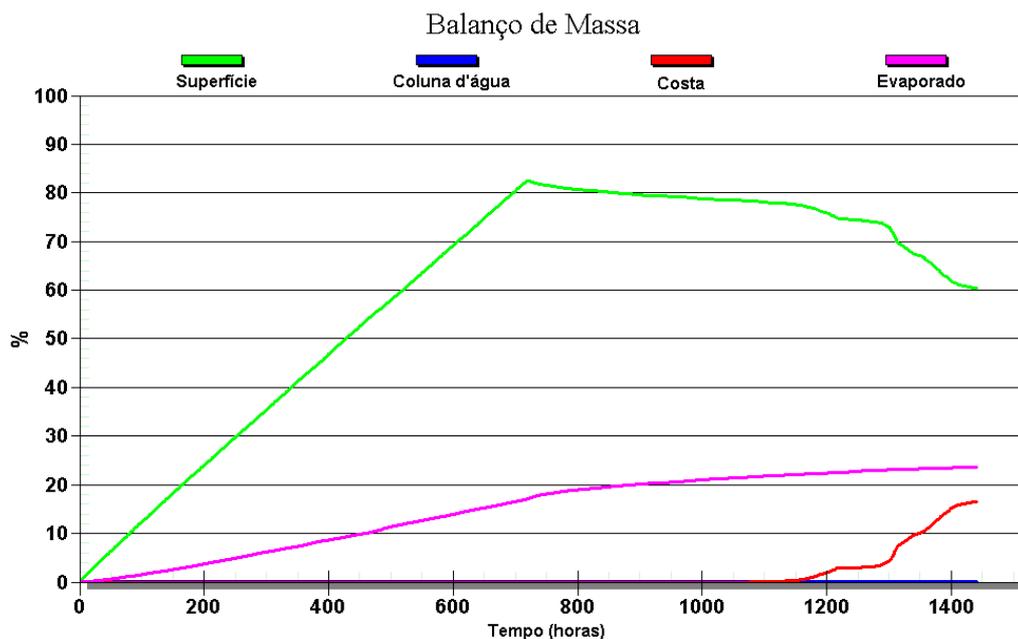
**Figura V-143 - DET\_S-11\_SPS-55\_INV\_PC\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço SPS-55 a partir do Ponto S-11 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos.



**Figura V-144 - Balanço de massa do cenário DET\_S-11\_SPS-55\_INV\_PC\_60D.**

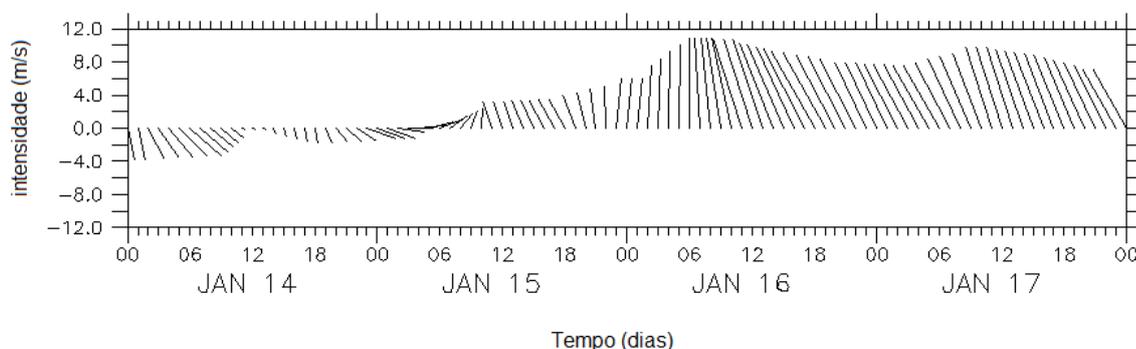


**Figura V-145 - DET\_S-12\_SPS-55\_INV\_PC\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo do Poço SPS-55 a partir do Ponto S-12 (Polo Pré-sal), Área Geográfica Bacia de Santos.



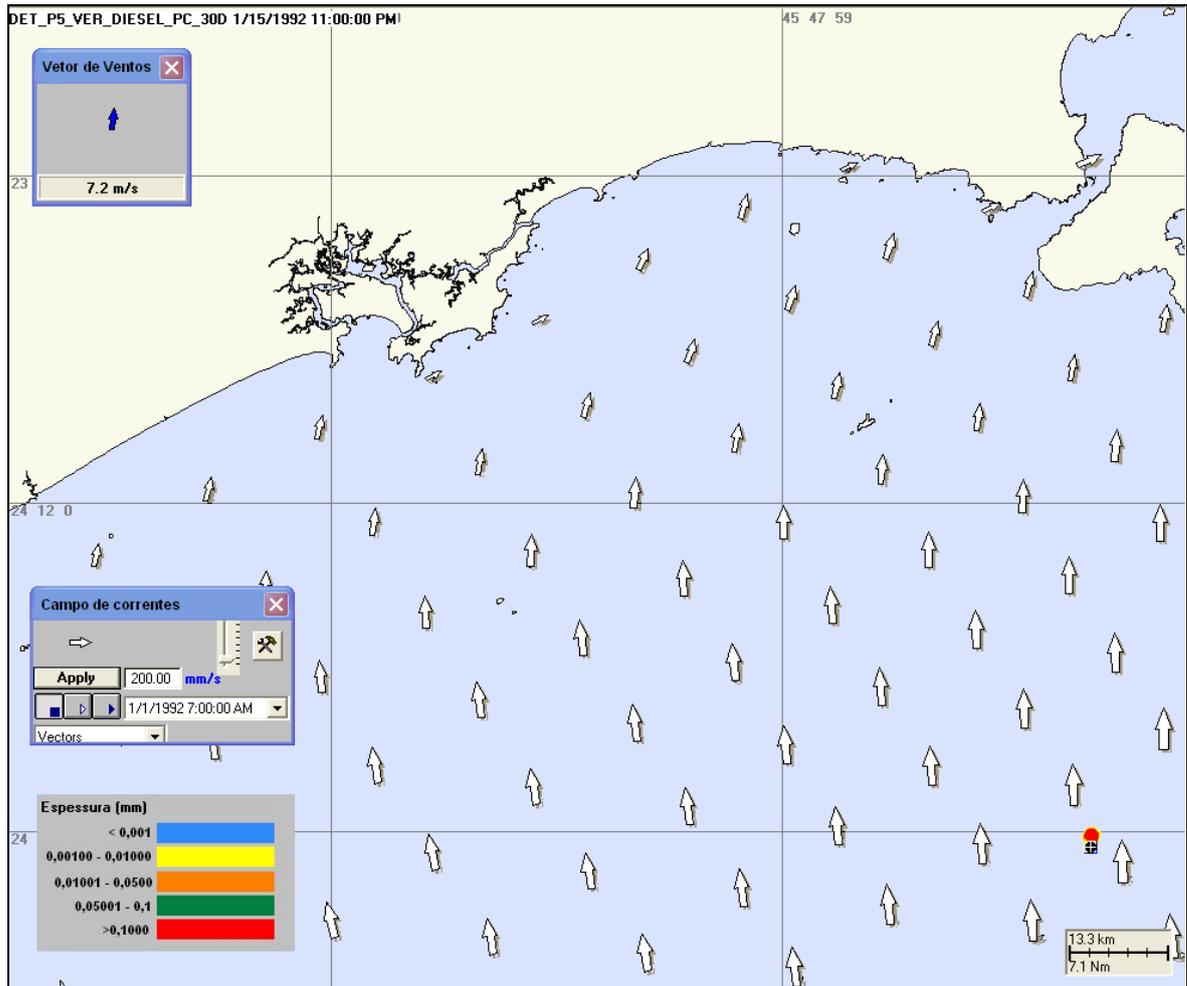
**Figura V-146 - Balanço de massa do cenário DET\_S-12\_SPS-55\_INV\_PC\_60D.**

Dentre todos os cenários determinísticos críticos simulados para o período de verão, o cenário de derrame a partir do Ponto S-5 (Polo Merluza) com derrame de diesel marítimo foi o que apresentou o menor tempo de toque na costa (35 horas), no Arquipélago de Alcatrazes, pertencente ao município de São Sebastião (SP). A figura V-147 apresenta o diagrama tipo *stick plot* dos ventos para o período de 35 horas, a partir do início da simulação até o primeiro toque na costa. Observa-se que, neste período, houve a passagem de um sistema frontal, onde os vetores alternaram de norte para ventos provenientes do quadrante sul, o que proporcionou o toque da mancha na costa.

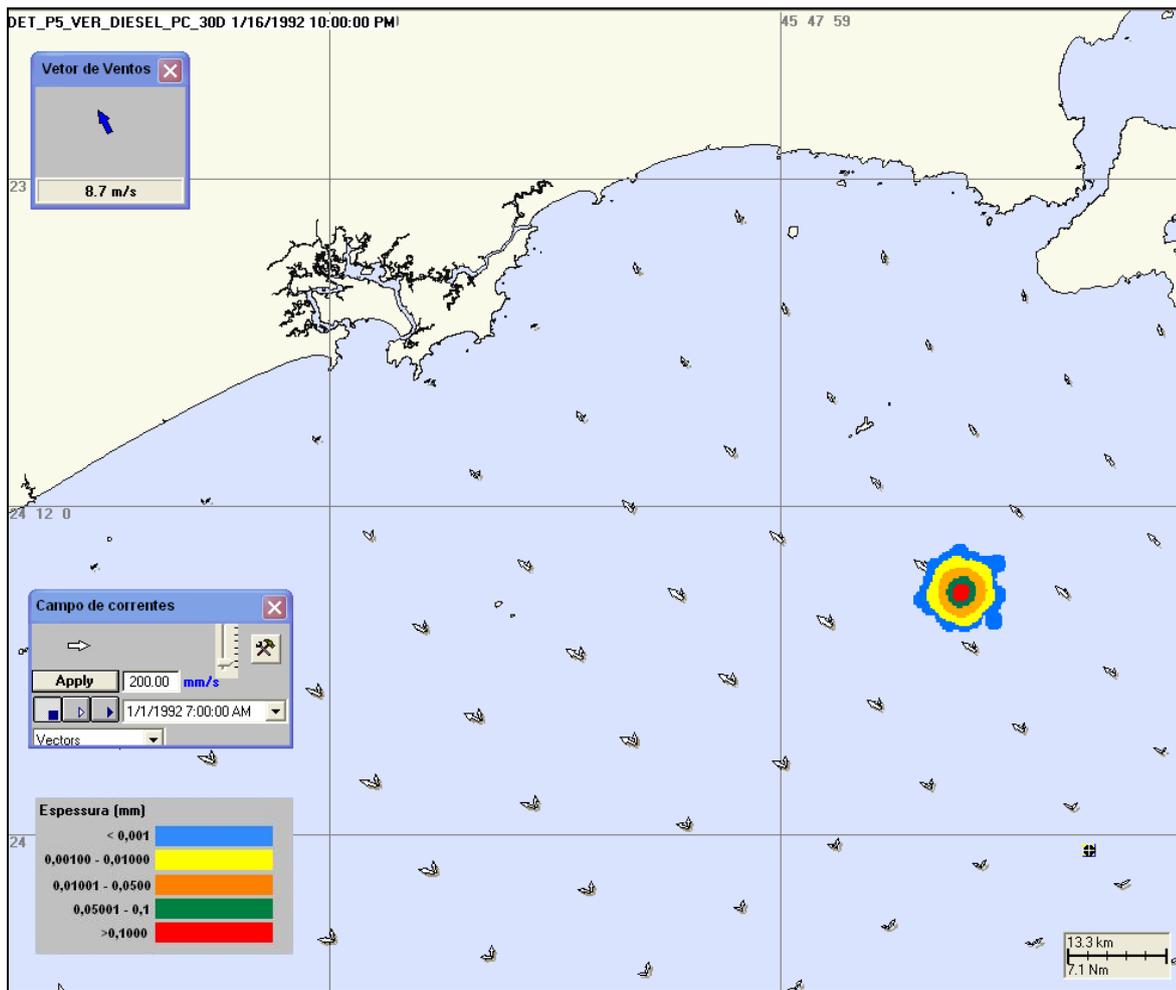


**Figura V-147** - Diagrama *stick plot* dos vetores de vento para o cenário determinístico *DET\_S-5\_DIESEL\_VER\_PC\_30D*, a partir do início da simulação até o primeiro toque na costa.

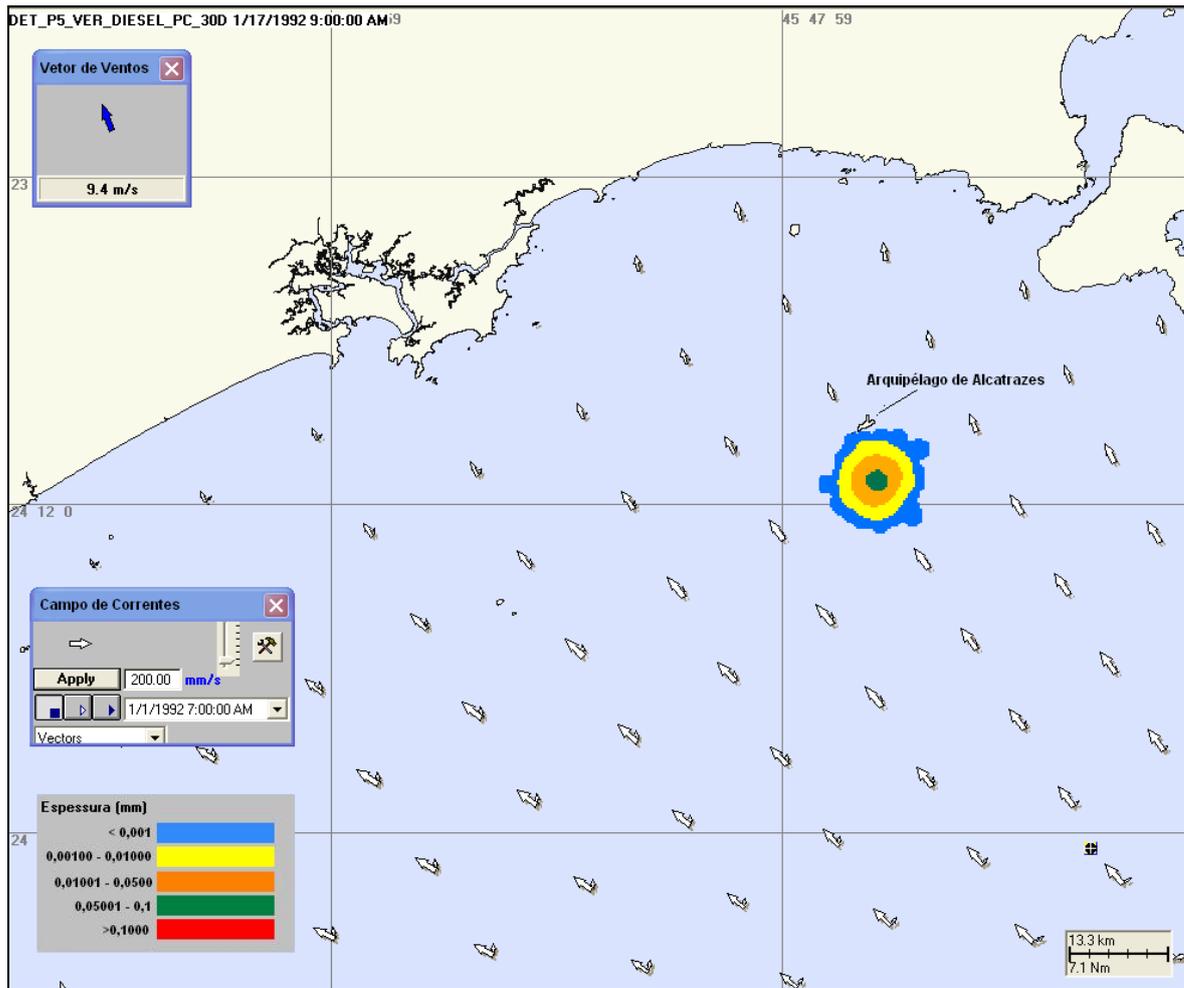
As figuras V-148 a V-150 apresentam ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas, a partir do início do derrame até o primeiro toque na costa para o cenário de derrame a partir do Ponto S-5 (Polo Merluza) com derrame de diesel marítimo, durante o período de verão.



**Figura V-148** - Cenário DET\_S-5\_DIESEL\_VER\_PC\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação.

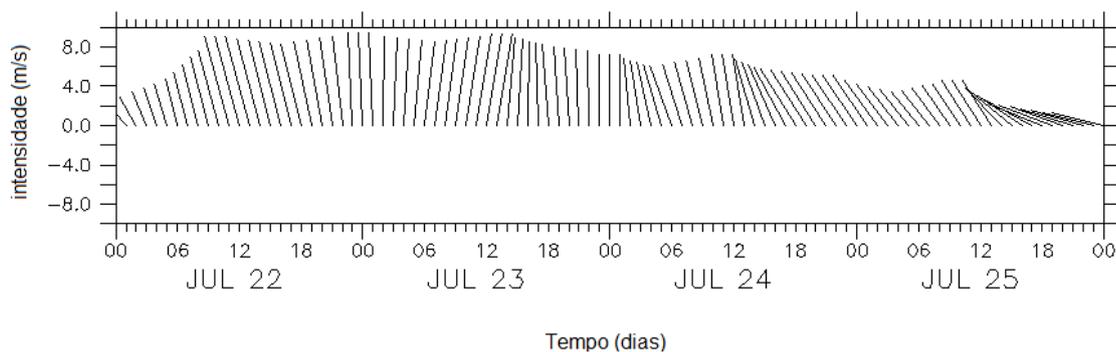


**Figura V-149** - Cenário DET\_S-5\_DIESEL\_VER\_PC\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo 24 horas após o início da simulação.



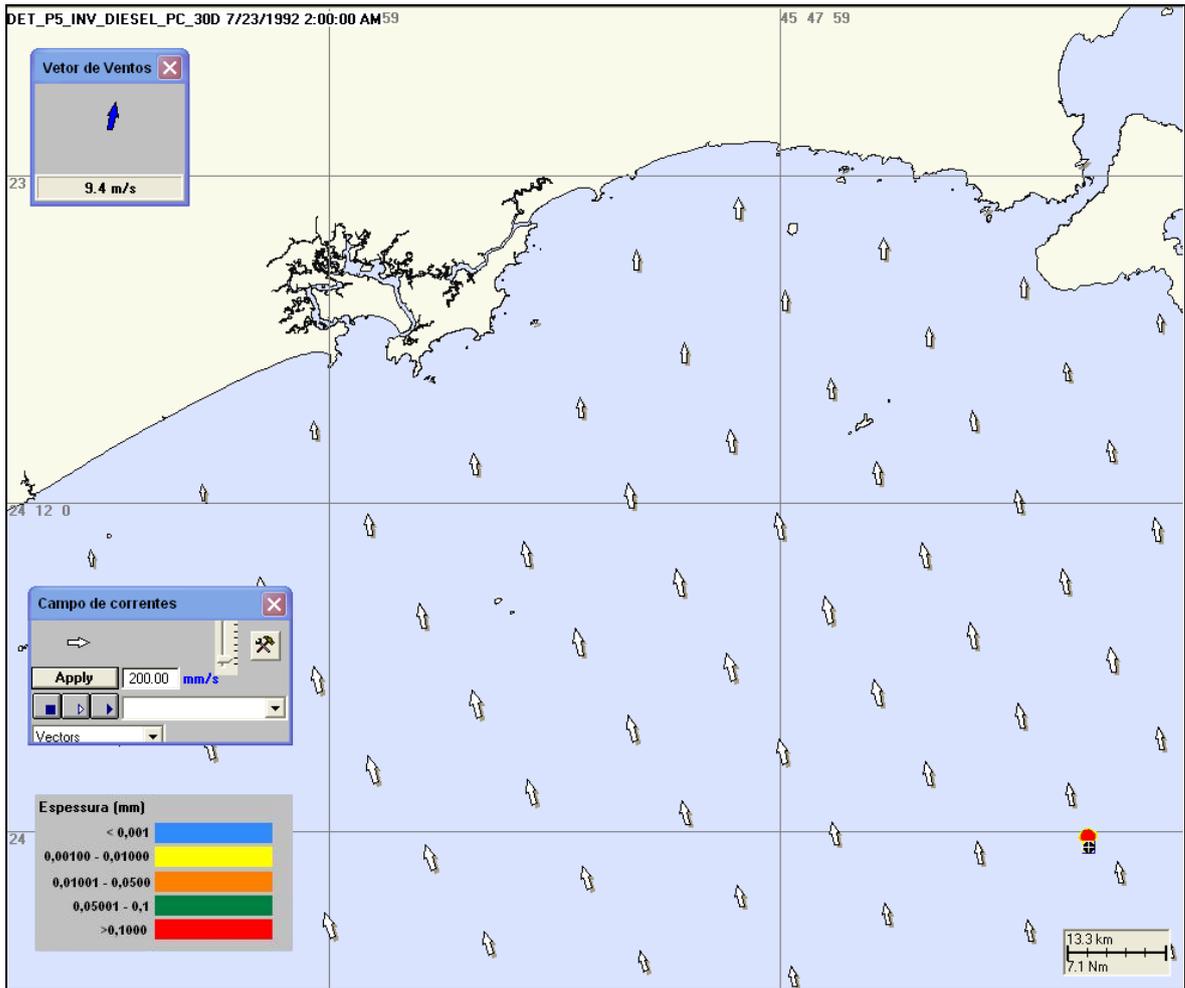
**Figura V-150** - Cenário DET\_S-5\_DIESEL\_VER\_PC\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação.

Dentre todos os cenários determinísticos críticos simulados para o período de inverno, o cenário de derrame a partir do Ponto S-5 (Polo Merluza) com derrame de diesel marítimo foi o que apresentou o menor tempo de toque na costa (65 horas), no Arquipélago de Alcatrazes, pertencente ao município de São Sebastião (SP). A figura V-151 apresenta o diagrama tipo *stick plot* dos ventos para o período de 68 horas, a partir do início da simulação até o primeiro toque na costa. Observa-se que, neste período, houve a passagem de um sistema frontal, onde os ventos alteraram de direção, do quadrante norte para o quadrante sul, o que proporcionou o toque da mancha na costa em menor tempo.

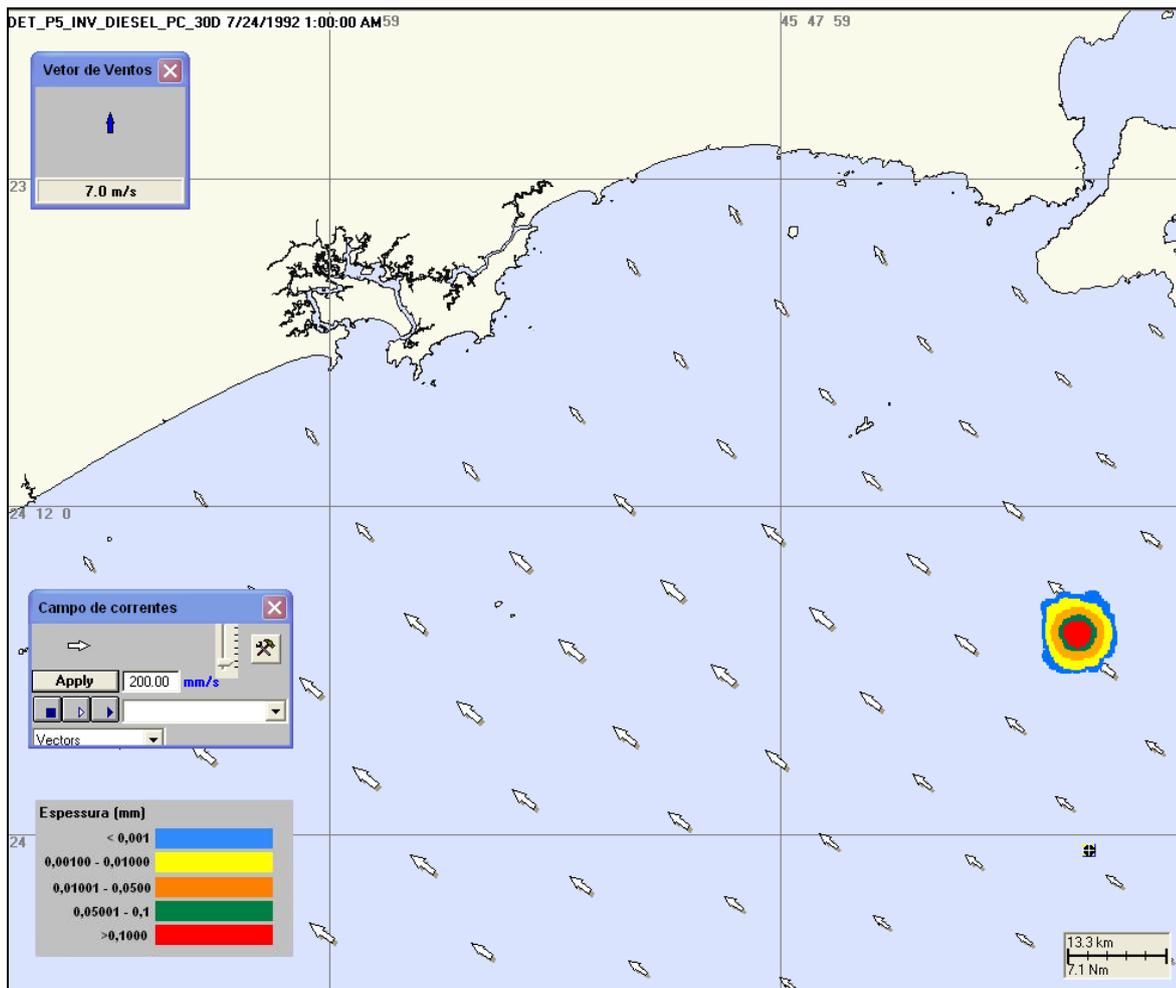


**Figura V-151** - Diagrama stick plot dos vetores de vento para o cenário determinístico *DET\_S-5\_DIESEL\_INV\_PC\_30D*, a partir do início da simulação até o primeiro toque na costa.

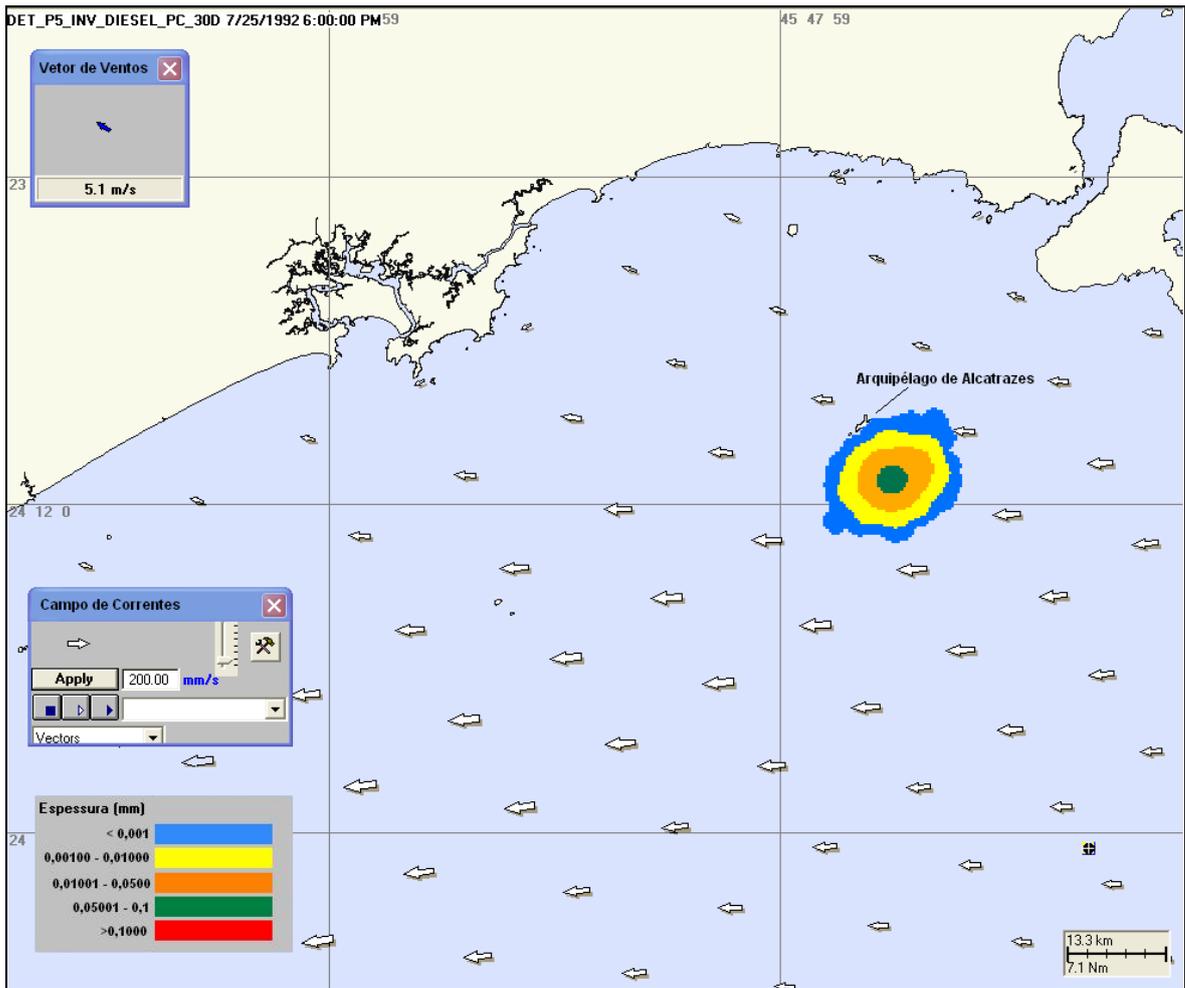
As figuras V-152 a V-154 apresentam ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas, a partir do início do derrame até o primeiro toque na costa para o cenário de derrame a partir do Ponto S-5 (Polo Merluza) com derrame de diesel marítimo, durante o período de inverno.



**Figura V-152** - Cenário DET\_S-5\_DIESEL\_INV\_PC\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação.



**Figura V-153** - Cenário DET\_S-5\_DIESEL\_INV\_PC\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo 24 horas após o início da simulação.



**Figura V-154** - Cenário DET\_S-5\_DIESEL\_INV\_PC\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação.



## VI CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta uma revisão da modelagem numérica do transporte e dispersão de óleo no mar para a Área Geográfica Bacia de Santos (AGBS), em atendimento ao Parecer Técnico CGPEG/DILIC/IBAMA nº 133/10 (PT 133/10). Neste estudo considerou-se a revisão das informações sobre óleo e volumes de *blowout* apresentados nos estudos anteriores para cada uma das subregiões da AGBS, uma base hidrodinâmica atualizada e três volumes de derrame (pequeno, médio e pior caso), além da inclusão de todas as solicitações feitas no PT 133/10.

Para avaliar o impacto de potenciais derrames de óleo na Área Geográfica Bacia de Santos, foi utilizado um conjunto de 12 pontos de risco que definem os limites do polígono correspondente a esta área. Estes pontos foram distribuídos nas 5 subregiões associadas aos polos que formam a AGBS.

Foram conduzidas simulações de derrame de óleo considerando: 1) três volumes de derrame (pequeno, médio e pior caso); 2) condições sazonais de verão e inverno; e 3) tipos de óleo com ocorrência provável nas 5 subregiões da AGBS, além de óleo diesel marítimo.

Foram conduzidas simulações probabilísticas para determinar contornos de probabilidade das manchas de óleo atingirem a área de estudo, utilizando como critério de parada o tempo de 30 dias após o final do vazamento, ou seja, as simulações de *blowout* foram de 60 dias, enquanto as simulações de afundamento de unidade e de derrames de volume médio e pequeno foram de 30 dias. A partir dos resultados das simulações probabilísticas, foram selecionados os cenários determinísticos críticos para os volumes de pior caso, condições de verão e inverno, utilizando como critério o menor tempo de chegada do óleo na costa ou menor distância deste em relação à costa (quando não há probabilidade de toque).

Os resultados da modelagem revelaram uma forte correlação entre as trajetórias das manchas simuladas e os padrões de circulação na região. Na costa sul-sudeste brasileira, o padrão de circulação superficial predominante está relacionado à Corrente do Brasil, fluindo para sul-sudoeste, com seus meandros e vórtices. Sobre a plataforma, o padrão predominante está relacionado ao campo

de vento e à maré, com eventuais intrusões da CB. A partir do talude e em região oceânica há predomínio da CB.

Os cenários de derrame de óleo de volume pequeno não apresentaram probabilidade de toque na costa. Nas simulações com derrame de óleo de volume médio no verão não há probabilidade de toque na costa nos cenários a partir dos pontos S-1 (Polo Uruguá), S-10 (Polo Sul), S-11 e S-12 (Polo Pré-sal), bem como nos cenários de condensado (do Poço MLZ-3D) a partir dos pontos S-5 e S-6 (Polo Merluza). Em condições de inverno com volume médio não ocorreu toque na costa para os cenários simulados a partir dos pontos localizados na porção leste do polígono, mais afastados da costa (S-9 e S-10 no Polo Sul; S-11 e S-12 no Polo Pré-sal), e com condensado (do Poço MLZ-3D) a partir dos pontos S-5 e S-6 (Polo Merluza).

Os resultados sobrepostos das simulações probabilísticas de pior caso realizadas para os 12 pontos de fronteira mostram pouca diferença nas áreas com probabilidade de ocorrência de óleo na água entre os períodos de inverno e de verão. Comparando o toque na linha de costa entre os dois períodos simulados, no verão a probabilidade de toque se estende até uma região mais ao sul, num trecho de, aproximadamente, 2.522 km do município de Angra dos Reis (RJ) até o de Tavares (RS). Já no inverno, as simulações alcançaram uma região um pouco mais ao norte, num trecho de, aproximadamente, 3.208 km do município de Maricá (RJ) até o de Mostardas (RS). As maiores probabilidades de toque na costa (90-100%) ocorreram em Ilhabela (SP).

Em condições de verão, para os derrames com volume de pior caso, não há probabilidade de toque na costa para os cenários simulados a partir dos pontos S-10 (Polo Sul), S-11 e S-12 (Polo Pré-sal), localizados na porção leste do polígono da AGBS (mais afastados da costa), bem como nos cenários de condensado (do Poço MLZ-3D) a partir dos pontos S-5 e S-6 (Polo Merluza). Em condições de inverno não ocorreu toque na costa para os cenários simulados a partir dos pontos localizados na porção leste do polígono, mais afastados da costa (S-10 do Polo Sul e S-11 do Polo Pré-sal) e com condensado (do Poço MLZ-3D) a partir dos pontos S-5 e S-6 (Polo Merluza).

Os resultados da sobreposição dos resultados das simulações probabilísticas de pior caso dos 12 pontos de risco mostraram que as maiores probabilidades para o período de inverno, há probabilidade de toque na costa em 67 municípios, sendo as maiores probabilidades (90-100%) calculadas para Ilhabela (SP). Já para o período de verão, as maiores probabilidades de toque na costa (40-50%) ocorreram em Guaraqueçaba e Paranaguá (PR), de um total de 65 municípios com probabilidade de toque na costa. O Arquipélago de Alcatrazes, pertencente o Município de São Sebastião (SP) foi o que apresentou o menor tempo de toque tanto no verão (35 horas) quanto no inverno (65 horas).

Os resultados das simulações dos cenários determinísticos críticos de pior caso mostraram que o maior volume final de óleo que chega à costa foi de 1.882,00 m<sup>3</sup> para o verão e 31.050,00 m<sup>3</sup> para o inverno, volumes estes resultantes dos cenários de derrame a partir dos pontos S-8 e S-7 (ambos no Polo Sul), respectivamente. Os menores tempos de toque na costa foram identificados para os cenários simulados a partir do Ponto S-5 do Polo Merluza (localizado na porção oeste da AGBS) com óleo diesel marítimo, tanto no verão (35 horas) quanto no inverno (65 horas).

Ainda com relação aos cenários determinísticos críticos, no geral, observa-se que a evaporação é o principal processo responsável pela redução da massa de óleo nas simulações realizadas.

Em conclusão, este trabalho mostrou como a modelagem de derrames de óleo por área geográfica, considerando em cada ponto as hipóteses mais conservativas em relação ao tipo de óleo e volumes de pior caso, fornece uma visão abrangente e integrada das possíveis trajetórias de óleo hipoteticamente derramados na região.

Finalmente, nas simulações apresentadas neste estudo, não foram consideradas quaisquer medidas de resposta ou controle para os potenciais acidentes simulados.



## VII BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, K. M., 2005. Climatologia e Comportamento dos Sistemas Frontais sobre a América do Sul. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. (INPE-14056-TDI/1067). 185pp.

ASA (Applied Science Associates South America), 2006. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para a Área Geográfica Bacia de Santos. Relatório Técnico, Rev. 00. São Paulo, novembro de 2006. 167pp.

ASA (Applied Science Associates South America), 2008. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para a Área Geográfica Bacia de Santos. Relatório Técnico, Rev. 01. São Paulo, abril de 2008. 206pp.

ASA (Applied Science Associates South America), 2009a. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para a Área Geográfica Bacia de Santos. Relatório Técnico, Rev. 02. São Paulo, novembro de 2009. 363pp.

ASSIREU, A.T., M.R. STEVENSON, J.L. STECH, 2003. Surface circulation and kinetic energy in the SW Atlantic obtained by drifters. *Continental Shelf Research*. v. 23 (2), p. 145-157.

BRASIL, 2008. Resolução CONAMA nº 398, de 11 de junho de 2008. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, 12 jun. 2008.

CALIL, L.M., R.N. CANDELLA, M.R. FRAGOSO, 2008. Estudo do fluxo da Corrente do Brasil a partir de derivadores oceânicos. Anais do III Congresso Brasileiro de Oceanografia, Fortaleza/CE.

- 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.
- ELLIOT, A. J., 2004. A probabilistic description of the Wind over Liverpool Bay with application to oil spill simulations. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 61: 569-581.
- FEMAR (Fundação de Estudos do Mar). 2000. Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. Rio de Janeiro. 281pp.
- FRAGOSO, M.R., 2004. Um modelo numérico da circulação oceânica para as Bacias Leste e Sudeste do Brasil. 173p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- FRAGOSO, M.R., J.A.C PELLEGRINI, A.T. ASSIREU, F.A. DOS SANTOS, L.M. MARQUES DA CRUZ, 2008. Caracterização cinemática e estatística dos vórtices na Bacia Oceânica SE/S do Brasil obtidos por derivadores rastreados por satélite durante a primavera de 2007. Anais do III Congresso Brasileiro de Oceanografia, Fortaleza/CE.
- GODOI, S. S. de, 2005. Dinâmica Quase-Geostrófica do Sistema Corrente do Brasil no Embaiamento de São Paulo. **Tese de doutorado apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.**
- 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.
- IBAMA, 2009. Nota Técnica N°02/2009/CGPEG/DILIC. Síntese dos aspectos técnicos da modelagem de transporte de óleo no mar e suas aplicações aos processos de licenciamento em E&P. Rio de Janeiro, 02 de março de 2009.

- 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.
- MÜLLER, T.J., Y. IKEDA, N. ZANGENBERG, E L.V. NONATO, 1998. Direct measurements of western boundary currents off Brazil between 20° S and 28° S. *J. Geophys. Res.*, vol. 103(C3): 5429-5437.
- OLIVEIRA, A. S, 1986. Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. (INPE-4008-TDL/239). 134pp.
- 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.
- SCHUREMANN, P. 1941. Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides, Washington, D,C,, U,S, *Coast & Geodetic Surv.*, S,P, n° 98, 317p.
- 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.
- SILVEIRA, C.A. DA, A.C.K. SCHMIDT, E.J.D. CAMPOS, S.S. DE GODOI, & Y. IKEDA, 2000. A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira. **Rev. Bras. Oceanogr.**, 48(2): p. 171-183.
- STRAMMA L. & M. ENGLAND, 1999. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, no C9, 20863-20883.

---

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

TOMCZAK, M. & J.S. GODFREY, 1994. Regional Oceanography: An Introduction. **Pergamon**. 422pp.

## VIII EQUIPE TÉCNICA

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

<b>Profissional</b>	Ana Carolina R. Lammardo
<b>Empresa</b>	Applied Science Consultoria Ltda.
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	325047
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	TODOS
<b>Assinatura</b>	_____

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

<b>Profissional</b>	Gabriel Clauzet
<b>Empresa</b>	Applied Science Consultoria Ltda.
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	1031373
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	TODOS
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Luigi Tavolaro Santini
<b>Empresa</b>	Applied Science Consultoria Ltda.
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	3045420
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	IV a VII
<b>Assinatura</b>	_____

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

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

<b>Profissional</b>	Pedro Fabiano M. Sarmento
<b>Empresa</b>	Applied Science Consultoria Ltda.
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	1800416
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	IV a VI
<b>Assinatura</b>	_____

## ANEXO 1 - DESCRIÇÃO DO MODELO PRINCETON OCEAN MODEL

O modelo numérico hidrodinâmico utilizado foi baseado no POM, desenvolvido por Blumberg & Mellor (1987). O código fonte desse modelo é de domínio público e disponível *on-line*<sup>14</sup>.

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

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

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

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.

<sup>14</sup> <http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom>

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*).

## 1.1 EQUAÇÕES BÁSICAS DO POM

O modelo hidrodinâmico aqui descrito é baseado em uma formulação tridimensional prognóstica com aproximação hidrostática. As variáveis potencialmente prognósticas são: as três componentes da velocidade ( $u, v$  e  $w$ ), a temperatura ( $T$ ), a salinidade ( $S$ ), a energia cinética turbulenta ( $q^2/2$ ), a escala turbulenta ( $l$ ), e a elevação da superfície ( $\eta$ ).

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

Equação da continuidade:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

Equação de Reynolds para conservação da quantidade de movimento:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} - fV = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( 2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right)$$

$$+ \frac{\partial}{\partial y} \left[ A_M \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \quad (3)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} + fU = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial V}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[ A_M \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left( 2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \right) \quad (4)$$

$$\rho g = -\frac{\partial P}{\partial z} \quad (5)$$

Conservação de Temperatura Potencial:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} + U \frac{\partial \Theta}{\partial x} + V \frac{\partial \Theta}{\partial y} + W \frac{\partial \Theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_H \frac{\partial \Theta}{\partial z} \right) + F_{(H)} \quad (6)$$

Conservação de Salinidade:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + U \frac{\partial S}{\partial x} + V \frac{\partial S}{\partial y} + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S \quad (7)$$

Equação de Estado:

$$\rho = \rho(S, \Theta, P) \quad (8)$$

Equação da Energia Cinética Turbulenta:

$$\frac{\partial q^2}{\partial t} + U \frac{\partial q^2}{\partial x} + V \frac{\partial q^2}{\partial y} + W \frac{\partial q^2}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) + 2K_M \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{2g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{2q^3}{B_1 l} + F_{q^2} \quad (9)$$

Equação da Turbulência em Macro Escala:

$$\frac{\partial}{\partial t} (q^2 l) + U \frac{\partial}{\partial x} (q^2 l) + V \frac{\partial}{\partial y} (q^2 l) + W \frac{\partial}{\partial z} (2q^2 l) = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K_q \frac{\partial}{\partial z} (q^2 l) \right] + lE_1 K_M \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{lE_1 g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{q^3}{B_1} \tilde{W} + F_{q^2 l} \quad (10)$$

sendo,

$$F_{q^2, q^2 l} = \frac{\partial}{\partial x} \left( A_H \frac{\partial q^2, q^2 l}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( A_H \frac{\partial q^2, q^2 l}{\partial y} \right) \quad (11)$$

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

$$(L)^{-1} \equiv (\eta - z)^{-1} + (H + z)^{-1} \quad (13)$$

onde,

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

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

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

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

$P$  = pressão ( $N/m^2$ );

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

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

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

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

$S$  = salinidade (PSU);

$A_M$  = coeficiente cinemático horizontal de viscosidade turbulenta ( $m^2/s$ );

$A_H$  = coeficiente cinemático horizontal de difusão turbulenta de calor 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 ( $k=0,4$ );

$F_{q^2, q^2 l}$  = termos horizontais de mistura para  $q^2$  e  $q^2 l$ .

## 2.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO ADOTADAS

As condições de contorno naturais do modelo são dadas pela velocidade normal nula nos contornos terrestres. Em áreas com aporte fluvial significativo para a escala do domínio, os valores de vazão, temperatura e salinidade dos rios são diretamente especificados nos contornos. Na superfície livre, além das condições dinâmicas locais (Mellor & Yamada, 1982), é também considerada a tensão de cisalhamento do vento. Opcionalmente, fluxos de calor e sal (evaporação) podem ser incluídos. Na modelagem em questão estes fluxos não foram considerados. No fundo, são aplicadas as condições dinâmicas descritas em Mellor & Yamada (op. cit.). A velocidade de arrasto é calculada como uma função empírica da energia cinética turbulenta, por sua vez decorrente do fechamento turbulento de segunda ordem.

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

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

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \text{ (condição análoga aplicada à salinidade)} \quad (14)$$

---

### 1.3 BIBLIOGRAFIA

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.

MELLOR, G.L. & T. YAMADA, 1982. Development of a turbulence closure models for geophysical fluid problems. **Rev. Geophys. Space Phys.**, 20, nº 4, 851-875.

## **ANEXO 2 - DESCRIÇÃO DO MODELO OILMAP**

Na modelagem da deriva de óleo foi utilizado o modelo OILMAP, desenvolvido pela **ASA**. Este modelo é uma ferramenta utilizada para o acompanhamento e previsão do deslocamento e intemperismo de qualquer tipo de óleo derramado em acidentes com petróleo.

O OILMAP é um sistema de modelos, 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 várias regiões do mundo (Jayko & Howlett, 1992; Spaulding *et al.*, 1992a,b).

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 (SIG); e determinar o impacto ambiental em recursos naturais. As funções do SIG permitem ao usuário a entrada, manipulação e exibição de objetos na tela através de pontos, linhas, e polígonos georreferenciados ao domínio definido pelo cenário. A cada objeto podem ser atribuídos dados em formato de texto, valores numéricos ou arquivos a partir de *links* externos.

O sistema OILMAP inclui os seguintes modelos: um modelo de deriva e intemperismo para óleo de superfície e subsuperfície, um modelo de resposta a derramamento de óleo, modelo probabilístico, e um modelo receptor que através do método reverso 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).

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 massa do óleo na 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, dispersão natural ou por suspensão e emulsificação. 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 deslocamento aleatório (*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 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, 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 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 (SIG), de forma a auxiliar na avaliação de impactos ambientais em termos da probabilidade da presença de óleo em recursos importantes.

## 2.1 FORMULAÇÃO DO MODELO

O sistema OILMAP inclui um modelo de trajetória e intemperismo 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:

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

onde

- $\Delta t$  = 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:

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

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);
- $\alpha$  = 0 para derrame de superfície, 1 para subsuperfície;
- $\beta$  = 0 para derrame sem *blowout*, 1 para *blowout*.

A componente da velocidade advectiva devida às correntes de maré,  $\bar{U}_t$ , e ao fluxo residual,  $\bar{U}_r$ , 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:

$$u_{wc} = C_1 u_w \quad (3)$$

$$v_{wc} = C_1 v_w \quad (4)$$

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 & Huhnerfuss, 1978), podendo variar entre 1,0 e 4,5%, baseado em observações. Valores de 3 a 3,5% são mais frequentemente 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:

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

$$v_{wd} = u_{wc} \operatorname{sen} \theta + v_{wc} \cos \theta \quad (6)$$

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);

$\theta$  = 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:

$$u_{dd} = \gamma \sqrt{\frac{6D_x}{\Delta t}} \quad (7)$$

$$v_{dd} = \gamma \sqrt{\frac{6D_y}{\Delta t}} \quad (8)$$

onde

$D_x$  = coeficiente de dispersão horizontal na direção Leste-Oeste (m<sup>2</sup>/s);

$D_y$  = coeficiente de dispersão horizontal na direção Norte-Sul (m<sup>2</sup>/s);

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

$\gamma$  = 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 à mancha. A taxa de mudança da área superficial para o espalhamento da mancha espessa (Mackay *et al.*, 1980a),  $\bar{A}_{tk}$  (m<sup>2</sup>/s), é definida por:

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

onde

$A_{tk}$  = área superficial da mancha (m<sup>2</sup>);

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

$V_m$  = volume da superfície da mancha (m<sup>3</sup>);

$t$  = tempo (s).

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

A taxa de mudança da área superficial de uma única partícula ( $m^2/s$ ) é dada por:

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

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:

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

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:

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

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;

$\theta$  = exposição à evaporação.

A exposição à evaporação,  $\theta$ , é definida por:

$$\theta = \left( \frac{K_m A_t}{V_0} \right) \quad (13)$$

onde

$K_m$  = coeficiente de transferência de massa (m/s);

$A$  = área da mancha (m<sup>2</sup>);

$t$  = tempo (s);

$V_0$  = volume do derrame de óleo (m<sup>3</sup>).

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:

$$T_B = T_0 + T_G F_v \quad (4)$$

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:

$$H = PV / RT \quad (15)$$

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:

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

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 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, como uma função da viscosidade do óleo, baseia-se em Delvigne & Hulsen (1994).

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

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

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);

$\Delta d$  = intervalo de diâmetro da partícula de óleo (m).

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

$$C^* = \exp(a \ln(\mu / \rho) + b) \quad (18)$$

onde

$\mu$  = viscosidade do óleo (cP);

$\rho$  = 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,  $d_{50}$  ( $\mu m$ ), é definido por:

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

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;

$\mu$  = viscosidade do óleo (cP);

$\rho$  = 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 ( $\mu\text{m}$ ), sendo:

$$d_{\min} = 0,1d_{50} \quad (20)$$

$$d_{\max} = 2,0d_{50} \quad (21)$$

A energia dissipada da onda,  $D_d$  ( $\text{J}/\text{m}^2$ ), é:

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

onde

$\rho_w$  = densidade da água ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$g$  = aceleração da gravidade ( $\text{m}/\text{s}^2$ );

$H$  = 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:

$$F = 0,032(U_w - U_t)/T_w \quad (23)$$

onde

$U_w$  = velocidade do vento 10 m acima da superfície do mar ( $\text{m}/\text{s}$ );

$U_t$  = 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:

$$M_e = Adt \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} Q_d dd \quad (24)$$

onde

$A$  = área superficial da mancha ( $m^2$ );

$dt$  = passo de tempo (s);

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

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

$$z_m = 1,5H_b \quad (25)$$

onde

$H_b$  = altura da quebra da onda (m).

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

$$W_i = d_i^2 g (1 - \rho_0 / \rho_w) / 18\nu_w \quad (26)$$

onde

$d_i$  = diâmetro da gotícula (m);

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

$\rho_0$  = densidade do óleo ( $kg/m^3$ );

$\rho_w$  = densidade da água ( $kg/m^3$ );

$\nu_w$  = 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:

$$Z_i = \max\left(\frac{D_v}{W_i}, Z_m\right) \quad (27)$$

onde

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

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

$$D_v = 0,0015W_{10} \quad (28)$$

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:

$$R_i = \frac{W_i dt}{Z_i} \quad (29)$$

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:

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

onde

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

$C_1$  = constante empírica ( $2 \times 10^{-6}$  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,  $\mu$  (cP), é dada por:

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

onde

$\mu_0$  = 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,  $\mu$  (cP), é dada por:

$$\mu = \mu_0 \exp(C_4 F_v) \quad (32)$$

onde

$\mu_0$  = 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:

$$F_{sh} = \frac{A_{lg}}{A_s} \quad (33)$$

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:

$$M_{h,i} = \rho_0 t_i W_i L_{gi} \quad (34)$$

onde

$i$  = parâmetro do tipo de costa;

$\rho_0$  = densidade do óleo depositado ( $\text{kg/m}^3$ );

$t_i$  = 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

$$M_R = M_0(1 - \exp[-t/T]) \quad (35)$$

onde

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

$t$  = tempo (dias);

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

## 2.2 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.

## 2.3 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.

---

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.

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 Spilllets on Spill Model Predictions. Applied Science Associates Internal Report, 1992.

LANGE, P. & H. HÜHNERFUSS, 1978. Drift response of mono-molecular slicks to wave and wind action. Journal of Physical Oceanography, v. 8, p. 142-150.

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.
- 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. Atmospheric and Ocean Physics, 6(5): p. 534-536.
- OKUBO, A., 1971. Oceanic diffusion diagrams. Deep Sea Research, v. 8, p. 789-802.
- 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.
- 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.
- 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.



## **ANEXO 3 – JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DOS PONTOS DE RISCO, TIPOS DE ÓLEO E VOLUMES DE BLOWOUT**

Para realização da modelagem de dispersão de óleo da AGBS Rev.00 (ASA, 2006), foram levantados dados de todos os poços perfurados nessa área. A partir deste levantamento foram analisadas as informações disponíveis dos óleos e selecionados os tipos considerados mais extremos, ou seja, óleos de menor grau API de cada polo. É importante ressaltar que grande parte dos óleos encontrados na AGBS tem como característica um elevado grau API, sendo a única exceção, alguns reservatórios do Campo de Tambuatá localizado no Polo Uruguá (Antigo BS-500) caracterizado como ultrapesado.

Durante o levantamento de dados para realização da modelagem de dispersão de óleo da AGBS, a partir das análises disponíveis, ficou clara a presença de subregiões com ocorrências de óleos extremamente leves, citadas usualmente como condensado, nos Polos Merluza ( $^{\circ}$ API 55,1) e Mexilhão ( $^{\circ}$ API 44,2), óleos leves como os dos Polos Uruguá ( $^{\circ}$ API 45,6) e Sul ( $^{\circ}$ API 41,0), um óleo considerado de médio grau API no Polo Pré-sal (Antigo Polo Centro com  $^{\circ}$ API 38,0), até um óleo ultrapesado do Campo de Tambuatá (Polo Uruguá com  $^{\circ}$ API 12,0). Para elaboração da Modelagem de Dispersão de Óleo, estas subregiões foram associadas aos 5 Polos da AGBS da seguinte forma:

- Sub-região A - Polo Uruguá,
- Sub-região B - Polo Mexilhão,
- Sub-região C - Polo Merluza,
- Sub-região D - Polo Sul,
- Sub-região E - Polo Pré-sal.

Em relação aos pontos a serem modelados, foram selecionados 12 pontos representativos ao longo deste polígono, sendo o principal critério desta seleção a proximidade com relação aos polos. Em termos de proximidade da costa, foram incluídos 4 pontos na porção ocidental. Desta forma, os pontos S-1 a S-3 foram associados ao Polo Uruguá, o ponto S-4 ao Polo Mexilhão, os pontos S-5 e S-6

ao Polo Merluza, os pontos S-7 a S-10 ao Polo Sul e os pontos S-11 e S-12 ao Polo Pré-sal.

Para a determinação das características físico-químicas dos óleos e dos volumes correspondentes à perda de controle (*blowout*) dos poços da AGBS, foram utilizados os dados disponíveis obtidos dos relatórios gerados a partir dos testes de formação destes poços. O teste de formação é um método de avaliação do reservatório cujo objetivo é testar a formação produtora e, assim, caracterizá-la sobre condições dinâmicas de fluxo. Constitui o método mais direto de avaliação das formações, uma vez que consiste em colocar a formação em contato direto com a pressão atmosférica para que produza livremente os fluidos que contêm. O intervalo é isolado por intermédio de um ou mais obturadores (*packers*). A abertura e o fechamento do poço são realizados através de uma válvula de fundo instalada na coluna de testes posicionada o mais próximo possível dos canhoneados. Durante a realização deste teste são coletadas amostras para obtenção das características físico-químicas do óleo e para o cálculo dos volumes em caso da perda de controle (*blowout*) dos poços. A metodologia para o cálculo dos volumes produzidos; são estimados por simulação dos poços em condição de *blowout*. A simulação utiliza modelo numérico 3D de reservatórios que incorpora os dados geofísicos e geológicos. Os principais dados que são alimentados no modelo são: Dados Geológicos de Poços, Dados Sísmicos Processados, Testes em poços e Análises de Laboratório de Rocha e Fluidos. Uma vez construído o modelo numérico ele passa a representar o comportamento dinâmico do reservatório incluindo o potencial de produção dos poços ao longo do tempo. Para representar a ocorrência de um *blowout* utiliza-se um poço representativo no modelo, estabelecendo as condições de produção que nesse caso; produção para o fundo do mar sem restrição tendo apenas a lâmina de água como contrapressão.

Os dados para realização da Modelagem de Dispersão de Óleo Rev.00 (ASA, 2006), Rev.01 (ASA, 2008) e Rev.02 (ASA, 2009a) estão apresentados na tabela 3-1, abaixo.

**Tabela 3-1 - Tipos de óleo previstos de serem encontrados nas subregiões da Área Geográfica Bacia de Santos (Rev. 00, Rev. 01 e Rev. 02).**

Sub-região	Denominação	Poços amostrados	Pontos de Modelagem	Grau API (°API)	Volumes de Blowout (m <sup>3</sup> /dia)
A	Polo Uruguá	RJS-587*	1,2,3	45,60	274,0
		RJS-574*		12,00	274,0
B	Polo Mexilhão	SPS-35*	4	44,20	86,0
C	Polo Merluza	MLZ-3D*	5,6	55,10	55,0
D	Polo Sul	SCS-10A*-	7,8,9,10	41,00	1.900,0
E	Polo Pré-sal	Poço Caramba BM-S-21*	11,12	38,00	750,0

\*Fonte: Relatório interno Petrobras do teste de formação de cada poço.

Com a nova delimitação da AGBS (extensão da porção oriental), foi necessário o deslocamento de alguns dos pontos para contemplar o novo limite desta área e a realização de uma nova modelagem que está sendo apresentada no presente estudo.

É importante ressaltar que, a partir das novas descobertas realizadas na AGBS, foi possível obter dados atualizados sobre os seus reservatórios. A partir destas novas informações foram selecionados poços mais representativos de cada polo, além de permitir uma revisão de sua estratégia de exploração na bacia, optando-se pelo desenvolvimento dos blocos que apresentam tendência de produção de óleos mais leves, comercialmente mais vantajosos.

Desta forma, o óleo ultrapesado do Campo de Tambuatá foi excluído da modelagem apresentada neste relatório, além da escolha de poços com grau API e volume de *blowout* mais significativos de cada polo, como pode ser observado na tabela 3-2.

Ressalta-se que, para a nova modelagem de derrame de óleo apresentada neste estudo, com base nos volumes de *blowout* apresentados na tabela 3-2 e legislação vigente (Resolução do CONAMA nº 398/08), foram realizadas simulações adicionais com óleo diesel apenas nos casos nos quais o volume de *blowout* por 30 dias era inferior ao volume de diesel estocado em uma unidade (6.000 m<sup>3</sup>). O referido caso é o Polo Merluza, pontos de modelagem S-5 e S-6, com volume de *blowout* de 1.650 m<sup>3</sup>. Para os demais polos, uma vez que o volume de *blowout* é superior ao de diesel, não foram realizadas simulações

adicionais de diesel ou mesmo o volume adicionado ao de *blowout*, já que este representa o volume de pior caso mais crítico.

**Tabela 3-2** - Dados utilizados na modelagem de dispersão de óleo para a Área Geográfica Bacia de Santos (Rev. 03).

Sub-região	Denominação	Poços amostrados	Pontos de Modelagem	Grau API dos óleos (API)	Volumes a Blowout m <sup>3</sup> /dia
<b>A</b>	Polo Uruguá	Campo de Uruguá Poço RJS-621 *	1,2,3	32,21	2.000,0
<b>B</b>	Polo Mexilhão	Campo de Mexilhão Poço MXL-2H *	4	47,2	400,0
<b>C</b>	Polo Merluza	Campo de Merluza Poço MLZ-3D *	5,6	51,87	55,0
<b>D</b>	Polo Sul	Campo Cavalo Marinho Poço SCS-10A *	7,8,9,10	41,0	1.900,0
<b>E</b>	Polo Pré-sal	Área de Guará Poço SPS – 55*	11,12	28,4	5.200,0

\*Fonte: Relatório interno Petrobras do teste de formação de cada poço.

### 3.1 BIBLIOGRAFIA

ASA (Applied Science Associates South America), 2006. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para a Área Geográfica Bacia de Santos. Relatório Técnico, Rev. 00. São Paulo, novembro de 2006. 167pp.

ASA (Applied Science Associates South America), 2008. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para a Área Geográfica Bacia de Santos. Relatório Técnico, Rev. 01. São Paulo, abril de 2008. 206pp.

ASA (Applied Science Associates South America), 2009. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para a Área Geográfica Bacia de Santos. Relatório Técnico, Rev. 02. São Paulo, novembro de 2009. 363pp.