

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

**Revisão 01  
Abril / 2008**



**E&P**



## **ÍNDICE GERAL**

RESUMO .....	21
I INTRODUÇÃO .....	23
I.1 ÁREA DE ESTUDO.....	24
I.1.1 CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DA REGIÃO .....	26
I.1.2 PADRÕES DE CIRCULAÇÃO DA REGIÃO.....	29
II MODELO HIDRODINÂMICO .....	37
II.1 DESCRIÇÃO DO POM .....	37
II.1.1 EQUAÇÕES BÁSICAS DO POM .....	39
II.1.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO ADOTADAS .....	41
II.1.3 DADOS DE ENTRADA .....	42
II.2 DESCRIÇÃO DO OCCAM .....	44
II.3 DOMÍNIO CONSIDERADO .....	46
III AVALIAÇÃO DA MODELAGEM HIDRODINÂMICA .....	48
III.1.1 AVALIAÇÃO DA MARÉ.....	48
III.1.2 AVALIAÇÃO DAS CORRENTES .....	49
III.2 COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE A MODELAGEM HIDRODINÂMICA.....	52
IV MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO .....	55
IV.1 MODELO OILMAP .....	55
IV.1.1 FORMULAÇÃO DO MODELO .....	58
IV.2 DADOS DE ENTRADA .....	70
V MODELAGEM DE DERIVA DE ÓLEO PARA UM POTENCIAL ACIDENTE NA ÁREA GEOGRÁFICA BACIA DE SANTOS .....	71
V.1 DADOS DE ENTRADA .....	71
V.1.1 CAMPO DE CORRENTES.....	73
V.1.2 DADOS DE VENTO .....	74
V.1.3 PONTOS DE RISCO E VOLUMES .....	79
V.1.4 CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS UTILIZADOS.....	81
V.2 CRITÉRIOS DE PARADA ADOTADOS NAS SIMULAÇÕES .....	84
V.3 RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS PARA A ÁREA GEOGRÁFICA BACIA DE SANTOS .....	85

---

VI	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PARA UM POTENCIAL ACIDENTE NA ÁREA GEOGRÁFICA BACIA DE SANTOS .....	88
VI.1	SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS.....	88
VI.2	CENÁRIOS DETERMINÍSTICOS CRÍTICOS .....	144
VII	CONCLUSÕES .....	197
VIII	BIBLIOGRAFIA .....	200
IX	EQUIPE TÉCNICA.....	206

**TABELAS**

<b>TABELA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Tabela I.1.2-1</b> - Amplitude (cm) e fase local (°) das principais componentes harmônicas para a estação maregráfica de Guaraú (SP). Fonte: FEMAR (2000).	I-13
<b>Tabela V.1.2-1</b> - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP (25,0°S e 42,9°W) para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de verão.	V-8
<b>Tabela V.1.2-2</b> - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP (25,0°S e 42,9°W) para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de inverno.	V-9
<b>Tabela V.1.3-1</b> - Coordenadas (SAD 69) dos pontos de risco que delimitam a Área Geográfica Bacia de Santos.	V-9
<b>Tabela V.1.3-2</b> - Vazões de pior caso dos poços representativos da Área Geográfica Bacia de Santos.	V-10
<b>Tabela V.1.4-1</b> - Tipos de óleo previstos de serem encontrados nas sub-regiões da Área Geográfica Bacia de Santos.	V-11
<b>Tabela V.1.4-2</b> - Características do óleo tipo RJS-587.	V-12
<b>Tabela V.1.4-3</b> - Características do óleo tipo RJS-574.	V-12
<b>Tabela V.1.4-4</b> - Características do óleo tipo SPS-0035.	V-13
<b>Tabela V.1.4-5</b> - Características do óleo tipo MLZ-3D.	V-13
<b>Tabela V.1.4-6</b> - Características do óleo tipo SCS10A.	V-14
<b>Tabela V.1.4-7</b> - Características do óleo tipo BM-S-21.	V-14
<b>Tabela V.2-1</b> - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames do óleo tipo RJS-587.	V-16
<b>Tabela V.2-2</b> - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames do óleo tipo RJS-574.	V-16
<b>Tabela V.2-3</b> - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames do óleo tipo SPS-0035.	V-16
<b>Tabela V.2-4</b> - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames do óleo tipo MLZ-3D.	V-16
<b>Tabela V.2-5</b> - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames do óleo tipo SCS10A.	V-17
<b>Tabela V.2-6</b> - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames do óleo tipo BM-S-21.	V-17
<b>Tabela V.2-7</b> - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames de óleo diesel marítimo.	V-17

<b>TABELA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Tabela VI.1-1</b> - Extensão da linha de costa com probabilidade de ser atingida a partir de derrames de óleo, em cada um dos 12 pontos que delimitam a Área Geográfica Bacia de Santos, simulados em condições de verão e inverno.	VI-50
<b>Tabela VI.1-2</b> - Resumo dos resultados da modelagem probabilística de pior caso ocorrendo durante os meses de verão para os 12 pontos que delimitam a Área Geográfica Bacia de Santos.	V-51
<b>Tabela VI.1-3</b> - Resumo dos resultados da modelagem probabilística de pior caso ocorrendo durante os meses de inverno para os 12 pontos que delimitam a Área Geográfica Bacia de Santos.	V-51
<b>Tabela VI.1-4</b> - Percentual de simulações com toque na costa para os cenários de verão e inverno.	V-52
<b>Tabela VI.1-5</b> - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AG-BS no período de verão.	V-53
<b>Tabela VI.1-6</b> - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AG-BS no período de inverno.	V-55
<b>Tabela VI.2-1</b> - Resumo dos cenários determinísticos críticos de verão e de inverno para os cenários com menor tempo de toque na costa.	V-58
<b>Tabela VI.2-2</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-59

## FIGURAS

FIGURA	PÁG.
<b>Figura I.1-1</b> - Localização do polígono que delimita a Área Geográfica Bacia de Santos. Fonte: PETROBRAS.	I-3
<b>Figura I.1.1-1</b> - Médias de 12 anos (1990 - 2001) do vento a 10 m no período de verão (Reanálise do NCEP).	I-4
<b>Figura I.1.1-2</b> - Médias de 12 anos (1990 - 2001) do vento a 10 m no período de inverno (Reanálise do NCEP).	I-5
<b>Figura I.1.1-3</b> - 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
<b>Figura I.1.1-4</b> - 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
<b>Figura I.1.2-1</b> - Representação da circulação no oceano Atlântico Sul, indicando as seguintes correntes oceânicas: Corrente Circumpolar (CC), Corrente do Atlântico Sul (CAS), Corrente de Benguela (BE), Corrente de Angola (CA), Corrente Sul Equatorial (CSE), Corrente do Brasil (CB) e Corrente das Malvinas (CM). Adaptado de Tomczak & Godfrey (1994).	I-8
<b>Figura I.1.2-2</b> - 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-9
<b>Figura I.1.2-3</b> - Representação esquemática do campo de fluxo geostrófico nos primeiros 500 m, com base em dados hidrográficos históricos, coletados na região demarcada. As linhas cheias correspondem a transporte de 2 Sv e a linha tracejada de 1 Sv. (Adaptado de Stramma <i>et al.</i> , 1990).	I-10
<b>Figura I.1.2-4</b> - Campo de velocidade barotrópica para janeiro, resultantes de uma simulação de 14 anos do modelo OCCAM; valores batimétricos extraídos do Etopo 2.	I-11
<b>Figura I.1.2-5</b> - Campo de velocidade barotrópica para julho, resultantes de uma simulação de 14 anos do modelo OCCAM; valores batimétricos extraídos do Etopo 2.	I-12
<b>Figura I.1.2-6</b> - Mapa cotidal de amplitude (cores) e fase (linhas) para a componente $M_2$ .	I-14
<b>Figura II.1.3-1</b> - Campos de temperatura e salinidade superficial, projetados na grade do modelo hidrodinâmico.	II-6
<b>Figura II.1.3-2</b> - Campo de vento NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico.	II-7

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura II.1.3-3</b> - Mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude da componente de maré $M_2$ , projetado na grade do modelo hidrodinâmico.	II-8
<b>Figura II.3-1</b> - Domínio considerado na modelagem e projeção da batimetria, com foco na região da Bacia de Santos.	II-11
<b>Figura III.1.1-1</b> - Série temporal da previsão de maré (azul) e a elevação calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 24 de fevereiro a 27 de março de 1992.	III-2
<b>Figura III.1.2-1</b> - Série temporal medida das componentes $u$ e $v$ da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1º de fevereiro e 15 de abril de 1992 para o ponto PC.	III-3
<b>Figura III.1.2-2</b> - Série temporal medida das componentes $u$ e $v$ da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 5 de agosto a 29 de setembro de 1992 para o ponto PC.	III-3
<b>Figura III.1.2-3</b> - Série temporal medida das componentes $u$ e $v$ da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1º e 30 de janeiro de 1992 para o ponto BM333.	III-4
<b>Figura III.1.2-4</b> - Série temporal medida das componentes $u$ e $v$ da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1º a 30 de junho de 1992 para o ponto BM333.	III-4
<b>Figura III.2-1</b> - Instantâneo do campo de correntes de superfície, obtido a partir de resultados do POM, complementados por resultados do OCCAM, na região da Bacia de Pelotas – verão.	III-5
<b>Figura III.2-2</b> - Instantâneo do campo de correntes de superfície, obtido a partir de resultados do POM, complementados por resultados do OCCAM, na região da Bacia de Pelotas – inverno.	III-6
<b>Figura V.1-1</b> - Grade definindo os contornos de terra (grade <i>land-water</i> ) para a modelagem de deriva de óleo MLZ-3D na Área Geográfica Bacia de Santos.	V-2
<b>Figura V.1-2</b> - Grade definindo os contornos de terra (grade <i>land-water</i> ) para a modelagem de deriva de óleo na Área Geográfica Bacia de Santos.	V-3
<b>Figura V.1.2-1</b> - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo na Área Geográfica Bacia de Santos (condição típica de verão).	V-4
<b>Figura V.1.2-2</b> - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo na Área Geográfica Bacia de Santos (condição típica de inverno).	V-5

FIGURA	PÁG.
<b>Figura V.1.2-3</b> - Diagrama <i>stick plot</i> dos valores médios diários de dados de vento NCEP durante o período de janeiro a dezembro de 1992 (convenção vetorial), na posição 25,0°S e 42,9°W.	V-6
<b>Figura V.1.2-4</b> - Histograma direcional dos vetores de vento para (a) verão (janeiro a março) e (b) inverno (junho a agosto), Bacia de Santos.	V-7
<b>Figura VI.1-1</b> - Cenário S-01_PC_RJS-587_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-587, ocorrendo no Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8.220 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-2
<b>Figura VI.1-2</b> - Cenário S-01_PC_RJS-574_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-574, ocorrendo no Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8.220 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-3
<b>Figura VI.1-3</b> - Cenário S-01_PC_DIESEL_VER_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-01, 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.	VI-4
<b>Figura VI.1-4</b> - Cenário S-02_PC_RJS-587_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-587, ocorrendo no Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8.220 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-5
<b>Figura VI.1-5</b> - Cenário S-02_PC_RJS-574_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-574, ocorrendo no Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8.220 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-6
<b>Figura VI.1-6</b> - Cenário S-02_PC_DIESEL_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-02, 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.	VI-7
<b>Figura VI.1-7</b> - Cenário S-03_PC_RJS-587_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-587, ocorrendo no Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8.220 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-8

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura VI.1-8</b> - Cenário S-03_PC_RJS-574_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-574, ocorrendo no Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8.220 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-9
<b>Figura VI.1-9</b> - Cenário S-03_PC_DIESEL_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-03, 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.	VI-10
<b>Figura VI.1-10</b> - Cenário S-04_PC_SPS-0035_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SPS-0035, ocorrendo no Ponto S-04, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 2.580 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-11
<b>Figura VI.1-11</b> - Cenário S-04_PC_DIESEL_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-04, 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.	VI-12
<b>Figura VI.1-12</b> - Cenário S-05_PC_MLZ-3D_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-05, 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.	VI-13
<b>Figura VI.1-13</b> - Cenário S-05_PC_DIESEL_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-05, 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.	VI-14
<b>Figura VI.1-14</b> - Cenário S-06_PC_MLZ-3D_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-06, 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.	VI-15
<b>Figura VI.1-15</b> - Cenário S-06_PC_DIESEL_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-065, 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.	VI-16

FIGURA	PÁG.
<b>Figura VI.1-16</b> - Cenário S-07_PC_SCS10A_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SCS10A, ocorrendo no Ponto S-07, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 63.000 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-17
<b>Figura VI.1-17</b> - Cenário S-08_PC_SCS10A_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SCS10A, ocorrendo no Ponto S-08, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 63.000 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-18
<b>Figura VI.1-18</b> - Cenário S-09_PC_SCS10A_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SCS10A, ocorrendo no Ponto S-09, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 63.000 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-19
<b>Figura VI.1-19</b> - Cenário S-10_PC_SCS10A_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SCS10A, ocorrendo no Ponto S-10, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 63.000 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-20
<b>Figura VI.1-20</b> - Cenário S-11_PC_BMS21_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo BMS21, ocorrendo no Ponto S-11, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 28.500 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-21
<b>Figura VI.1-21</b> - Cenário S-12_PC_BMS21_VER_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo BMS21, ocorrendo no Ponto S-12, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 28.500 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-22
<b>Figura VI.1-22</b> - 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).	VI-23
<b>Figura VI.1-23</b> - 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).	VI-24
<b>Figura VI.1-24</b> - 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).	VI-25

FIGURA	PÁG.
<b>Figura VI.1-25</b> - Cenário S-01_PC_RJS-587_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-587, ocorrendo no Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8.220 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-26
<b>Figura VI.1-26</b> - Cenário S-01_PC_RJS-574_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-574, ocorrendo no Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8.220 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-27
<b>Figura VI.1-27</b> - Cenário S-01_PC_DIESEL_INV_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-01, 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.	VI-28
<b>Figura VI.1-28</b> - Cenário S-02_PC_RJS-587_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-587, ocorrendo no Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8.220 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-29
<b>Figura VI.1-29</b> - Cenário S-02_PC_RJS-574_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-574, ocorrendo no Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8.220 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-30
<b>Figura VI.1-30</b> - Cenário S-02_PC_DIESEL_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-02, 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.	VI-31
<b>Figura VI.1-31</b> - Cenário S-03_PC_RJS-587_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-587, ocorrendo no Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8.220 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-32
<b>Figura VI.1-32</b> - Cenário S-03_PC_RJS-574_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-574, ocorrendo no Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8.220 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-33

FIGURA	PÁG.
<b>Figura VI.1-33</b> - Cenário S-03_PC_DIESEL_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-03, 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.	VI-34
<b>Figura VI.1-34</b> - Cenário S-04_PC_SPS-0035_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SPS-0035, ocorrendo no Ponto S-04, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 2.580 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-35
<b>Figura VI.1-35</b> - Cenário S-04_PC_DIESEL_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-04, 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.	VI-36
<b>Figura VI.1-36</b> - Cenário S-05_PC_MLZ-3D_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-05, 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.	VI-37
<b>Figura VI.1-37</b> - Cenário S-05_PC_DIESEL_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-05, 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.	VI-38
<b>Figura VI.1-38</b> - Cenário S-06_PC_MLZ-3D_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-06, 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.	VI-39
<b>Figura VI.1-39</b> - Cenário S-06_PC_DIESEL_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-065, 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.	VI-40
<b>Figura VI.1-40</b> - Cenário S-07_PC_SCS10A_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SCS10A, ocorrendo no Ponto S-07, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 63.000 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-41

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura VI.1-41</b> - Cenário S-08_PC_SCS10A_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SCS10A, ocorrendo no Ponto S-08, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 63.000 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-42
<b>Figura VI.1-42</b> - Cenário S-09_PC_SCS10A_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SCS10A, ocorrendo no Ponto S-09, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 63.000 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-43
<b>Figura VI.1-43</b> - Cenário S-10_PC_SCS10A_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SCS10A, ocorrendo no Ponto S-10, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 63.000 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-44
<b>Figura VI.1-44</b> - Cenário S-11_PC_BMS21_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo BMS21, ocorrendo no Ponto S-11, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 28.500 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-45
<b>Figura VI.1-45</b> - Cenário S-12_PC_BMS21_INV_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo BMS21, ocorrendo no Ponto S-12, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 28.500 m <sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.	VI-46
<b>Figura VI.1-46</b> - 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).	VI-47
<b>Figura VI.1-47</b> - 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).	VI-48
<b>Figura VI.1-48</b> - 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).	VI-49
<b>Figura VI.2-1</b> - DET_S-01_PC_RJS-587_VER_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo RJS-587 a partir do Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-60

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura VI.2-2</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-01_PC_RJS-587_VER_60D.	VI-61
<b>Figura VI.2-3</b> - DET_S-01_PC_RJS-574_VER_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo RJS-574 a partir do Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-61
<b>Figura VI.2-4</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-01_PC_RJS-574_VER_60D.	VI-62
<b>Figura VI.2-5</b> - DET_S-01_PC_DIESEL_VER_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-62
<b>Figura VI.2-6</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-01_PC_DIESEL_VER_30D.	VI-63
<b>Figura VI.2-7</b> - DET_S-02_PC_RJS-587_VER_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo RJS-587 a partir do Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-63
<b>Figura VI.2-8</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-02_PC_RJS-587_VER_60D.	VI-64
<b>Figura VI.2-9</b> - DET_S-02_PC_RJS-574_VER_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo RJS-574 a partir do Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-64
<b>Figura VI.2-10</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-02_PC_RJS-574_VER_60D.	VI-65
<b>Figura VI.2-11</b> - DET_S-02_PC_DIESEL_VER_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-65
<b>Figura VI.2-12</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-02_PC_DIESEL_VER_30D.	VI-66
<b>Figura VI.2-13</b> - DET_S-03_PC_RJS-587_VER_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo RJS-587 a partir do Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-66
<b>Figura VI.2-14</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-03_PC_RJS-587_VER_60D.	VI-67
<b>Figura VI.2-15</b> - DET_S-03_PC_RJS-574_VER_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo RJS-574 a partir do Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-67
<b>Figura VI.2-16</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-03_PC_RJS-574_VER_60D.	VI-68

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura VI.2-17</b> - DET_S-03_PC_DIESEL_VER_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-68
<b>Figura VI.2-18</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-03_PC_DIESEL_VER_30D.	VI-69
<b>Figura VI.2-19</b> - DET_S-04_PC_SPS-0035_VER_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo RJS-574 a partir do Ponto S-04, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-69
<b>Figura VI.2-20</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-04_PC_SPS-0035_VER_60D.	VI-70
<b>Figura VI.2-21</b> - DET_S-04_PC_DIESEL_VER_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-04, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-70
<b>Figura VI.2-22</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-04_PC_DIESEL_VER_30D.	VI-71
<b>Figura VI.2-23</b> - DET_S-05_PC_MLZ-3D_VER_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo MLZ-3D a partir do Ponto S-05, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-71
<b>Figura VI.2-24</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-05_PC_MLZ-3D_VER_60D.	VI-72
<b>Figura VI.2-25</b> - DET_S-05_PC_DIESEL_VER_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-05, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-72
<b>Figura VI.2-26</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-05_PC_DIESEL_VER_30D.	VI-73
<b>Figura VI.2-27</b> - DET_S-06_PC_MLZ-3D_VER_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo MLZ-3D a partir do Ponto S-06, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-73
<b>Figura VI.2-28</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-06_PC_MLZ-3D_VER_60D.	VI-74
<b>Figura VI.2-29</b> - DET_S-06_PC_DIESEL_VER_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-06, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-74
<b>Figura VI.2-30</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-06_PC_DIESEL_VER_30D.	VI-75
<b>Figura VI.2-31</b> - DET_S-07_PC_SCS10A_VER_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo SCS10A a partir do Ponto S-07, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-75

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura VI.2-32</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-07_PC_SCS10A_VER_60D.	VI-76
<b>Figura VI.2-33</b> - DET_S-08_PC_SCS10A_VER_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo SCS10A a partir do Ponto S-08, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-76
<b>Figura VI.2-34</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-08_PC_SCS10A_VER_60D.	VI-77
<b>Figura VI.2-35</b> - DET_S-09_PC_SCS10A_VER_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo SCS10A a partir do Ponto S-09, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-77
<b>Figura VI.2-36</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-09_PC_SCS10A_VER_60D.	VI-78
<b>Figura VI.2-37</b> - DET_S-10_PC_SCS10A_VER_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo SCS10A a partir do Ponto S-10, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-78
<b>Figura VI.2-38</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-10_PC_SCS10A_VER_60D.	VI-79
<b>Figura VI.2-39</b> - DET_S-11_PC_BMS21_VER_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo BMS21 a partir do Ponto S-11, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-79
<b>Figura VI.2-40</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-11_PC_BMS21_VER_60D.	VI-80
<b>Figura VI.2-41</b> - DET_S-12_PC_BMS21_VER_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo BMS21 a partir do Ponto S-12, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-80
<b>Figura VI.2-42</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-12_PC_BMS21_VER_60D.	VI-81
<b>Figura VI.2-43</b> - DET_S-01_PC_RJS-587_INV_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo RJS-587 a partir do Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-82
<b>Figura VI.2-44</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-01_PC_RJS-587_INV_60D.	VI-82
<b>Figura VI.2-45</b> - DET_S-01_PC_RJS-574_INV_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo RJS-574 a partir do Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-83
<b>Figura VI.2-46</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-01_PC_RJS-574_INV_60D.	VI-83
<b>Figura VI.2-47</b> - DET_S-01_PC_DIESEL_INV_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-84

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura VI.2-48</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-01_PC_DIESEL_INV_30D.	VI-84
<b>Figura VI.2-49</b> - DET_S-02_PC_RJS-587_INV_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo RJS-587 a partir do Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-85
<b>Figura VI.2-50</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-02_PC_RJS-587_INV_60D.	VI-85
<b>Figura VI.2-51</b> - DET_S-02_PC_RJS-574_INV_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo RJS-574 a partir do Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-86
<b>Figura VI.2-52</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-02_PC_RJS-574_INV_60D.	VI-86
<b>Figura VI.2-53</b> - DET_S-02_PC_DIESEL_INV_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-87
<b>Figura VI.2-54</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-02_PC_DIESEL_INV_30D.	VI-87
<b>Figura VI.2-55</b> - DET_S-03_PC_RJS-587_INV_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo RJS-587 a partir do Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-88
<b>Figura VI.2-56</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-03_PC_RJS-587_INV_60D.	VI-88
<b>Figura VI.2-57</b> - DET_S-03_PC_RJS-574_INV_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo RJS-574 a partir do Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-89
<b>Figura VI.2-58</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-03_PC_RJS-574_INV_60D.	VI-89
<b>Figura VI.2-59</b> - DET_S-03_PC_DIESEL_INV_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-90
<b>Figura VI.2-60</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-03_PC_DIESEL_INV_30D.	VI-90
<b>Figura VI.2-61</b> - DET_S-04_PC_SPS-0035_INV_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo RJS-574 a partir do Ponto S-04, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-91
<b>Figura VI.2-62</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-04_PC_SPS-0035_INV_60D.	VI-91
<b>Figura VI.2-63</b> - DET_S-04_PC_DIESEL_INV_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-04, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-92

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura VI.2-64</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-04_PC_DIESEL_INV_30D.	VI-92
<b>Figura VI.2-65</b> - DET_S-05_PC_MLZ-3D_INV_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo MLZ-3D a partir do Ponto S-05, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-93
<b>Figura VI.2-66</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-05_PC_MLZ-3D_INV_60D.	VI-93
<b>Figura VI.2-67</b> - DET_S-05_PC_DIESEL_INV_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-05, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-94
<b>Figura VI.2-68</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-05_PC_DIESEL_INV_30D.	VI-94
<b>Figura VI.2-69</b> - DET_S-06_PC_MLZ-3D_INV_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo MLZ-3D a partir do Ponto S-06, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-95
<b>Figura VI.2-70</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-06_PC_MLZ-3D_INV_60D.	VI-95
<b>Figura VI.2-71</b> - DET_S-06_PC_DIESEL_INV_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-06, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-96
<b>Figura VI.2-72</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-06_PC_DIESEL_INV_30D.	VI-96
<b>Figura VI.2-73</b> - DET_S-07_PC_SCS10A_INV_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo SCS10A a partir do Ponto S-07, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-97
<b>Figura VI.2-74</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-07_PC_SCS10A_INV_60D.	VI-97
<b>Figura VI.2-75</b> - DET_S-08_PC_SCS10A_INV_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo SCS10A a partir do Ponto S-08, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-98
<b>Figura VI.2-76</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-08_PC_SCS10A_INV_60D.	VI-98
<b>Figura VI.2-77</b> - DET_S-09_PC_SCS10A_INV_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo SCS10A a partir do Ponto S-09, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-99
<b>Figura VI.2-78</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-09_PC_SCS10A_INV_60D.	VI-99
<b>Figura VI.2-79</b> - DET_S-10_PC_SCS10A_INV_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo SCS10A a partir do Ponto S-10, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-100

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura VI.2-80</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-10_PC_SCS10A_INV_60D.	VI-100
<b>Figura VI.2-81</b> - DET_S-11_PC_BMS21_INV_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo BMS21 a partir do Ponto S-11, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-101
<b>Figura VI.2-82</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-11_PC_BMS21_INV_60D.	VI-101
<b>Figura VI.2-83</b> - DET_S-12_PC_BMS21_INV_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo BMS21 a partir do Ponto S-12, Área Geográfica Bacia de Santos.	VI-102
<b>Figura VI.2-84</b> - Balanço de massa do cenário DET_S-12_PC_BMS21_INV_60D.	VI-102
<b>Figura VI.2-85</b> - Diagrama <i>stick plot</i> dos vetores de vento para o cenário determinístico DET_S-05_PC_DIESEL_VER_30D, a partir do início da simulação até o primeiro toque na costa.	VI-103
<b>Figura VI.2-86</b> - Cenário DET_S-05_PC_DIESEL_VER_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação.	VI-104
<b>Figura VI.2-87</b> - Cenário DET_S-05_PC_DIESEL_VER_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo 46 horas após o início da simulação.	VI-105
<b>Figura VI.2-88</b> - Cenário DET_S-05_PC_DIESEL_VER_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação.	VI-109
<b>Figura VI.2-85</b> - Diagrama <i>stick plot</i> dos vetores de vento para o cenário determinístico DET_S-05_PC_DIESEL_VER_30D, a partir do início da simulação até o primeiro toque na costa.	VI-107
<b>Figura VI.2-89</b> - Cenário DET_S-05_PC_DIESEL_INV_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação.	VI-107
<b>Figura VI.2-90</b> - Cenário DET_S-05_PC_DIESEL_INV_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo 66 horas após o início da simulação.	VI-108
<b>Figura VI.2-91</b> - Cenário DET_S-05_PC_DIESEL_INV_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação.	VI-109

## RESUMO

Este relatório apresenta uma revisão da modelagem numérica do transporte e dispersão de óleo no mar para a Área Geográfica Bacia de Santos, em atendimento ao Parecer Técnico CGPEG/DILIC/IBAMA nº 038/08.

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 Área Geográfica Bacia de Santos, a partir de simulações de derrame de óleo em um conjunto de 12 pontos.

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**. Na região da Bacia de Pelotas (não contida no domínio do POM), o campo foi complementado com base em resultados médios de um modelo global, *Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling Project* (OCCAM) somados às variabilidades de alta frequência simuladas pelo POM na porção sul da Bacia de Santos.

Foram simulados cenários probabilísticos e determinísticos de derrames de óleo, considerando: 1) os maiores volumes de *blowout* possíveis nas sub-regiões contíguas aos pontos de modelagem; 2) condições sazonais de verão e inverno; e 3) óleos com valores extremos de viscosidade associados a graus API extremos, dentre os que ocorrem na Área Geográfica Bacia de Santos.

Foram conduzidas simulações probabilísticas para determinar contornos de probabilidade da mancha atingir 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 e as simulações de afundamento de unidade foram de 30 dias. Além deste critério de parada propriamente dito, foi adotado o corte de espessuras inferiores a 300 nm nas simulações e apresentações de resultados. A partir dos resultados das simulações probabilísticas, foram selecionados os cenários determinísticos críticos para condições de verão e inverno, utilizando

---

como critério o menor tempo de chegada do óleo na costa 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 sudeste 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 oceano profundo, há predomínio da CB.

## I INTRODUÇÃO

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

Com o objetivo de dar suporte a PETROBRAS nessa avaliação e, em atendimento ao Parecer Técnico CGPEG/DILIC/IBAMA nº 038/08 (PT 038/08), apresenta-se uma revisão da modelagem computacional da trajetória e intemperismo de óleo na Área Geográfica Bacia de Santos. Nestas novas simulações de derrame de óleo foram considerados os novos critérios de parada nos cenários de derrame de óleo (*i.e.*, tempo de 30 dias ao final do vazamento, além do corte de espessuras inferiores a 300 nm). Ressalta-se que não foi necessário realizar novas simulações para os cenários de derrame de óleo diesel marítimo, uma vez foram considerados vazamentos instantâneos e, conseqüentemente, em acordo com o critério de parada de 30 dias após o final do vazamento.

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

Para estudos de modelagem como o realizado neste trabalho, são necessários: (a) um conhecimento detalhado das características geomorfológicas do local (morfologia da linha de costa e fundo oceânico), (b) padrões de circulação local e em larga escala, (c) séries temporais de vento de longa duração e (d) caracterização físico-química dos óleos que serão simulados.

Para a modelagem de transporte da mancha de óleo foi utilizado um conjunto de dados de vento proveniente de Reanálise dos modelos meteorológicos NCEP

e 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**. Na região da Bacia de Pelotas (não contida no domínio do POM), o campo foi complementado com base em resultados médios de um modelo global, OCCAM<sup>2</sup>, somados às variabilidades de alta frequência simuladas pelo POM na porção sul da Bacia de Santos.

O Capítulo I discute o propósito do estudo e fornece informações sobre a área de estudo. O Capítulo II descreve o modelo hidrodinâmico e o Capítulo III apresenta a calibração do mesmo. O Capítulo IV descreve o modelo OILMAP utilizado na modelagem dos cenários acidentais de óleo. O Capítulo V apresenta os cenários simulados, suas características e os dados de entrada. Os resultados das simulações probabilísticas e determinísticas são apresentados no Capítulo VI. Por fim, o Capítulo VII apresenta as conclusões do estudo.

## **I.1 ÁREA DE ESTUDO**

O mapa da Área Geográfica Bacia de Santos está reproduzido na figura I.1-1. Neste mapa, observa-se a delimitação da Área Geográfica Bacia de Santos e a localização dos pontos de modelagem S-01 a S-12. Os pontos selecionados foram localizados nos vértices e em alguns pontos médios do polígono que delimita a área geográfica, principalmente na porção oeste desta, mais próxima da costa. Assim, as simulações de potenciais acidentes com derrame de petróleo foram consideradas a partir destes 12 pontos.

---

<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).

<sup>2</sup> *Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling Project* - *Southampton Oceanography Centre*.

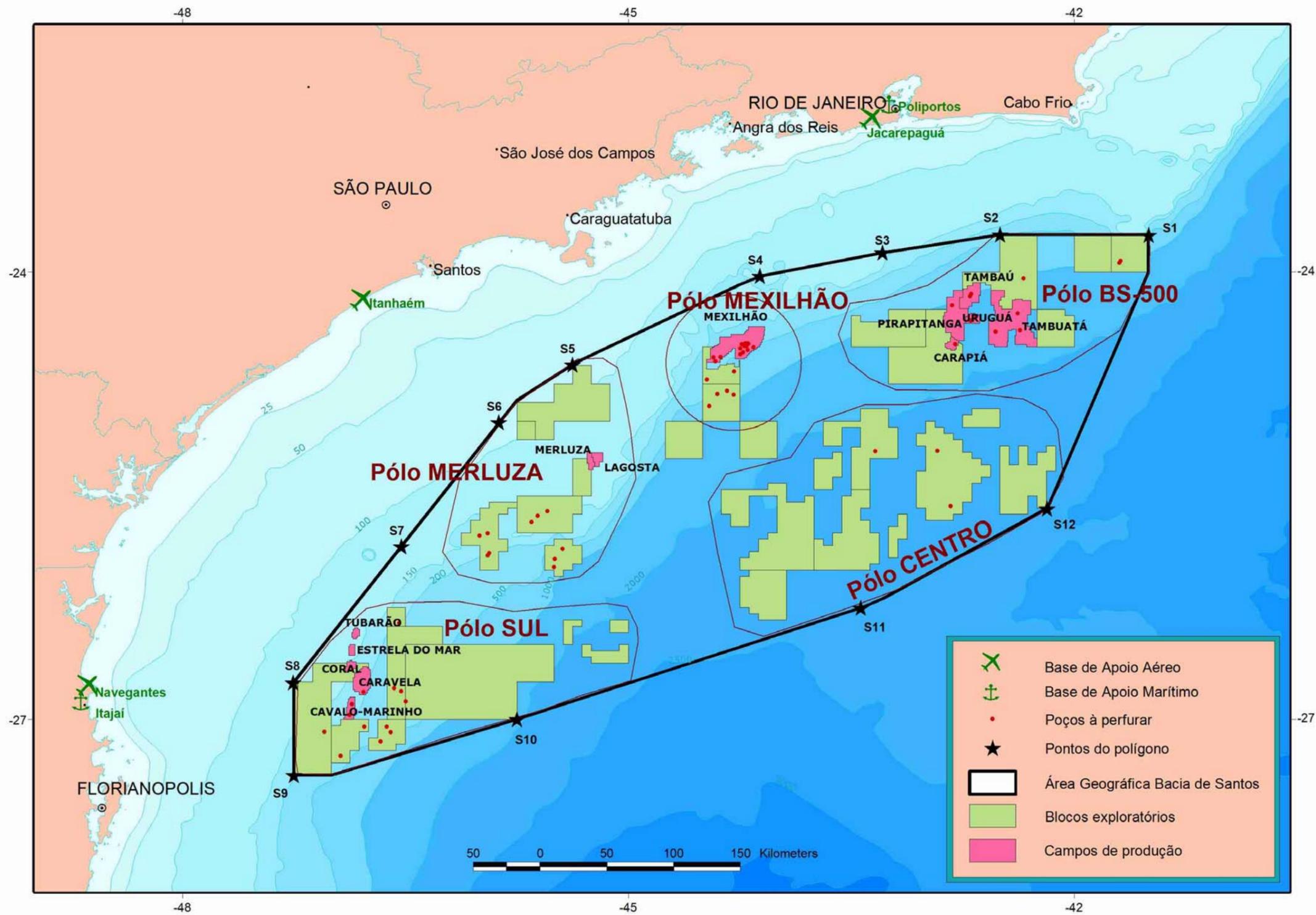
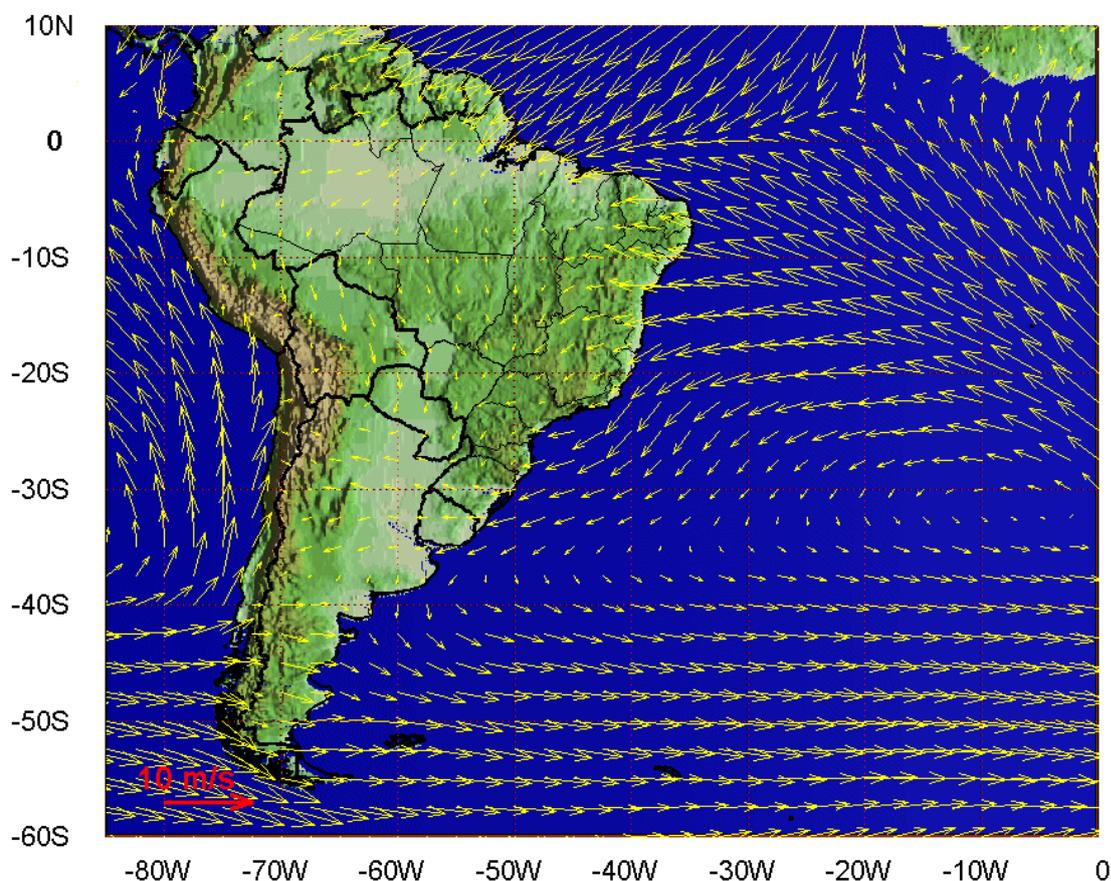


Figura I.1-1 - Localização do polígono que delimita a Área Geográfica Bacia de Santos. Fonte: PETROBRAS.

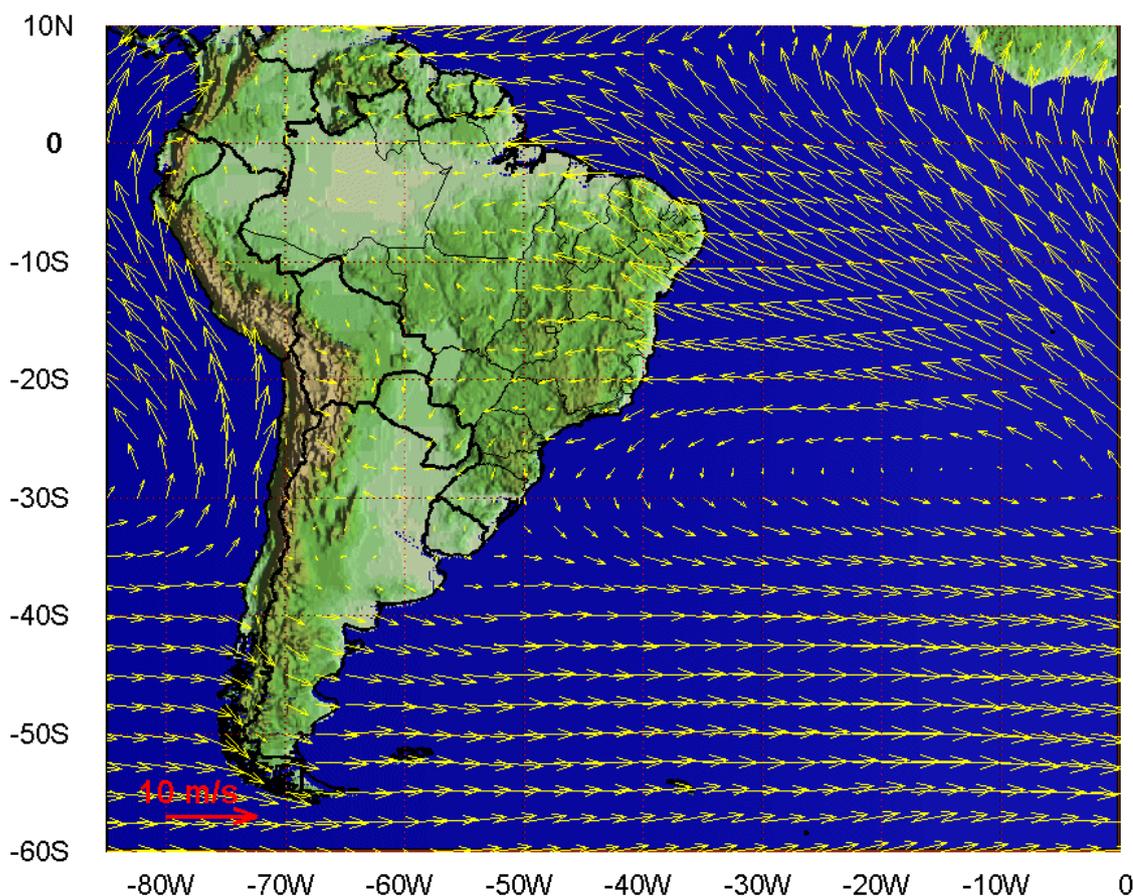
### I.1.1 Características Meteorológicas da Região

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

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



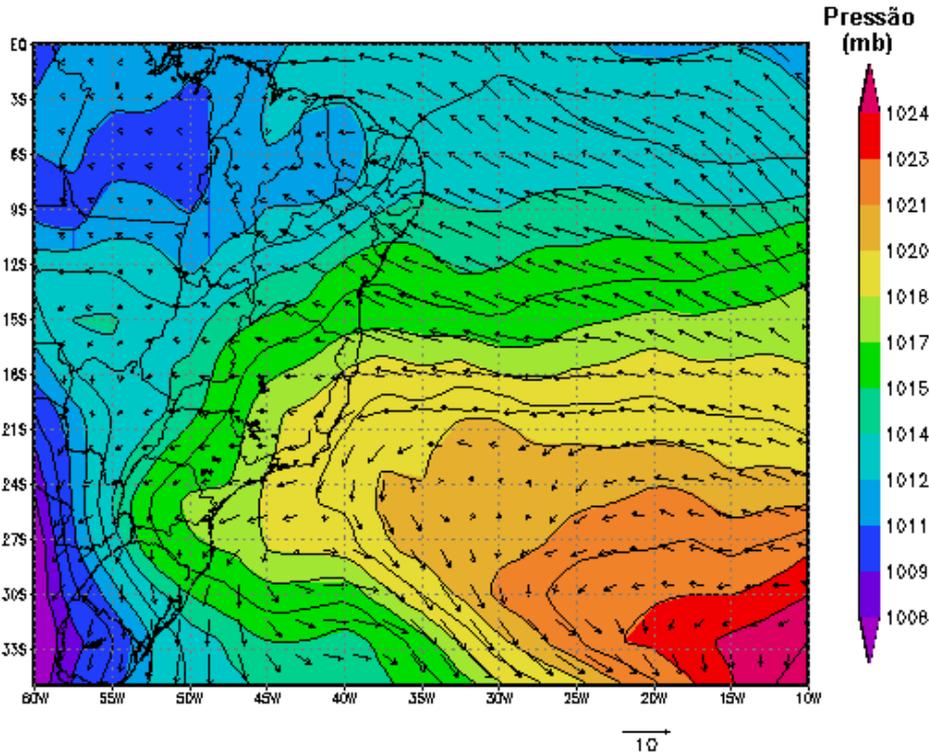
**Figura I.1.1-1** - Médias de 12 anos (1990 - 2001) do vento a 10 m no período de verão (Reanálise do NCEP).



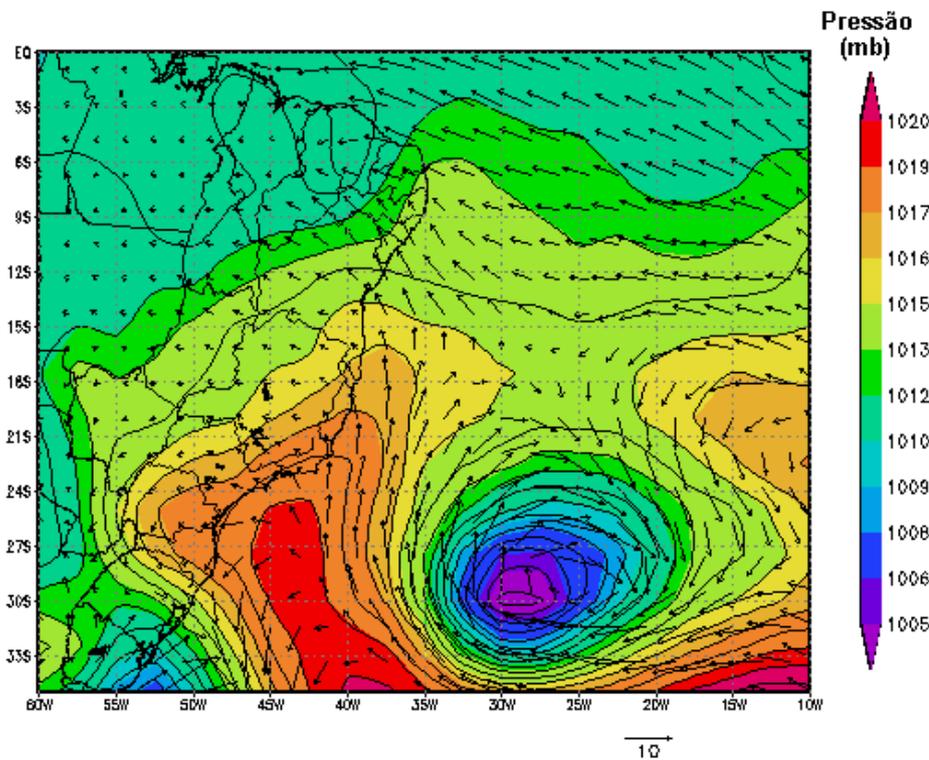
**Figura I.1.1-2** - Médias de 12 anos (1990 - 2001) do vento a 10 m no período de inverno (Reanálise do NCEP).

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

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



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



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

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

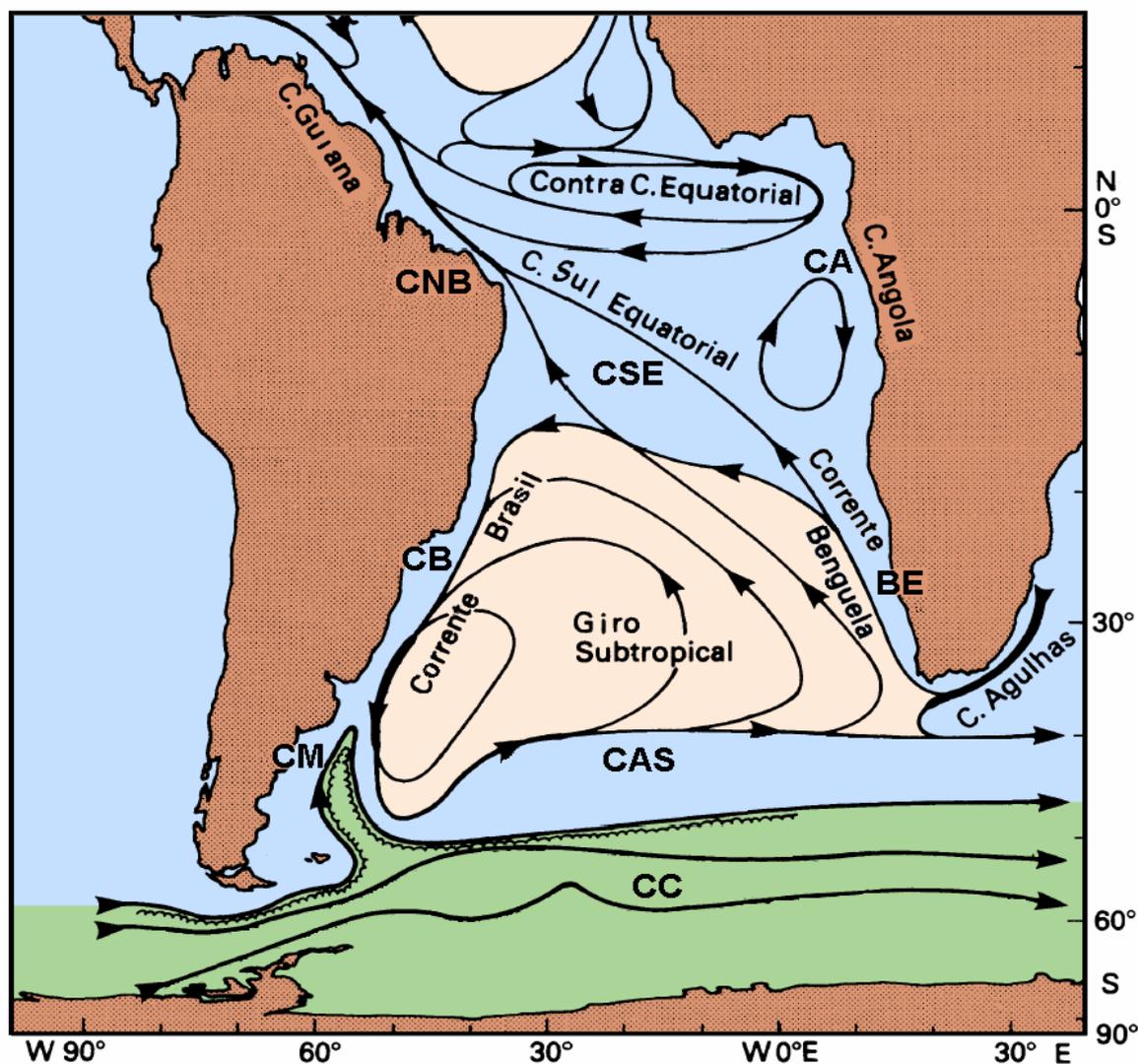
O deslocamento desses sistemas está associado ao escoamento ondulatório de grande escala. A intensificação ou dissipação dos mesmos está relacionada com as características atmosféricas sobre o continente. Algumas regiões do Brasil, tais como as Regiões Sul e Sudeste são regiões frontogenéticas, *i.e.*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

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

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

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 oceano profundo, há predomínio do sistema CB-CCI.

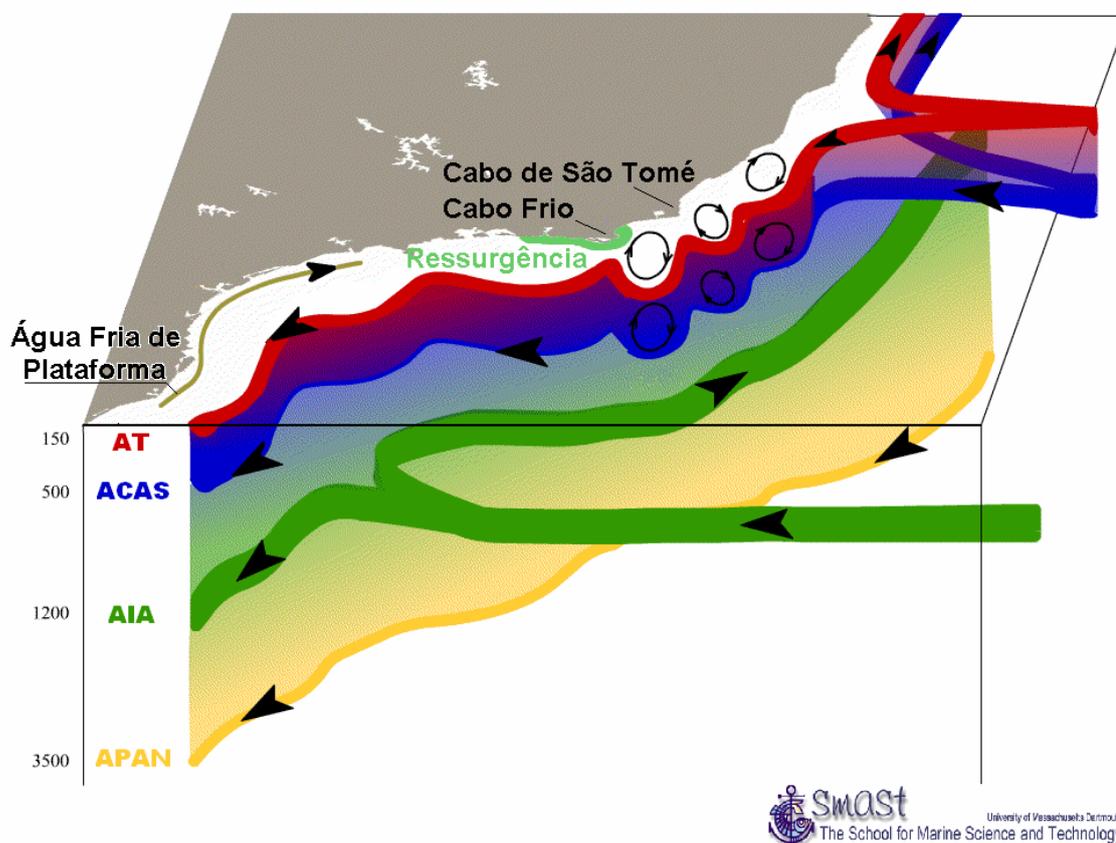
A figura I.1.2-1 ilustra o Giro Sub-Tropical do Atlântico Sul na superfície, onde a CB é a corrente de contorno oeste, que se origina na bifurcação da Corrente Sul Equatorial (CSE) e se separa da costa na região da confluência com a Corrente das Malvinas (CM).



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

As primeiras medições diretas da CB foram feitas por Evans & Signorini (1985), nas latitudes de 20°30'S e 23°S, apresentaram um fluxo confinado aos primeiros 400 m de profundidade, com uma contra-corrente no sentido norte, subjacente à CB.

A figura I.1.2-2 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).



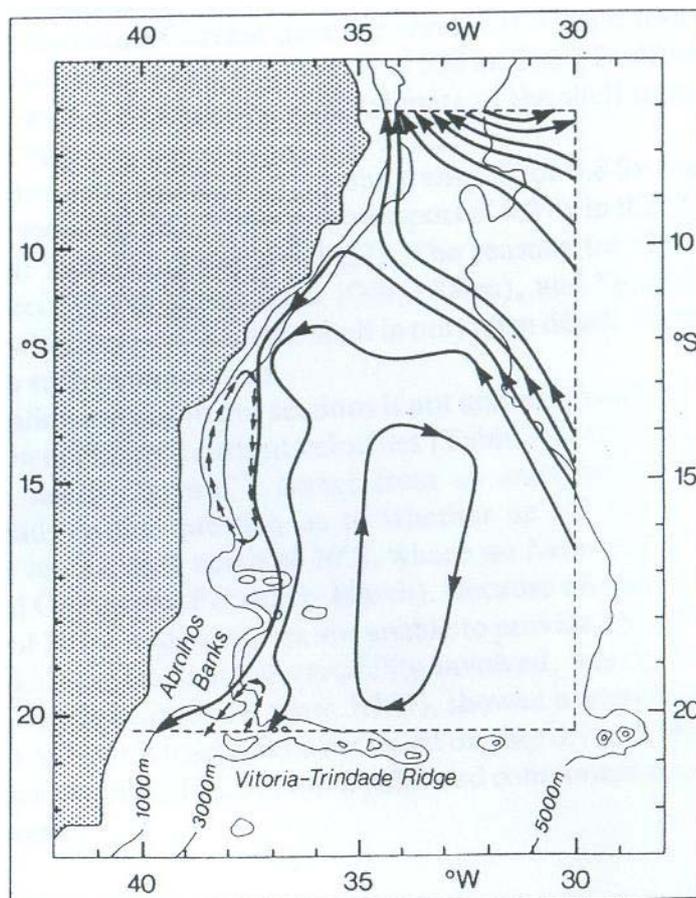
**Figura I.1.2-2** - Esquema da circulação oceânica na costa brasileira. As cores diferenciam as massas d'água existentes na região: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN).<sup>3</sup>

<sup>3</sup> <http://www.smast.umassd.edu/modeling>

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

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.1.2-2.

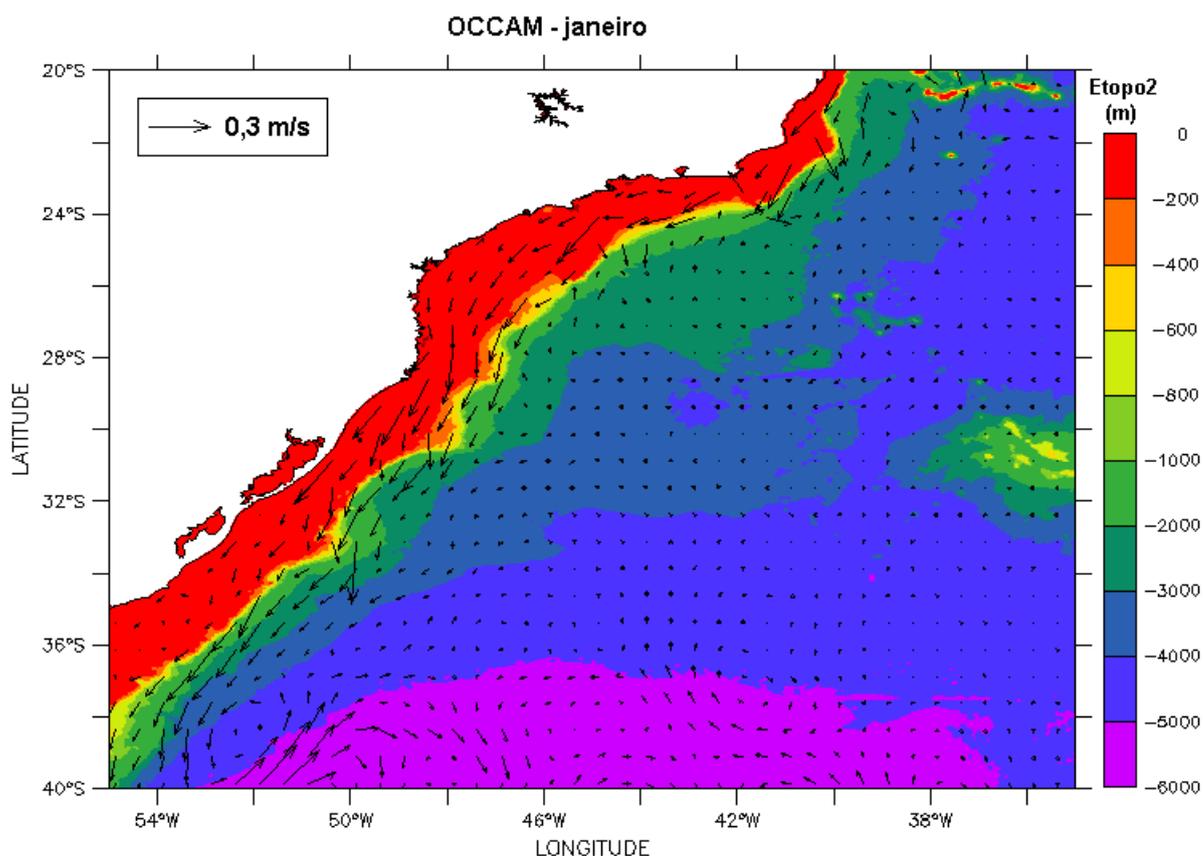
O volume estimado transportado pela CB na região da quebra da plataforma e do talude na latitude de 22°S é de  $5,5 \pm 2,6$  Sv (Lima, 1997). Algumas regiões sobre o talude continental podem apresentar velocidades de correntes maiores que 1,0 m/s (Castro & Miranda, 1998).



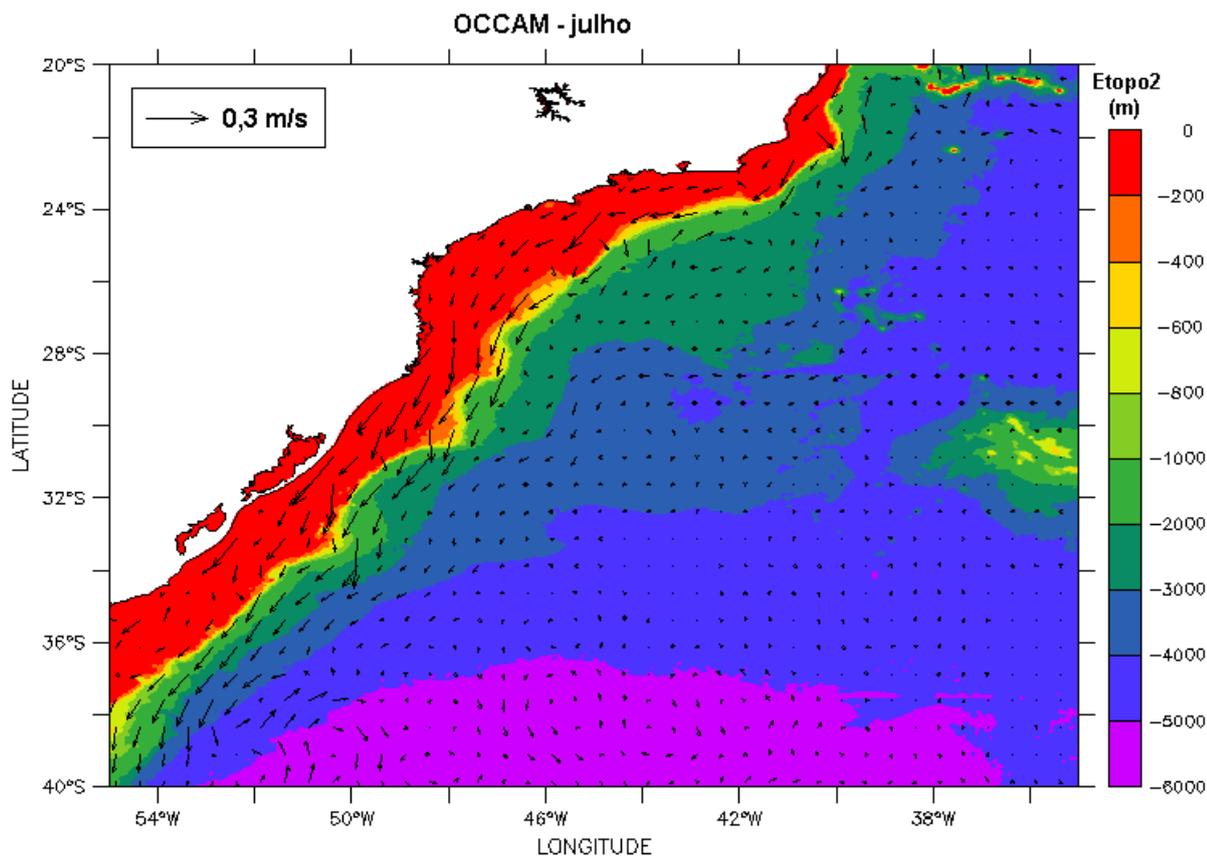
**Figura I.1.2-3** - Representação esquemática do campo de fluxo geostrofico nos primeiros 500 m, com base em dados hidrográficos históricos, coletados na região demarcada. As linhas cheias correspondem a transporte de 2 Sv e a linha tracejada de 1 Sv. (Adaptado de Stramma *et al.*, 1990).

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 grande escala no Atlântico Sul. As figuras I.1.2-4 e I.1.2-5 ilustram os campos de velocidade barotrópica para janeiro e julho, respectivamente, na região das bacias do Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas, resultantes de uma simulação de 14 anos do modelo OCCAM, disponibilizados pela Universidade de Southampton. Observa-se a presença de um fluxo bem definido para sul-sudoeste sobre a plataforma e talude continental.



**Figura I.1.2-4** - Campo de velocidade barotrópica para janeiro, resultantes de uma simulação de 14 anos do modelo OCCAM; valores batimétricos extraídos do Etopo 2.



**Figura I.1.2-5** - Campo de velocidade barotrópica para julho, resultantes de uma simulação de 14 anos do modelo OCCAM; valores batimétricos extraídos do Etopo 2.

Com relação à maré astronômica, observa-se na região da Bacia de Santos predominância das componentes semidiurnas, conforme indicam as constantes harmônicas para a estação maregráfica de Guaraú da FEMAR<sup>4</sup> (24°22,8'S e 46°59,2'W), apresentadas na tabela I.1.2-1. Observa-se que as principais componentes para a região são  $M_2$  e  $S_2$ , com amplitudes de 34,8 cm e 23,6 cm, respectivamente. A componente  $O_1$  tem amplitude de 12,8 cm e todas as demais componentes apresentam amplitude inferior a 9 cm.

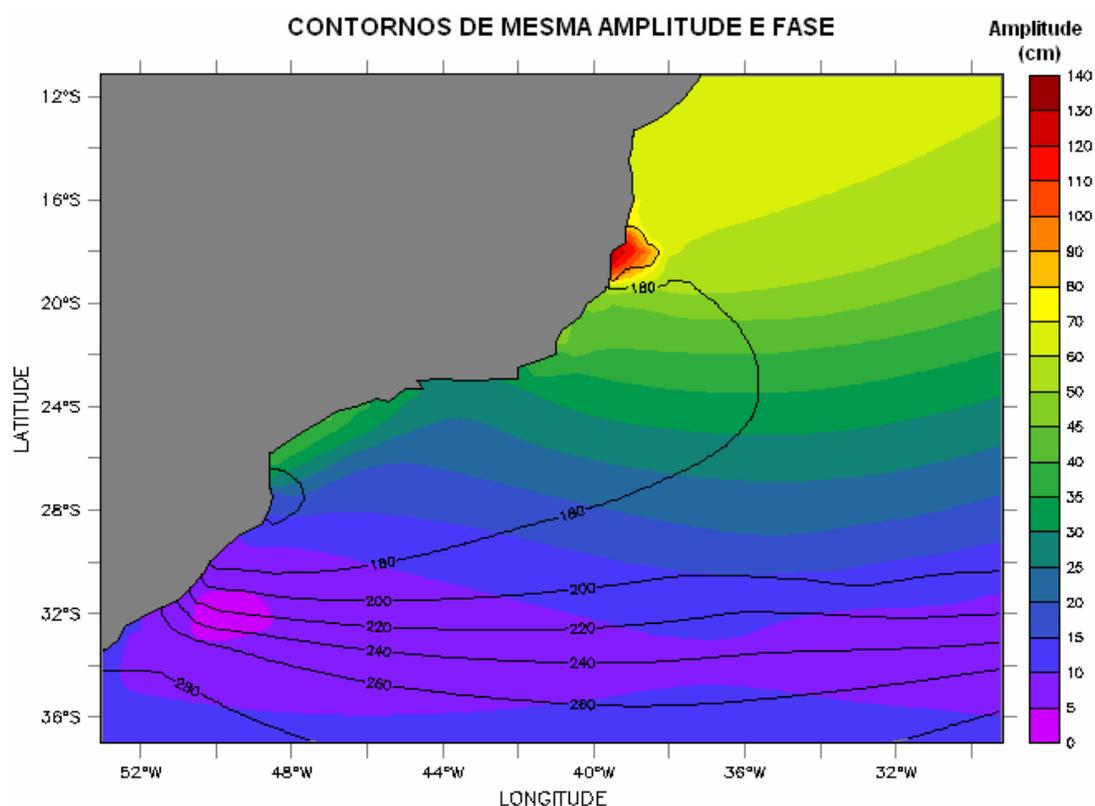
<sup>4</sup> Fundação de Estudos do Mar.

**Tabela I.1.2-1 - Amplitude (cm) e fase local (°) das principais componentes harmônicas para a estação maregráfica de Guaraú (SP). Fonte: FEMAR (2000).**

<b>Nome da Estação :</b> GUARAÚ – 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>Nº 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 BNDO: 50237

A figura I.1.2-6 apresenta o mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude de maré, para a costa brasileira, entre 12° e 36°S (CSR35). Observa-se que as regiões sul e sudeste apresentam pequena resposta a forçante astronômica da maré, fato esperado pela relativamente pequena largura da plataforma continental. Exceção feita ao Platô de Abrolhos e região interna da Bacia de Santos, onde há evidente amplificação do sinal de maré.



**Figura I.1.2-6 - Mapa cotidal de amplitude (cores) e fase (linhas) para a componente  $M_2$ .**

<sup>5</sup> Center for Space Research da Universidade do Texas obtido em [www.csr.utexas.edu](http://www.csr.utexas.edu).

## II MODELO HIDRODINÂMICO

A base hidrodinâmica aqui apresentada foi obtida a partir de resultados de um modelo numérico baseado no POM, implementado pelo grupo de modelagem da **ASA SOUTH AMERICA**. Devido à extensão da área estudada e ao fato de os resultados de qualquer modelo numérico apresentarem pouca confiabilidade junto às bordas de sua grade computacional, optou-se pela utilização de campos médios globais, provenientes do OCCAM, para complementar o campo hidrodinâmico simulado com o POM, ao sul do domínio, região da Bacia de Pelotas (entre Tramandaí e a Lagoa Mirim). As velocidades médias do OCCAM nesta região foram sobrepostas às variabilidades de alta frequência, extraídas dos resultados simulados pelo POM na porção sul da Bacia de Santos, possibilitando a obtenção de um campo de velocidades contínuo e homogêneo em toda região de interesse.

### II.1 DESCRIÇÃO DO POM

O POM foi desenvolvido por Blumberg & Mellor (1987); o código fonte é de domínio público, e disponível *on-line*<sup>6</sup>.

A formulação do 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:

---

<sup>6</sup> <http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom>.

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

onde

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

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

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

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

## II.1.1 Equações Básicas do POM

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

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

Equação da continuidade:

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

Equação de Reynolds para conservação da quantidade de movimento:

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

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

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

Conservação de Temperatura Potencial:

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

Conservação de Salinidade:

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

Equação de Estado:

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

Equação da Energia Cinética Turbulenta:

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

Equação da Turbulência em Macro Escala:

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

sendo,

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

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

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

onde

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

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

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

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

$P$  = pressão ( $N/m^2$ );

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

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

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

## II.1.2 Condições de Contorno Adotadas

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

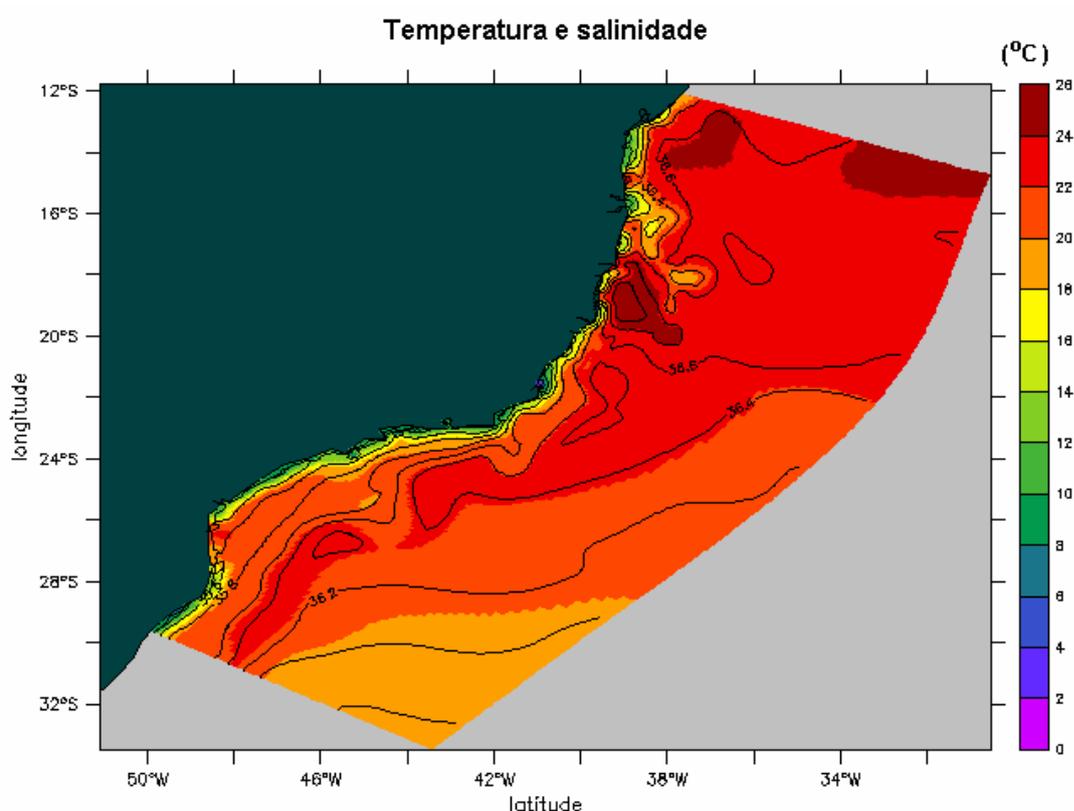
Nos contornos artificiais são aplicadas, ao modelo, condições de contorno para a definição do comportamento das propriedades modeladas nos limites oceânicos do domínio estudado. Essas condições de contorno são definidas para elevação da superfície do mar, velocidades do modo externo (2D), velocidades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

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

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

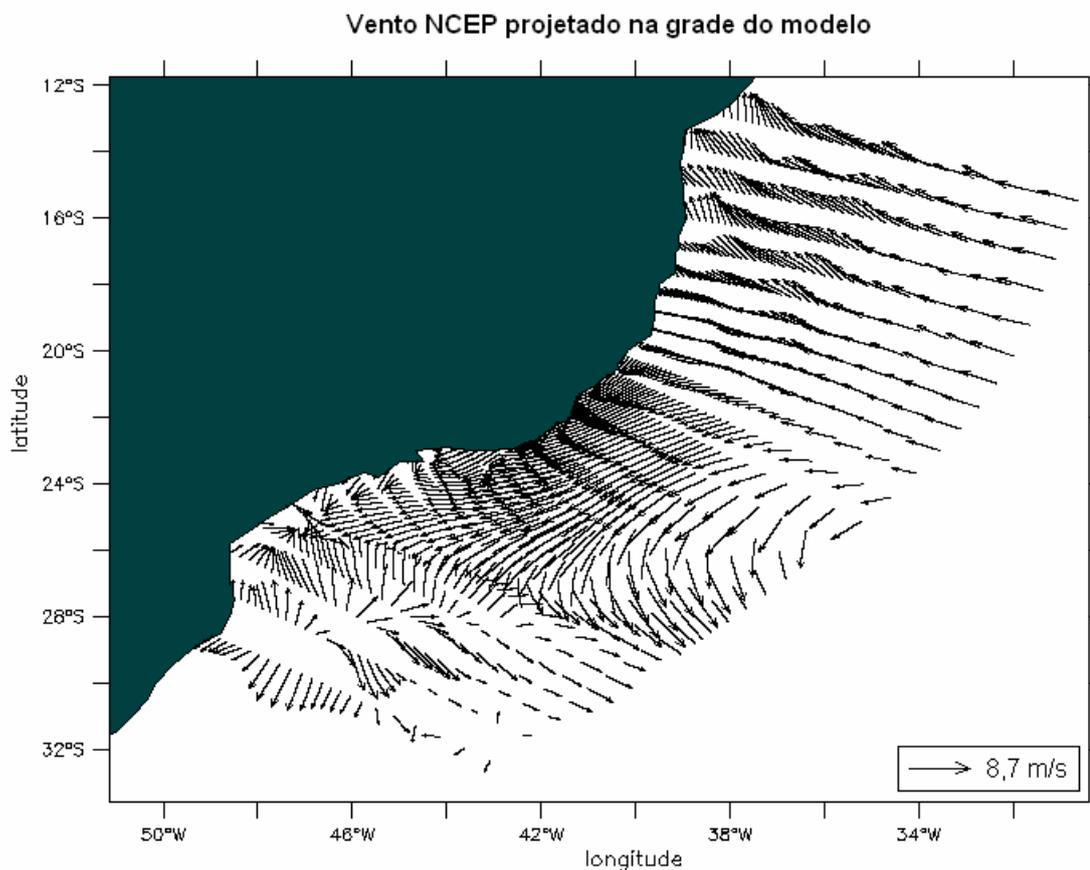
### II.1.3 Dados de Entrada

Os campos de temperatura e salinidade, utilizados para inicialização do campo baroclínico do POM foram obtidos a partir de resultados do OCCAM. A figura II.1.3-1 ilustra os campos superficiais, projetados na grade do modelo.



**Figura II.1.3-1** - Campos de temperatura e salinidade superficial, projetados na grade do modelo hidrodinâmico.

O campo de vento utilizado como forçante foi extraído das reanálises do modelo de circulação geral do NCEP tanto para as simulações de calibração quanto para a de longo período. A figura II.1.3-2 ilustra um instante deste campo de vento, já projetado na grade do modelo.

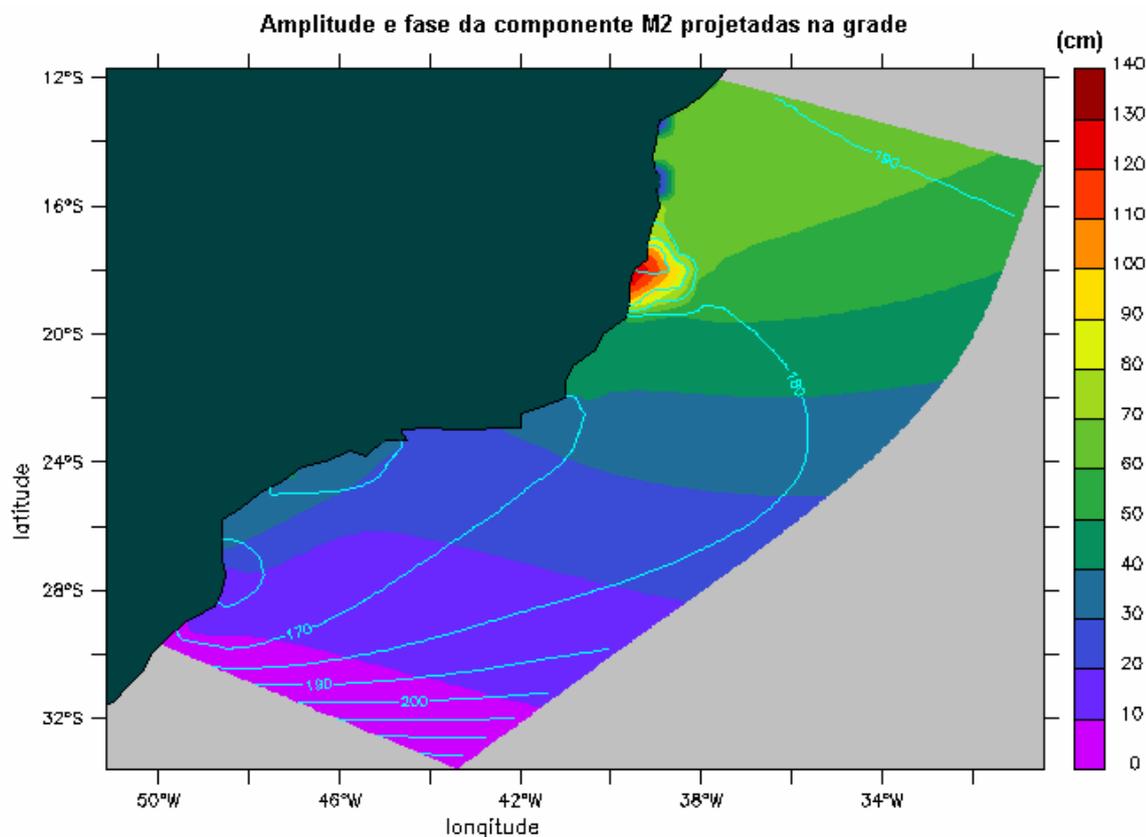


**Figura II.1.3-2** - Campo de vento NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico.

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

Foram utilizados campos com variação espacial de amplitude e fase das componentes de maré mais significativas na região, com energia superior a 10% da energia da  $M_2$ , no caso, as diurnas e semi-diurnas. A figura II.1.3-3 apresenta o

mapa cotidal da componente de maré  $M_2$ , projetado na grade do modelo hidrodinâmico.



**Figura II.1.3-3** - Mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude da componente de maré  $M_2$ , projetado na grade do modelo hidrodinâmico.

A presente implementação utiliza, ainda, nas bordas abertas, condições datadas do OCCAM para elevação, velocidade barotrópica, temperatura e salinidade.

## II.2 DESCRIÇÃO DO OCCAM

O projeto OCCAM, para desenvolvimento de modelos hidrodinâmicos globais, é conduzido por pesquisadores do Southampton Oceanography Centre, em colaboração com colegas das Universidades East Anglia e Edinburgh.

O OCCAM baseia-se no modelo oceânico de circulação geral de Bryan-Cox-Semtner (Bryan, 1969; Semtner, 1974; Cox, 1984). Este modelo utiliza

equações primitivas (Bryan, op. cit.) e se diferencia de outros modelos oceânicos pelo uso da grade B de *Arakawa* na horizontal, e coordenadas *z* na vertical. É um modelo bastante utilizado pela comunidade oceanográfica, sendo o código MOM<sup>7</sup> do GFDL<sup>8</sup> (Pacanowski *et al.*, 1990; Pacanowski, 1995), a versão mais conhecida.

Como condições de contorno, assume-se que a velocidade é zero sobre todos os contornos sólidos, assim como os gradientes de temperatura potencial e salinidade normais aos contornos sólidos (incluindo o fundo). O OCCAM inclui uma superfície livre e esquemas de advecção melhorados. Para condições de contorno superficiais, são utilizadas a tensão de cisalhamento do vento e fluxos de calor e água doce, na interface ar-mar. A pressão atmosférica também pode ser especificada.

Sobre o fundo oceânico, o modelo OCCAM assume que a força de fricção ( $F_b$ ) atua horizontalmente em função da corrente adjacente, e é dada por:

$$F_b = -0.001 u |u| \quad (II.2-1)$$

Informações gerais, incluindo um relatório técnico especificando os detalhes da principal simulação do OCCAM, podem ser acessados no endereço: <http://www.soc.soton.ac.uk/JRD/OCCAM>.

Os resultados utilizados no presente estudo, são provenientes de uma simulação cuja grade para o Oceano Atlântico Sul é regular ( $\frac{1}{4}$  de grau), com 36 níveis (variando de 20 m de espessura, próximo à superfície, a 255 m em 5.500 m de profundidade).

A simulação em questão foi inicializada com médias anuais de temperatura e salinidade do LEVITUS<sup>9</sup>, forçada na superfície com dados de vento do ECMWF<sup>10</sup> (médias mensais) e relaxada para os campos sazonais de temperatura e salinidade do LEVITUS. A batimetria foi obtida junto ao banco de dados DBDB5<sup>11</sup>.

<sup>7</sup> *Modular Ocean Model*.

<sup>8</sup> *Global Fluid Dynamics Laboratory*.

<sup>9</sup> <http://ingrid.ldgo.columbia.edu/SOURCES/.LEVITUS94>.

<sup>10</sup> *European Centre for Medium-range Weather Forecast*.

<sup>11</sup> *Digital Bathymetric Data Base 5-minute do U.S. Naval Oceanographic Office (NAVOCEANO)*.

## **II.3 DOMÍNIO CONSIDERADO**

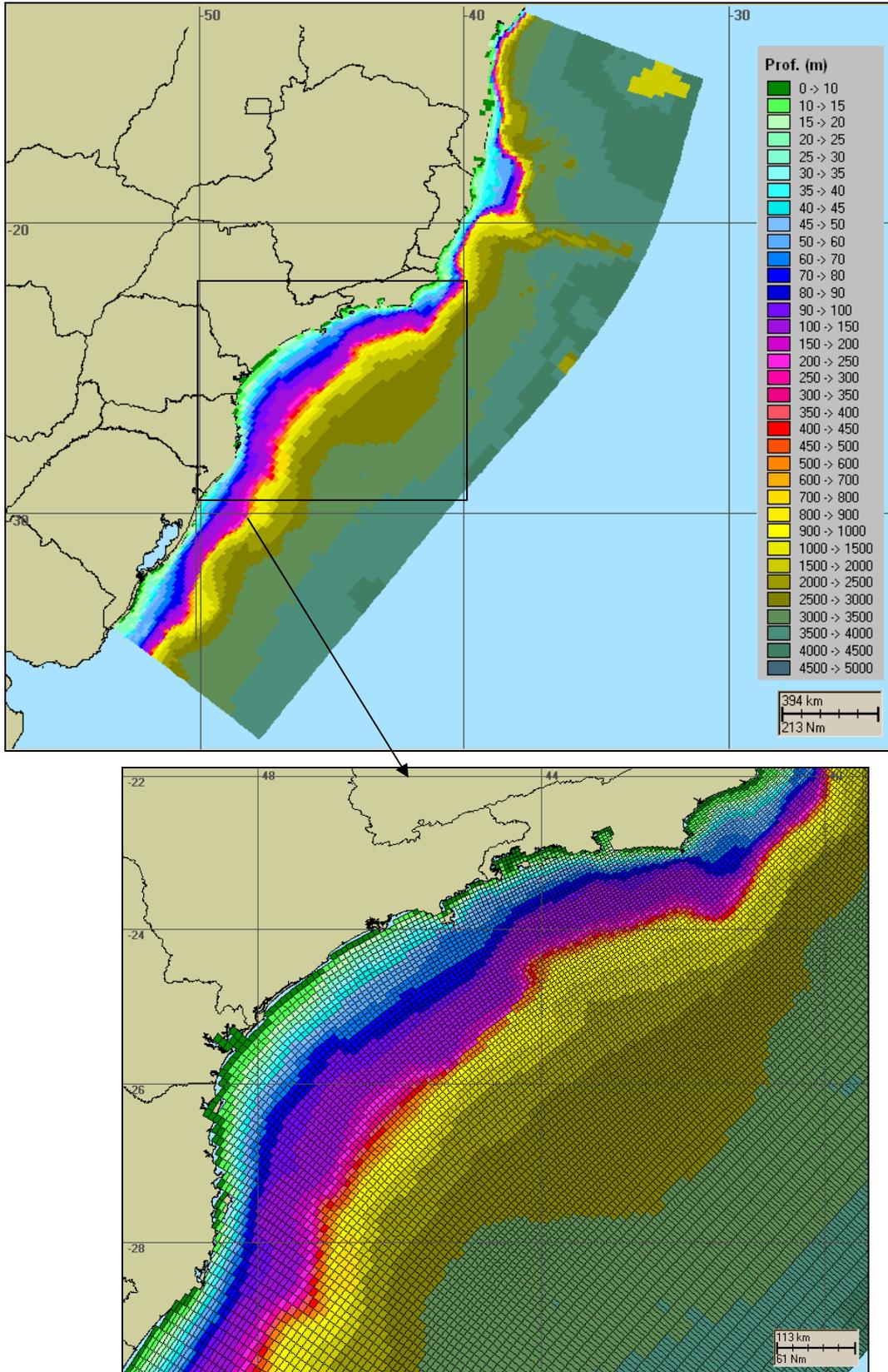
A grade geral implementada representa um compromisso entre os objetivos do projeto de modelagem final e a descrição dos processos hidrodinâmicos necessariamente definidos para a região de interesse, bem como entre os recursos computacionais e o tempo de processamento necessário. Uma grade final de meso-escala com dimensões de 100x356 pontos foi implementada sobre toda a região com resolução média máxima de 3 km na área de foco, e está ilustrada na figura II.3-1. Nessa grade foram utilizadas 20 camadas sigma para a definição da estrutura vertical da região.

Para a região da plataforma, os dados de profundidade foram obtidos através da digitalização dos valores batimétricos das cartas náuticas da DHN<sup>12</sup>, n<sup>os</sup> 70, 1.100, 1.131, 1.400, 1.420, 1.700, 1.800, 1.820 e 1.824. Para a representação topográfica da região do talude e planície abissal foi também utilizada a base de dados batimétricos extraída do ETOPO 2 obtido no NGDC<sup>13</sup>, reamostradas para um espaçamento de 10'. Visando o ajuste fino da batimetria à linha de costa e as camadas de sistemas de informações geográficas (SIG) utilizadas pelos modelos matemáticos implementados na região, foram utilizadas também informações provenientes de imagens de satélite, complementando a base de dados batimétricos da **ASA SOUTH AMERICA** na área. Os resultados finais da discretização da área e projeção da batimetria estão ilustrados na figura II.3-1.

---

<sup>12</sup> Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha.

<sup>13</sup> *National Geophysical Data Center da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).*



**Figura II.3-1** - Domínio considerado na modelagem e projeção da batimetria, com foco na região da Bacia de Santos.

### III AVALIAÇÃO DA MODELAGEM HIDRODINÂMICA

A metodologia de avaliação fundamenta-se na verificação da capacidade do modelo em reproduzir a circulação na região de estudo. Neste relatório são apresentadas comparações entre dados e resultados do modelo hidrodinâmico em pontos sobre a plataforma continental, onde predominam os sinais de maré e vento e no talude, área com maior presença de variabilidade de grande escala, relacionada à presença da Corrente do Brasil.

A comparação entre os resultados do modelo e as séries utilizadas (dados) 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. 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;

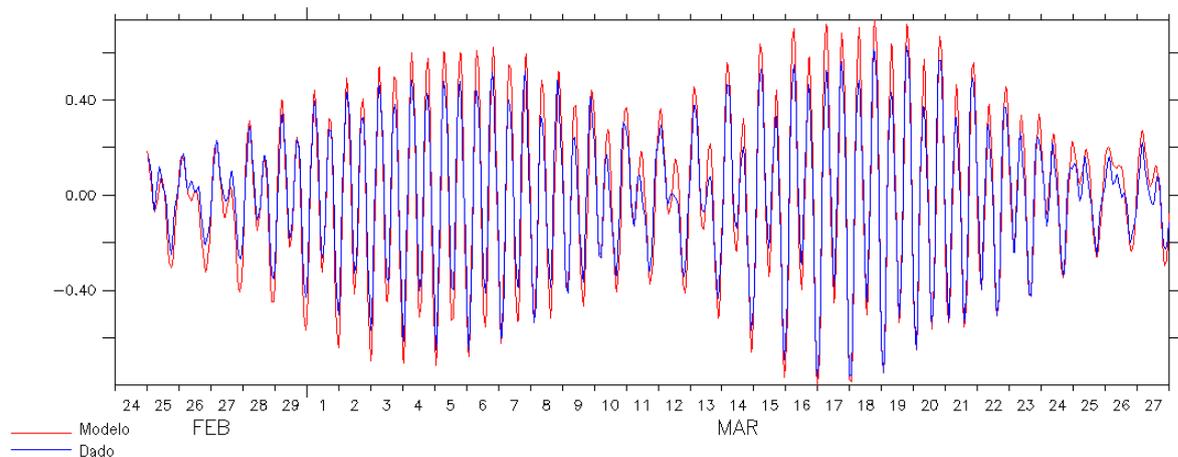
$P$  = previsão;

$O$  = observação.

#### III.1.1 Avaliação da Maré

Para a avaliação da maré, foi produzida uma previsão a partir da tabela de constantes harmônicas da FEMAR para o ponto Enchova II, nas coordenadas 22°42,0'S e 40°50,2'W.

A figura III.1.1-1 mostra uma comparação entre o resultado do processamento da variável elevação calculada pelo modelo (vermelho) com a série temporal da previsão (azul). Para ambas às séries foi selecionado um período de 30 dias, compreendido entre os dias 24 de fevereiro a 27 de março de 1992. Observa-se, nesta figura, boa concordância, tanto na amplitude quanto na fase, entre os resultados obtidos com o modelo e a previsão de maré. O coeficiente de comparação obtido para este período foi de 7,8%.



**Figura III.1.1-1** - Série temporal da previsão de maré (azul) e a elevação calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 24 de fevereiro a 27 de março de 1992.

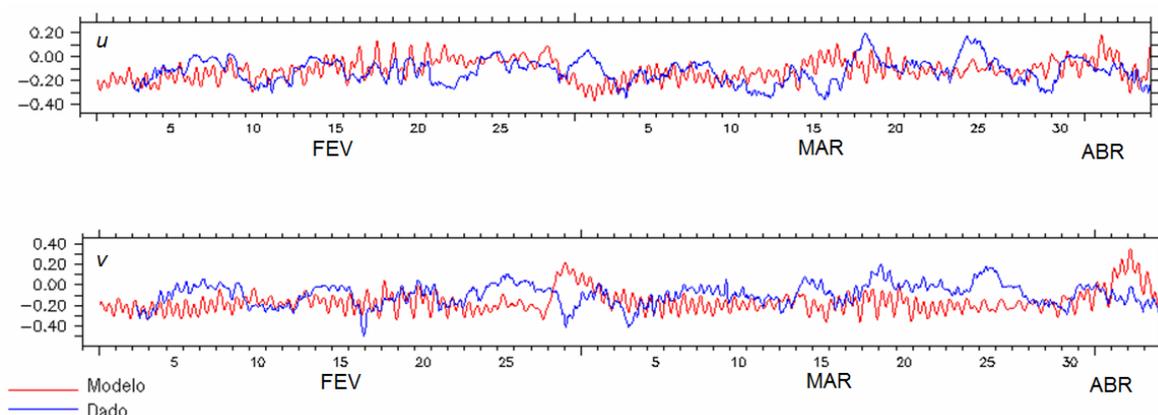
### III.1.2 Avaliação das Correntes

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

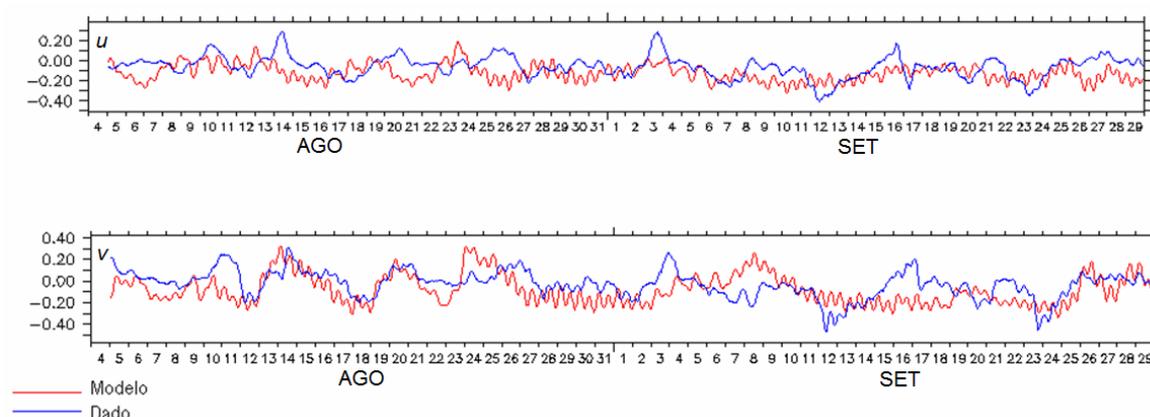
1. Ponto PC (PETROBRAS) - medições de superfície em região de plataforma continental (lâmina d'água igual a 15 m e coordenadas 22,7167°S; 41,2667°W), e
2. BM333 (WOCE<sup>14</sup>) - medições em sub-superfície (230 m) em região de talude (lâmina d'água igual a 1180 m e coordenadas 27,9020°S; 46,7040°W).

<sup>14</sup> World Ocean Circulation Experiment

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

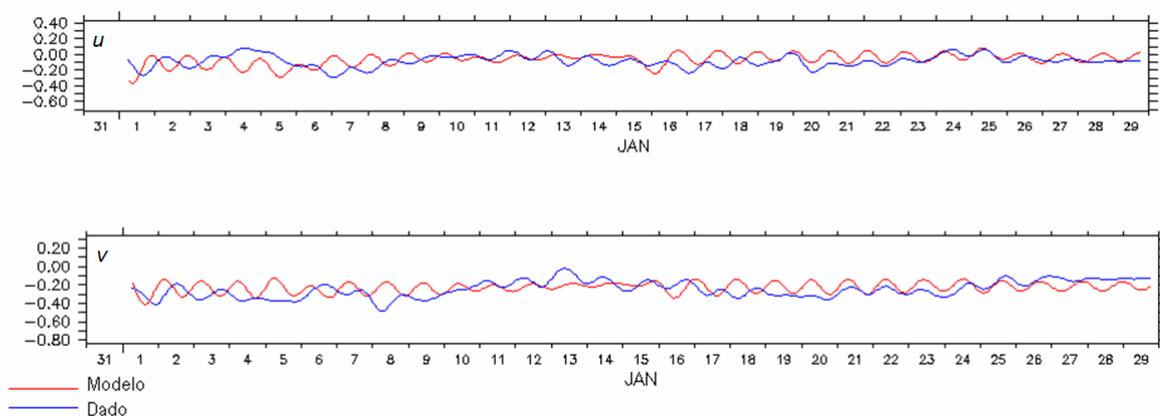


**Figura III.1.2-1** - Série temporal medida das componentes  $u$  e  $v$  da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1º de fevereiro e 15 de abril de 1992 para o ponto PC.

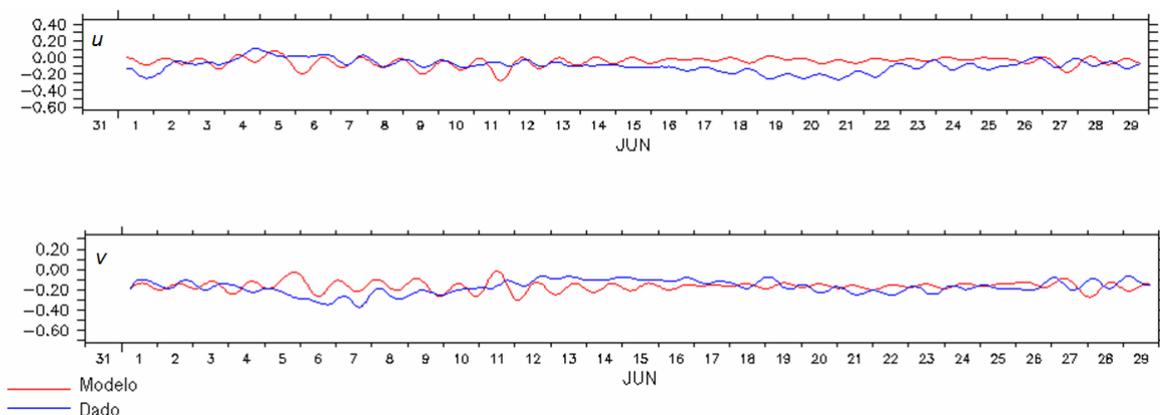


**Figura III.1.2-2** - Série temporal medida das componentes  $u$  e  $v$  da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 5 de agosto a 29 de setembro de 1992 para o ponto PC.

As figuras III.3.2-3 e III.3.2-4 apresentam para o ponto BM333 as comparações, utilizando o método do coeficiente de comparação, entre os resultados do processamento para as componentes  $u$  (E-W) e  $v$  (N-S) calculadas pelo modelo (vermelho) e medidas (azul), utilizando os períodos de 1<sup>o</sup> a 30 de janeiro de 1992 e 1<sup>o</sup> a 30 de junho de 1992, representativos dos períodos de verão e inverno, respectivamente. O coeficiente de comparação obtido na comparação para o período de verão foi de 19% para componente  $u$  e de 15% para a componente  $v$ . Na comparação para o período de inverno, o coeficiente de comparação obtido foi de 19% para componente  $u$  e de 21% para a componente  $v$ .



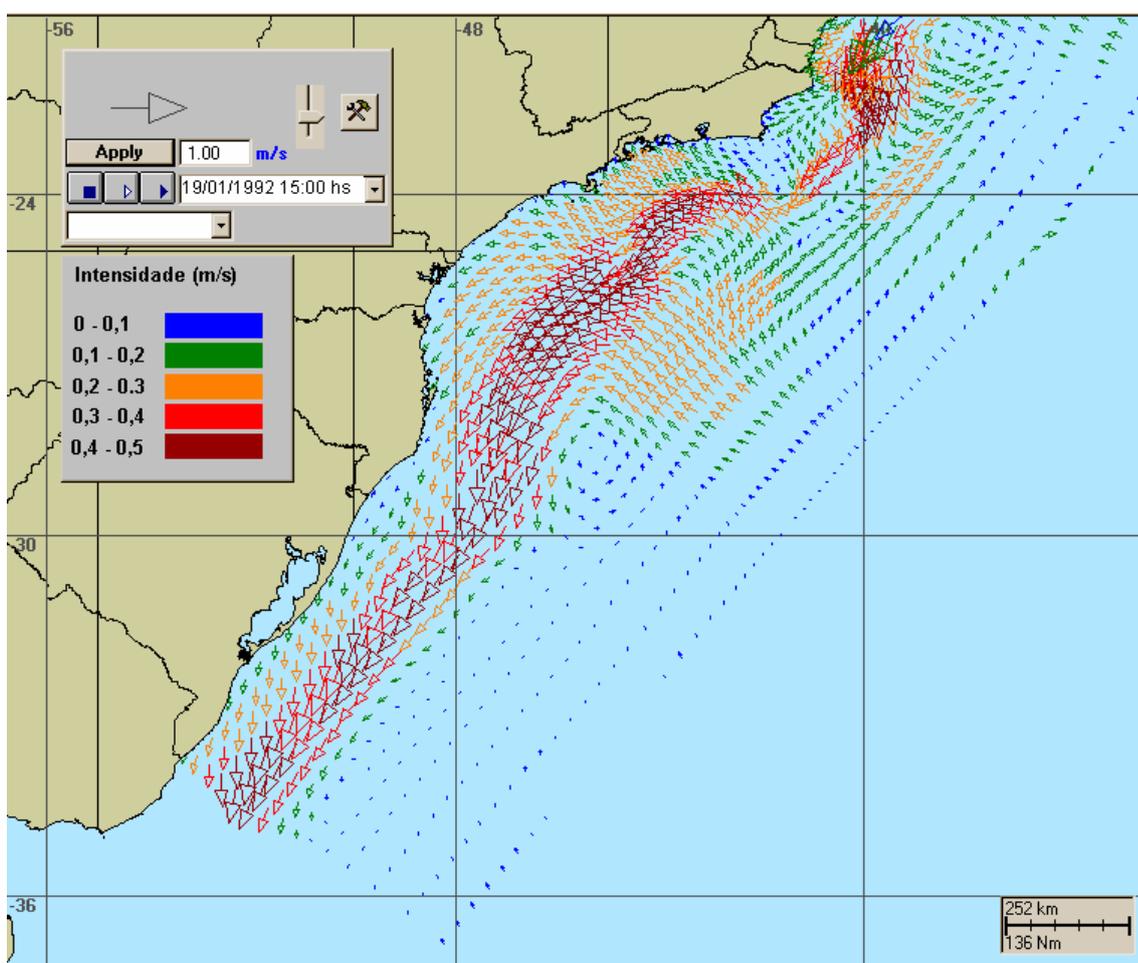
**Figura III.1.2-3** - Série temporal medida das componentes  $u$  e  $v$  da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1<sup>o</sup> e 30 de janeiro de 1992 para o ponto BM333.



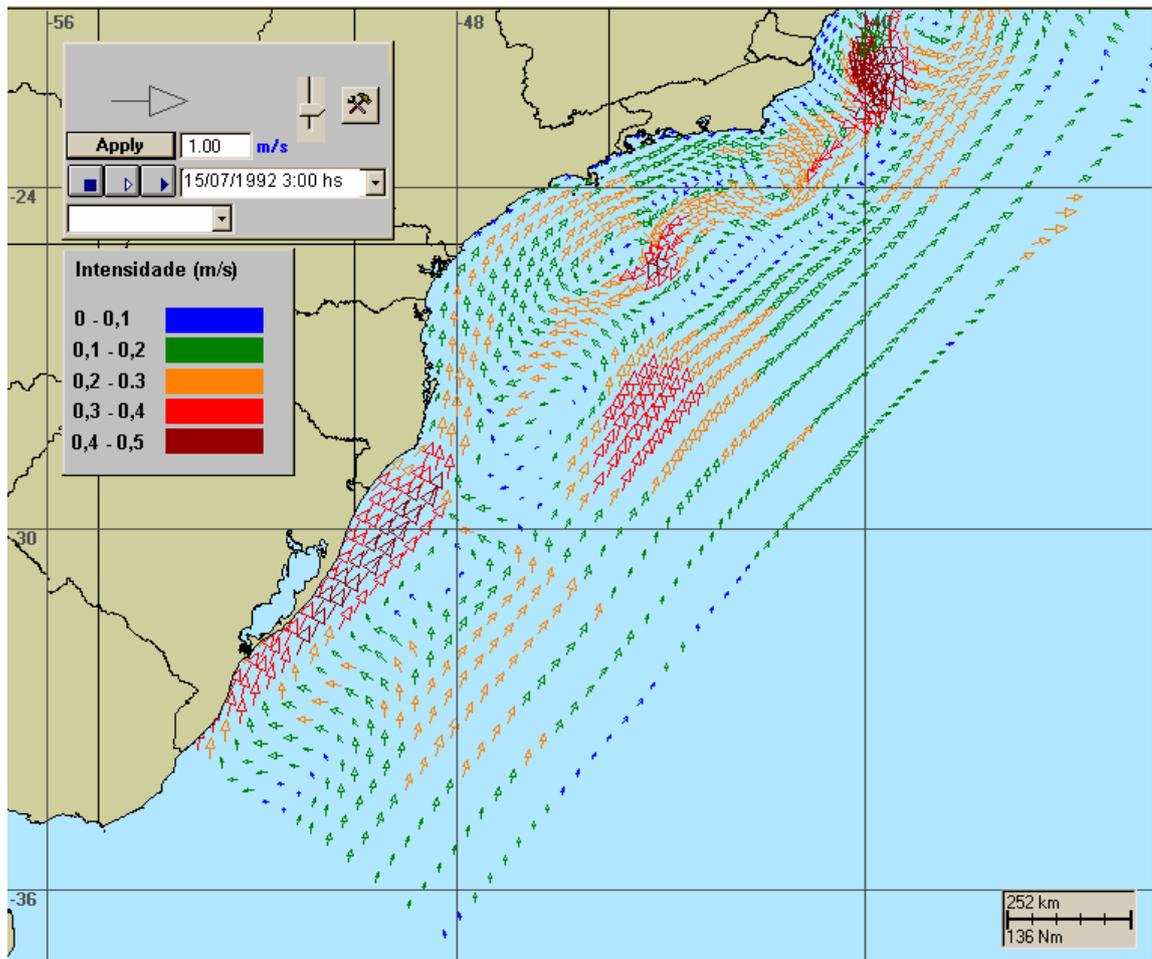
**Figura III.1.2-4** - Série temporal medida das componentes  $u$  e  $v$  da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1<sup>o</sup> a 30 de junho de 1992 para o ponto BM333.

### III.2 COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE A MODELAGEM HIDRODINÂMICA

A base hidrodinâmica aqui apresentada foi obtida a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no POM, adaptado e implementado pela **ASA SOUTH AMERICA**. Este modelo é tridimensional, baroclínico e prognóstico, estabilizado para variabilidades médias (climatológicas) nos campos de temperatura e salinidade. Na região da Bacia de Pelotas (não contida no domínio do POM), o campo foi complementado com base em resultados médios do OCCAM, somados às variabilidades de alta frequência simuladas pelo POM na porção sul da Bacia de Santos. As figuras III.2-1 e III.2-2 apresentam instantâneos dos campos de superfície no verão e inverno, respectivamente.



**Figura III.2-1** - Instantâneo do campo de correntes de superfície, obtido a partir de resultados do POM, complementados por resultados do OCCAM, na região da Bacia de Pelotas – verão.



**Figura III.2-2** - Instantâneo do campo de correntes de superfície, obtido a partir de resultados do POM, complementados por resultados do OCCAM, na região da Baía de Pelotas – inverno.

A figura III.2-1, ilustra o padrão de correntes obtido em situação de bom tempo (sob influência da AAS), mais comum no verão: um fluxo bem definido para sul-sudoeste sobre a plataforma e talude continental. A figura III.2-2, ilustra o padrão de correntes perturbado pelo deslocamento de um sistema frontal, mais frequentes no inverno; nestas ocasiões, o campo de correntes inverte sobre a plataforma, apresentando direção norte-nordeste.

Os resultados da caracterização ambiental física e numérica apresentados, são decorrentes de um processo evolutivo de estudo, baseado em modelos numéricos na região das bacias de Campos e Santos. A validação desse modelo, simultaneamente sobre região costeira e oceânica, é indicação de que se atingiu bons níveis de representação teórica (matemática) do padrão de circulação na costa leste do Brasil.

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. No entanto, é recomendável manter margens de segurança suficientes na análise dos resultados.

## **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 (*trajectory and fates*) de qualquer tipo de óleo derramado em acidentes com petróleo.

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

### **IV.1 MODELO OILMAP**

O OILMAP foi projetado em uma configuração modular de forma que diferentes tipos de modelos, bem como um conjunto de ferramentas sofisticadas de dados ambientais, podem ser acoplados dependendo do problema e da situação em estudo. Através de sua interface gráfica, o OILMAP permite ao usuário a especificação dos cenários; animação das trajetórias, correntes e vento; importar e exportar dados ambientais; a definição da grade computacional para qualquer área dentro do domínio; gerar correntes médias ou de maré; incluir ou editar as características dos óleos registrados no banco de dados; apresentar dados contidos em objetos georreferenciados (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 (*trajectory and fates*) para óleo de superfície e subsuperfície, um

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

Para elaboração de cenários de deriva para acidentes com petróleo deve ser definido um conjunto de duas grades computacionais, sobrepostas ao mapa digital da área de estudo. Uma das grades, compreendendo apenas a região de água, define o campo de circulação, podendo neste caso ser baseada em resultados de um modelo hidrodinâmico implementado na região de estudo. A outra grade (*land-water*) define quais as células ou blocos correspondem à área de terra e quais à área de água, com a interface definida pela linha de costa. A linha de costa é representada por uma série de blocos que limita a extensão em que a mancha de óleo pode se movimentar em uma determinada direção, dependendo do tipo de costa (e.g. manguezais, costões rochosos, praias).

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

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

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

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

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

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

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

### IV.1.1 Formulação do Modelo

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

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

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

onde

$\Delta t$  = 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:

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

onde

$\vec{U}_w$  = componente da velocidade devido ao vento e às ondas (m/s);

$\vec{U}_t$  = componente da velocidade devido às correntes de maré (m/s);

$\vec{U}_r$  = componente da velocidade devido ao fluxo residual (m/s);

$\vec{U}_e$  = componente da velocidade devido ao fluxo de Ekman (m/s);

$\vec{U}_p$  = componente da velocidade devido ao *blowout* (m/s);

$\alpha$  = 0 para derrame de superfície, 1 para sub-superfície;

$\beta$  = 0 para derrame sem *blowout*, 1 para *blowout*.

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

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

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

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

onde

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

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

$C_1$  = fator de deriva (%).

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

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

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

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

onde

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

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

$\theta$  = 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:

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

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

onde

$D_x$  = coeficiente de dispersão horizontal na direção Leste-Oeste ( $\text{m}^2/\text{s}$ );

$D_y$  = coeficiente de dispersão horizontal na direção Norte-Sul ( $\text{m}^2/\text{s}$ );

$\Delta t$  = 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 a mancha. A taxa de mudança da área superficial para o espalhamento da mancha espessa (Mackay *et al.*, 1980a),  $\bar{A}_{tk}$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ), é definido por:

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

onde

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

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

$V_m$  = volume da superfície da mancha ( $\text{m}^3$ );

$t$  = tempo (s).

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

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

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

onde

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

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

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

$R_s$  = raio de uma partícula (m);

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

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

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

onde

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

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

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

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

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

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

onde

$T_0$  = ponto de ebulição inicial (K);

$T_G$  = gradiente da curva de destilação modificada;

$T$  = temperatura do ambiente (K);

$A, B$  = constantes adimensionais;

$\theta$  = exposição à evaporação.

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

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

onde

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

$A$  = área da mancha (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:

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

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

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

onde

$P$  = pressão do vapor do óleo (atm);

$V$  = volume do óleo ( $\text{m}^3$ );

$R$  = constante universal dos gases;

$T$  = temperatura ambiente (K).

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

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

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

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

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

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

onde

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

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

$S$  = fração da superfície do mar coberta pelo óleo;

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

$d$  = diâmetro da partícula de óleo (m);

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

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

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

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:

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

onde

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

$\mu$  = 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:

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

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

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

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

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:

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

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:

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

onde

$A$  = área superficial da mancha ( $\text{m}^2$ );

$dt$  = passo de tempo (s);

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

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

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

onde

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

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

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

onde

$d_i$  = diâmetro da gotícula (m);

$g$  = constante gravitacional ( $\text{m/s}^2$ );

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

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

$\nu_w$  = viscosidade da água ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).

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

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

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

onde

$D_v$  = coeficiente de dispersão vertical ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).

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

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

onde

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

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

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

onde

$dt$  = passo de tempo (s).

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

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

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

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

onde

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

$C_1$  = constante empírica ( $2 \times 10^{-6}$  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:

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

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:

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

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:

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

onde

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

$A_s$  = área de uma partícula na superfície.

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

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

onde

$i$  = parâmetro do tipo de costa;

$\rho_0$  = 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

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

onde

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

$t$  = tempo (dias);

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

## IV.2 DADOS DE ENTRADA

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

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

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

## **V MODELAGEM DE DERIVA DE ÓLEO PARA UM POTENCIAL ACIDENTE NA ÁREA GEOGRÁFICA BACIA DE SANTOS**

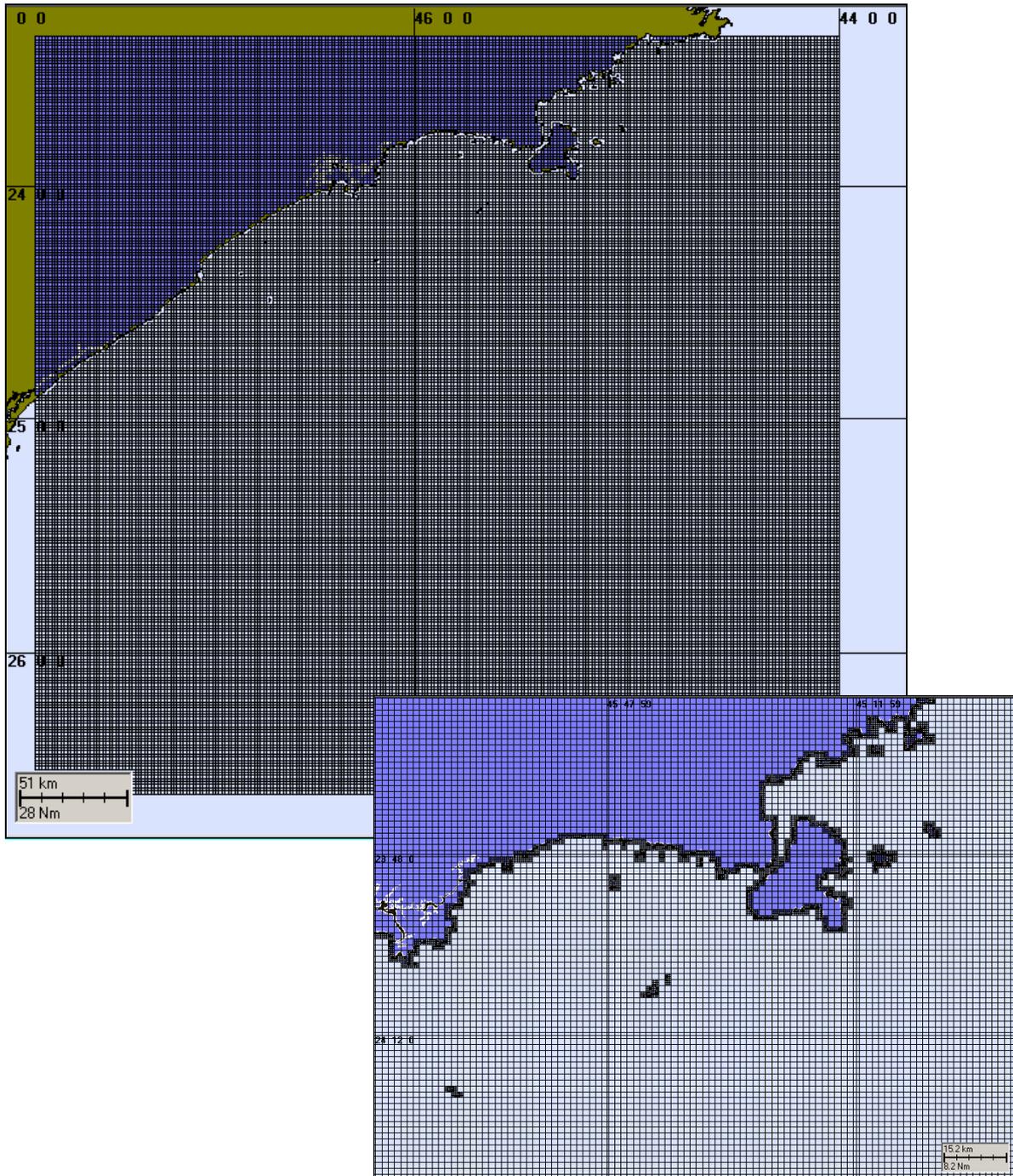
As simulações de deriva de óleo, nos 12 pontos de modelagem da Área Geográfica Bacia de Santos, utilizaram a mesma base hidrodinâmica e a mesma grade *land-water*, descrita a seguir, no modelo OILMAP.

A partir das informações disponíveis sobre os poços existentes na região, e de acordo com a hipótese acidental de pior caso descrita na Resolução CONAMA nº 293/01 (Brasil, 2001), para cada um dos pontos foram selecionados os volumes a serem derramados ao longo de 30 dias.

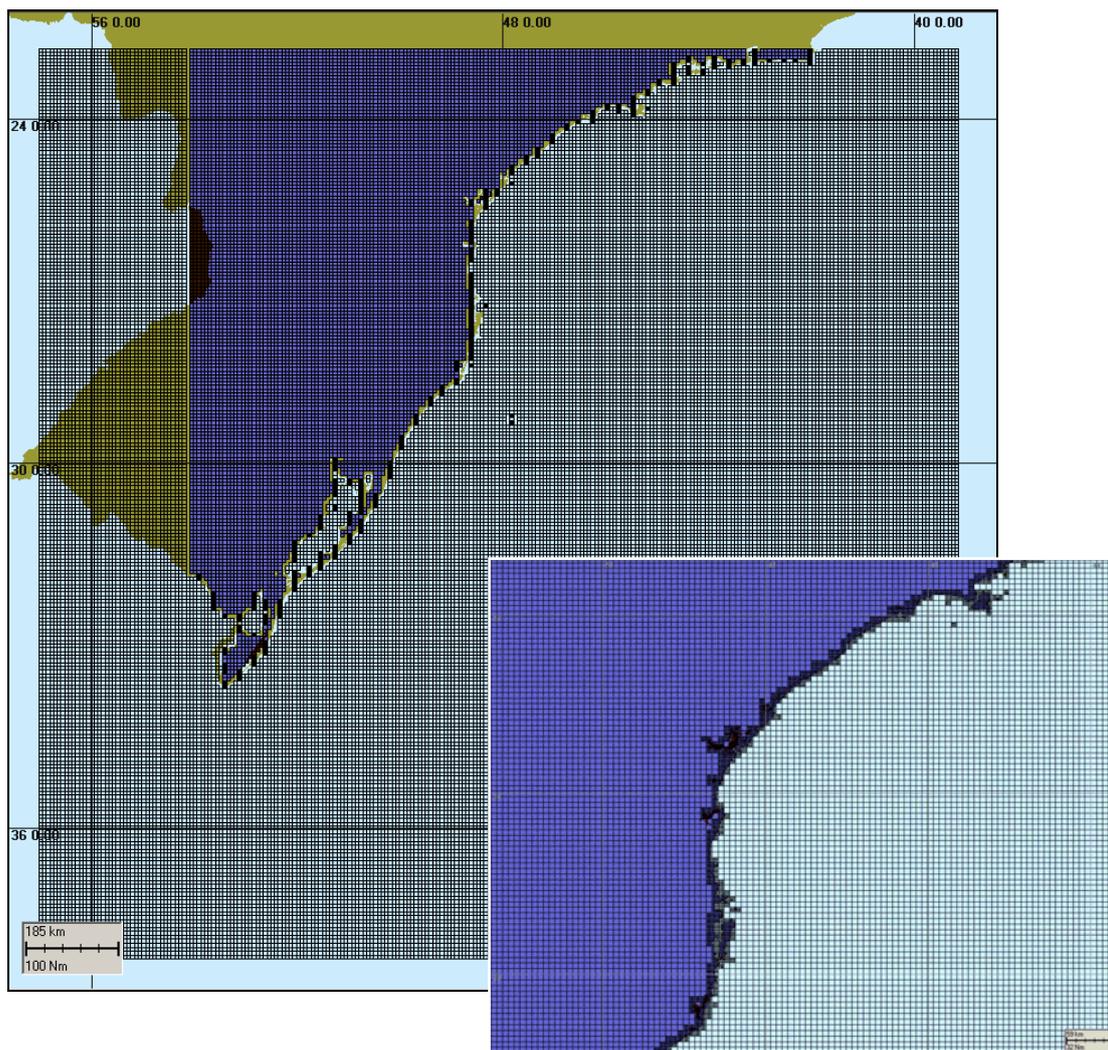
Dentre os diversos óleos que ocorrem na Área Geográfica Bacia de Santos, foram selecionados os óleos correspondentes aos extremos de densidade com ocorrência em cada uma das sub-regiões da bacia. Ao final desta seleção verificou-se que apenas para a sub-região BS-500 seria necessário realizar simulações com dois tipos de óleo, uma vez que nas demais sub-regiões da Área Geográfica Bacia de Santos ocorrem óleos leves e com características semelhantes.

### **V.1 DADOS DE ENTRADA**

Para a elaboração dos cenários de deriva para acidentes com petróleo na Área Geográfica Bacia de Santos, foram definidas duas grades *land-water* com dimensões de 250x250 pontos (figuras V.1-1 a V.1-3). Devido à necessidade de utilizar passos de tempo menores nas simulações com o condensado (óleo tipo MLZ-3D), que evapora muito rápido e possui menor área de influência, nestas simulações foi utilizada uma grade *land-water* menor, mas com maior resolução (figura V.1-1). Em todas as outras simulações foi utilizada a grade apresentada na figura V.1-2, que engloba toda a extensão das manchas.



**Figura V.1-1** - Grade definindo os contornos de terra (grade land-water) para a modelagem de deriva de óleo MLZ-3D na Área Geográfica Bacia de Santos.



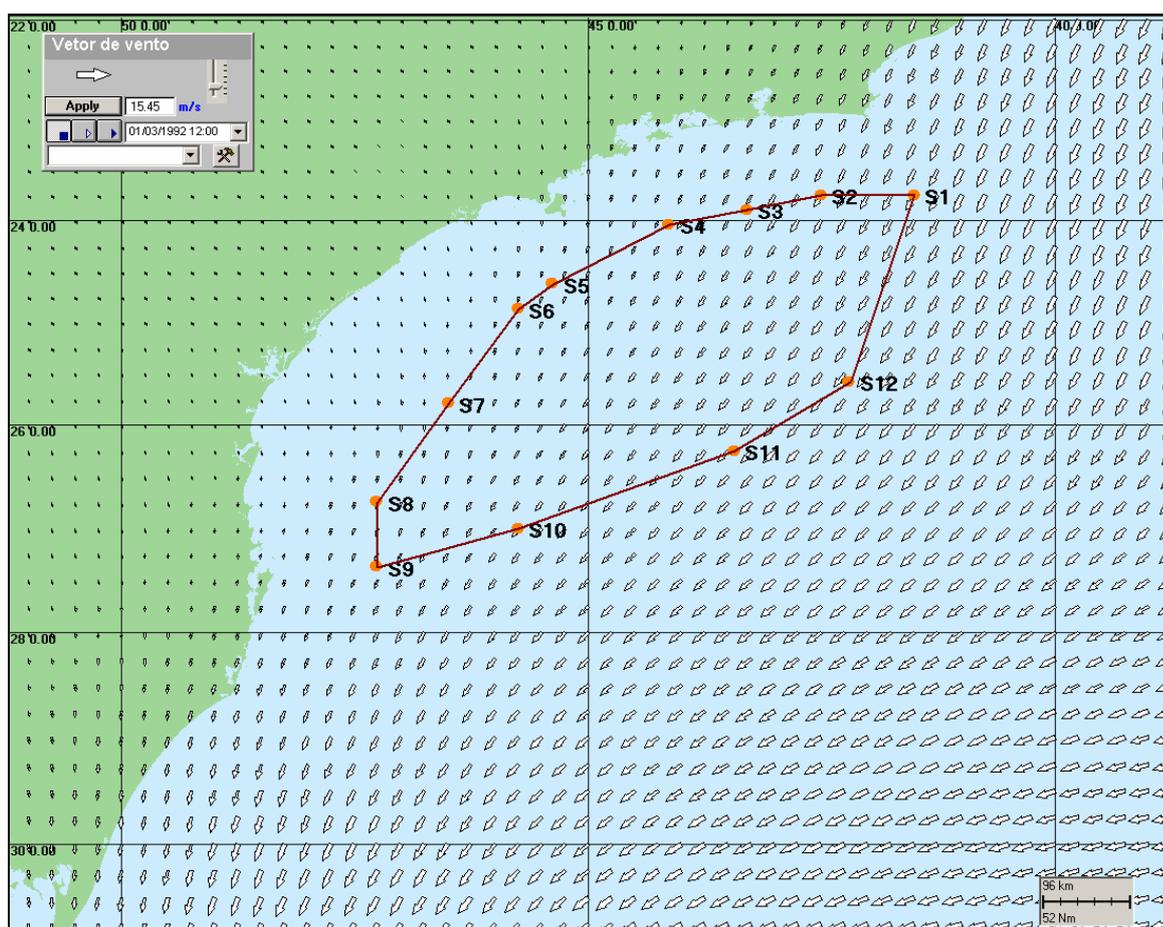
**Figura V.1-2** - Grade definindo os contornos de terra (grade land-water) para a modelagem de deriva de óleo na Área Geográfica Bacia de Santos.

### V.1.1 Campo de Correntes

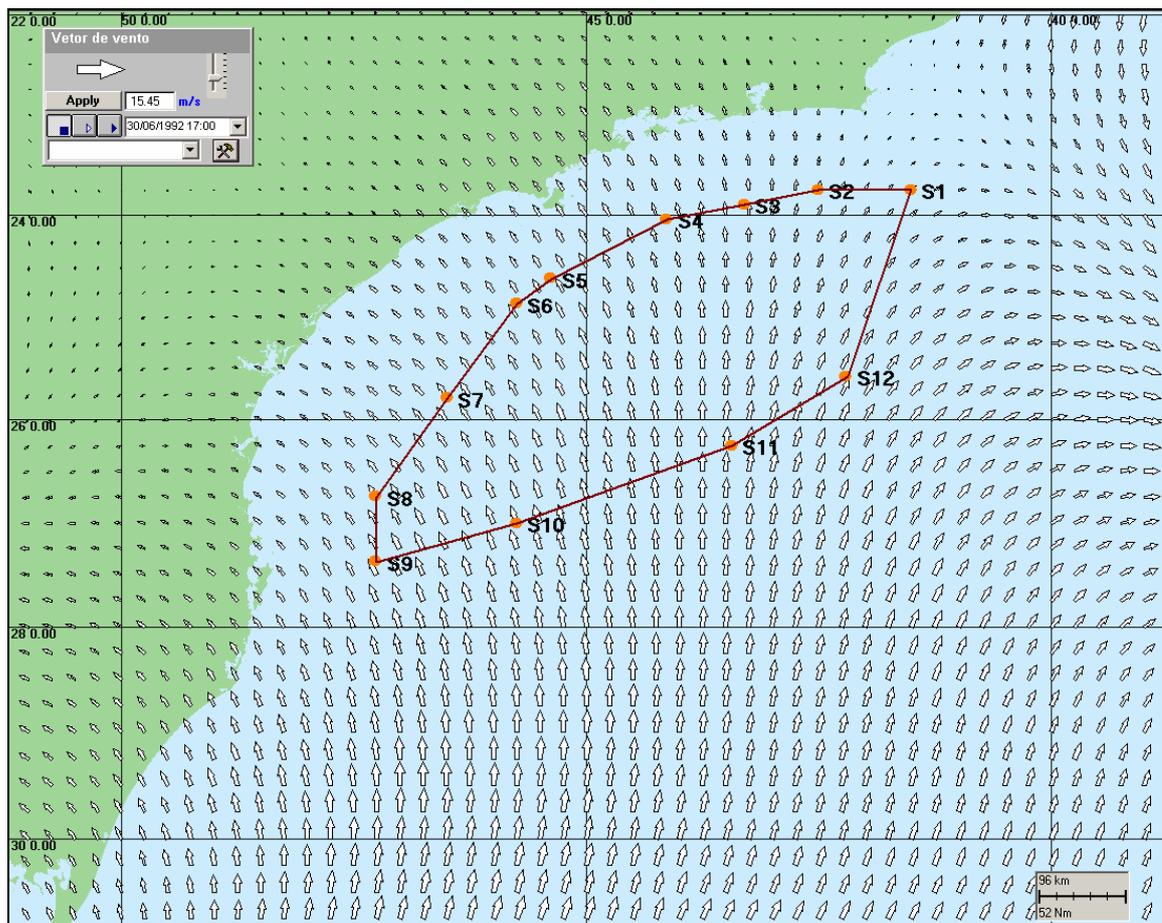
Os campos de correntes utilizados na modelagem do transporte e dispersão de óleo foram gerados a partir da modelagem hidrodinâmica, como descrito no Capítulo II. Para avaliar a sazonalidade das forçantes ambientais nos padrões de circulação e transporte, foram definidos dois campos hidrodinâmicos: para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

## V.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° (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 V.1.2-1 e V1.2-2 ilustram exemplos de instantâneos do campo de vento resultante do tratamento acima descrito. A figura V.1.2-1 ilustra um instante típico de verão, já a figura V1.2-2 ilustra a chegada de um sistema frontal à região, mais freqüente no inverno.

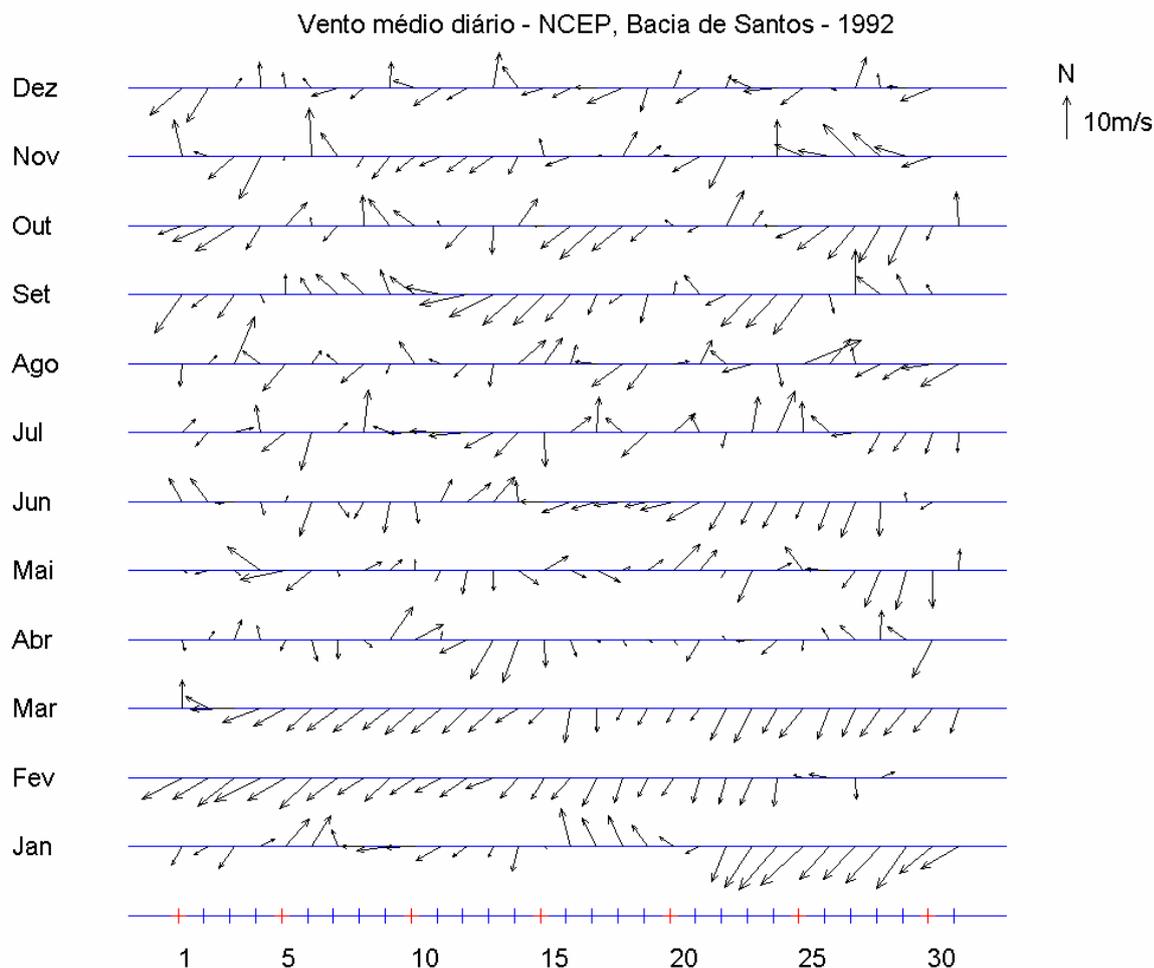


**Figura V.1.2-1** - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo na Área Geográfica Bacia de Santos (condição típica de verão).



**Figura V.1.2-2** - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo na Área Geográfica Bacia de Santos (condição típica de inverno).

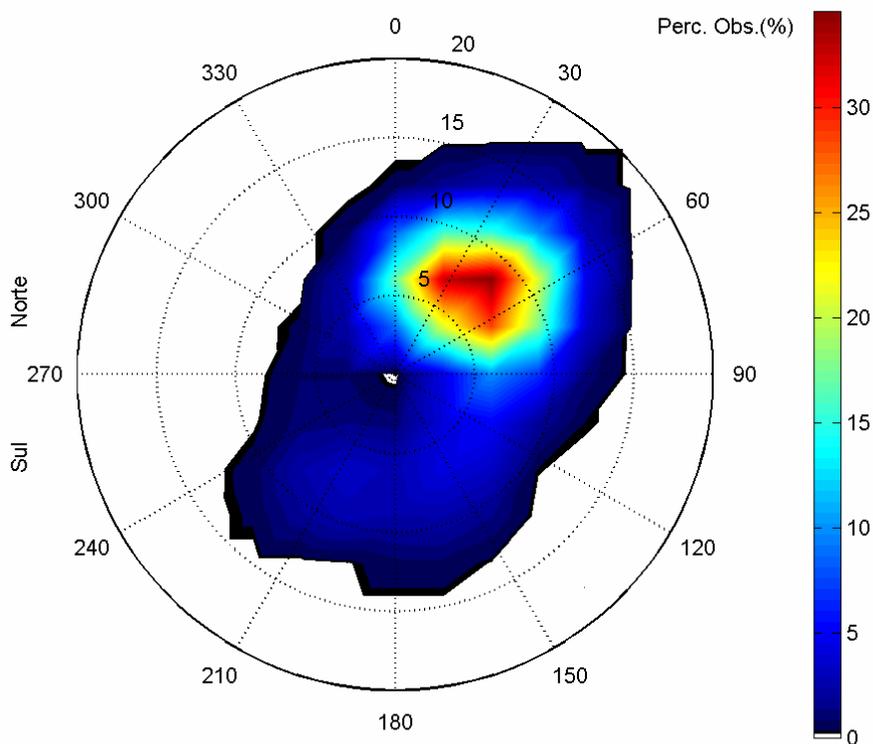
Os dados utilizados são referentes ao período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992. Abaixo são apresentadas análises estatísticas dos ventos NCEP/NCAR realizadas pontualmente na AGBS. Para estas análises foi extraída uma série temporal na região referentes à posição de latitude 25,0°S e longitude 42,9°W. A figura V.1.2-3 apresenta o *stick plot* dos valores médios diários desses dados de vento.



**Figura V.1.2-3** - Diagrama stick plot dos valores médios diários de dados de vento NCEP durante o período de janeiro a dezembro de 1992 (convenção vetorial), na posição 25,0°S e 42,9°W.

A figura V.1.2-4 apresenta os histogramas direcionais dos dados de vento NCEP para a posição 25,0°S e 42,9°W, para os períodos de: (a) verão, janeiro a março, e (b) inverno, junho a agosto. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. A intensidade é apresentada em (m/s) e a escala de cores representa o número de observações (N.Obs.). Observa-se que, durante o período de verão, os ventos mais frequentes são provenientes de nordeste; e no inverno existe uma maior frequência de ventos oriundos de leste e sul.

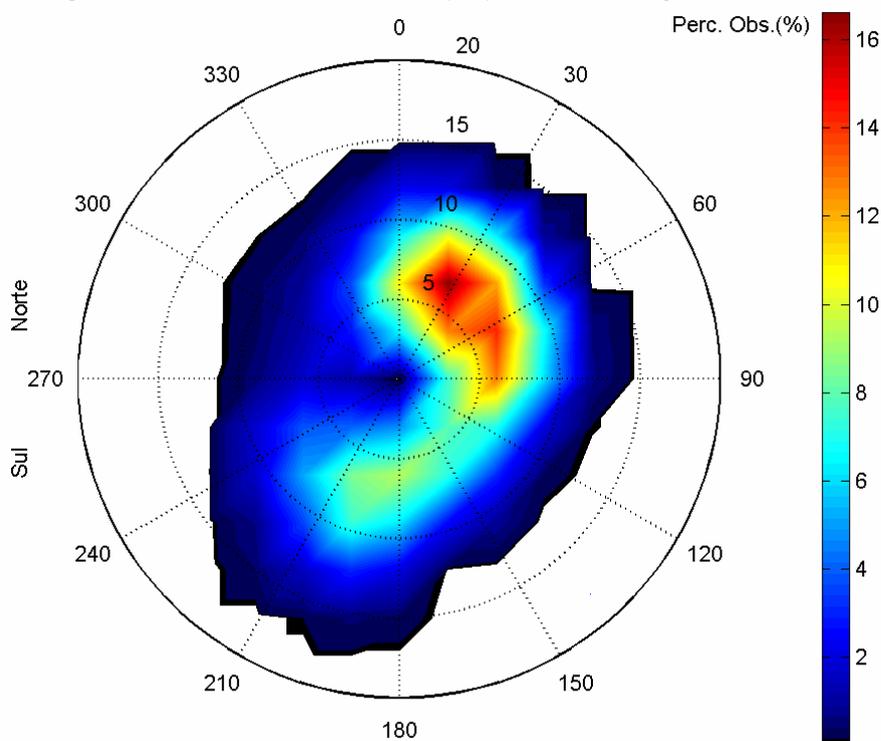
Histograma direcional dos vetores de vento (m/s), total de observações = 2184



Direção em graus a partir do norte geográfico - convenção meteorológica

(a)

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



Direção em graus a partir do norte geográfico - convenção meteorológica

(b)

**Figura V.1.2-4 - Histograma direcional dos vetores de vento para (a) verão (janeiro a março) e (b) inverno (junho a agosto), Bacia de Santos.**

A tabela V.1.2-1 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento NCEP para o período de verão. Observa-se que os ventos mais freqüentes são provenientes das direções NE (34,5%) e NNE (19,5%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de NE (8,3 m/s) e ENE (8,1 m/s); e os ventos mais fortes registrados também foram provenientes de NE (14,9 m/s) e ENE (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 V.1.2-1 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP (25,0°S e 42,9°W) para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de verão.**

Veloc. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Tot.	Perc.	Dir. Méd.
0,0- 1,0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	3	6	1	0	3	2	2	22	1,0	277
1,0- 2,0	4	7	13	4	5	2	1	0	0	1	0	0	0	3	1	5	46	2,1	38
2,0- 3,0	10	12	9	8	6	2	3	0	0	1	1	0	0	0	1	6	59	2,7	37
3,0- 4,0	12	21	31	8	6	8	12	1	0	1	0	1	4	2	2	5	114	5,2	45
4,0- 5,0	16	22	29	9	8	7	16	0	4	3	3	3	0	2	7	6	135	6,2	47
5,0- 6,0	42	54	50	14	8	8	8	4	6	0	4	0	0	0	0	6	204	9,3	36
6,0- 7,0	27	99	94	58	24	7	25	5	7	1	3	0	0	0	0	4	354	16,2	50
7,0- 8,0	27	88	120	48	15	5	6	21	8	9	5	0	0	0	0	0	352	16,1	49
8,0- 9,0	18	58	123	63	12	12	3	4	9	18	12	0	0	0	0	0	332	15,2	54
9,0-10,0	7	27	91	69	8	0	3	5	4	1	10	0	0	0	0	0	225	10,3	54
10,0-11,0	3	17	52	47	6	0	1	8	2	3	3	0	0	0	0	0	142	6,5	57
11,0-12,0	0	9	50	19	8	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	90	4,1	54
12,0-13,0	0	10	59	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76	3,5	47
13,0-14,0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0,9	43
14,0-15,0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0,5	43
Total	167	425	752	355	107	51	78	48	44	41	47	5	4	10	13	34	2181		
Porc.	7,7	19,5	34,5	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	8,3	8,1	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	12,3	14,9	12,5	11,4	9,0	10,3	10,7	11,9	10,0	10,4	4,5	3,9	4,2	4,6	6,7			
Perct. (0,9)	8,0	9,0	12,0	10,0	10,0	8,0	7,0	10,0	10,1	8,4	9,0	4,0	3,0	4,0	4,0	6,0			

A tabela V.1.2-2 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento NCEP para o período de inverno. Observa-se que os ventos mais freqüentes são provenientes das direções NNE (16,7%) e ENE (10,2%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de SSW (8,0 m/s) e S (7,5 m/s); e os ventos mais fortes registrados (12,8 m/s) foram provenientes de S e SW. Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 11,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela V.1.2-2 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP (25,0°S e 42,9°W) para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de inverno.**

Veloc. (m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Tot.	Perc.	Dir. Méd.
0,0- 1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0,1	313
1,0- 2,0	1	3	0	1	2	0	0	0	1	0	3	5	4	4	2	3	29	1,3	289
2,0- 3,0	11	15	4	7	2	5	2	0	1	2	7	0	4	3	6	6	75	3,4	6
3,0- 4,0	15	18	9	15	10	8	14	7	1	3	0	3	3	6	12	17	141	6,4	32
4,0- 5,0	29	18	17	13	29	19	20	27	16	8	9	4	2	3	3	15	232	10,5	89
5,0- 6,0	20	50	20	48	46	23	32	29	31	15	15	1	6	7	1	3	347	15,7	93
6,0- 7,0	24	66	36	43	62	20	15	17	27	28	6	7	3	1	2	6	363	16,4	76
7,0- 8,0	37	49	45	41	41	5	9	23	34	28	27	9	1	2	2	7	360	16,3	74
8,0- 9,0	20	65	25	32	13	8	5	15	23	20	43	9	0	1	8	2	289	13,1	62
9,0-10,0	31	71	35	20	12	0	0	0	36	15	14	4	0	0	4	4	246	11,1	38
10,0-11,0	14	12	11	3	0	0	0	0	8	17	2	0	0	0	0	4	71	3,2	17
11,0-12,0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	18	3	1	0	0	0	0	26	1,2	203
12,0-13,0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	0	0	0	0	0	0	14	0,6	196
Total	202	367	202	223	217	88	97	118	189	162	129	43	23	27	40	68	2195		
Porc.	9,2	16,7	9,2	10,2	9,9	4,0	4,4	5,4	8,6	7,4	5,9	2,0	1,0	1,2	1,8	3,1			
Vel. Méd.	6,7	7,1	7,2	6,6	6,2	5,5	5,4	6,1	7,5	8,0	7,2	6,4	4,2	4,3	5,4	5,1			
Vel. máx.	10,6	10,7	10,9	10,7	9,8	8,4	8,8	8,8	12,8	12,8	11,4	11,4	7,0	8,9	9,2	10,7			
Perct. (0,9)	9,0	9,0	9,0	9,0	8,0	7,0	7,0	8,0	9,6	11,0	9,0	9,0	6,0	6,8	8,5	9,0			

### V.1.3 Pontos de Risco e Volumes

A posição geográfica dos pontos de risco foi definida de modo a representar a Área Geográfica Bacia de Santos, onde se desenvolvem as atividades de exploração da PETROBRAS na região, conforme mostrado na figura I.1-1 do item I.1. A tabela V.1.3-1 lista os pontos de modelagem, suas coordenadas geográficas (SAD-69) e lâmina d'água local (m).

**Tabela V.1.3-1 - Coordenadas (SAD 69) dos pontos de risco que delimitam a Área Geográfica Bacia de Santos.**

PONTOS	LATITUDE	LONGITUDE	LÂMINA D'ÁGUA (m)
S-01	23°45'00,00"S	41°30'00,00"W	198
S-02	23°45'00,00"S	42°30'00,00"W	398
S-03	23°53'44,30"S	43°18'01,10"W	179
S-04	24°02'30,00"S	44°07'30,00"W	152
S-05	24°37'30,00"S	45°22'30,00"W	80
S-06	24°52'30,00"S	45°45'00,00"W	95
S-07	25°47'48,00"S	46°29'38,50"W	144
S-08	26°45'00,00"S	47°15'00,00"W	128
S-09	27°22'30,00"S	47°15'00,00"W	197
S-10	27°00'00,00"S	45°45'00,00"W	2.005
S-11	26°15'00,00"S	43°26'15,00"W	2.248
S-12	25°35'00,00"S	42°11'15,00"W	2.400

Fonte: PETROBRAS.

Os volumes de pior caso utilizados foram definidos segundo a Resolução CONAMA nº 293/01, como aquele correspondente à perda de controle de poços (*blowout*) por 30 dias ( $VBO_{30 \text{ dias}}$ ). Foram adicionados  $6.000 \text{ m}^3$  aos volumes de *blowout* maiores ou iguais a  $22.500 \text{ m}^3$ , a fim de incorporar o máximo volume possível estocado em uma unidade de perfuração, se for considerado seu afundamento, conforme o Item 2.2.1 do anexo II da Resolução CONAMA nº 293/01, para a determinação do volume crítico. Para os pontos onde a estimativas do volumes de *blowout* são inferiores a  $22.500 \text{ m}^3$ , foram realizadas simulações individuais de afundamento da unidade de perfuração com derramamento de  $6.000 \text{ m}^3$  de óleo combustível.

Para a determinação dos volumes correspondentes à perda de controle dos poços, para cada ponto de modelagem, foram verificados os maiores volumes esperados considerando o descontrole do poço (*blowout*) dentro de cada sub-região da Área Geográfica Bacia de Santos.

A tabela V.1.3-2 apresenta as vazões de pior caso adotadas nas simulações, onde se verifica que os pontos S-07, S-08, S-09 e S-10 estão associados às maiores vazões de *blowout*.

**Tabela V.1.3-2 - Vazões de pior caso dos poços representativos da Área Geográfica Bacia de Santos.**

PONTOS	LATITUDE	LONGITUDE	$VBO_{30D} \text{ (m}^3\text{)}$
S-01	23°45'00,00"S	41°30'00,00"W	8.220
S-02	23°45'00,00"S	42°30'00,00"W	8.220
S-03	23°53'44,30"S	43°18'01,10"W	8.220
S-04	24°02'30,00"S	44°07'30,00"W	2.580
S-05	24°37'30,00"S	45°22'30,00"W	1.650
S-06	24°52'30,00"S	45°45'00,00"W	1.650
S-07	25°47'48,00"S	46°29'38,50"W	57.000
S-08	26°45'00,00"S	47°15'00,00"W	57.000
S-09	27°22'30,00"S	47°15'00,00"W	57.000
S-10	27°00'00,00"S	45°45'00,00"W	57.000
S-11	26°15'00,00"S	43°26'15,00"W	22.500
S-12	25°35'00,00"S	42°11'15,00"W	22.500

Fonte: PETROBRAS.

Nas simulações com volume de pior caso, o derrame de todo o volume foi considerado contínuo ao longo de 30 dias. Nas simulações de derramamento de óleo combustível, associadas ao afundamento da unidade de perfuração, o derrame de todo o volume foi considerado instantâneo.

### V.1.4 Características dos Produtos Utilizados

Com base nas informações disponíveis para a área em estudo foram realizadas simulações com os óleos que ocorrem na Área Geográfica Bacia de Santos. A análise das informações de óleo deixa clara a presença de sub-regiões com ocorrência de óleos que vão desde um óleo extremamente leve, referido usualmente como condensado (°API 55,1), até um óleo extremamente denso e viscoso (°API 12,0). A tabela V.1.4-1 sumariza os valores extremos de densidade dos óleos previstos de serem encontrados nas sub-regiões da Área Geográfica Bacia de Santos.

**Tabela V.1.4-1** - Tipos de óleo previstos de serem encontrados nas sub-regiões da Área Geográfica Bacia de Santos.

SUB-REGIÃO	DENOMINAÇÃO	ÓLEOS COM CARACTERÍSTICAS EXTREMAS QUE PODEM SER ENCONTRADOS	GRAU API
A	BS-500	RJS-587 TFR2	45,6
		RJS-574 TFR1B	12,0
B	Mexilhão	SPS-0035	44,2
C	Merluza	MLZ-3D TRF1A	55,1
D	Área Sul	SCS10A TRF1	41,0
E	Área Central	Poço Caramba BM-S-21	38,0

Fonte: PETROBRAS.

Para os pontos onde foram realizadas simulações individuais de afundamento da unidade de perfuração com derramamento de óleo combustível, foi utilizado o óleo diesel marítimo.

As características definidas para os óleos crus RJS-587, RJS-574, SPS-0035, MLZ-3D, SCS10A e BM-S-21 adotadas nas simulações, são apresentadas nas tabelas V.1.4-2 a V.1.4-8, respectivamente.

**Tabela V.1.4-2 - Características do óleo tipo RJS-587.**

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	RJS-587
Grau API	45,6
Densidade	0,799 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidade dinâmica a 25°C	0,140 cP
Tensão interfacial	14,7 din/cm
Ponto de ebulição inicial	307 K
Gradiente da curva de evaporação	265,00
Constante de evaporação A	11,16
Constante de evaporação B	13,64

Fonte: PETROBRAS/ASA.

**Tabela V.1.4-3 - Características do óleo tipo RJS-574.**

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	RJS-574
Grau API	12,0
Densidade	0,986 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidade dinâmica a 25°C	4.369,33 cP
Tensão interfacial	39,8 din/cm
Ponto de ebulição inicial	582,3 K
Gradiente da curva de evaporação	141,51
Constante de evaporação A	27,49
Constante de evaporação B	22,07

Fonte: PETROBRAS/ASA.

**Tabela V.1.4-4 - Características do óleo tipo SPS-0035.**

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	SPS-0035
Grau API	44,2
Densidade	0,805 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidade dinâmica a 25°C	3,4 cP
Tensão interfacial	16,3 din/cm
Ponto de ebulição inicial	403,3 K
Gradiente da curva de evaporação	445,68
Constante de evaporação A	10,45
Constante de evaporação B	13,40

Fonte: PETROBRAS/ASA.

**Tabela V.1.4-5 - Características do óleo tipo MLZ-3D.**

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	MLZ-3D
Grau API	55,1
Densidade	0,754 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidade dinâmica a 25°C	0,556 cP
Tensão interfacial	18,4 din/cm
Ponto de ebulição inicial	390,0 K
Gradiente da curva de evaporação	100,00
Constante de evaporação A	15,40
Constante de evaporação B	15,80

Fonte: PETROBRAS/ASA.

**Tabela V.1.4-6 - Características do óleo tipo SCS10A.**

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	SCS10A
Grau API	41,0
Densidade	0,820 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidade dinâmica a 25°C	33,0 cP
Tensão interfacial	30 din/cm
Ponto de ebulição inicial	384,2 K
Gradiente da curva de evaporação	494,21
Constante de evaporação A	8,00
Constante de evaporação B	12,55

Fonte: PETROBRAS/ASA.

**Tabela V.1.4-7 - Características do óleo tipo BM-S-21.**

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	BM-S-21
Grau API	38,0
Densidade	0,835 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidade dinâmica a 25°C	33,0 cP
Tensão interfacial	30 din/cm
Ponto de ebulição inicial	384,2 K
Gradiente da curva de evaporação	494,21
Constante de evaporação A	8,00
Constante de evaporação B	12,55

Fonte: PETROBRAS/ASA.

## V.2 CRITÉRIOS DE PARADA ADOTADOS NAS SIMULAÇÕES

Segundo o IBAMA, as simulações de derrame de óleo devem ser interrompidas caso sejam satisfeitas quaisquer das três condições, abaixo:

- *“não existência de óleo no mar com espessura superior ao valor mínimo de  $3 \times 10^{-7}$  m;*
- *todo óleo do vazamento remanescente no mar atinge a costa;*
- *tempo de simulação completa 30 dias após o final do vazamento.”*

Com base nessas condições foi utilizado, como critério de parada das simulações o tempo de 30 dias após o final do vazamento, ou seja, as simulações com diesel marítimo (instantâneo) foram de 30 dias e as simulações de *blowout* (derrame ao longo de 30 dias) foram de 60 dias. Este critério esclarece o que acontece com o último óleo vazado num *blowout* (ou seja, a partir do trigésimo dia).

Além deste critério de parada propriamente dito, foi adotado o corte de espessuras inferiores a 300 nm nas simulações e apresentações de resultados. A associação do critério de parada adotado (30 dias após o final do vazamento) com o corte de espessuras (300 nm) satisfaz duas das condições freqüentemente solicitadas pelo IBAMA, e apresentadas acima. Salienta-se que, quando a mancha atinge a espessura de 300 nm (independente do instante de tempo), o modelo OILMAP considera como se não houvesse passado óleo naquela determinada região.

### **V.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 (1<sup>o</sup> 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 350 simulações em cada cenário probabilístico. As tabelas V.3-1 a V.3-7 apresentam os cenários simulados neste estudo para a Área Geográfica Bacia de Santos.

**Tabela V.2-1 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames do óleo tipo RJS-587.**

CENÁRIOS	PRODUTO	VOLUME DE PIOR CASO (m <sup>3</sup> )	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO DE SIMULAÇÃO
S-01_PC_RJS-587_VER_60D	RJS-587	8.220	Verão	60 dias
S-02_PC_RJS-587_VER_60D	RJS-587	8.220	Verão	60 dias
S-03_PC_RJS-587_VER_60D	RJS-587	8.220	Verão	60 dias
S-01_PC_RJS-587_INV_60D	RJS-587	8.220	Inverno	60 dias
S-02_PC_RJS-587_INV_60D	RJS-587	8.220	Inverno	60 dias
S-03_PC_RJS-587_INV_60D	RJS-587	8.220	Inverno	60 dias

**Tabela V.2-2 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames do óleo tipo RJS-574.**

CENÁRIO	PRODUTO	VOLUME DE PIOR CASO (m <sup>3</sup> )	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO DE SIMULAÇÃO
S-01_PC_RJS-574_VER_60D	RJS-574	8.220	Verão	60 dias
S-02_PC_RJS-574_VER_60D	RJS-574	8.220	Verão	60 dias
S-03_PC_RJS-574_VER_60D	RJS-574	8.220	Verão	60 dias
S-01_PC_RJS-574_INV_60D	RJS-574	8.220	Inverno	60 dias
S-02_PC_RJS-574_INV_60D	RJS-574	8.220	Inverno	60 dias
S-03_PC_RJS-574_INV_60D	RJS-574	8.220	Inverno	60 dias

**Tabela V.2-3 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames do óleo tipo SPS-0035.**

CENÁRIO	PRODUTO	VOLUME DE PIOR CASO (m <sup>3</sup> )	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO DE SIMULAÇÃO
S-04_PC_SPS-0035_VER_60D	SPS-0035	2.580	Verão	60 dias
S-04_PC_SPS-0035_INV_60D	SPS-0035	2.580	Inverno	60 dias

**Tabela V.2-4 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames do óleo tipo MLZ-3D.**

CENÁRIOS	PRODUTO	VOLUME DE PIOR CASO (m <sup>3</sup> )	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO DE SIMULAÇÃO
S-05_PC_MLZ-3D_VER_60D	MLZ-3D	1.650	Verão	60 dias
S-06_PC_MLZ-3D_VER_60D	MLZ-3D	1.650	Verão	60 dias
S-05_PC_MLZ-3D_INV_60D	MLZ-3D	1.650	Inverno	60 dias
S-06_PC_MLZ-3D_INV_60D	MLZ-3D	1.650	Inverno	60 dias

**Tabela V.2-5 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames do óleo tipo SCS10A.**

CENÁRIOS	PRODUTO	VOLUME DE PIOR CASO (m <sup>3</sup> )*	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO DE SIMULAÇÃO
S-07_PC_SCS10A_VER_60D	SCS10A	63.000	Verão	60 dias
S-08_PC_SCS10A_VER_60D	SCS10A	63.000	Verão	60 dias
S-09_PC_SCS10A_VER_60D	SCS10A	63.000	Verão	60 dias
S-10_PC_SCS10A_VER_60D	SCS10A	63.000	Verão	60 dias
S-07_PC_SCS10A_INV_60D	SCS10A	63.000	Inverno	60 dias
S-08_PC_SCS10A_INV_60D	SCS10A	63.000	Inverno	60 dias
S-09_PC_SCS10A_INV_60D	SCS10A	63.000	Inverno	60 dias
S-10_PC_SCS10A_INV_60D	SCS10A	63.000	Inverno	60 dias

\* Volume de blowout acrescido em 6.000 m<sup>3</sup> de óleo combustível, correspondente ao afundamento da unidade marítima de perfuração.

**Tabela V.2-6 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames do óleo tipo BM-S-21.**

CENÁRIOS	PRODUTO	VOLUME DE PIOR CASO (m <sup>3</sup> )*	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO DE SIMULAÇÃO
S-11_PC_BMS21_VER_60D	BM-S-21	28.500	Verão	60 dias
S-12_PC_BMS21_VER_60D	BM-S-21	28.500	Verão	60 dias
S-11_PC_BMS21_INV_60D	BM-S-21	28.500	Inverno	60 dias
S-12_PC_BMS21_INV_60D	BM-S-21	28.500	Inverno	60 dias

\* Volume de blowout acrescido em 6.000 m<sup>3</sup> de óleo combustível, correspondente ao afundamento da unidade marítima de perfuração.

**Tabela V.2-7 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames de óleo diesel marítimo.**

CENÁRIOS	PRODUTO	VOLUME DE PIOR CASO (m <sup>3</sup> )*	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO DE SIMULAÇÃO
S-01_PC_DIESEL_VER_30D	óleo diesel	6.000	Verão	30 dias
S-02_PC_DIESEL_VER_30D	óleo diese	6.000	Verão	30 dias
S-03_PC_DIESEL_VER_30D	óleo diese	6.000	Verão	30 dias
S-04_PC_DIESEL_VER_30D	óleo diese	6.000	Verão	30 dias
S-05_PC_DIESEL_VER_30D	óleo diesel	6.000	Verão	30 dias
S-06_PC_DIESEL_VER_30D	óleo diese	6.000	Verão	30 dias
S-01_PC_DIESEL_INV_30D	óleo diesel	6.000	Inverno	30 dias
S-02_PC_DIESEL_INV_30D	óleo diesel	6.000	Inverno	30 dias
S-03_PC_DIESEL_INV_30D	óleo diesel	6.000	Inverno	30 dias
S-04_PC_DIESEL_INV_30D	óleo diesel	6.000	Inverno	30 dias
S-05_PC_DIESEL_INV_30D	óleo diesel	6.000	Inverno	30 dias
S-06_PC_DIESEL_INV_30D	óleo diesel	6.000	Inverno	30 dias

## **VI RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PARA UM POTENCIAL ACIDENTE NA ÁREA GEOGRÁFICA BACIA DE SANTOS**

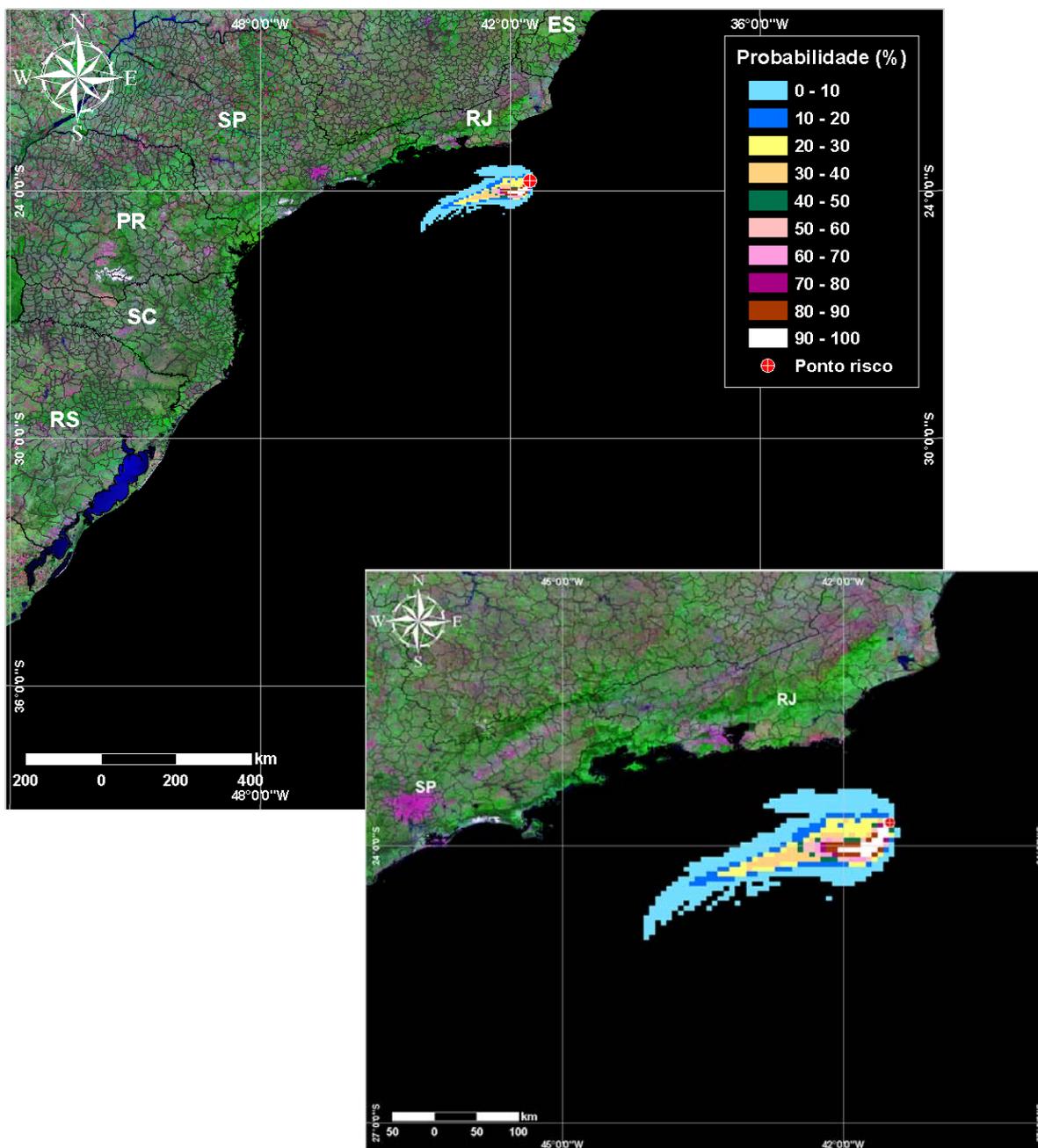
### **VI.1 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS**

O modelo OILMAP foi utilizado para simular os cenários descritos no Item V.3 e produzir as curvas de contorno, demonstrando a probabilidade da presença de óleo em cada ponto da área de estudo. Para incorporar a variabilidade das forçantes oceanográficas e meteorológicas foram realizadas 350 simulações considerando os padrões de circulação e transporte obtidos através da modelagem hidrodinâmica (Capítulo II) e o campo de ventos apresentado no Sub-item V.1.2.

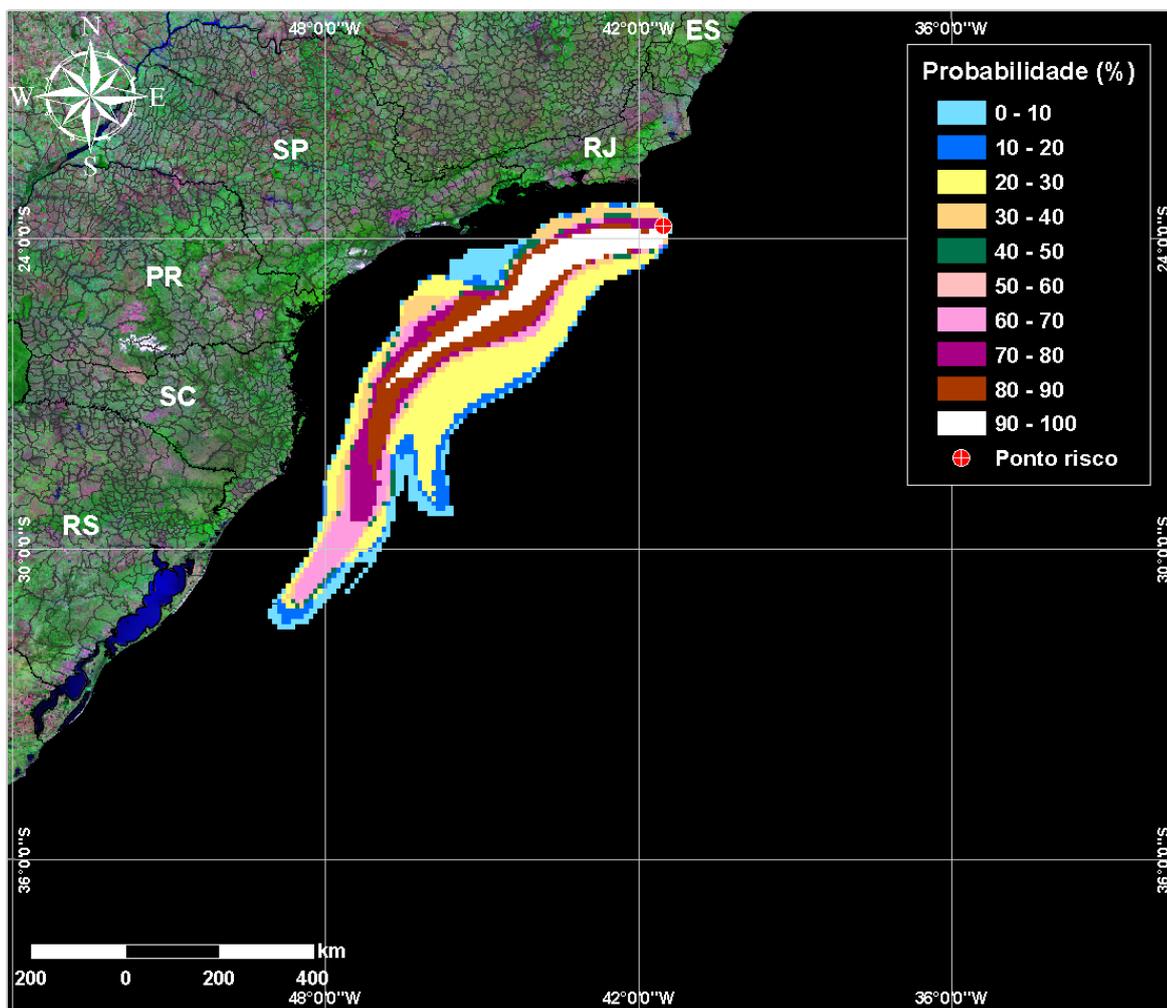
Nas figuras VI.1-1 a VI.1-48 são apresentados os contornos de probabilidade da presença de óleo na água para os cenários de acidentes nos 12 pontos localizados na Área Geográfica Bacia de Santos, decorrentes de potenciais derrames de óleo durante os meses de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto). Praticamente em todas as simulações a mancha deslocou-se para sudoeste, seguindo a orientação da Corrente do Brasil. Todas as simulações realizadas não levam em conta as ações provenientes de Planos de Contingência e Planos de Ações Emergenciais.

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

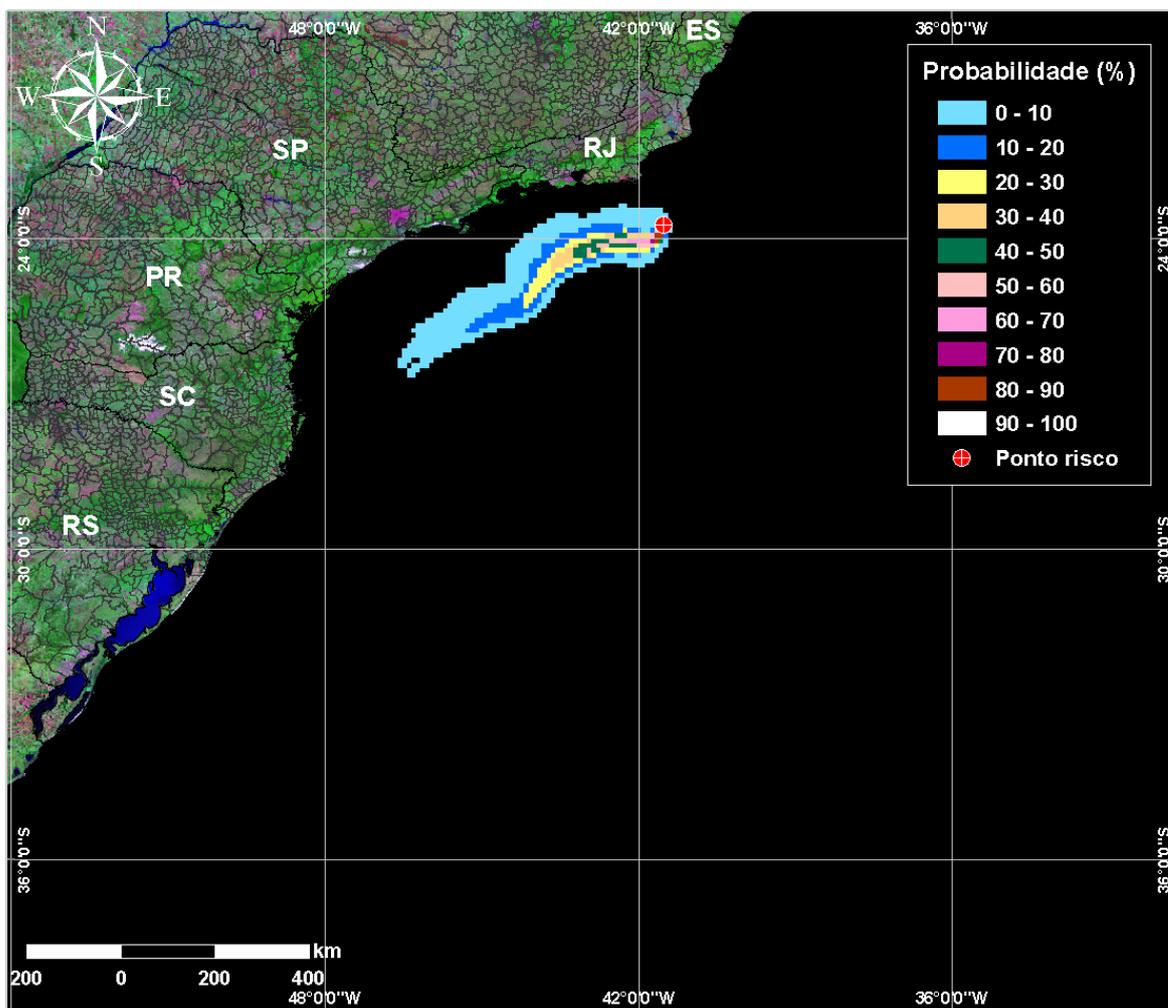
As figuras VI.1-1 a VI.1-24 apresentam os resultados das simulações probabilísticas para os 12 pontos de risco localizados na Área Geográfica Bacia de Santos, decorrentes potenciais acidentes com derrames dos óleos tipo RJS-587, RJS-574, SPS-0035, MLZ-3D, SCS10A, BM-S-21 e óleo diesel marítimo, durante os meses verão. Os resultados são apresentados a partir do Ponto S-01 no sentido anti-horário (figura I.1-1).



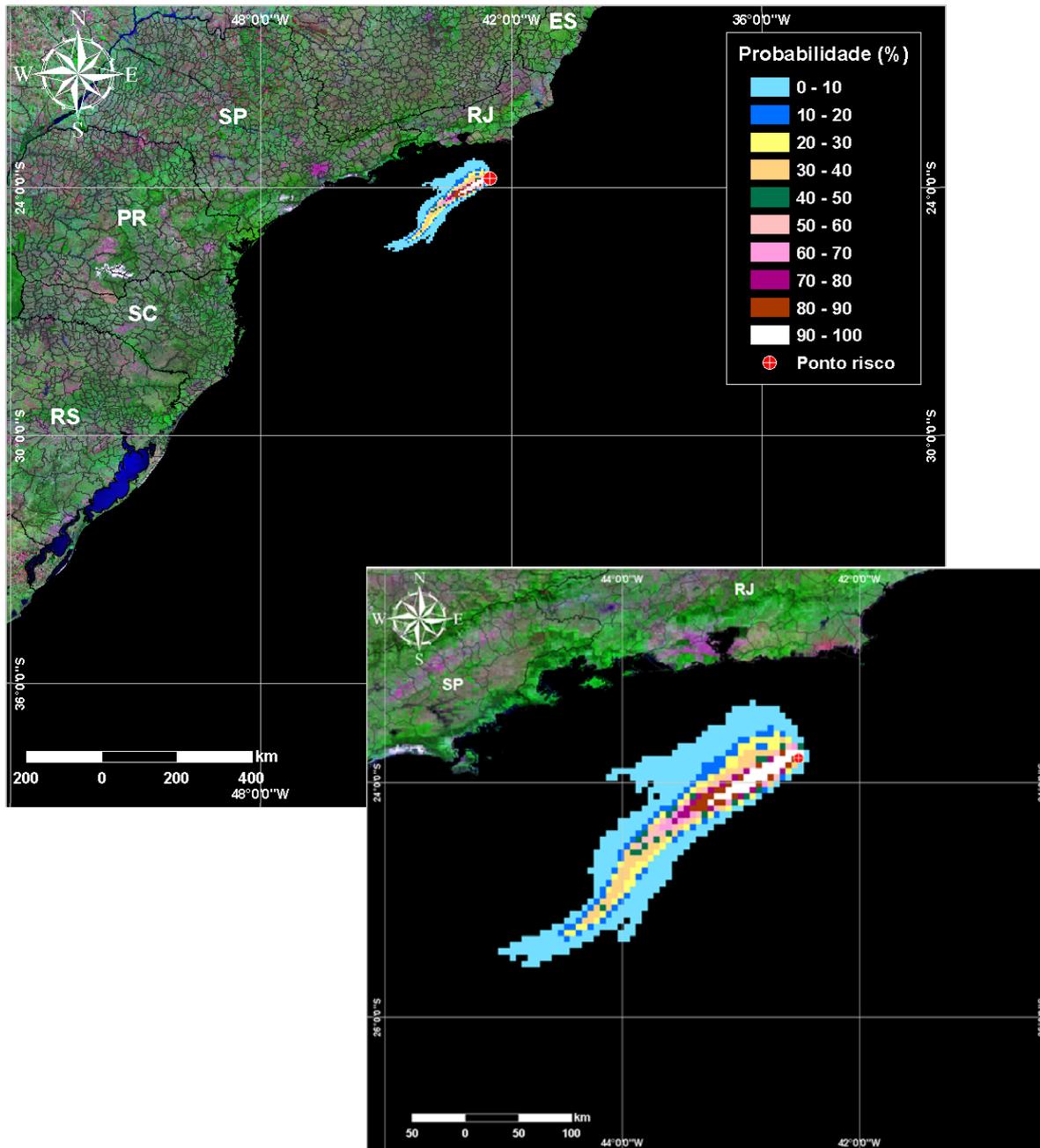
**Figura VI.1-1** - Cenário S-01\_PC\_RJS-587\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-587, ocorrendo no Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8.220 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



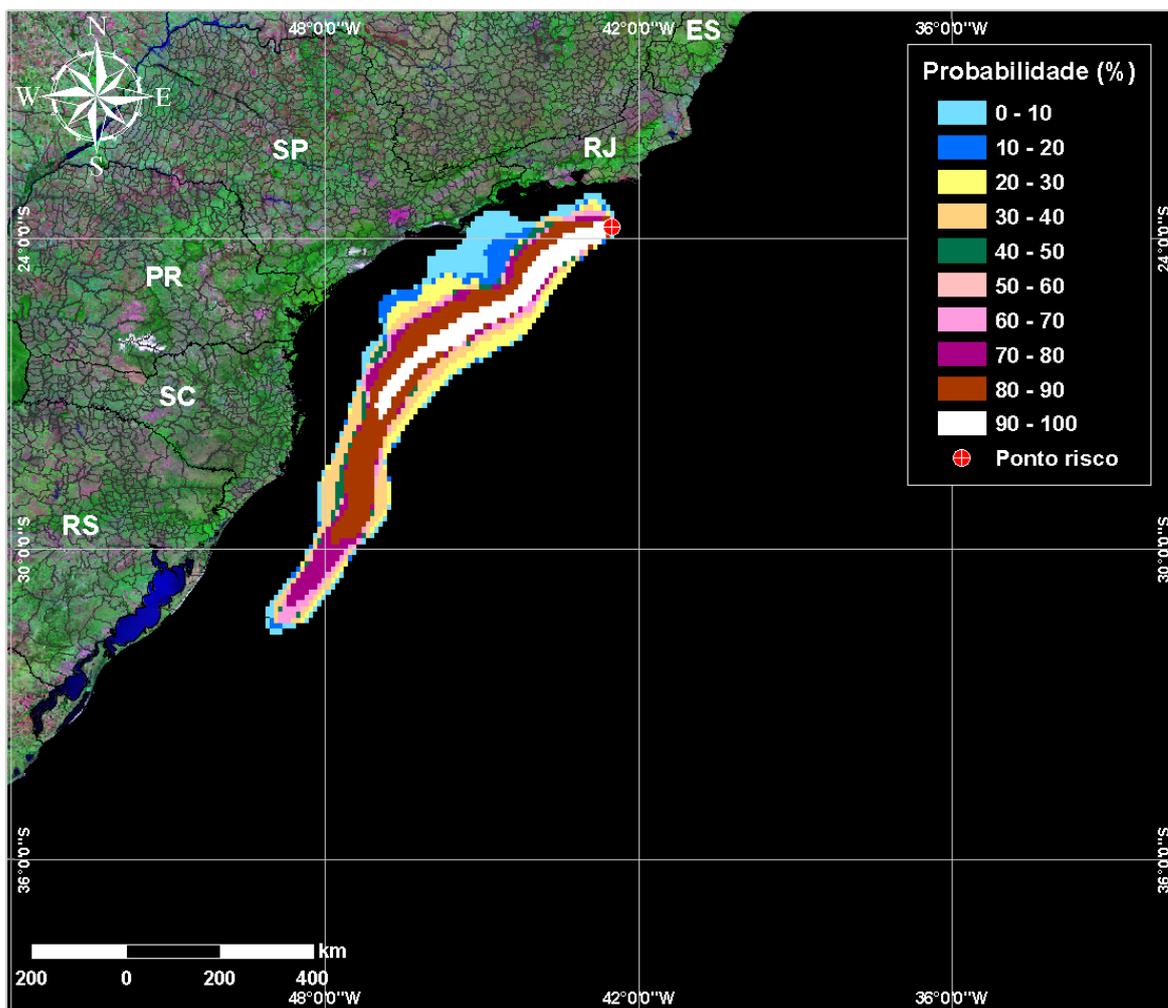
**Figura VI.1-2** - Cenário S-01\_PC\_RJS-574\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-574, ocorrendo no Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8.220 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



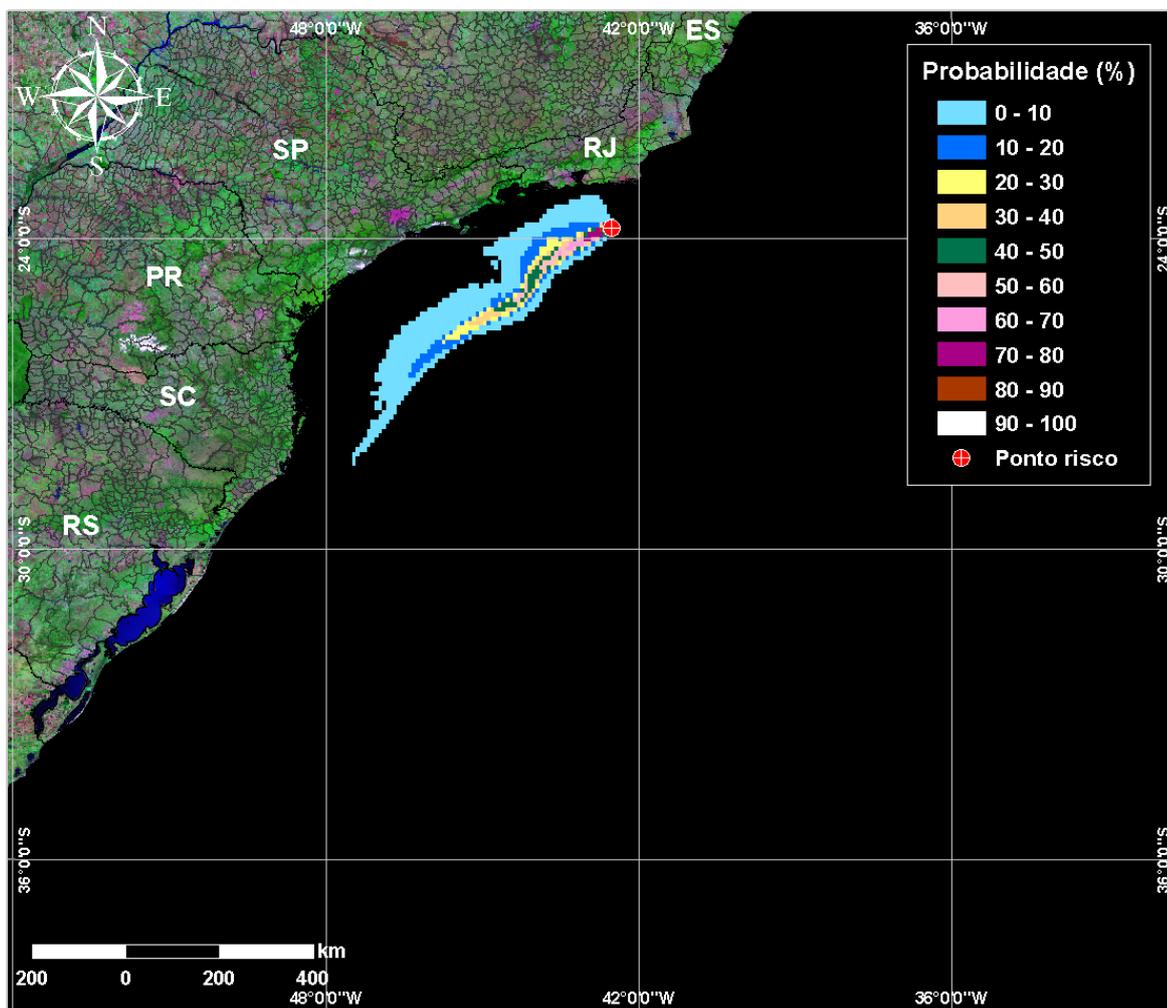
**Figura VI.1-3** - Cenário S-01\_PC\_DIESEL\_VER\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



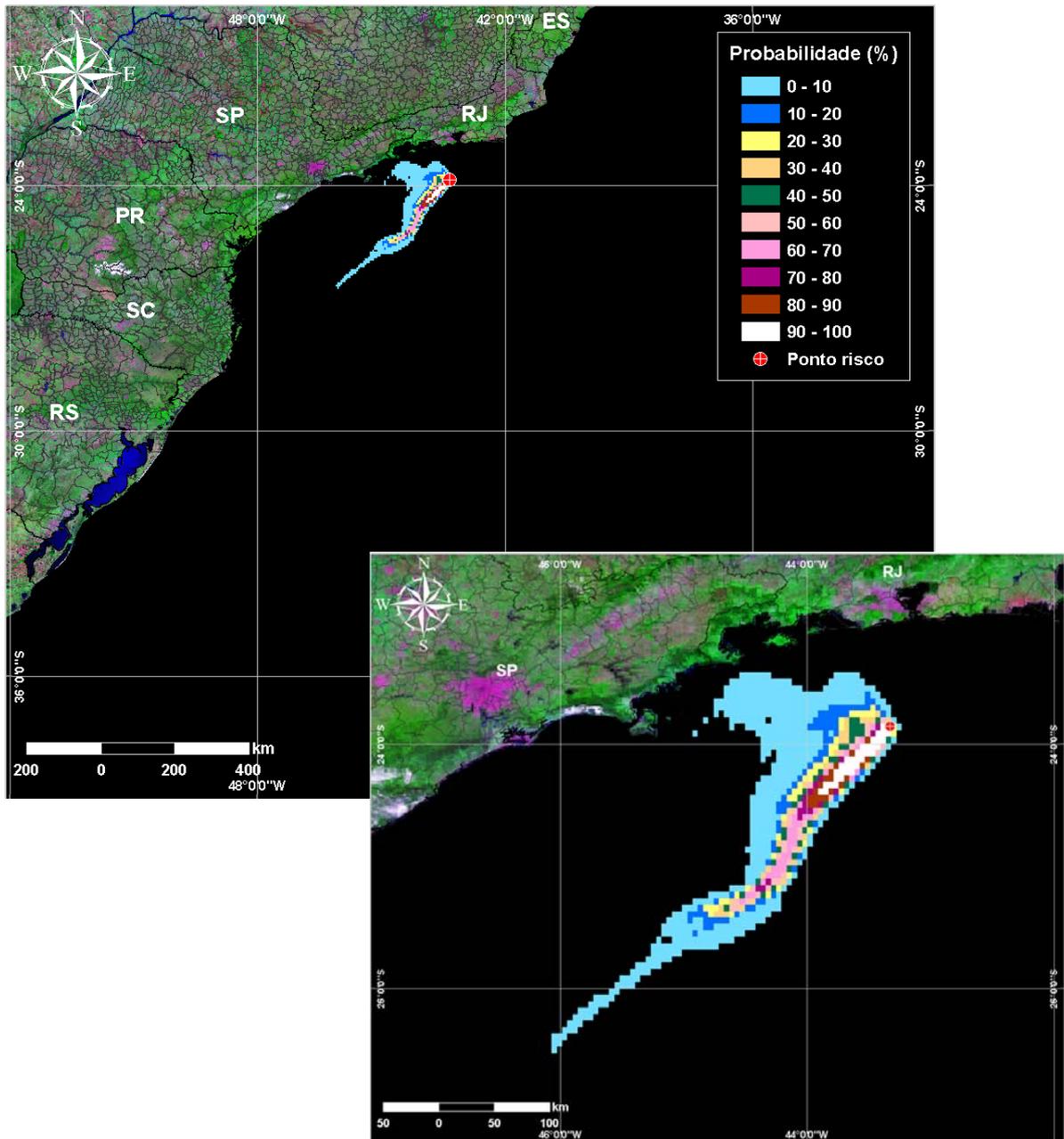
**Figura VI.1-4** - Cenário S-02\_PC\_RJS-587\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-587, ocorrendo no Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8.220 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



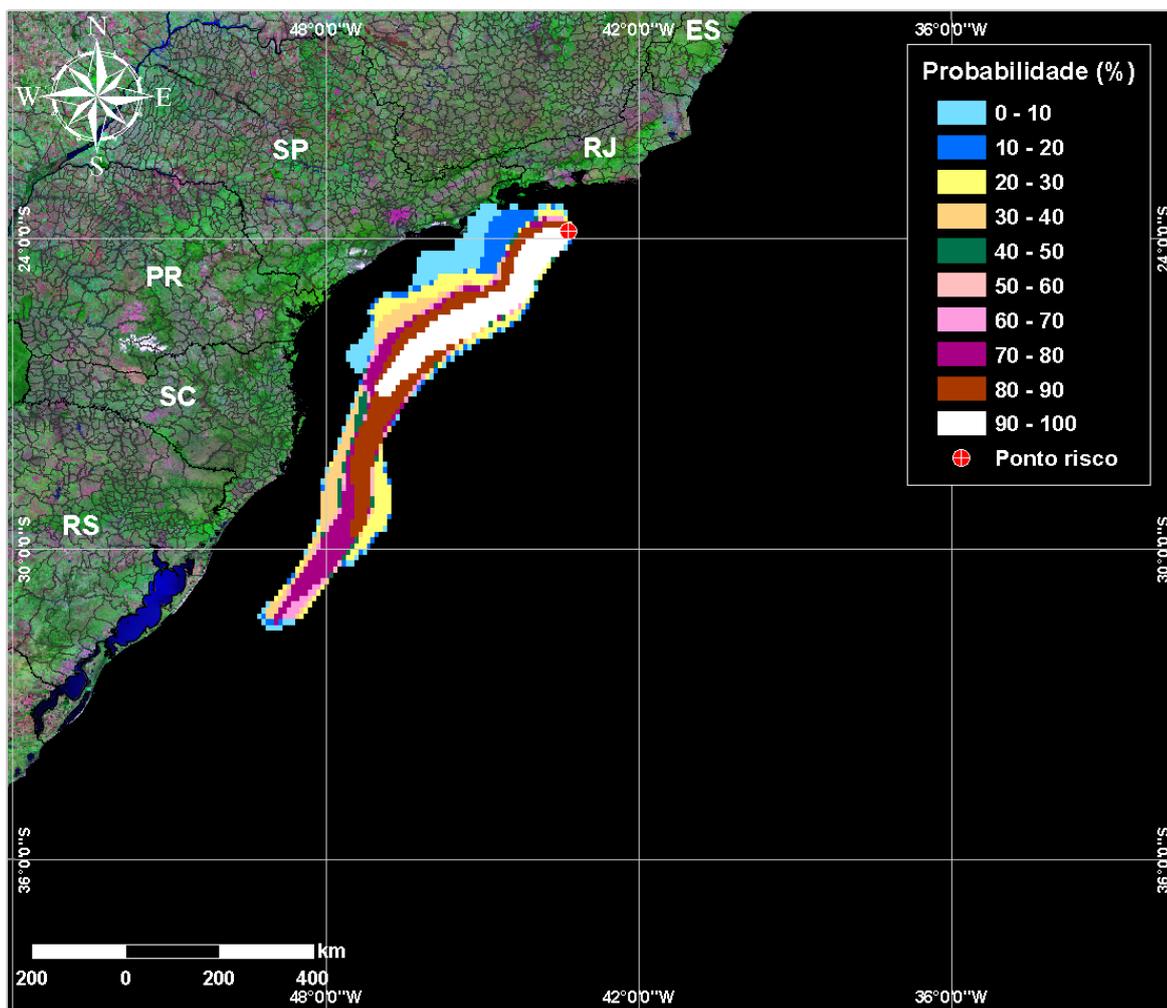
**Figura VI.1-5** - Cenário S-02\_PC\_RJS-574\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-574, ocorrendo no Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8.220 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



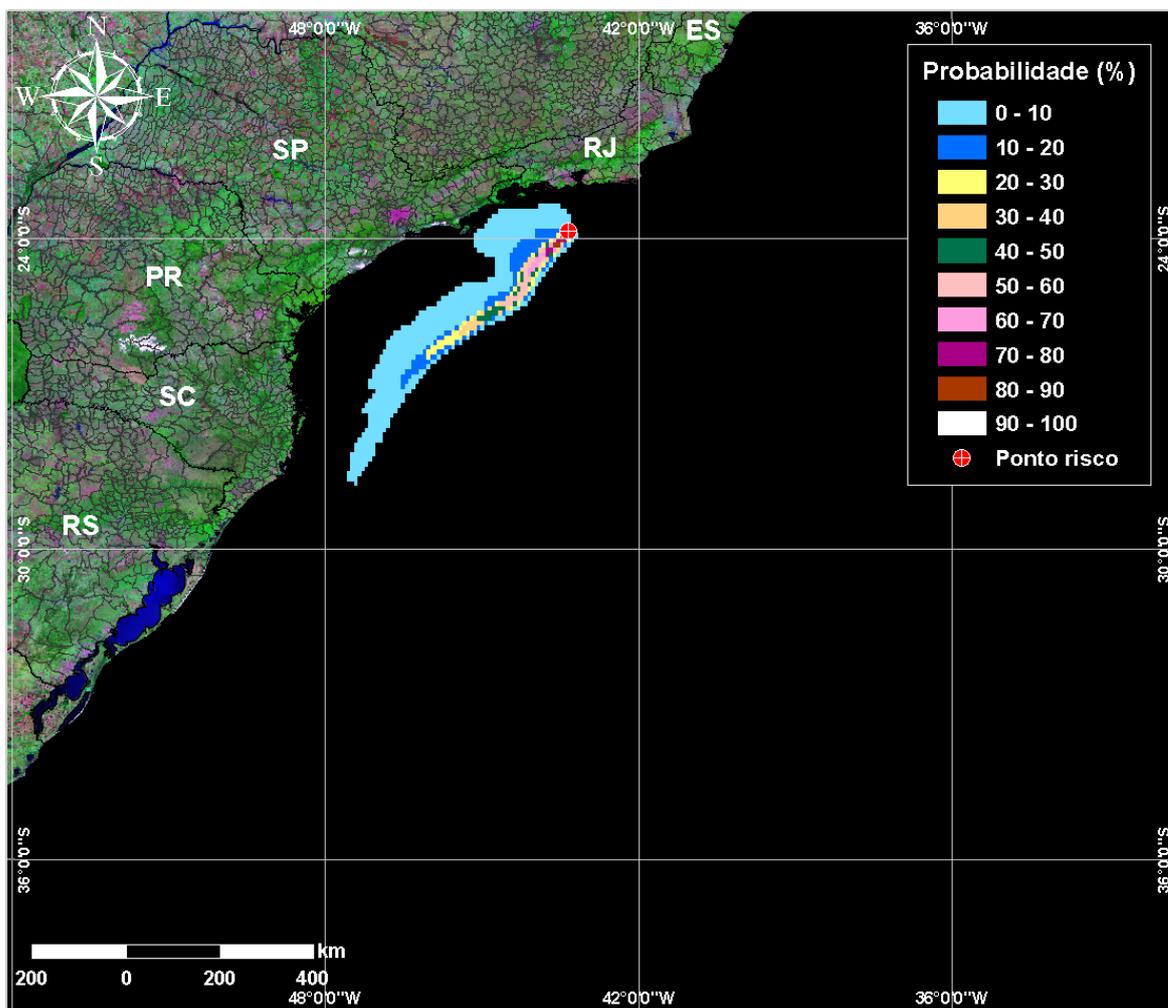
**Figura VI.1-6** - Cenário S-02\_PC\_DIESEL\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



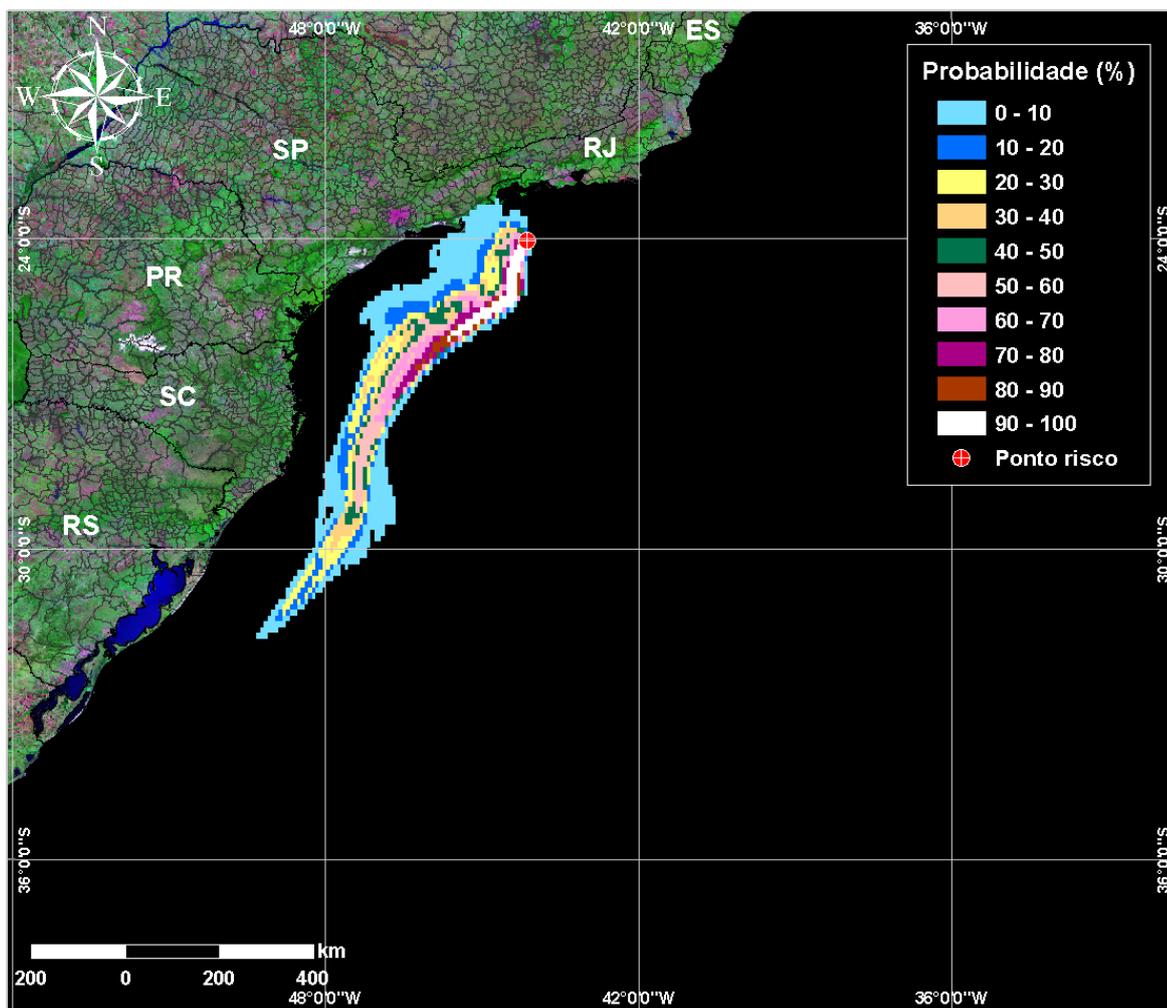
**Figura VI.1-7** - Cenário S-03\_PC\_RJS-587\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-587, ocorrendo no Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8.220 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



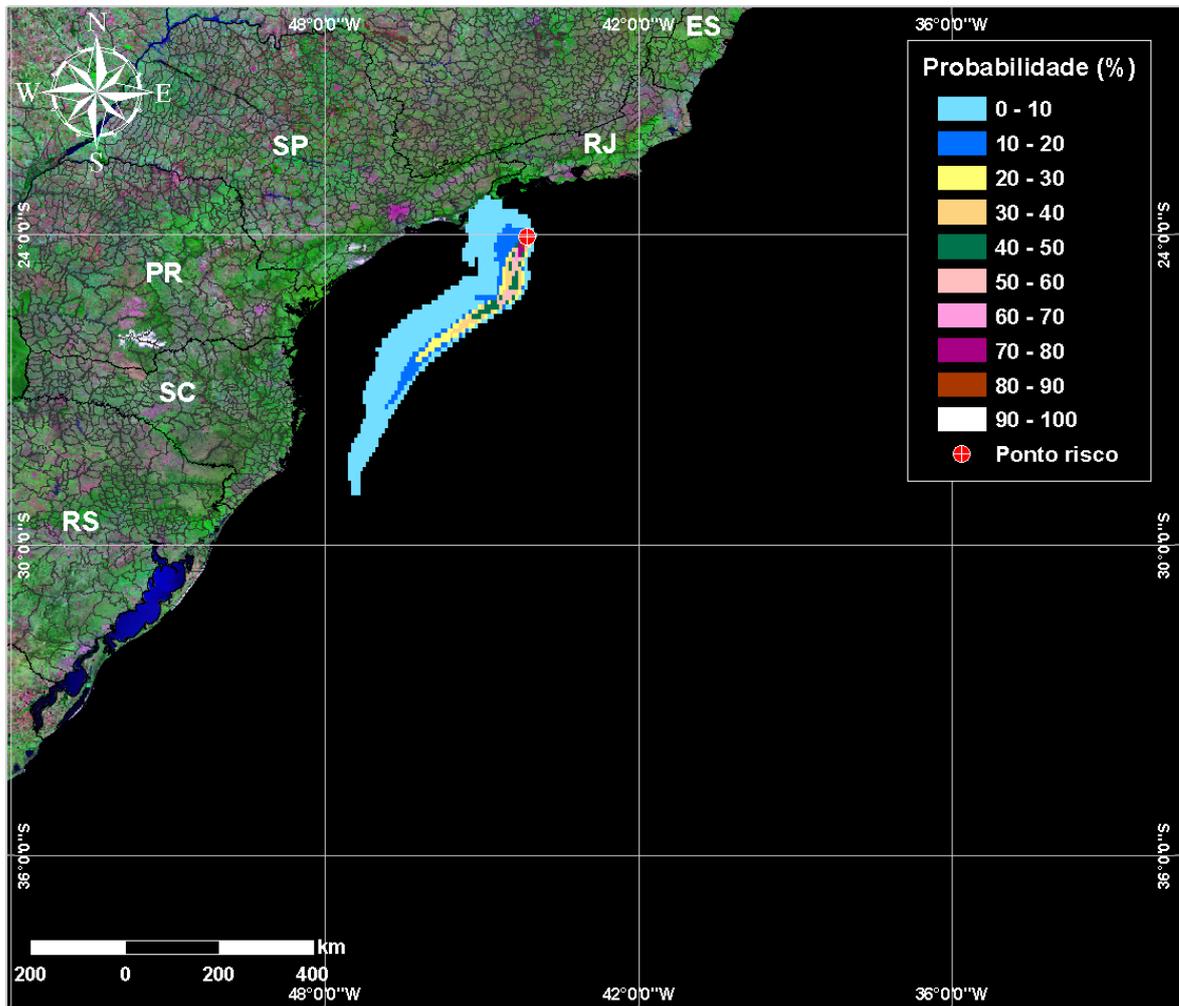
**Figura VI.1-8** - Cenário S-03\_PC\_RJS-574\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-574, ocorrendo no Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8.220 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



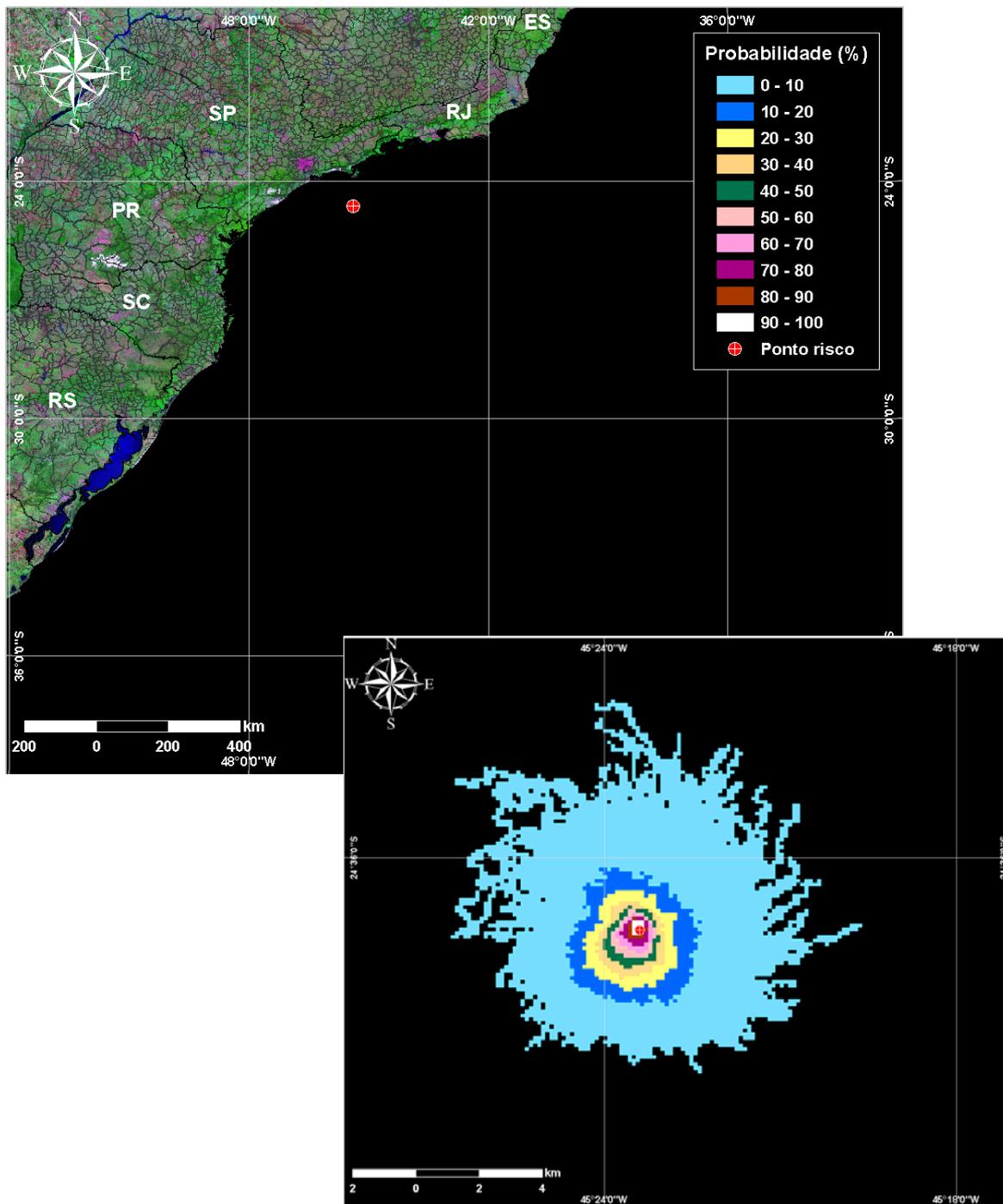
**Figura VI.1-9** - Cenário S-03\_PC\_DIESEL\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



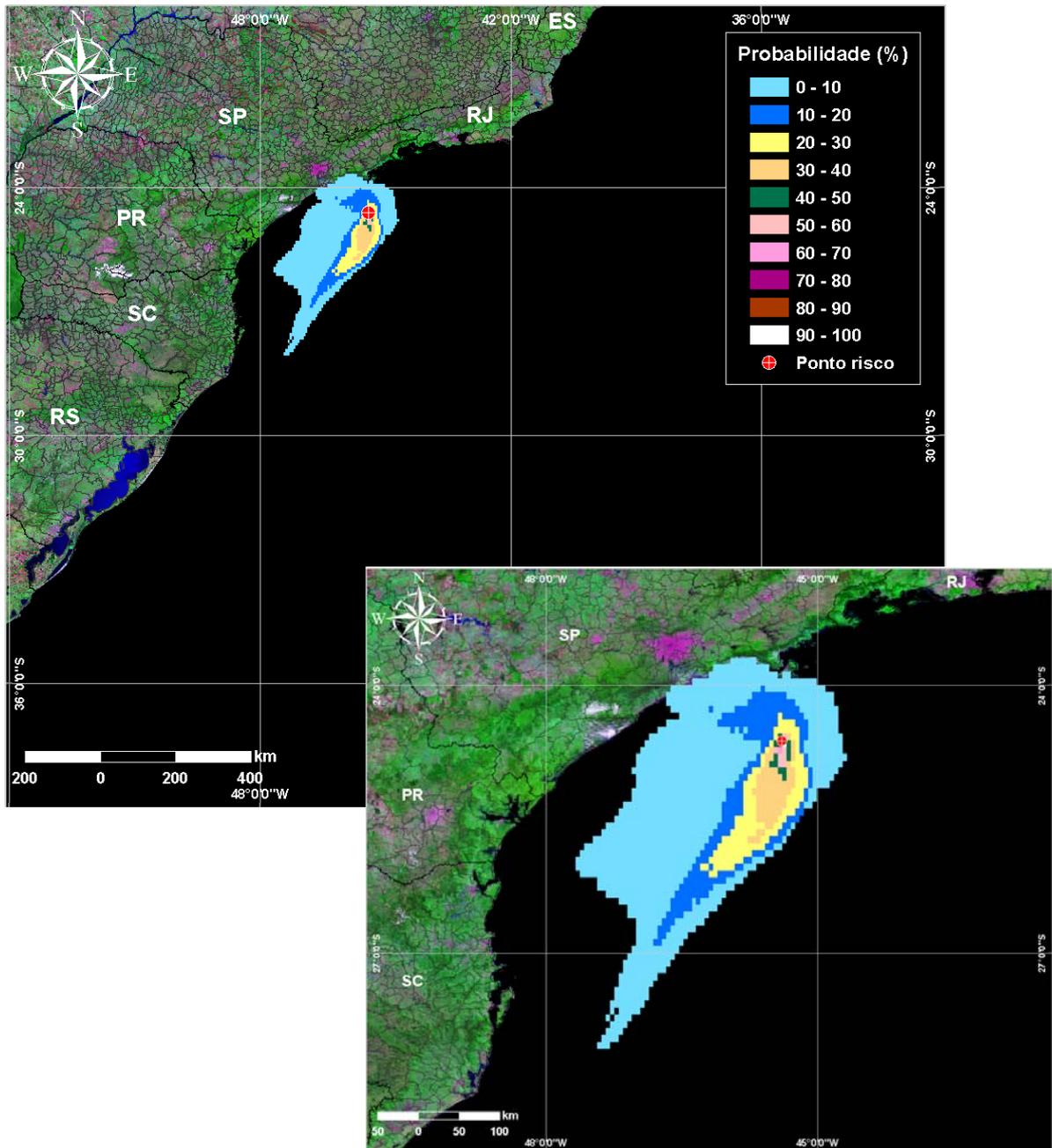
**Figura VI.1-10** - Cenário S-04\_PC\_SPS-0035\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SPS-0035, ocorrendo no Ponto S-04, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 2.580 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



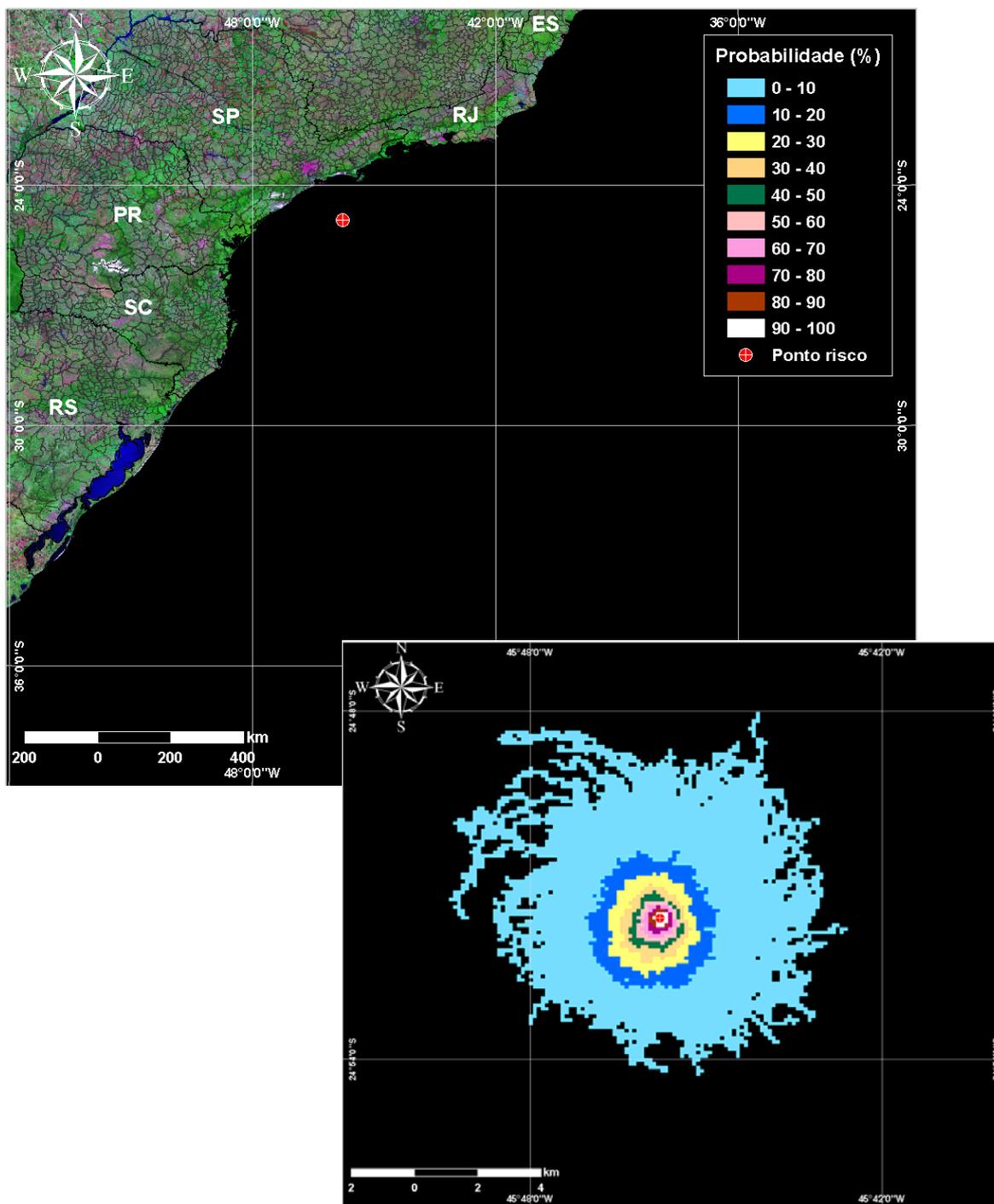
**Figura VI.1-11** - Cenário S-04\_PC\_DIESEL\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-04, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



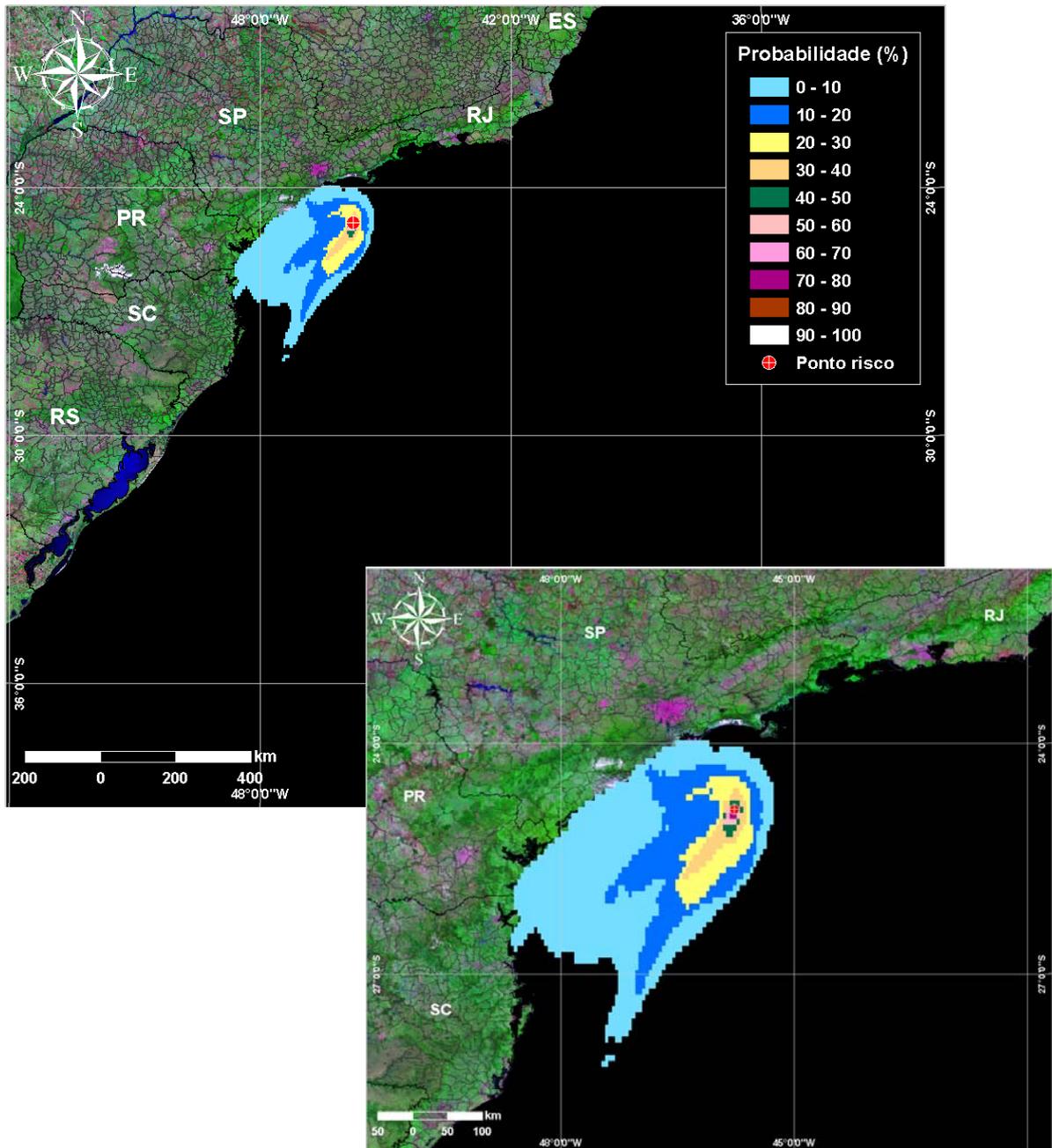
**Figura VI.1-12** - Cenário S-05\_PC\_MLZ-3D\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-05, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 1.650 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



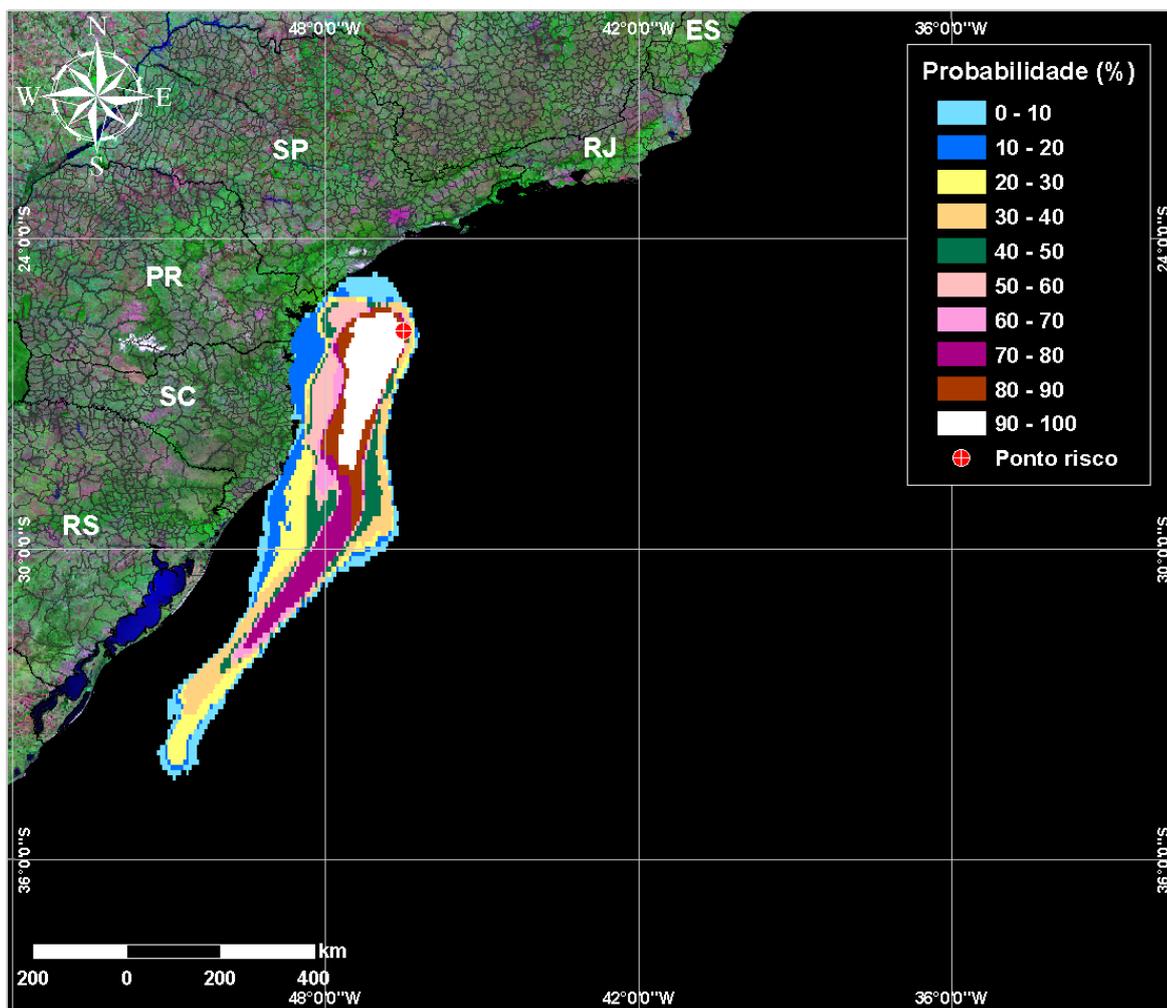
**Figura VI.1-13** - Cenário S-05\_PC\_DIESEL\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-05, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



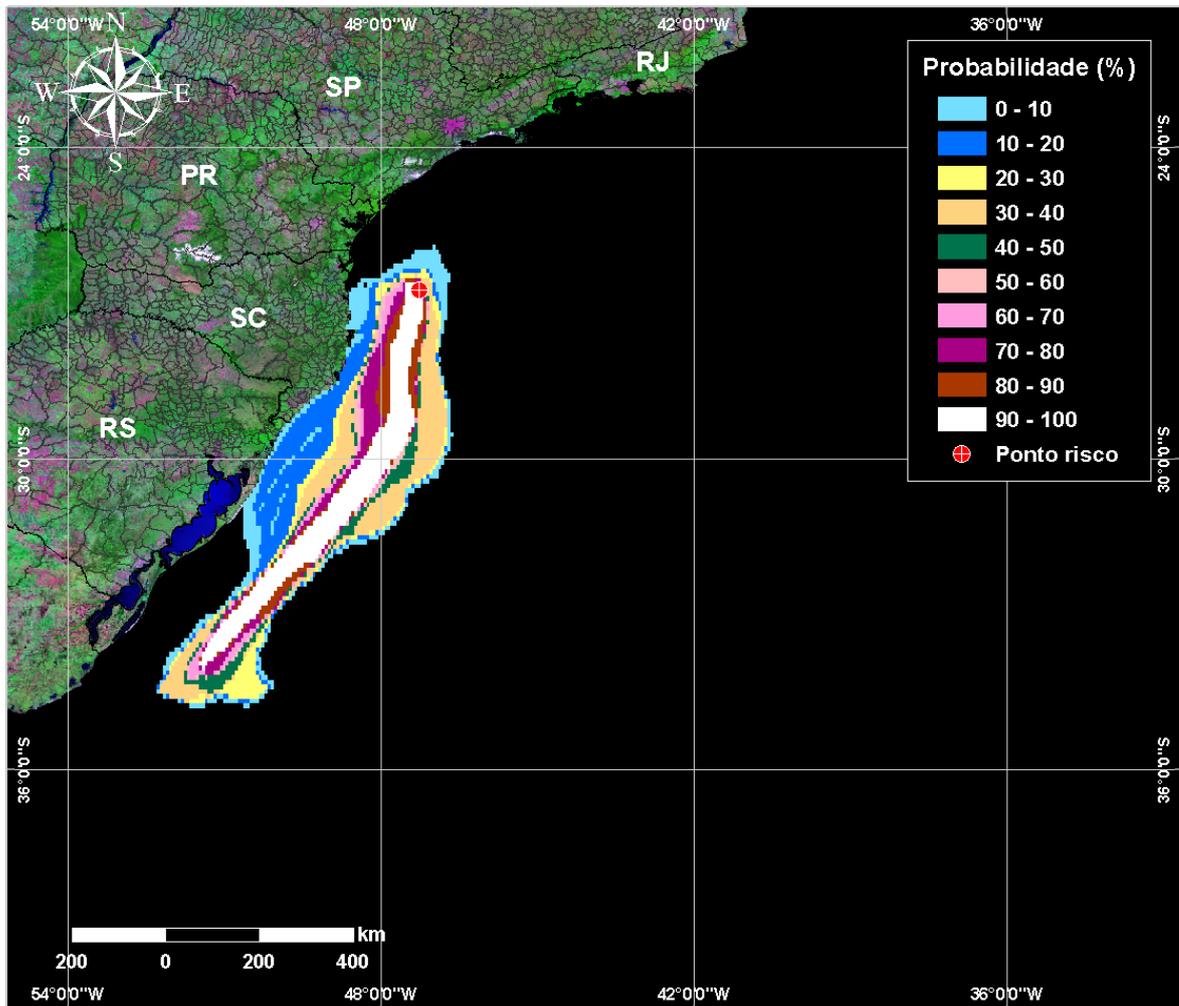
**Figura VI.1-14** - Cenário S-06\_PC\_MLZ-3D\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-06, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de  $1.650 \text{ m}^3$  (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



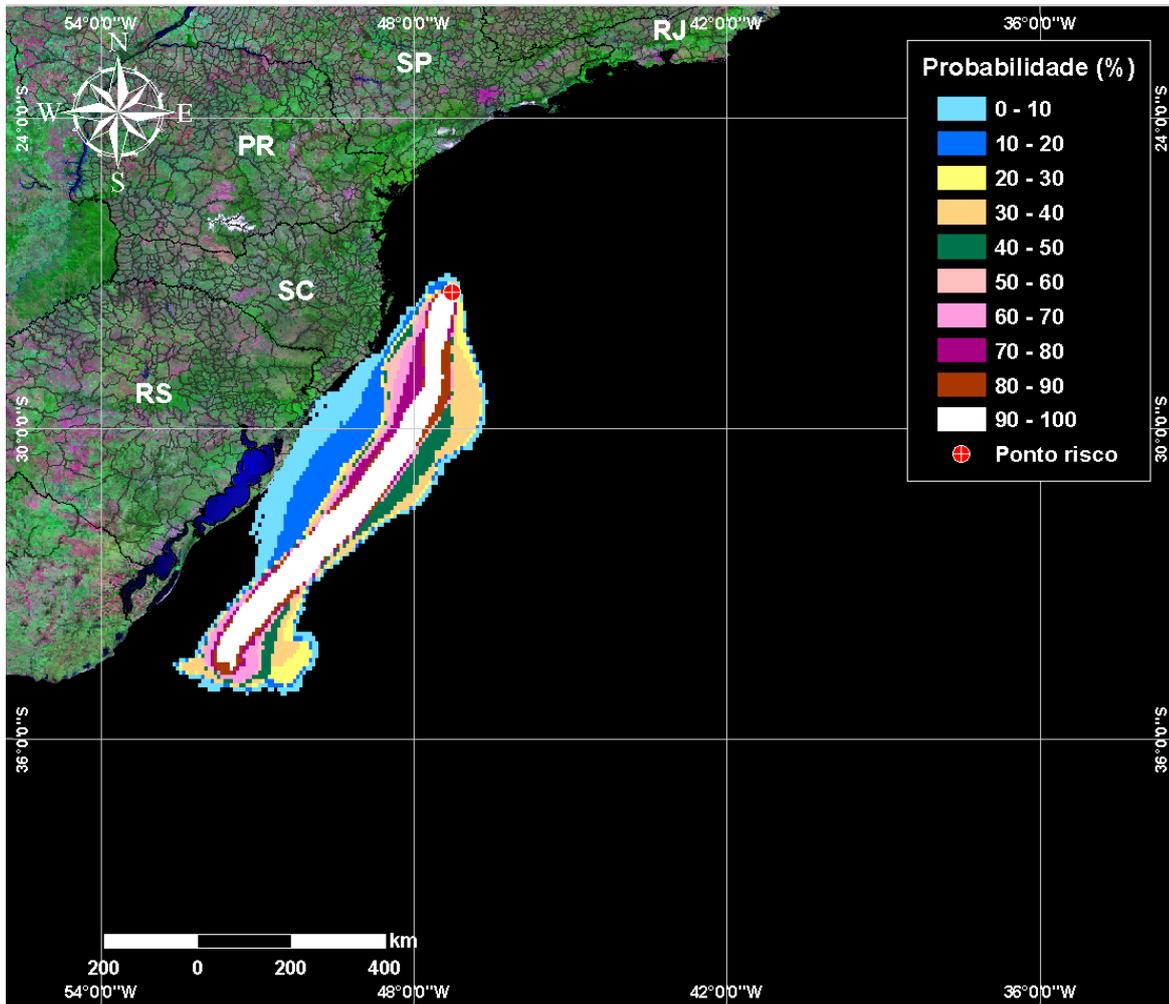
**Figura VI.1-15** - Cenário S-06\_PC\_DIESEL\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-065, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



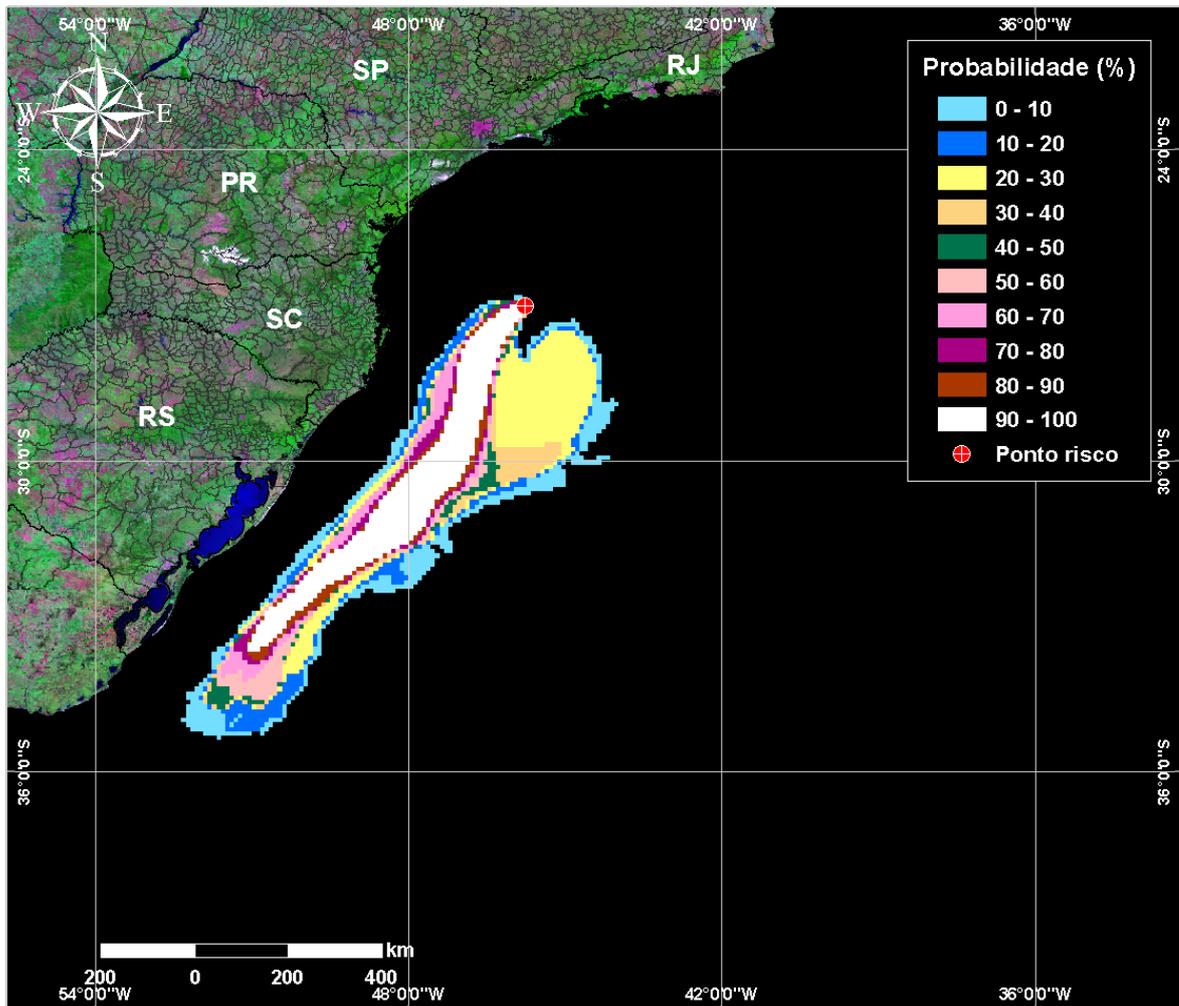
**Figura VI.1-16** - Cenário S-07\_PC\_SCS10A\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SCS10A, ocorrendo no Ponto S-07, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 63.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



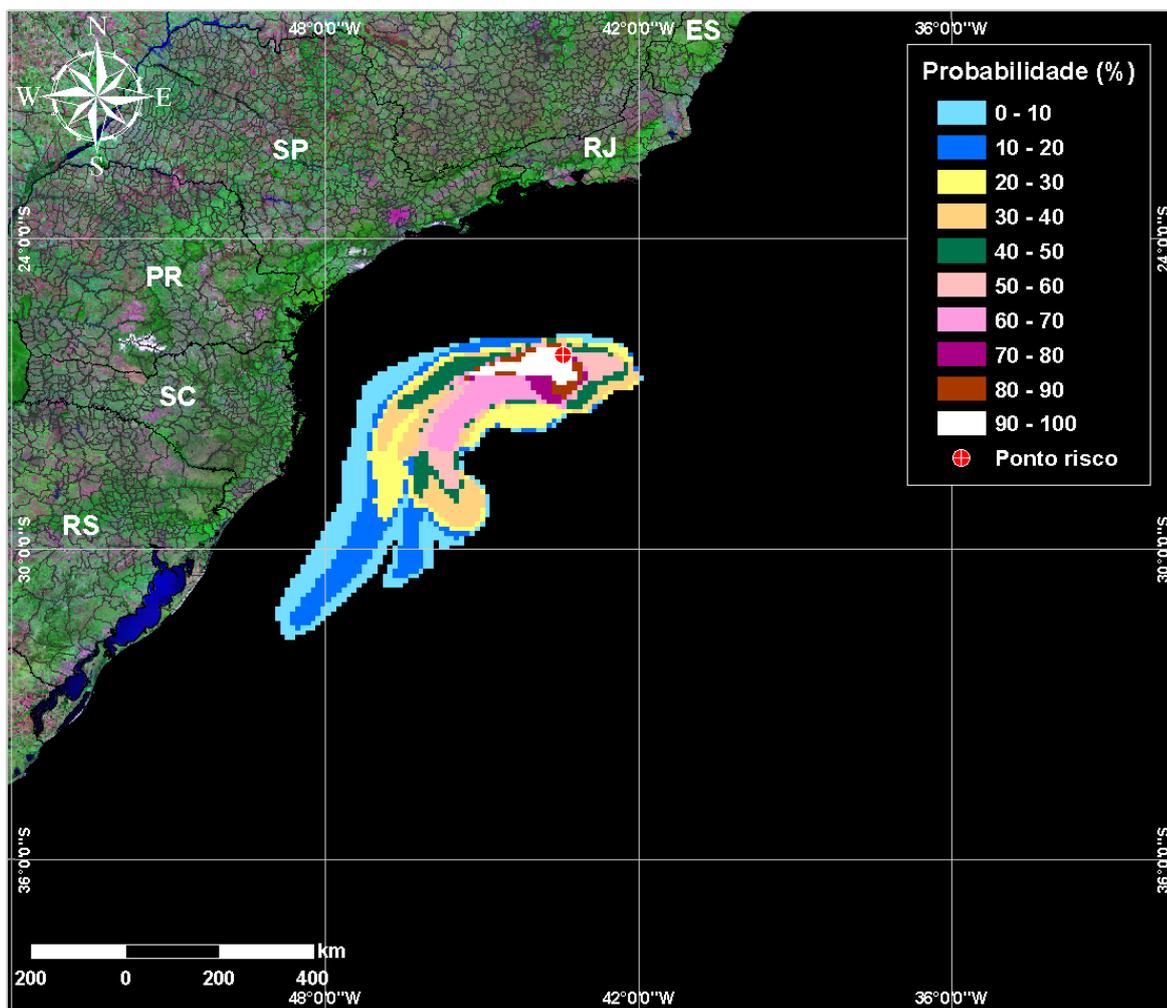
**Figura VI.1-17** - Cenário S-08\_PC\_SCS10A\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SCS10A, ocorrendo no Ponto S-08, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 63.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



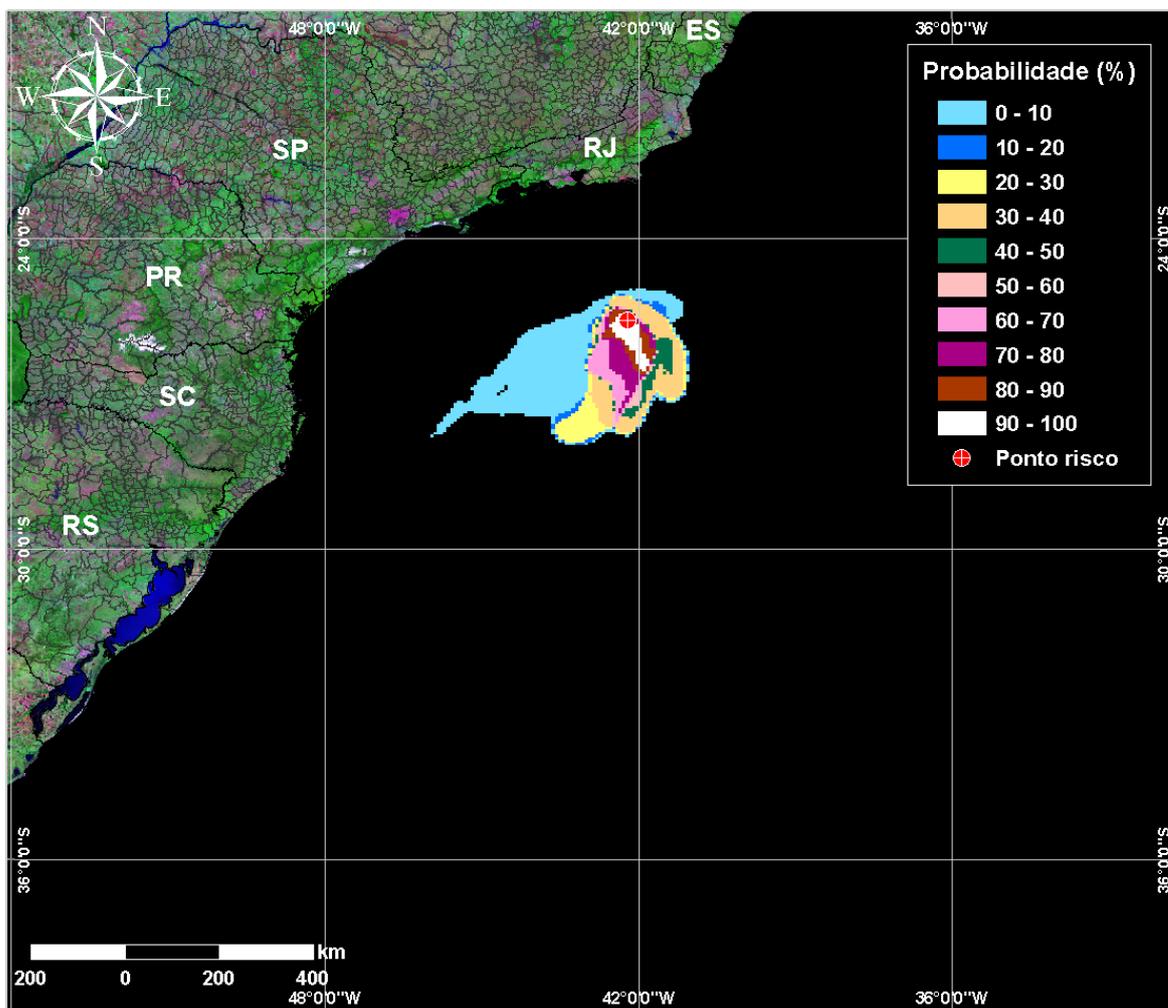
**Figura VI.1-18** - Cenário S-09\_PC\_SCS10A\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SCS10A, ocorrendo no Ponto S-09, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 63.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



**Figura VI.1-19** - Cenário S-10\_PC\_SCS10A\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SCS10A, ocorrendo no Ponto S-10, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 63.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.

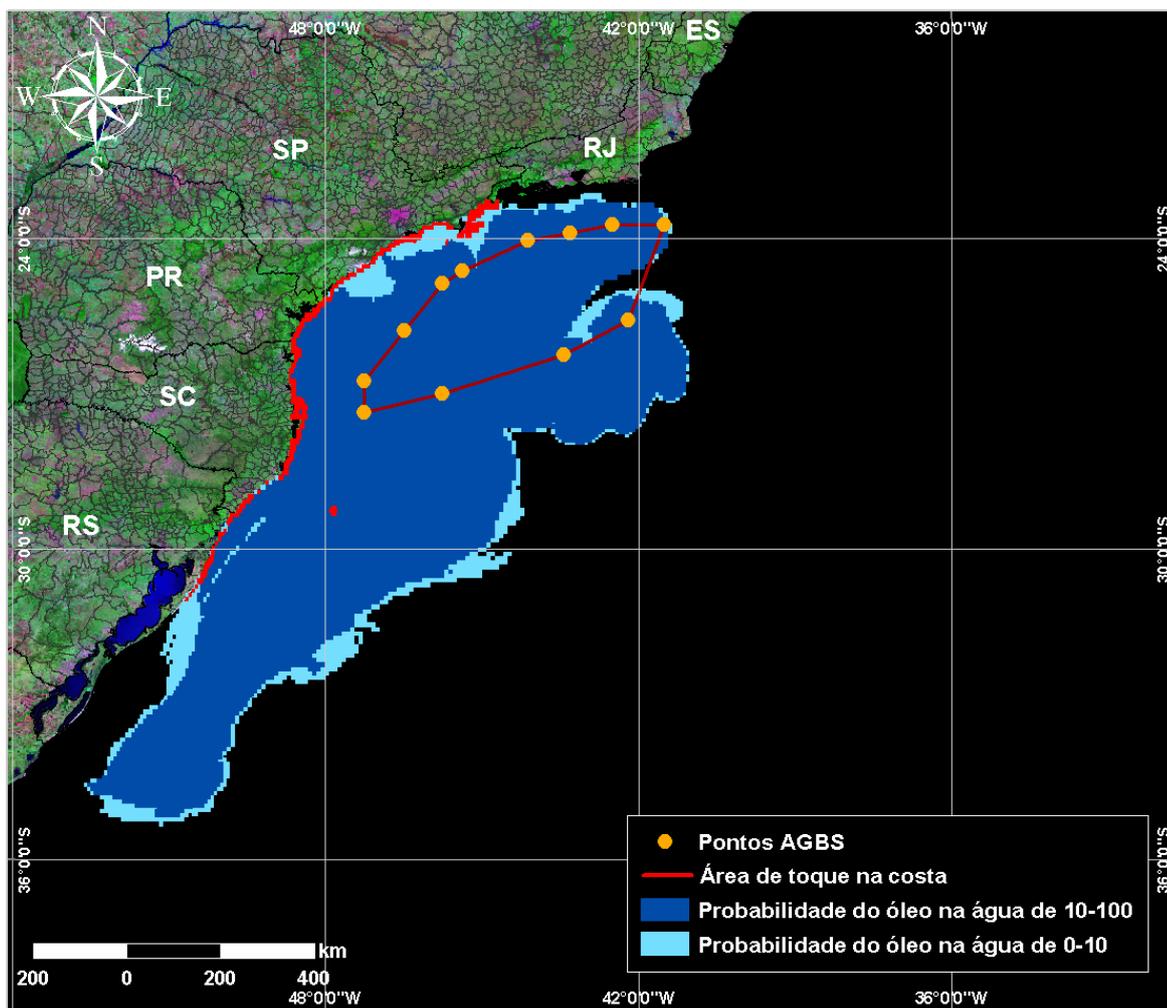


**Figura VI.1-20** - Cenário S-11\_PC\_BMS21\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo BMS21, ocorrendo no Ponto S-11, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 28.500 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



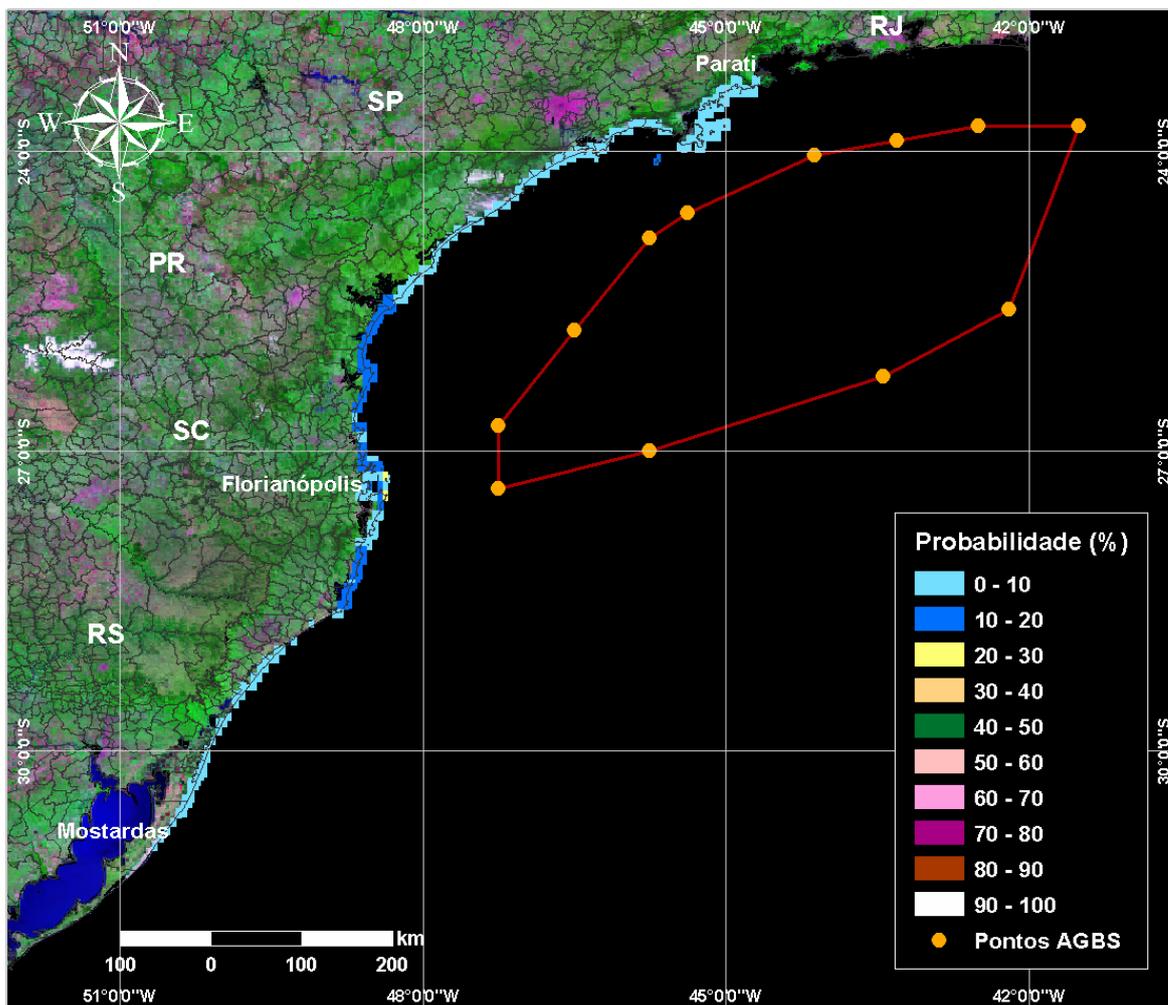
**Figura VI.1-21** - Cenário S-12\_PC\_BMS21\_VER\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo BMS21, ocorrendo no Ponto S-12, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 28.500 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.

A figura VI.1-22 apresenta a área total com probabilidade de óleo na água, através da sobreposição das manchas de probabilidade obtidas para cada um dos 21 cenários simulados (12 pontos de risco e 7 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 VI.1-23.



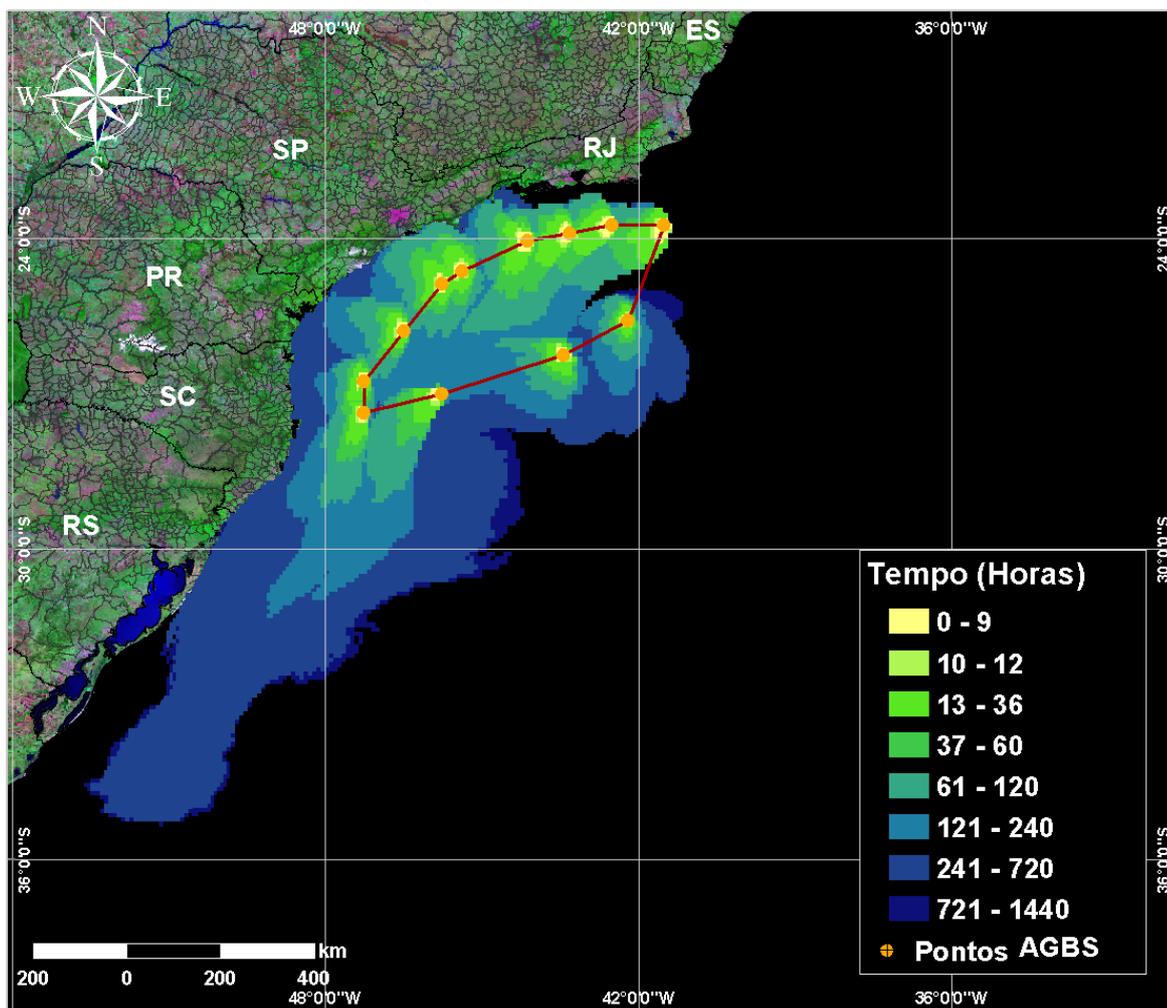
**Figura VI.1-22** - Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para a Área Geográfica Bacia de Santos, decorrente de derrames de óleo durante os meses de verão (janeiro a março).

A figura VI.1-23 apresenta a região da linha de costa com probabilidade de toque, através da sobreposição dos pontos de toque obtidos para cada uma das 21 simulações (12 pontos de risco e 7 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, 1.240 km do município de Parati (RJ) até o de Mostardas (RS). As maiores probabilidades de toque na costa (20-30%) ocorreram em Florianópolis (SC).



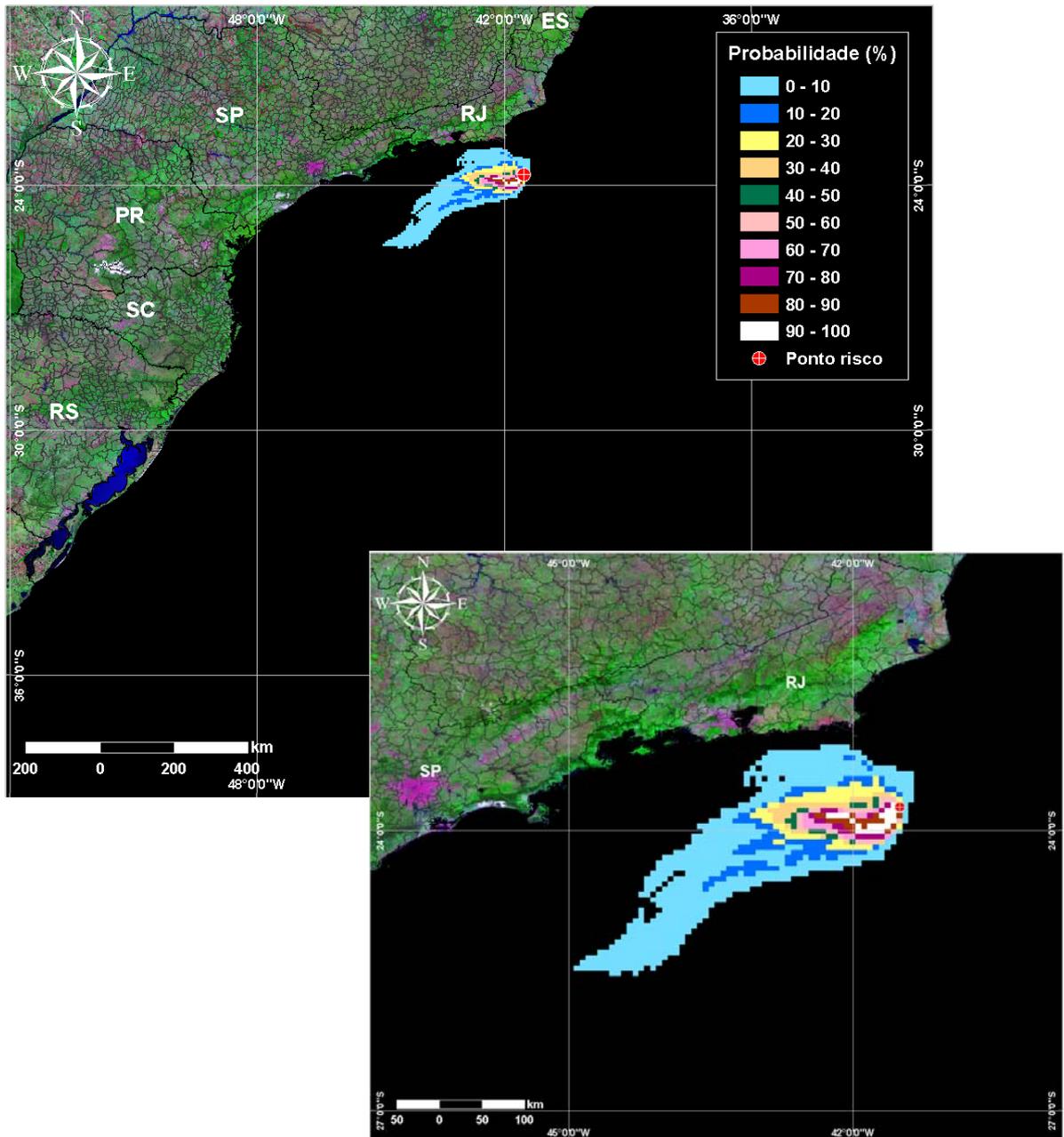
**Figura VI.1-23 - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para a Área Geográfica Bacia de Santos, decorrente de derrames de óleo durante os meses de verão (janeiro a março).**

A figura VI.1-24 apresenta os contornos de tempo do deslocamento de óleo na água, através da sobreposição das 21 simulações de modelagem de derrame de óleo (12 pontos de risco e 7 tipos de óleo) realizadas durante o verão.

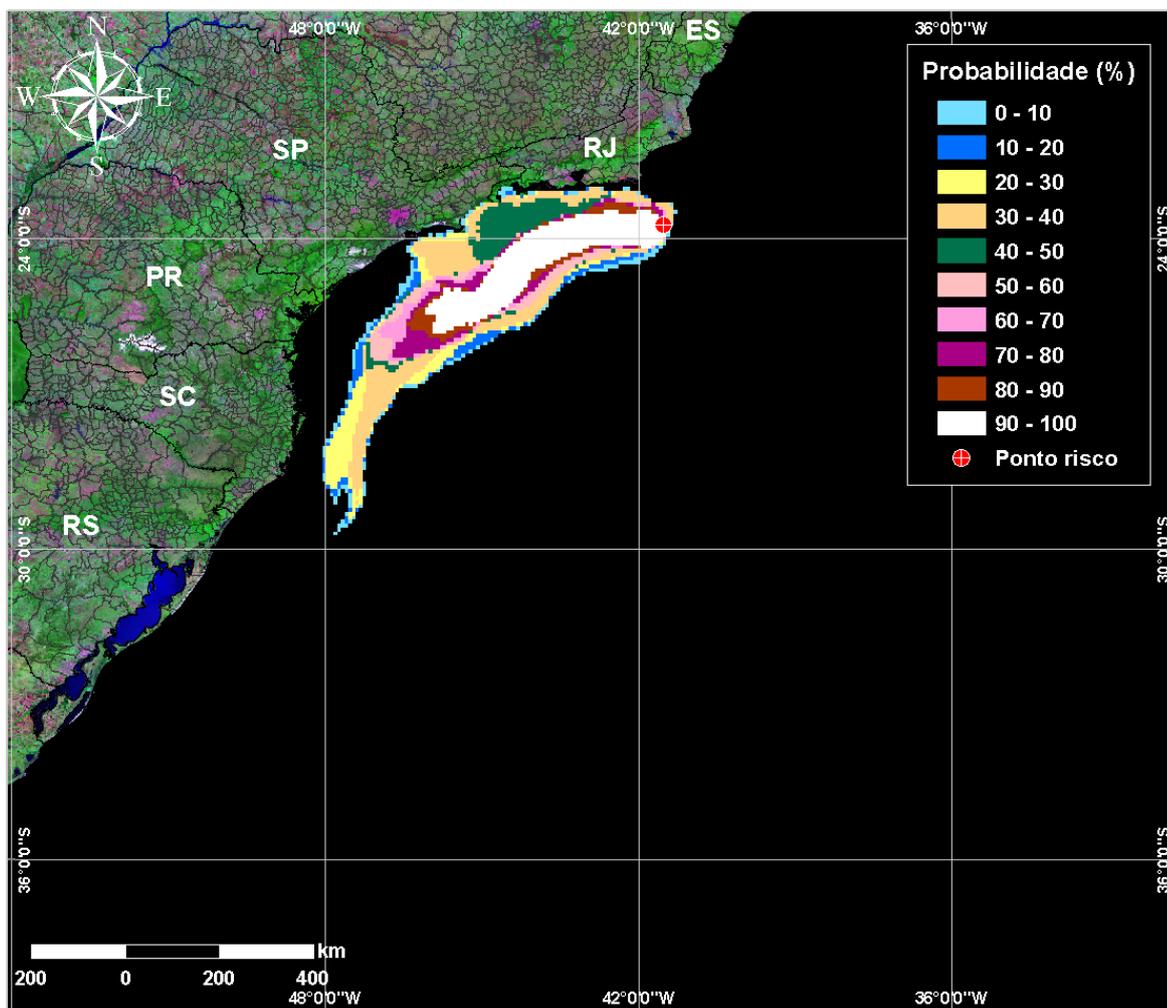


**Figura VI.1-24** - Tempo de deslocamento de óleo na água para a Área Geográfica Bacia de Santos, decorrente de derrames de óleo durante os meses de verão (janeiro a março).

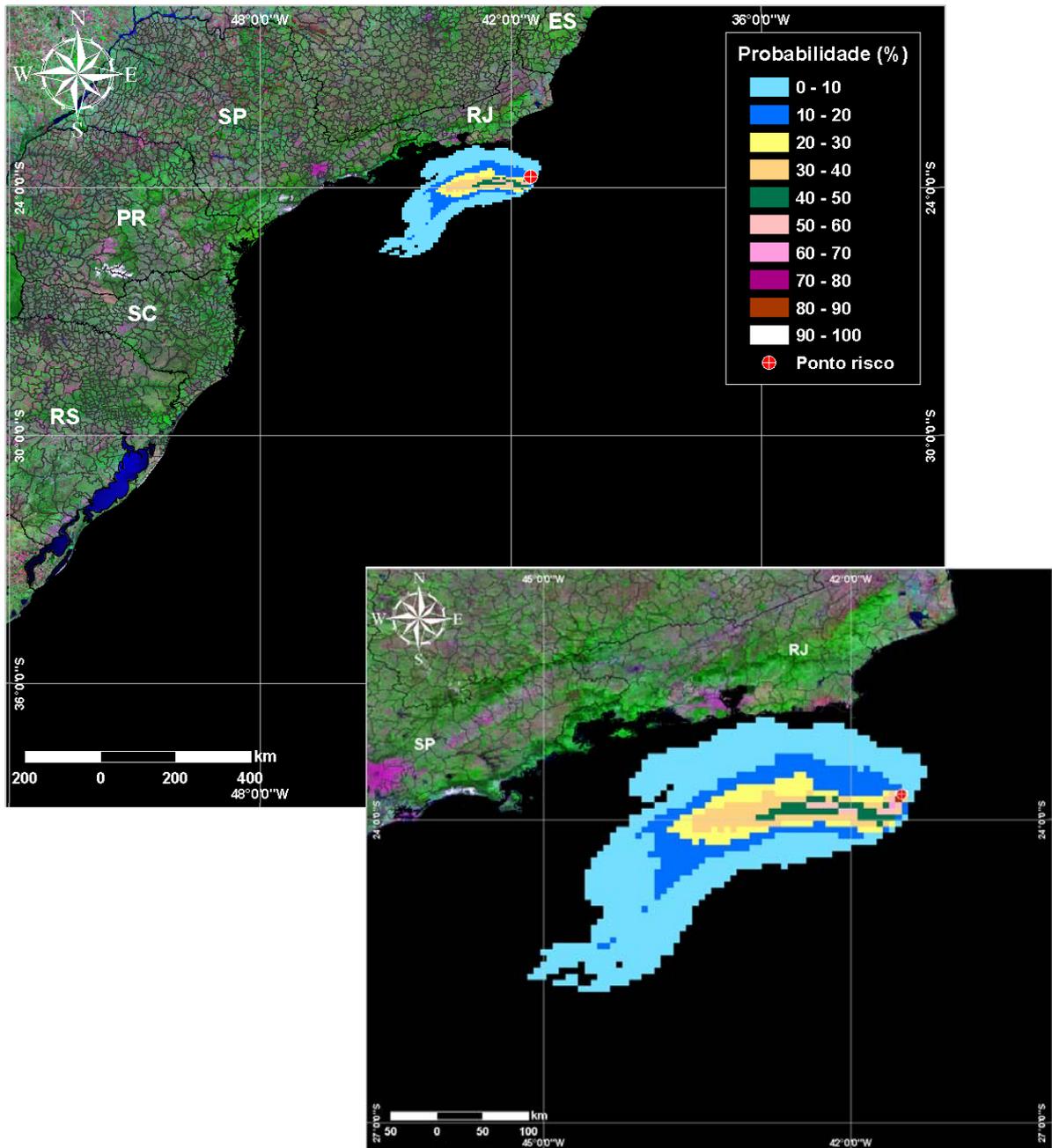
As figuras VI.1-25 a VI.1-48 apresentam os resultados das simulações probabilísticas para os 12 pontos de risco localizados na Área Geográfica Bacia de Santos, decorrentes potenciais acidentes com derrames dos óleos tipo RJS-587, RJS-574, SPS-0035, MLZ-3D, SCS10A, BM-S-21 e óleo diesel marítimo, durante os meses inverno. Os resultados são apresentados a partir do Ponto S-01 no sentido anti-horário (figura I.1-1).



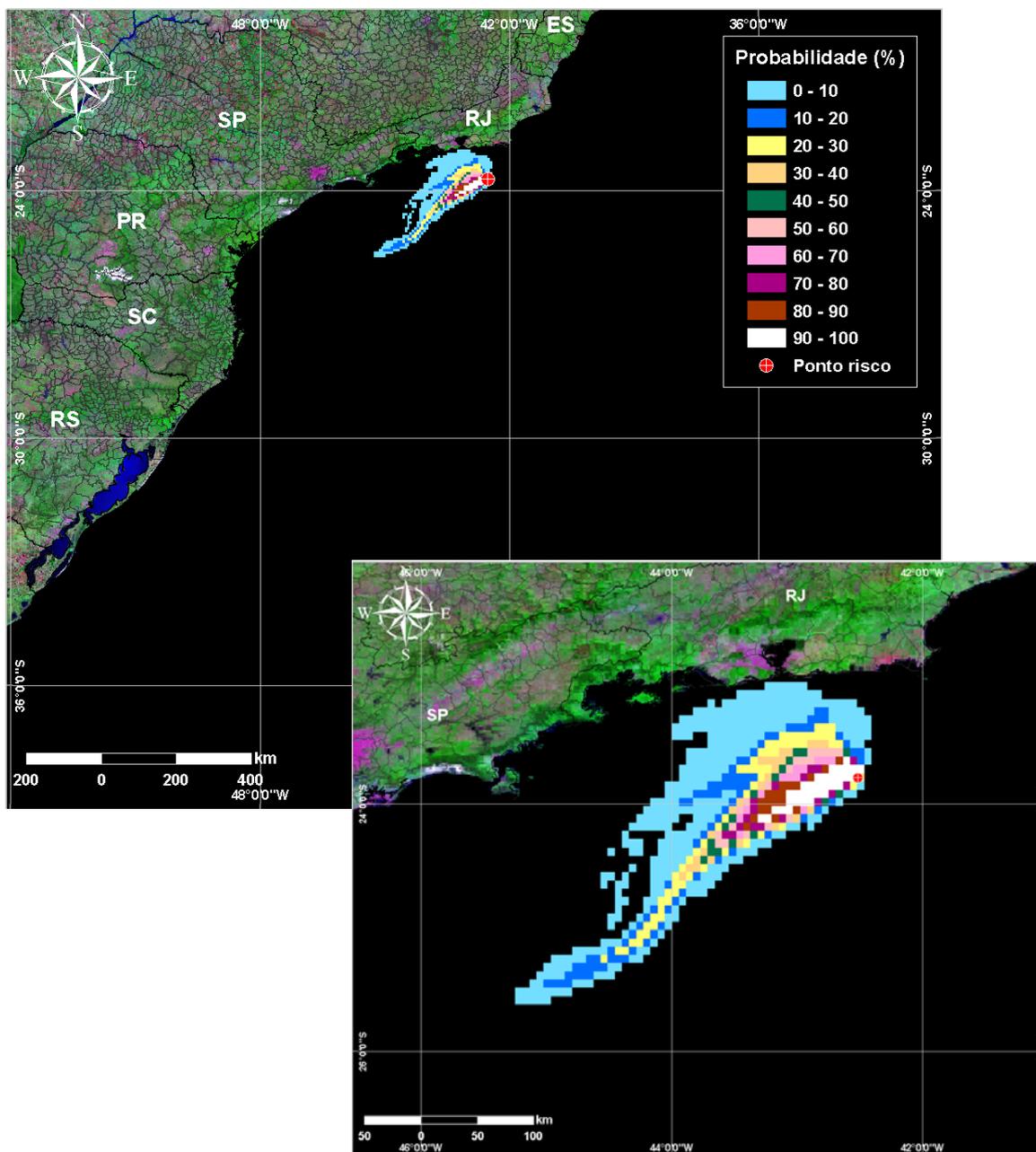
**Figura VI.1-25** - Cenário S-01\_PC\_RJS-587\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-587, ocorrendo no Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8.220 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



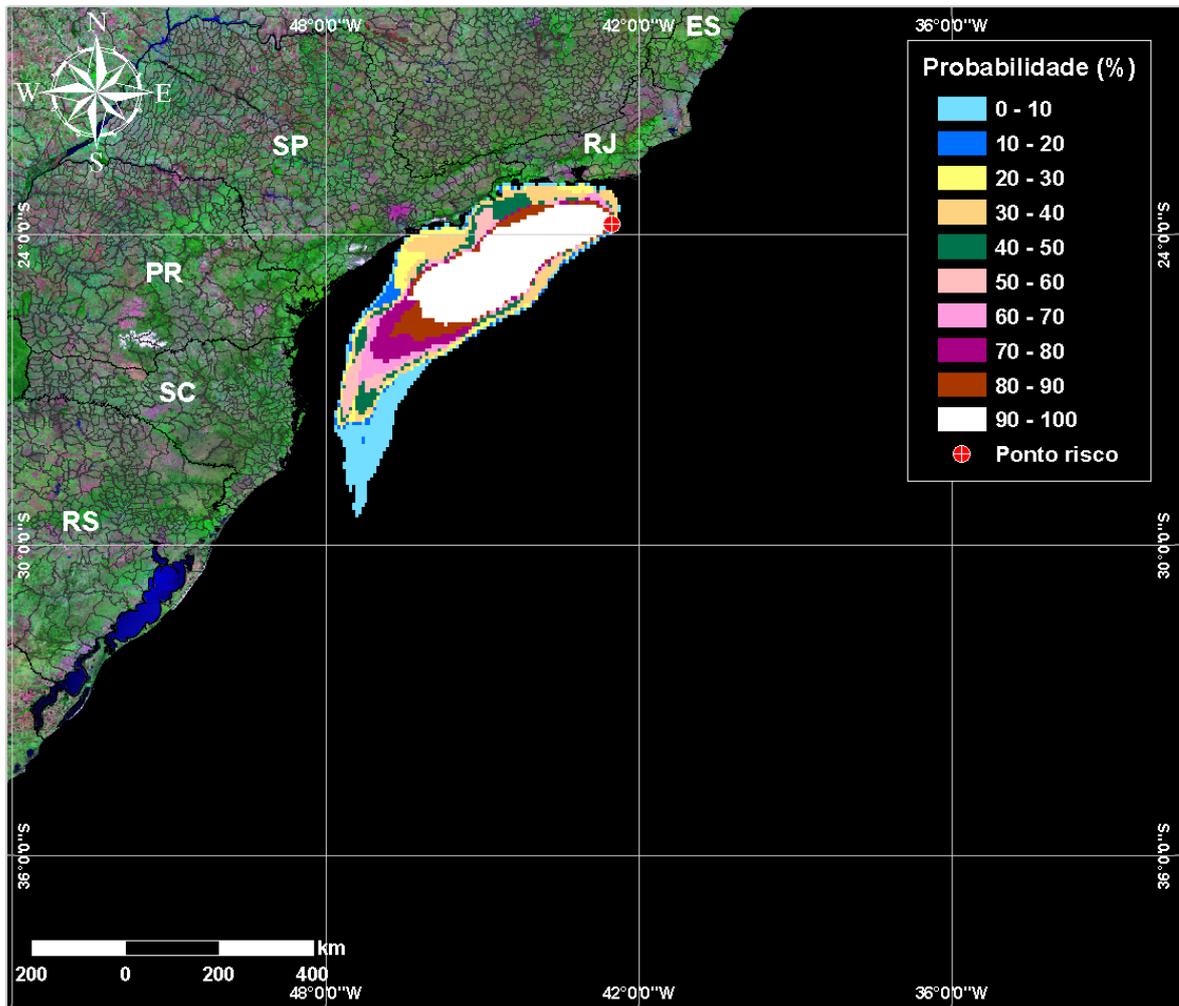
**Figura VI.1-26** - Cenário S-01\_PC\_RJS-574\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-574, ocorrendo no Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8.220 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



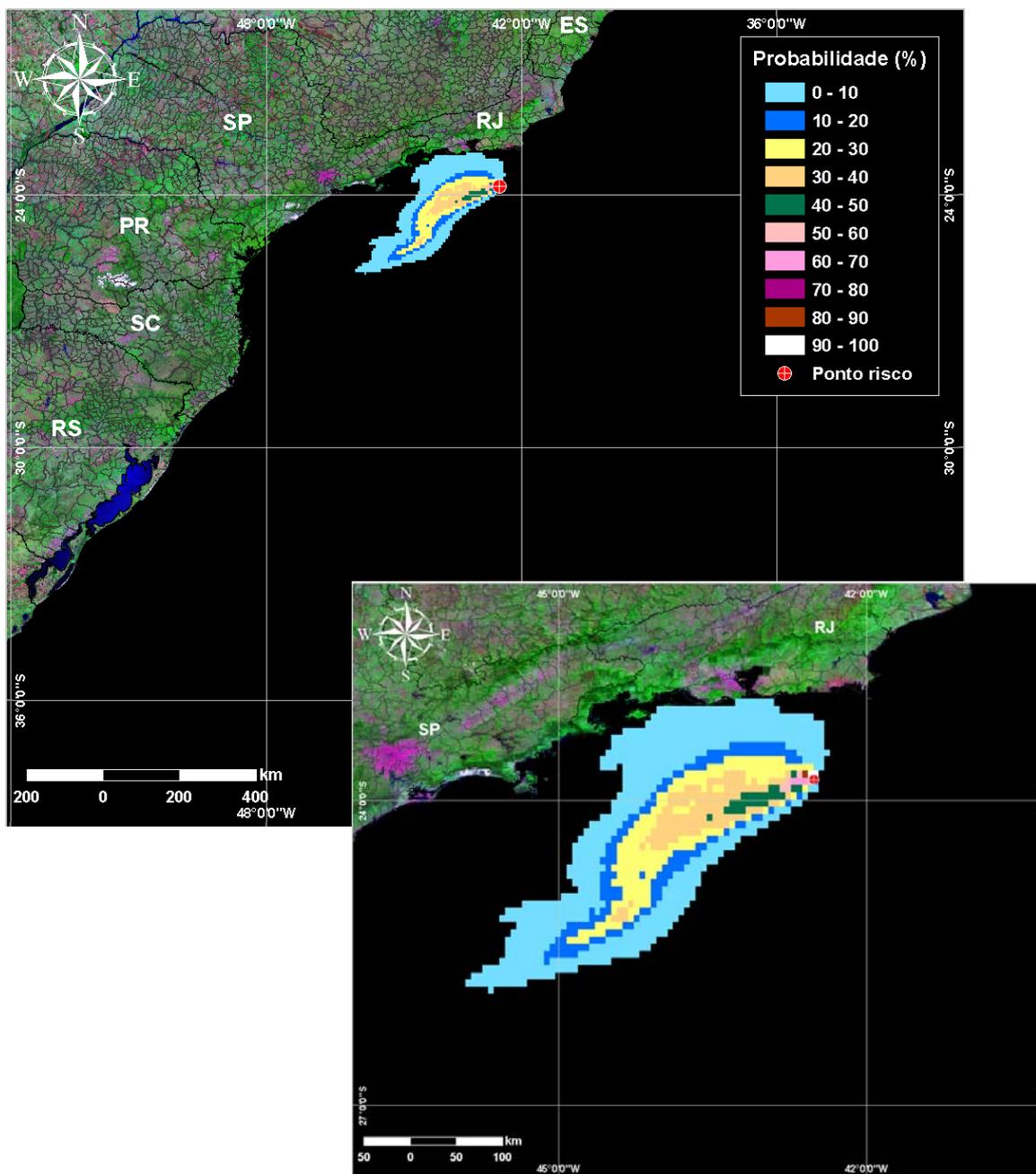
**Figura VI.1-27** - Cenário S-01\_PC\_DIESEL\_INV\_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



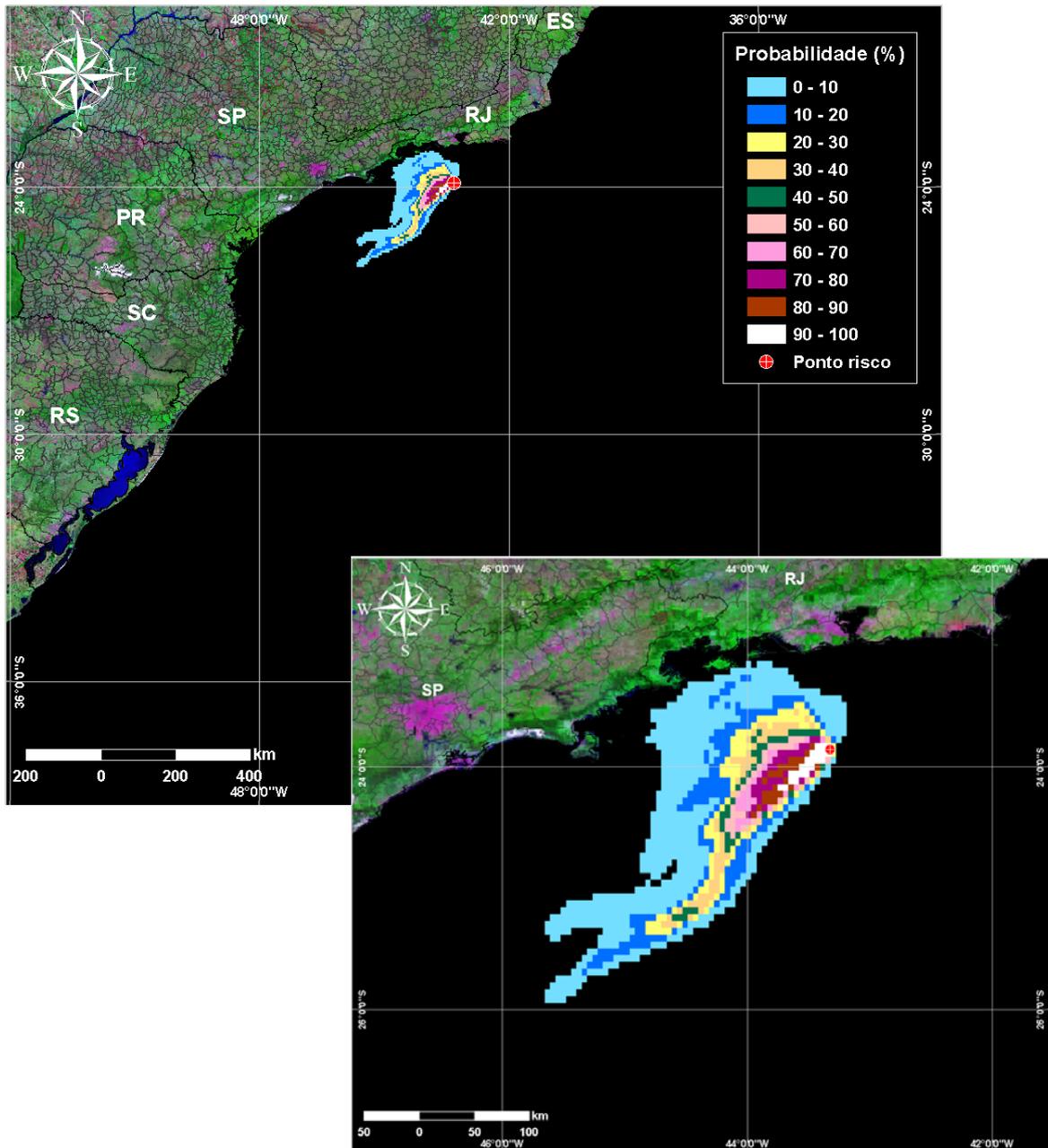
**Figura VI.1-28** - Cenário S-02\_PC\_RJS-587\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-587, ocorrendo no Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8.220 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



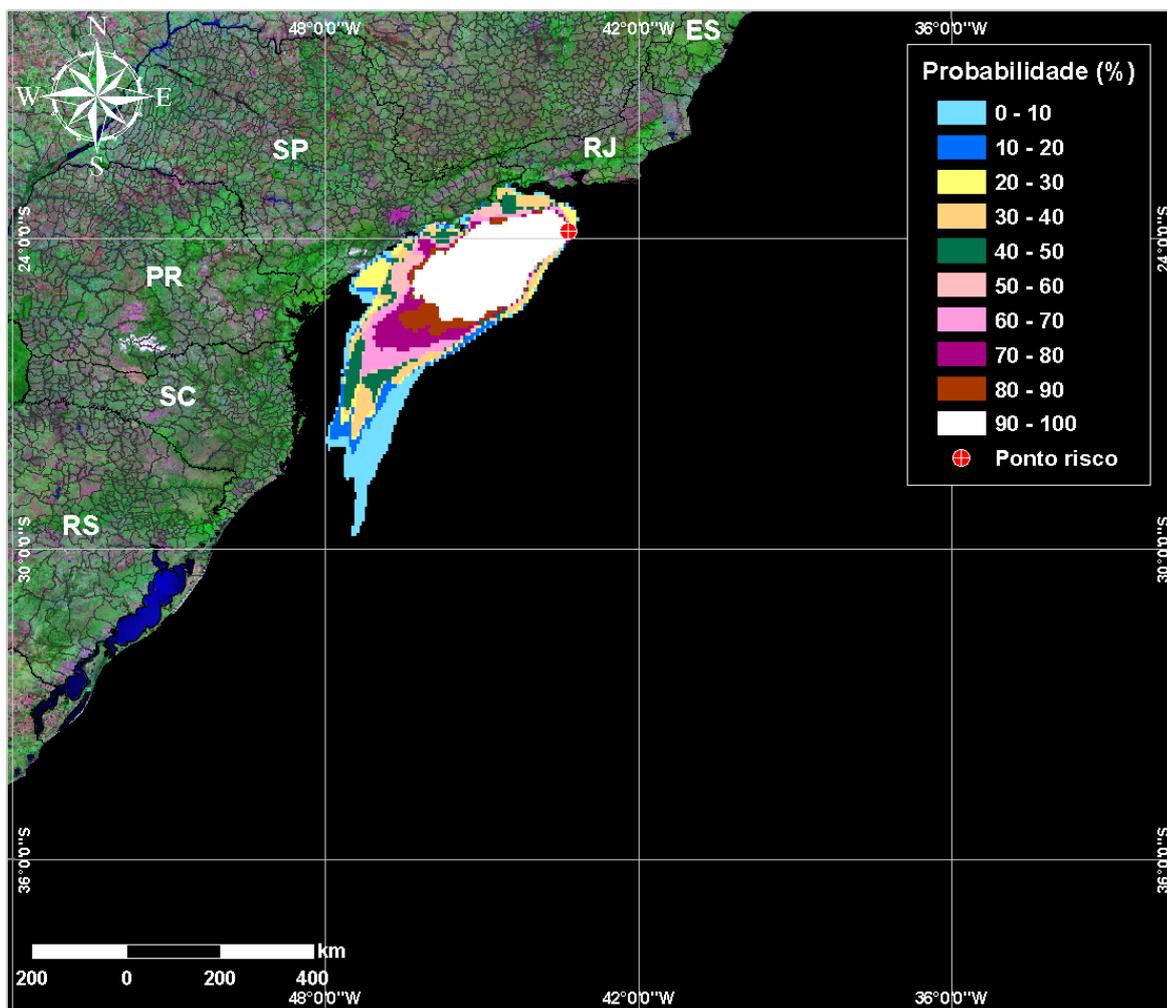
**Figura VI.1-29** - Cenário S-02\_PC\_RJS-574\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-574, ocorrendo no Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8.220 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



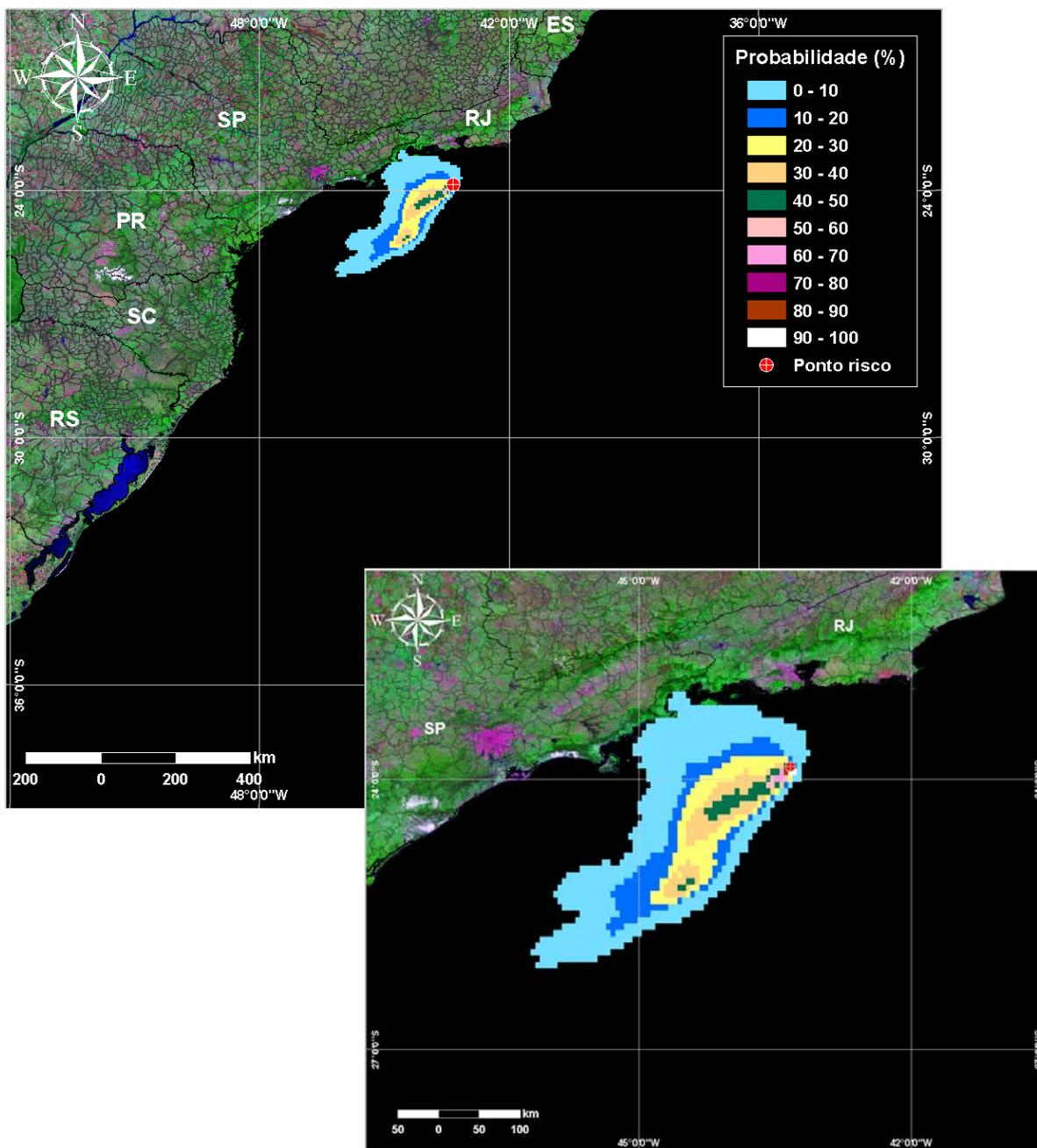
**Figura VI.1-30** - Cenário S-02\_PC\_DIESEL\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



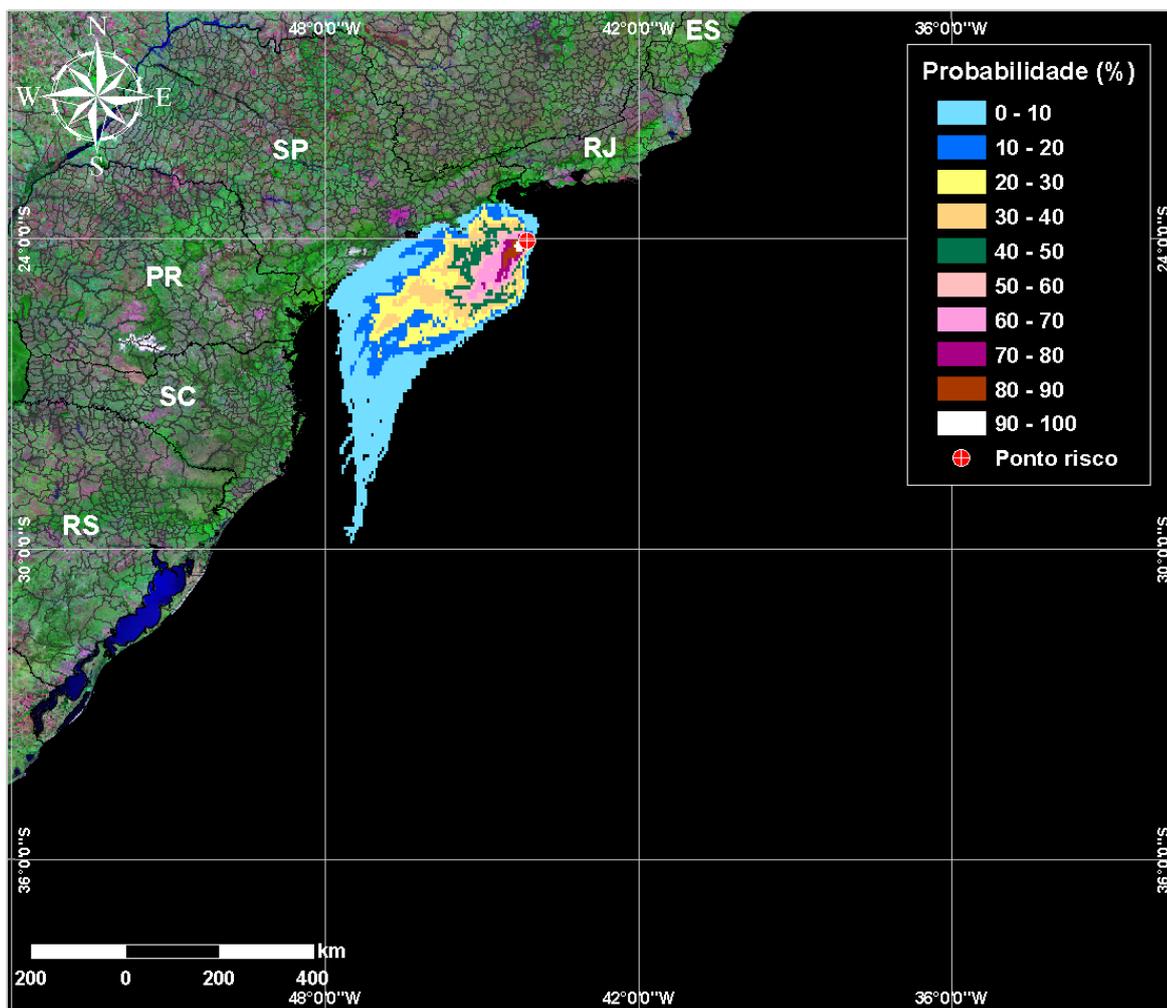
**Figura VI.1-31** - Cenário S-03\_PC\_RJS-587\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-587, ocorrendo no Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8.220 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



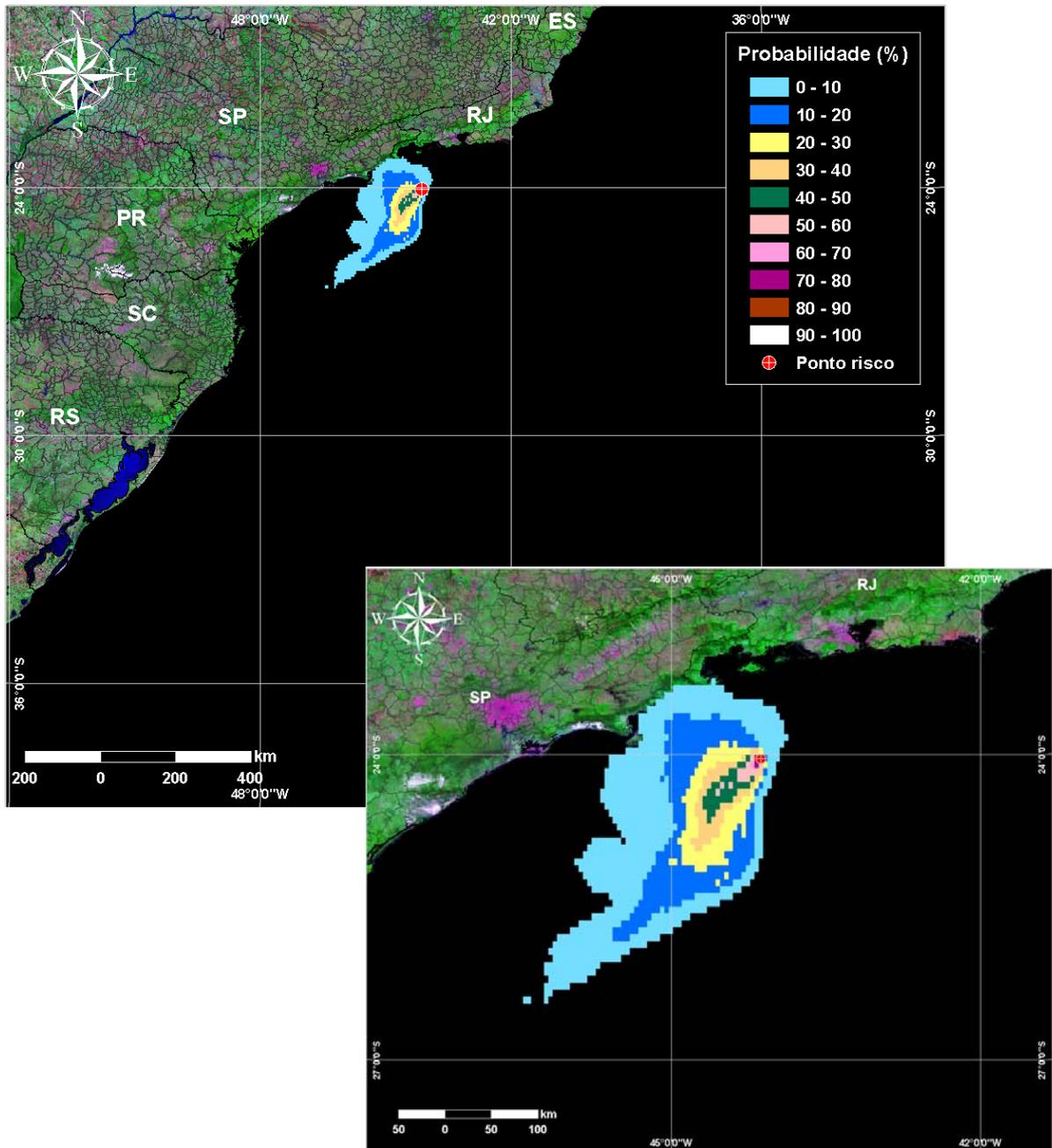
**Figura VI.1-32** - Cenário S-03\_PC\_RJS-574\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo RJS-574, ocorrendo no Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8.220 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



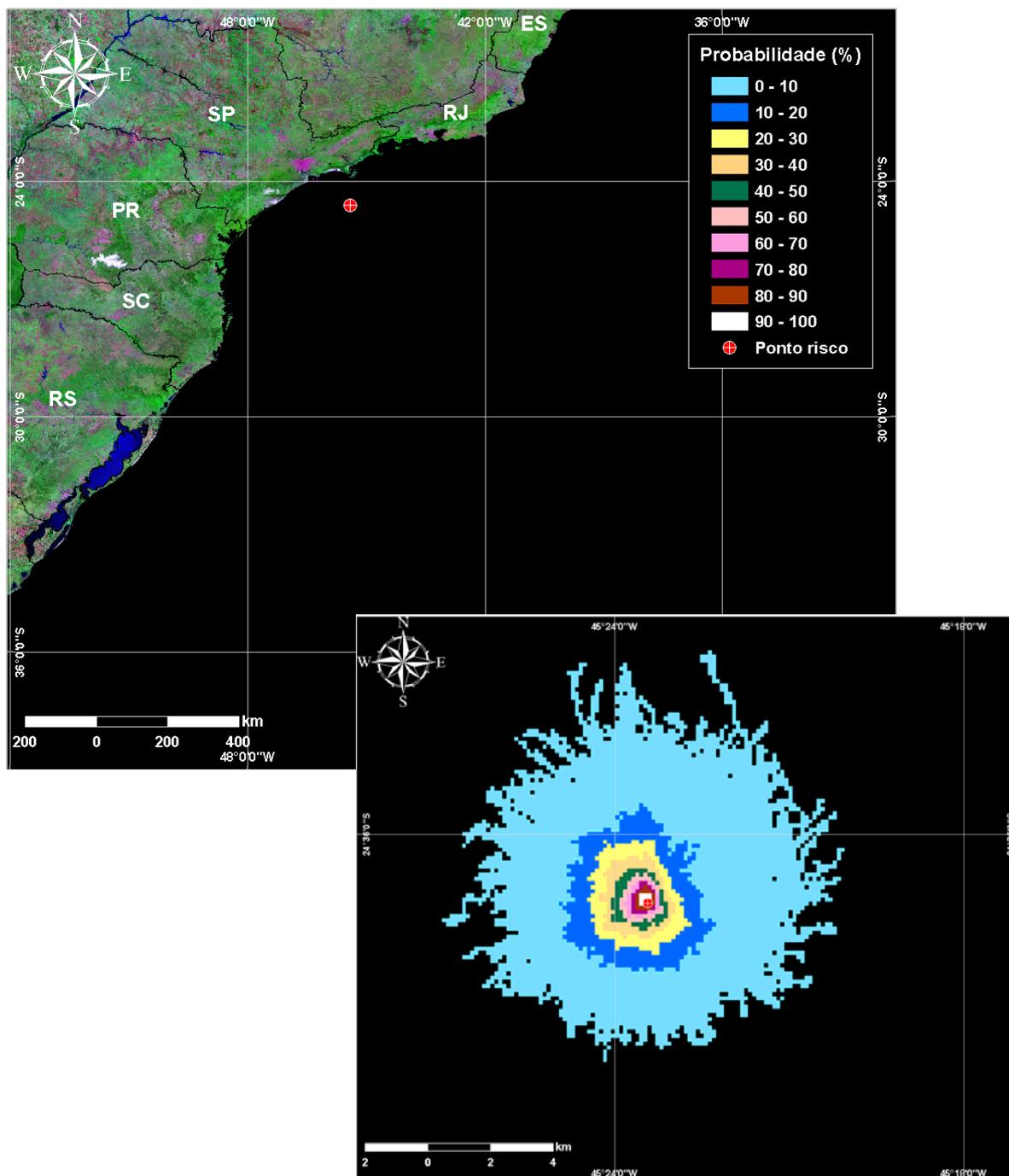
**Figura VI.1-33** - Cenário S-03\_PC\_DIESEL\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



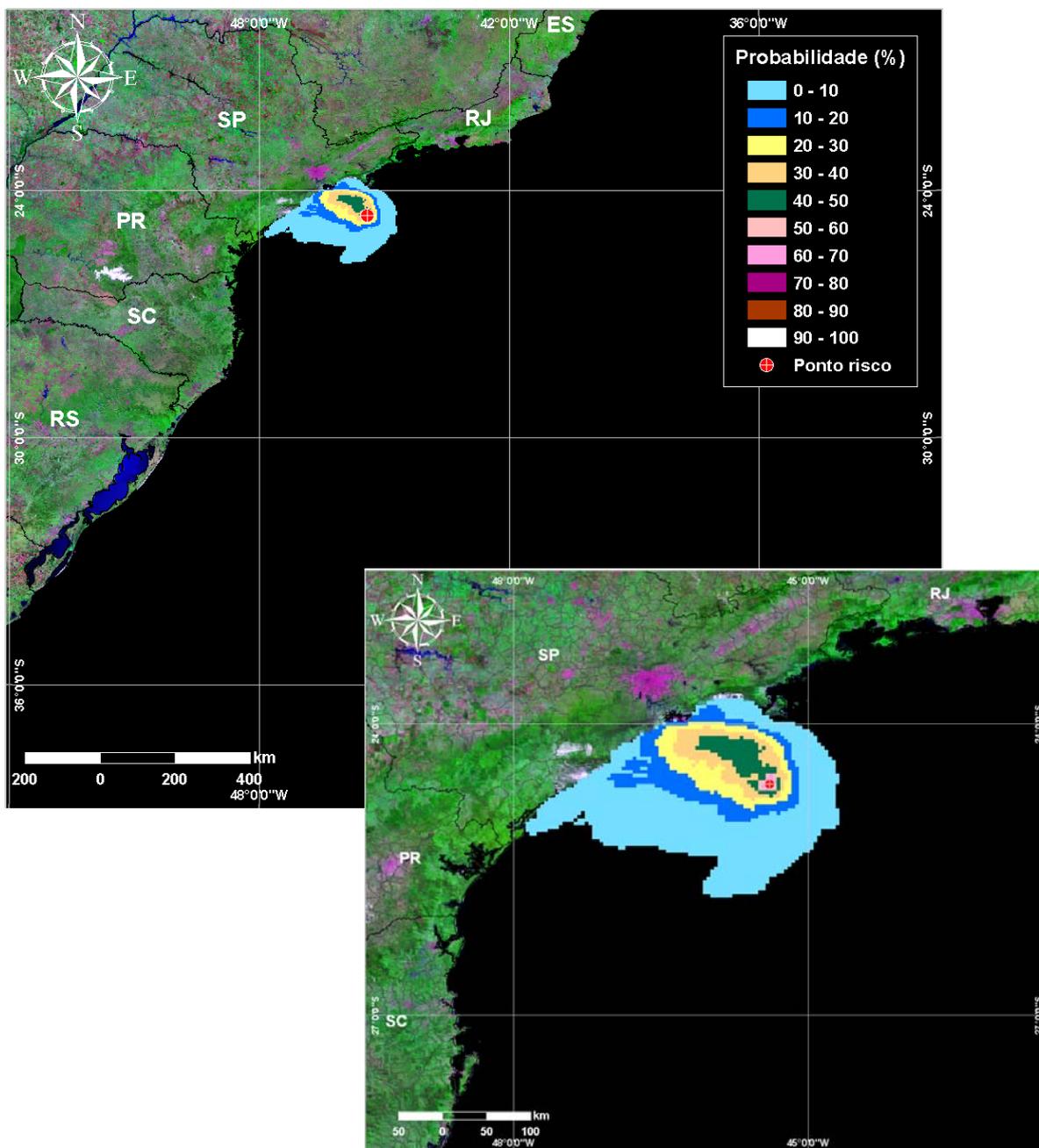
**Figura VI.1-34** - Cenário S-04\_PC\_SPS-0035\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SPS-0035, ocorrendo no Ponto S-04, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 2.580 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



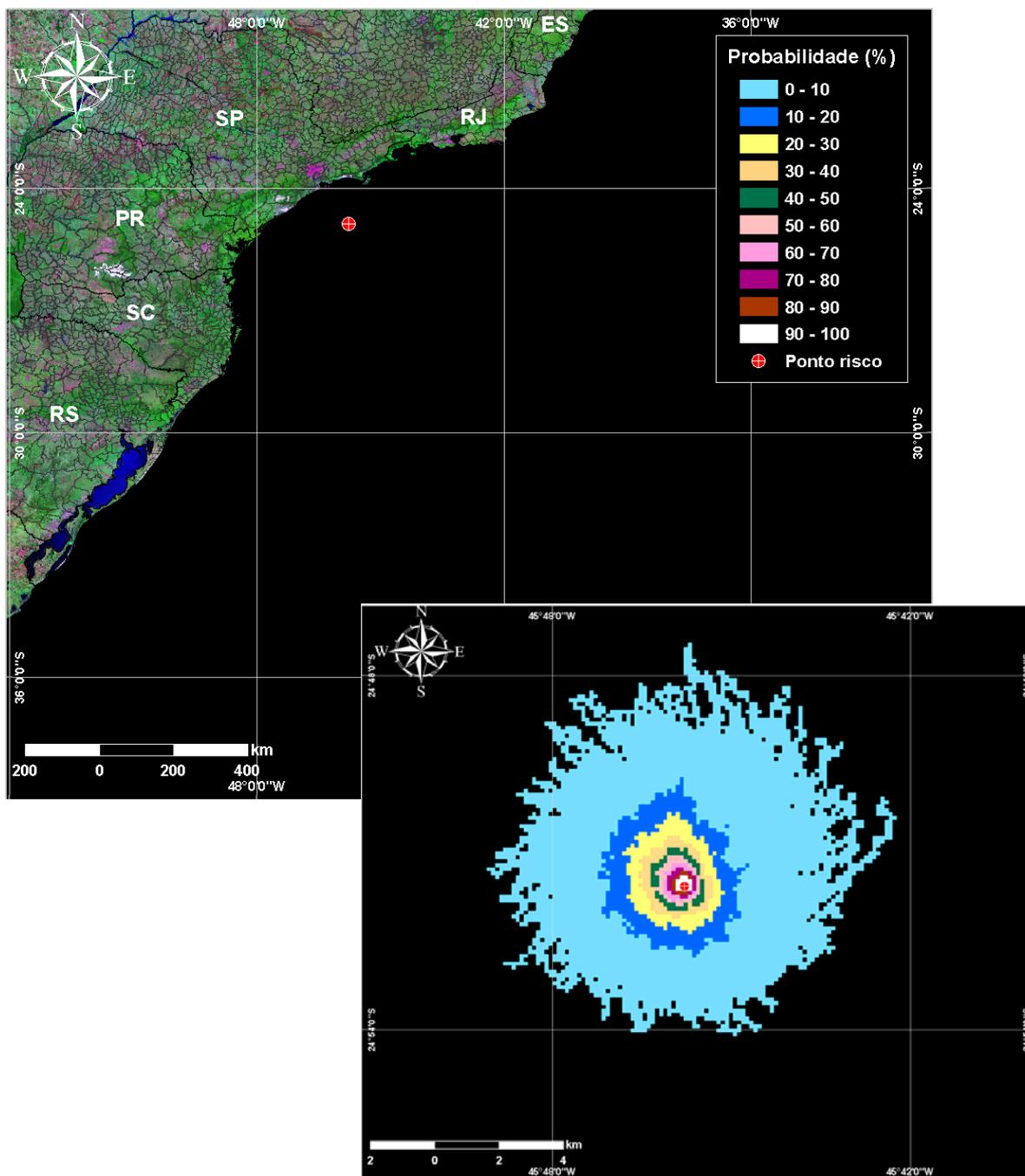
**Figura VI.1-35** - Cenário S-04\_PC\_DIESEL\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-04, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



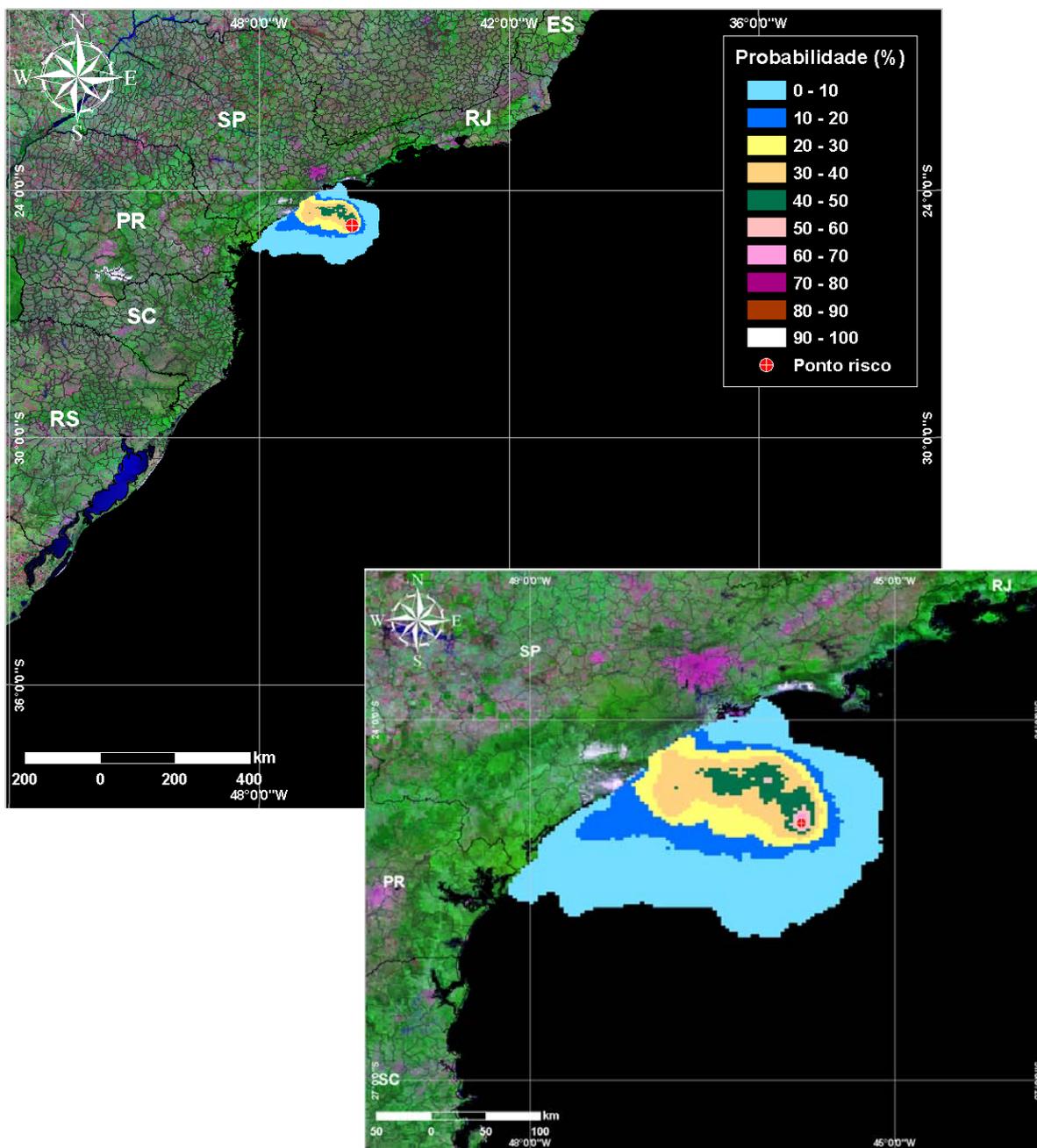
**Figura VI.1-36** - Cenário S-05\_PC\_MLZ-3D\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-05, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 1.650 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



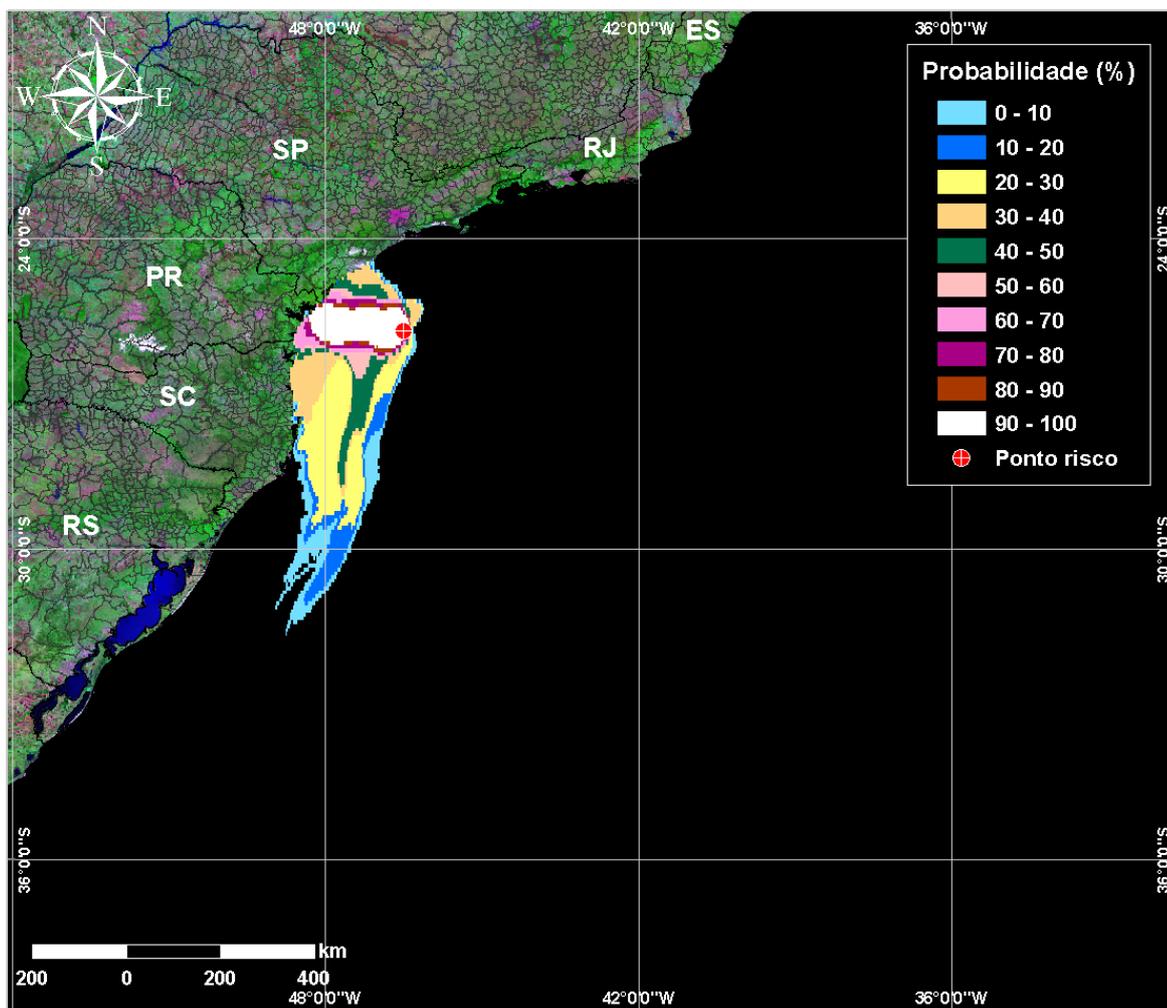
**Figura VI.1-37** - Cenário S-05\_PC\_DIESEL\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-05, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



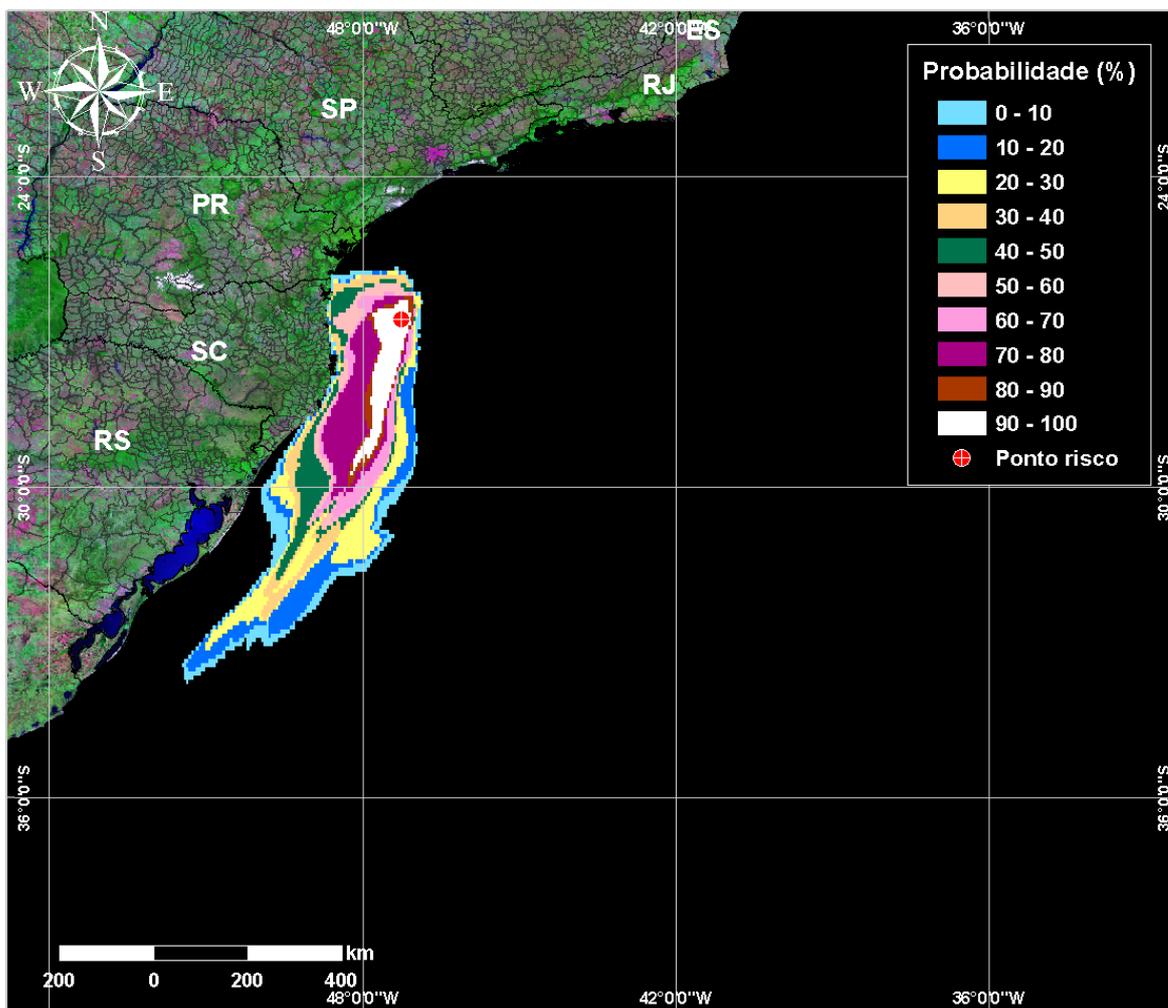
**Figura VI.1-38** - Cenário S-06\_PC\_MLZ-3D\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo MLZ-3D, ocorrendo no Ponto S-06, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 1.650 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



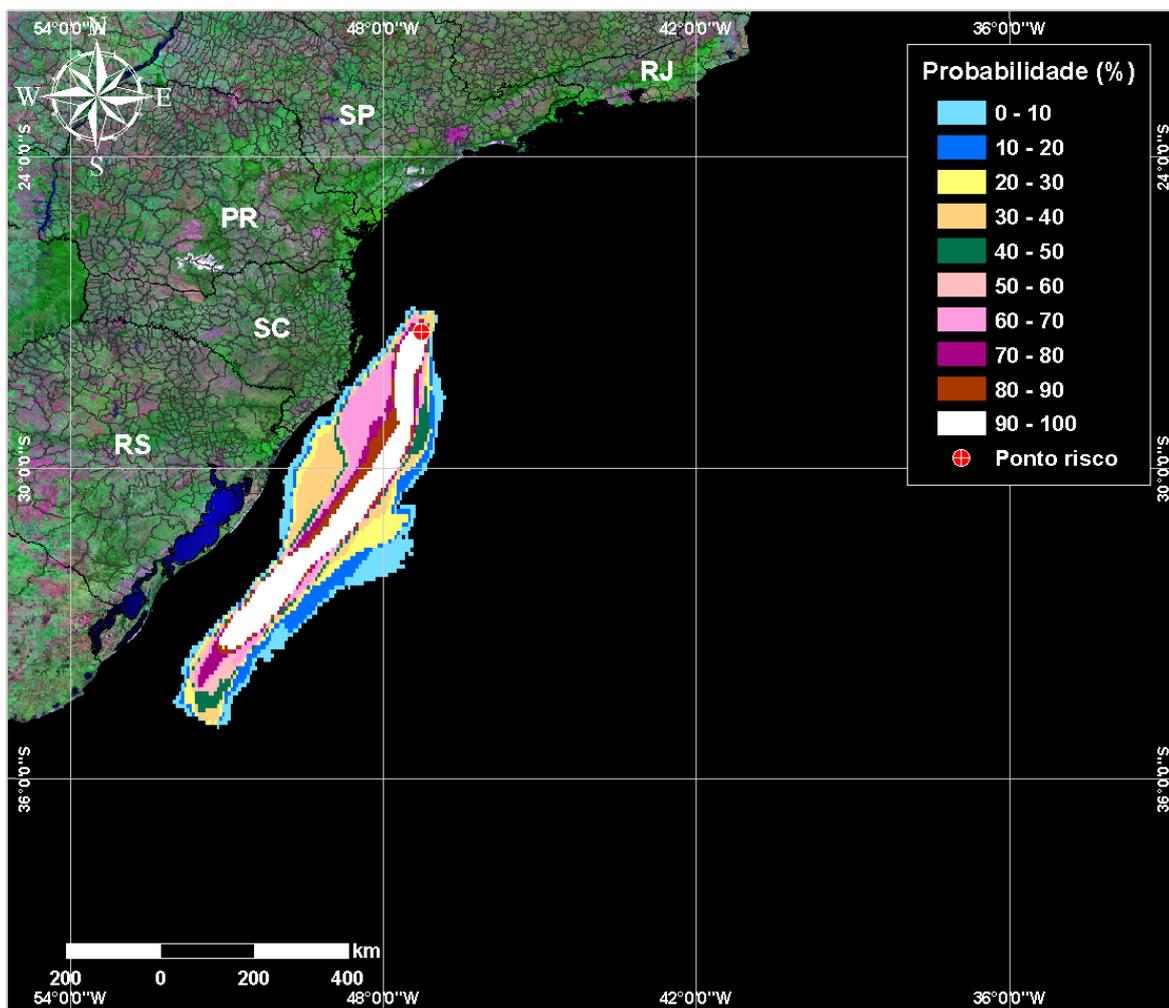
**Figura VI.1-39** - Cenário S-06\_PC\_DIESEL\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo diesel marítimo, ocorrendo no Ponto S-065, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 6.000 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



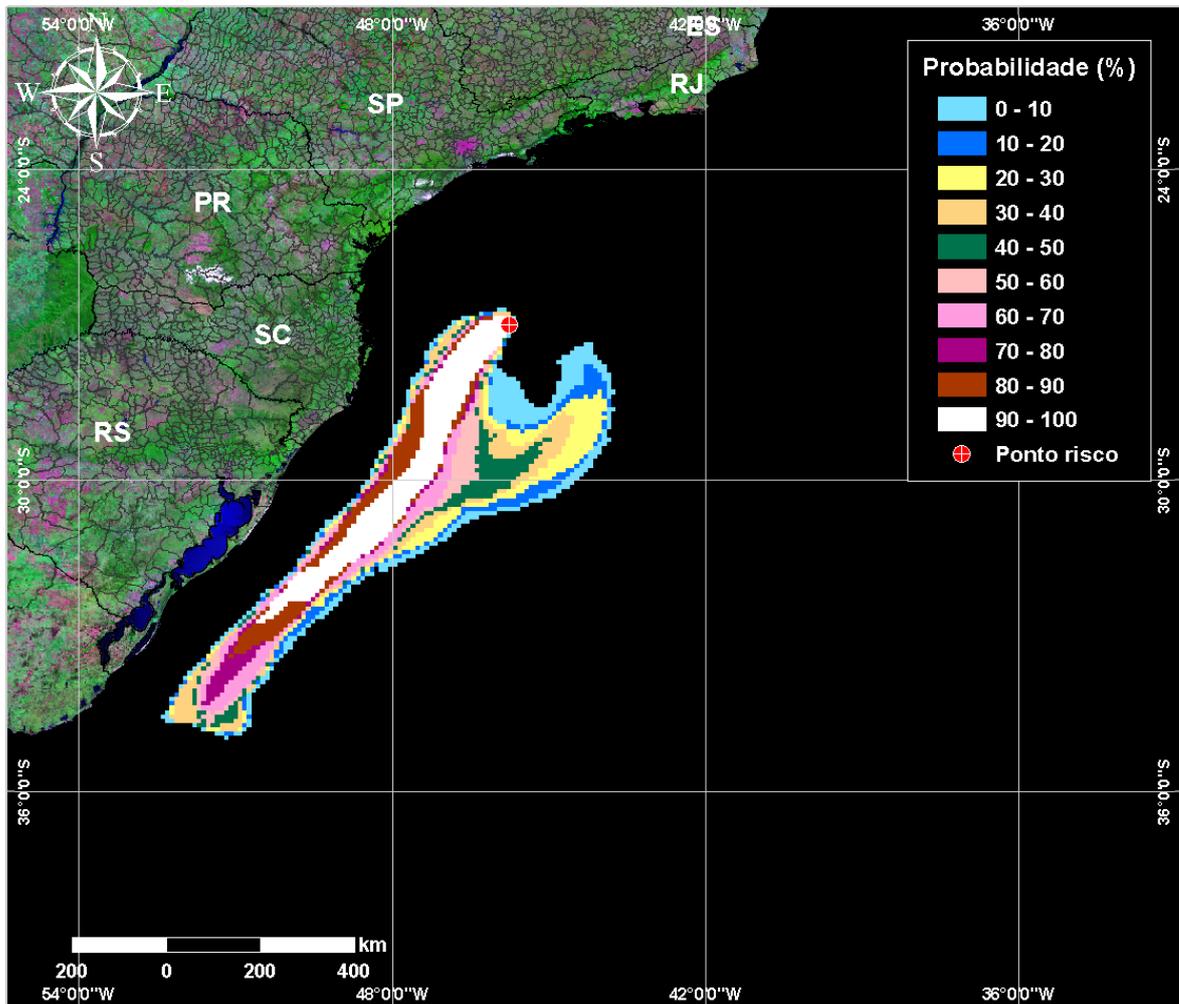
**Figura VI.1-40** - Cenário S-07\_PC\_SCS10A\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SCS10A, ocorrendo no Ponto S-07, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 63.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



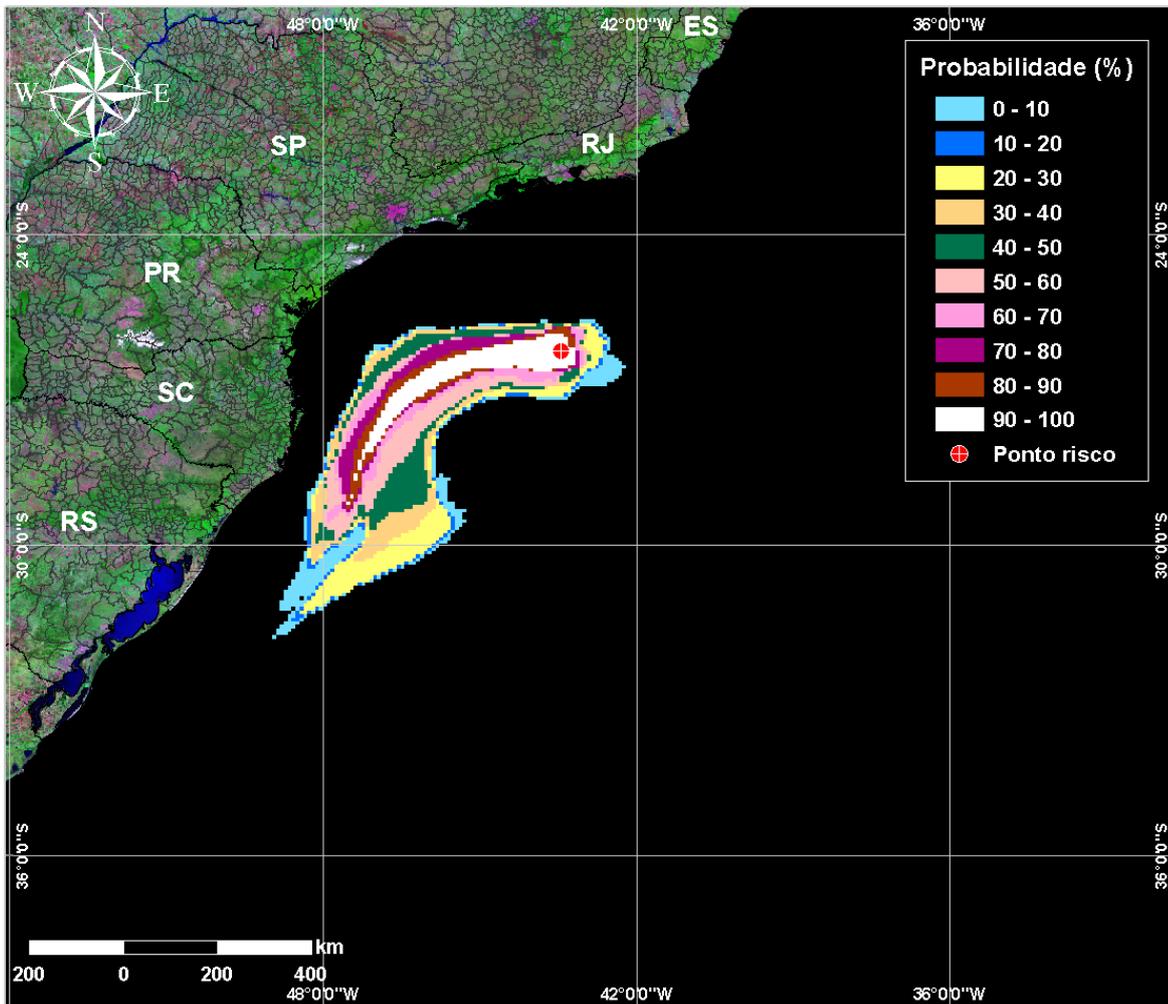
**Figura VI.1-41** - Cenário S-08\_PC\_SCS10A\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SCS10A, ocorrendo no Ponto S-08, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 63.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



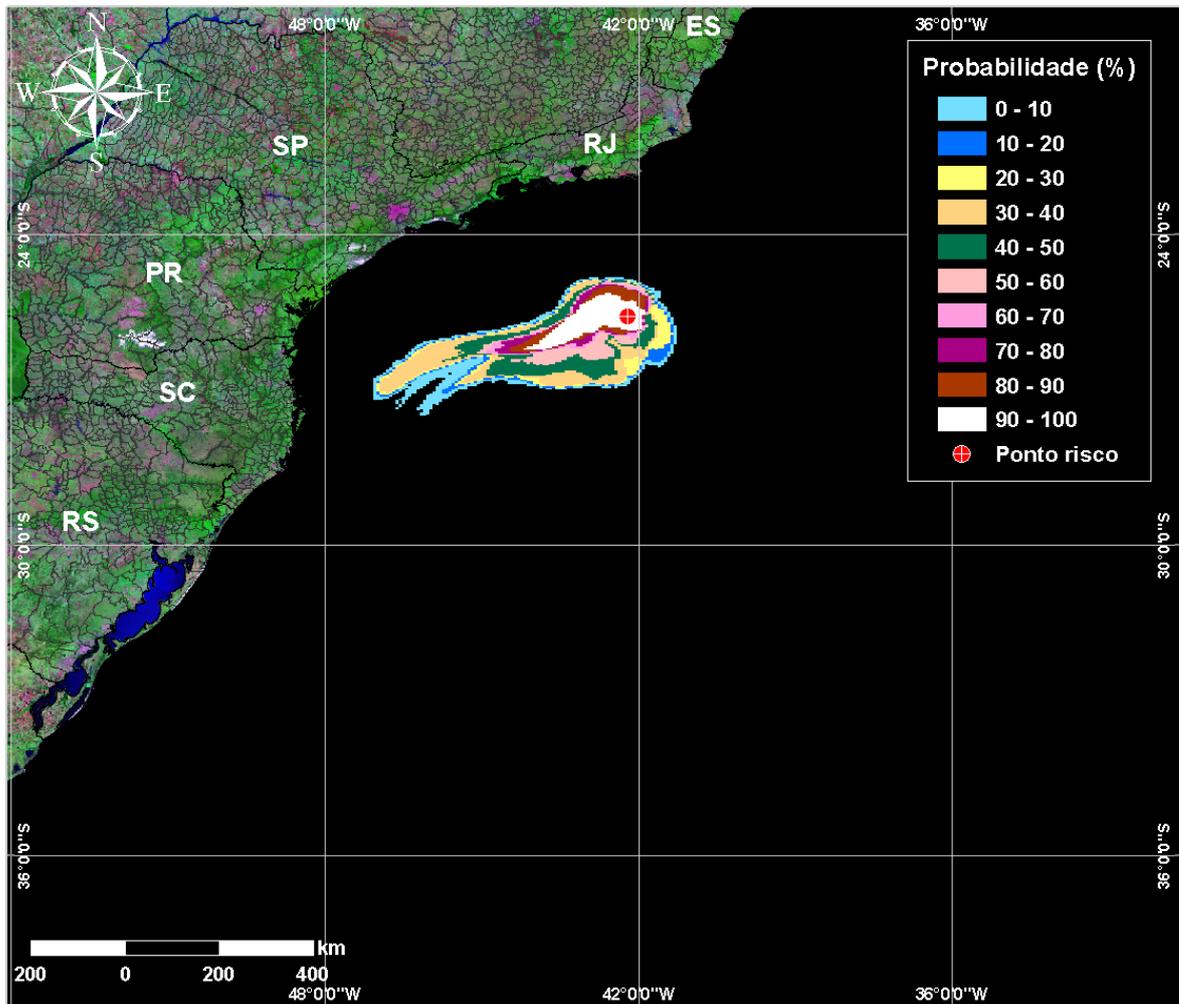
**Figura VI.1-42** - Cenário S-09\_PC\_SCS10A\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SCS10A, ocorrendo no Ponto S-09, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 63.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



**Figura VI.1-43** - Cenário S-10\_PC\_SCS10A\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo SCS10A, ocorrendo no Ponto S-10, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 63.000 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.

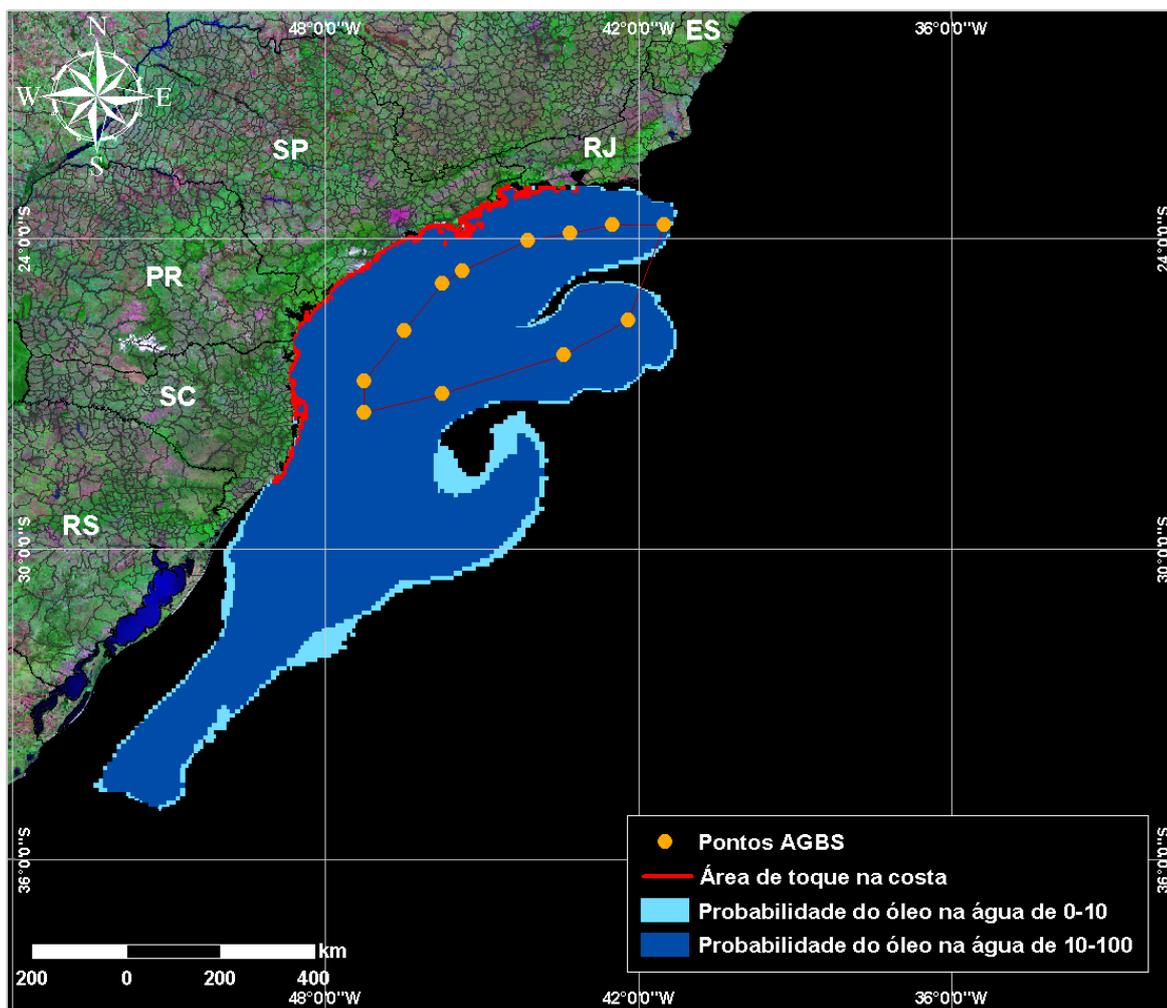


**Figura VI.1-44** - Cenário S-11\_PC\_BMS21\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo BMS21, ocorrendo no Ponto S-11, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 28.500 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.



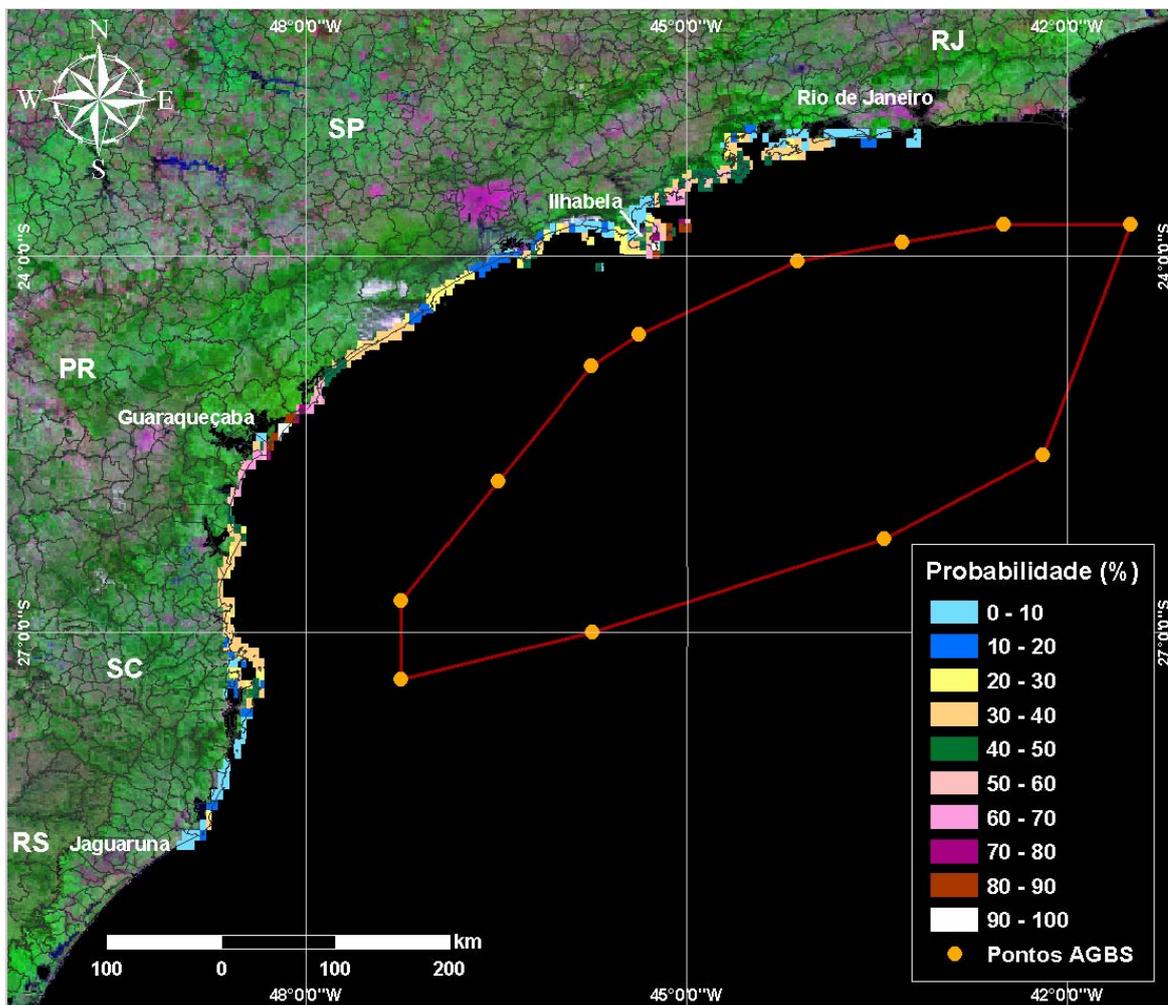
**Figura VI.1-45** - Cenário S-12\_PC\_BMS21\_INV\_60D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente com óleo tipo BMS21, ocorrendo no Ponto S-12, Área Geográfica Bacia de Santos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 28.500 m<sup>3</sup> (durante 30 dias), após 60 dias de simulação.

A figura VI.1-46 apresenta a área total com probabilidade de óleo na água, através da sobreposição das manchas de probabilidade obtidas para cada um dos 21 cenários simulados (12 pontos de risco e 7 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 VI.1-47.



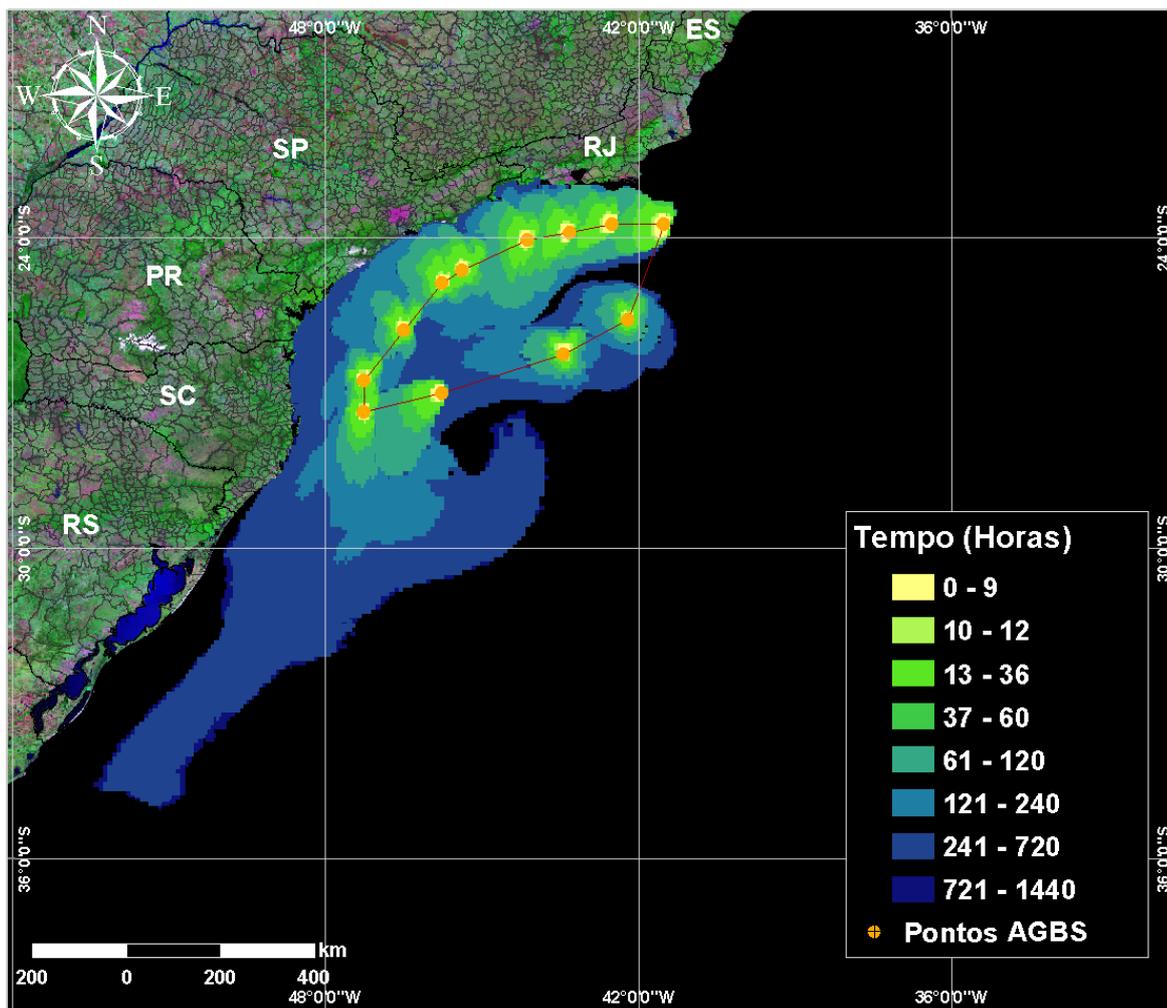
**Figura VI.1-46** - Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para a Área Geográfica Bacia de Santos, decorrente de derrames de óleo durante os meses de inverno (junho a agosto).

A figura VI.1-47 apresenta a região da linha de costa com probabilidade de toque, através da sobreposição dos pontos de toque obtidos para cada uma das 21 simulações (12 pontos de risco e 7 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, 1.255 km do município de Rio de Janeiro (RJ) até o de Jaguaruna (RS). As maiores probabilidades de toque na costa (90-100%) ocorreram em Ilhabela (SP) e Guaraqueçaba (PR).



**Figura VI.1-47** - 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 VI.1-48 apresenta os contornos de tempo do deslocamento de óleo na água, através da sobreposição das 21 simulações de modelagem de derrame de óleo (12 pontos de risco e 7 tipos de óleo) realizadas durante o inverno.



**Figura VI.1-48** - 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 VI.1-1 apresenta a extensão de linha de costa atingida nos derrames simulados 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, em condições de verão, não há probabilidade de toque na costa para os cenários simulados a partir dos pontos S-01 (para os três tipos de óleo), S-02 (óleo RJS-587 e diesel), S-03 (óleo RJS-587 e diesel), S-05 (óleo MLZ-3D), S-06 (óleo MLZ-3D), S-10, S-11 e S-12 (estes três últimos mais afastados da costa). No período de inverno não existe probabilidade de toque para os cenários simulados a partir dos pontos S-01 (óleo RJS-587 e diesel), S-02 (óleo RJS-587), S-03 (óleo RJS-587), S-05 (óleo MLZ-3D), S-06 (óleo MLZ-3D), S-09, S-10, S-11 e S-12.

**Tabela VI.1-1 - Extensão da linha de costa com probabilidade de ser atingida a partir de derrames de óleo, em cada um dos 12 pontos que delimitam a Área Geográfica Bacia de Santos, simulados em condições de verão e inverno.**

CENÁRIO	EXTENSÃO DE LINHA DE COSTA COM PROBABILIDADE DE TOQUE (km)	
	VERÃO	INVERNO
S-01_PC_RJS-587_60D	—	—
S-01_PC_RJS-574_60D	—	332
S-01_PC_DIESEL_30D	—	—
S-02_PC_RJS-587_60D	—	—
S-02_PC_RJS-574_60D	40	354
S-02_PC_DIESEL_30D	—	30
S-03_PC_RJS-587_60D	—	—
S-03_PC_RJS-574_60D	110	500
S-03_PC_DIESEL_30D	—	130
S-04_PC_SPS-0035_60D	165	410
S-04_PC_DIESEL_30D	120	150
S-05_PC_MLZ-3D_60D	—	—
S-05_PC_DIESEL_30D	160	315
S-06_PC_MLZ-3D_60D	—	—
S-06_PC_DIESEL_30D	420	300
S-07_PC_SCS10A_60D	440	488
S-08_PC_SCS10A_60D	600	315
S-09_PC_SCS10A_60D	200	—
S-10_PC_SCS10A_60D	—	—
S-11_PC_BM-S-21_60D	—	—
S-12_PC_BM-S-21_60D	—	—

As tabelas VI.1-2 e VI.1-3 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 Área Geográfica Bacia de Santos, ocorrendo durante os meses de verão e inverno, respectivamente. São apresentados apenas os cenários onde foram observadas probabilidades de toque na costa.

**Tabela VI.1-2 - Resumo dos resultados da modelagem probabilística de pior caso ocorrendo durante os meses de verão para os 12 pontos que delimitam a Área Geográfica Bacia de Santos.**

CENÁRIOS	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	PERCENTAGEM DE SIMULAÇÕES COM TOQUE NA COSTA (%)
S-02_RJS-574_VER_60D	368	398	5
S-03_RJS-574_VER_60D	235	317	10
S-04_SPS-0035_VER_60D	101	242	15
S-04_DIESEL_VER_30D	96	212	18
S-05_DIESEL_VER_30D	47	235	24
S-06_DIESEL_VER_30D	98	332	24
S-07_SCS10A_VER_60D	300	574	61
S-08_SCS10A_VER_60D	385	470	19
S-09_SCS10A_VER_60D	522	681	3

**Tabela VI.1-3 - Resumo dos resultados da modelagem probabilística de pior caso ocorrendo durante os meses de inverno para os 12 pontos que delimitam a Área Geográfica Bacia de Santos.**

CENÁRIOS	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	PERCENTAGEM DE SIMULAÇÕES COM TOQUE NA COSTA (%)
S-01_RJS-574_INV_60D	369	706	56
S-02_RJS-574_INV_60D	122	664	82
S-02_DIESEL_INV_30D	166	431	26
S-03_RJS-574_INV_60D	154	529	100
S-03_DIESEL_INV_30D	153	447	35
S-04_SPS-0035_INV_60D	85	494	98
S-04_DIESEL_INV_30D	86	358	46
S-05_DIESEL_INV_30D	68	286	83
S-06_DIESEL_INV_30D	125	368	86
S-07_SCS10A_INV_60D	302	588	100
S-08_SCS10A_INV_60D	330	672	85

A tabela VI.1-4 apresenta o percentual de simulações que tocam na costa, considerando a integração de todos os cenários simulados 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, 8,5% no verão e 37,7% no inverno). Não são apresentados os tempos inferiores a 120 horas, pois o menor tempo de toque na costa ocorreu em 47 horas (verão) e 68 horas (inverno).

**Tabela VI.1-4 - Percentual de simulações com toque na costa para os cenários de verão e inverno.**

	TEMPOS (HORAS)	PERCENTUAL DE SIMULAÇÕES COM TOQUE NA COSTA (%)	
		EM RELAÇÃO AO TOTAL DE SIMULAÇÕES	EM RELAÇÃO À SIMULAÇÕES COM TOQUE
PERÍODO SAZONAL	120	92,0	9,5
	180	93,0	15,0
	240	93,2	20,0
	480	93,2	67,8
	720	97,2	94,0
	1440	100,0	100,0
	120	62,7	1,0
	180	63,0	4,2
	240	66,0	10,0
	480	81,0	50,0
	720	91,0	78,5
	1440	100,0	100,0

As tabelas VI.1-5 e VI.1-6 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 em cada período sazonal. Tanto no verão quanto no inverno, o Arquipélago de Alcatrazes, pertencente o município de Ilhabela (SP), destaca-se com o menor tempo de toque (47 horas no verão e 68 horas no inverno).

**Tabela VI.1-5 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AG-BS no período de verão.**

MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m <sup>3</sup> /km)
RJ	Parati	2	85	58,3
SP	Ubatuba	4	85	58,7
	Caraguatatuba	5	98	4,4
	Ilhabela	10	85	36,4
	Ilhabela / Ilha de Alcatrazes	9	47	52,5
	São Sebastião	5	85	7,3
	Bertioga	6	85	21,4
	Guarujá	5	85	37,6
	Guarujá / Ilha da Moela	5	85	37,6
	Santos	5	104	5,1
	São Vicente	6	100	17,2
	Praia Grande	6	97	56,8
	Mongaguá	7	111	53,2
	Itanhaém	7	116	20,6
	Peruíbe	7	177	13,4
	Iguape	4	250	9,9
	Ilha Comprida	1	220	7,5
	Cananéia/ Ilha do Cardoso	5	206	55,7
	Cananéia / Ilha do Cambriú	1	220	5,7
PR	Guaraqueçaba	11	270	77,3
	Paranaguá	13	335	39,8
	Pontal do Paraná	15	393	56,0
	Matinhos	15	420	83,3
	Guaratuba	16	423	132,9
SC	Itapoá	16	419	132,9
	São Francisco do Sul	16	386	39,2
	Balneário Barra do Sul	15	394	18,6
	Araquari	15	456	8,2
	Barra Velha	15	435	11,0
	Piçarras	14	435	11,0
	Penha	14	412	16,4

(continua)

**Tabela VI.1-5 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AG-BS 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	Navegantes	17	425	11,1
	Itajaí	17	425	11,1
	Balneário Camboriú	17	414	37,7
	Itapema	17	433	37,7
	Porto Belo	18	421	35,6
	Bombinhas	18	407	41,0
	Bombinhas / Ilha da Galé	17	407	38,5
	Bombinhas / Ilha do Amendoim	16	424	24,6
	Bombinhas / Ilha do Arvoredo	21	320	27,8
	Bombinhas / Ilha Deserta	2	320	27,8
	Tijucas	5	485	2,8
	Governador Celso Ramos	19	439	21,7
	Governador Celso Ramos / Ilha de Ganchos	19	439	21,7
	Biguaçu	1	527	8,0
	Florianópolis	25	335	38,5
	Florianópolis / Ilha do Campeche	2	430	5,4
	Florianópolis / Ilha Irmã de Fora	1	434	5,4
	Florianópolis / Ilha Irmã do Meio	1	434	5,4
	Florianópolis / Ilha dos Corais	8	416	22,2
	Palhoça	1	444	11,4
	Garopaba	12	421	48,1
	Imbituba	12	431	98,7
	Imbituba / Ilha de Santana de Fora	12	435	68,7
	Laguna	17	436	98,7
	Jaguaruna	1	466	21,9
	Içara	1	515	8,0
	Araranguá	1	539	10,3
	Balneário Arroio do Silva	2	581	15,8
	Balneário Gaivotas	4	596	21,1
	Passo de Torres	5	596	21,1
RS	Torres	6	663	20,7
	Arroio do Sal	6	671	20,7

(continua)

**Tabela VI.1-5 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AG-BS 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)
RS	Capão da Canoa	1	675	10,1
	Xangri-La	2	683	7,6
	Imbé	3	681	7,6
	Tramandaí	5	688	10,4
	Cidreira	6	630	15,8
	Balneário Pinhal	6	643	21,3
	Palmares do Sul	6	643	21,3
	Mostardas	2	664	10,7

**Tabela VI.1-6 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AG-BS 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	Rio de Janeiro/ Ilha Redonda	17	97	8,9
	Rio de Janeiro/ Ilhas Cagarras	3	109	1,6
	Rio de Janeiro	17	111	5,3
	Itaguaí	34	179	7,4
	Mangaratiba	4	276	4,3
	Angra dos Reis / Ilha Grande	41	113	10,0
	Parati	53	77	19,5
SP	Ubatuba	65	107	27,7
	Caraguatatuba	8	247	7,8
	Ilhabela / Arquipélago de Alcatrazes	46	68	12,4
	Ilhabela	97	76	25,4
	São Sebastião	24	85	9,0
	Bertioga	32	145	22,4
	Guarujá	48	118	27,4
	Guarujá / Ilha da Moela	48	128	19,0
	Santos	18	204	9,2
	São Vicente	13	199	8,8
	Praia Grande	16	181	44,3
	Mongaguá	22	199	19,1
	Itanhaém	27	221	48,2

(continua)

**Tabela VI.1-6 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AG-BS 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	28	226	29,7
	Iguape	42	231	65,7
	Ilha Comprida	63	272	65,7
	Cananéia / Ilha do Cambriú	65	361	68,5
	Cananéia	87	374	121,0
PR	Guaraqueçaba	92	399	121,0
	Paranaguá	88	418	58,7
	Pontal do Paraná	67	449	66,7
	Matinhos	67	477	74,0
	Guaratuba	58	477	74,0
SC	Itapoá	49	484	121,1
	São Francisco do Sul	45	370	41,2
	Balneário Barra do Sul	40	465	34,5
	Araquari	38	504	26,0
	Barra Velha	38	513	26,0
	Piçarras	38	505	26,2
	Penha	38	454	53,1
	Navegantes	37	499	18,0
	Itajaí	37	514	25,5
	Balneário Camboriú	38	486	67,3
	Itapema	37	524	67,3
	Porto Belo	37	516	66,6
	Bombinhas / Ilha do Arvoredo	38	471	
	Bombinhas / Ilha Deserta	38	477	29,6
	Bombinhas	37	492	15,7
	Bombinhas / Ilha da Galé	37	513	66,6
	Bombinhas / Ilha do Amendoim	18	526	36,0
	Tijucas	1	712	3,2
	Governador Celso Ramos	34	592	28,2
	Governador Celso Ramos / Ilha de Ganchos	34	592	28,2
Biguaçu	1	823	2,5	
Florianópolis	44	309	46,4	
Florianópolis / Ilha Irmã de Fora	4	378	6,9	

(continua)

**Tabela VI.1-6 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo na AG-BS 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	Florianópolis / Ilha do Campeche	4	379	3,5
	Florianópolis / Ilha dos Corais	1	406	6,9
	Garopaba	4	499	9,4
	Imbituba / Ilha de Santana de Fora	2	698	3,1
	Imbituba	14	453	16,5
	Laguna	34	428	34,8
	Jaguaruna	5	502	19,8

## VI.2 CENÁRIOS DETERMINÍSTICOS CRÍTICOS

A análise dos resultados das simulações probabilísticas realizadas permitiu identificar os cenários determinísticos críticos de verão e inverno. Em cada período, de todas as 350 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 sub-região. Portanto, os cenários críticos aqui apresentados são representativos de cada uma dessas sub-regiões.

As tabelas VI.2-1 e VI.2-2 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.

Em condições de verão, não ocorreu toque na costa para os cenários simulados a partir dos pontos S-01, S-10, S-11 e S-12, localizados na porção leste do polígono da AG-BS (mais afastados da costa), bem como nos cenários de condensado (óleo tipo MLZ-3D) a partir dos pontos S-05 e S-06. Para os pontos S-02 e S-03 houve toque na costa no período de verão apenas nos cenários simulados com o óleo RJS-574. 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-09, S-10, S-11 e S-12), assim como nos cenários simulados com o óleo RJS-587 a partir dos pontos S-01, S-02 e S-03 e com condensado (óleo tipo MLZ-3D) a partir dos pontos S-05 e S-06. Para o Ponto S-01 não houve toque na costa também para o cenário simulado com o óleo diesel marítimo.

Os maiores volumes de óleo na costa, ao final da simulação, foram calculados para os derrames a partir do Ponto S-08 no verão (9.007 m<sup>3</sup>) e do Ponto S-07 no inverno (28.781 m<sup>3</sup>). Os menores tempos de toque na costa foram identificados para os cenários simulados a partir do Ponto S-05 (localizado na porção oeste da AG-BS) com óleo diesel marítimo, tanto no verão (47 horas) quanto no inverno (68 horas).

**Tabela VI.2-1 - 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> )
DET_S-01_PC_RJS-574_INV_60D	18/07/1992 – 15:00h	369	412
DET_S-02_PC_RJS-574_VER_60D	04/01/1992 – 9:00h	364	186
DET_S-02_PC_RJS-574_INV_60D	21/07/1992 – 18:00h	122	617
DET_S-02_PC_DIESEL_INV_30D	19/07/1992 – 07:00h	166	43
DET_S-03_PC_RJS-574_VER_60D	11/01/1992 – 23:00h	229	8
DET_S-03_PC_RJS-574_INV_60D	19/07/1992 – 12:00h	154	1.644
DET_S-03_PC_DIESEL_INV_30D	19/07/1992 – 04:00h	153	202
DET_S-04_PC_SPS-0035_VER_60D	16/01/1992 – 12:00h	101	11
DET_S-04_PC_SPS-0035_INV_60D	19/07/1992 – 5:00h	85	326
DET_S-04_PC_DIESEL_VER_30D	15/01/1992 – 21:00h	96	396
DET_S-04_PC_DIESEL_INV_30D	21/07/1992 – 21:00h	86	498
DET_S-05_PC_DIESEL_VER_30D	15/01/1992 – 10:00h	47	470
DET_S-05_PC_DIESEL_INV_30D	06/07/1992 – 6:00h	68	654
DET_S-06_PC_DIESEL_VER_30D	14/01/1992 – 20:00h	98	457
DET_S-06_PC_DIESEL_INV_30D	21/07/1992 – 06:00h	125	412
DET_S-07_PC_SCS10A_VER_60D	12/01/1992 – 12:00h	300	7.965
DET_S-07_PC_SCS10A_INV_60D	14/07/1992 – 22:00h	302	28.781
DET_S-08_PC_SCS10A_VER_60D	05/01/1992 – 16:00h	385	9.007
DET_S-08_PC_SCS10A_INV_60D	30/08/1992 – 10:00h	330	157
DET_S-09_PC_SCS10A_VER_60D	02/01/1992 – 16:00h	522	743

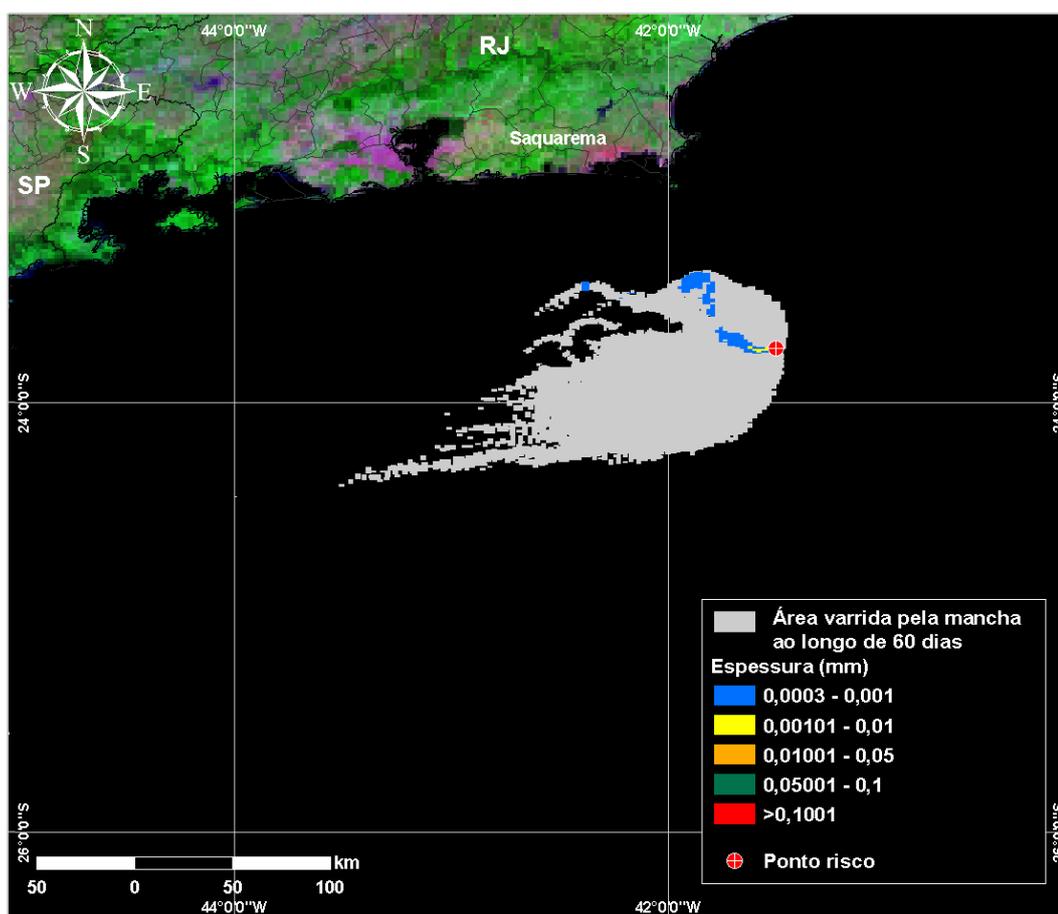
**Tabela VI.2-2 - Resumo dos cenários determinísticos críticos de verão e de inverno para os cenários com a menor distância em relação à costa (sem probabilidade de toque).**

CENÁRIOS	DATA DE INÍCIO	MENOR DISTÂNCIA EM RELAÇÃO À COSTA (km)
S-01_PC_RJS-587_VER_60D	28/03/1992 – 19:00h	54
S-01_PC_RJS-587_INV_60D	19/06/1992 – 4:00 h	67
S-01_PC_RJS-574_VER_60D	29/03/1992 – 16:00h	59
S-01_PC_DIESEL_VER_30D	27/03/1992 – 23:00h	95
S-01_PC_DIESEL_INV_30D	06/07/1992 – 03:00h	80
S-02_PC_RJS-587_VER_60D	05/01/1992 – 4:00h	52
S-02_PC_RJS-587_INV_60D	14/07/1992 – 22:00h	15
S-02_PC_DIESEL_VER_30D	18/01/1992 – 18:00h	90
S-03_PC_RJS-587_VER_60D	03/01/1992 – 11:00h	24
S-03_PC_RJS-587_INV_60D	16/07/1992 – 10:00h	10
S-03_PC_DIESEL_VER_30D	1/01/1992 – 19:00h	22
S-05_PC_MLZ-3D_VER_60D	02/03/1992 – 17:00h	80
S-05_PC_MLZ-3D_INV_60D	03/06/1992 – 12:10 h	80
S-06_PC_MLZ-3D_VER_60D	23/01/1992 – 10:00h	100
S-06_PC_MLZ-3D_INV_60D	24/06/1992 – 16:00h	100
S-09_PC_SCS10A_INV_60D	28/08/1992 – 10:00h	16
S-10_PC_SCS10A_VER_60D	02/01/1992 – 05:00h	123
S-10_PC_SCS10A_INV_60D	27/07/1992 – 16:00h	115
S-11_PC_BM-S-21_VER_60D	02/01/1992 – 14:00h	108
S-11_PC_BM-S-21_INV_60D	22/06/1992 – 15:00h	78
S-12_PC_BM-S-21_VER_60D	04/01/1992 – 06:00h	245
S-12_PC_BM-S-21_INV_60D	18/07/1992 – 18:00h	196

Nas figuras VI.2-1 a VI.2-21 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). Nesta são destacados os limites de 0,0003 mm (limite para ambientes sensíveis), e 0,05 mm (limite de recolhimento). A cor cinza representa a região por onde a mancha se deslocou durante os 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 Redonda – próximo ao Rio de Janeiro, RJ; Ilha Grande – município de Angra dos Reis, RJ, Arquipélago de Alcatrazes – nas proximidades da Ilha de São Sebastião, SP; Ilha da Moela – próximo ao município de Guarujá, SP; Ilha do Cardoso – município de Cananéia, SP; Ilha do Arvoredo – município de Florianópolis, SC).



**Figura VI.2-1 - DET\_S-01\_PC\_RJS-587\_VER\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo RJS-587 a partir do Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos.

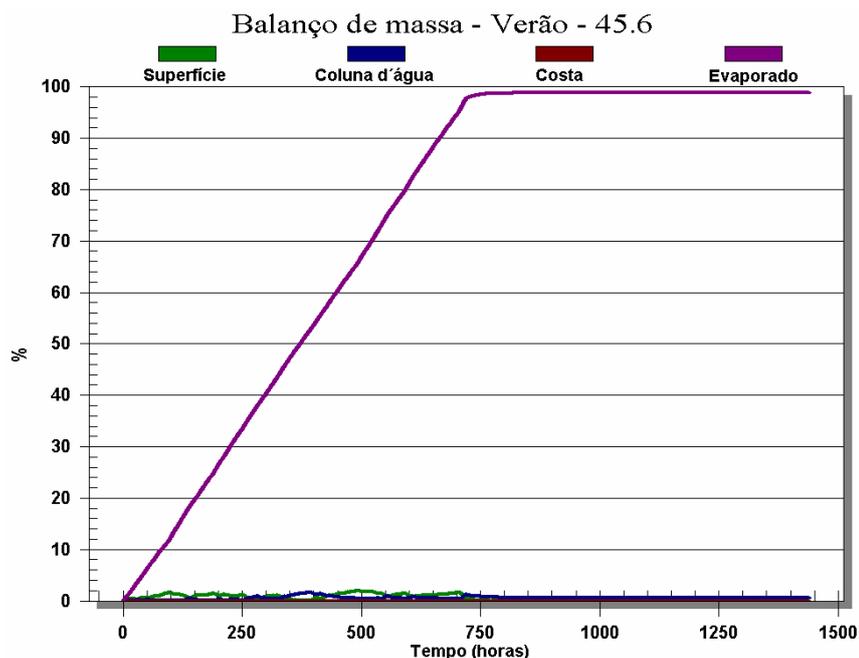


Figura VI.2-2 - Balanco de massa do cenário DET\_S-01\_PC\_RJS-587\_VER\_60D.

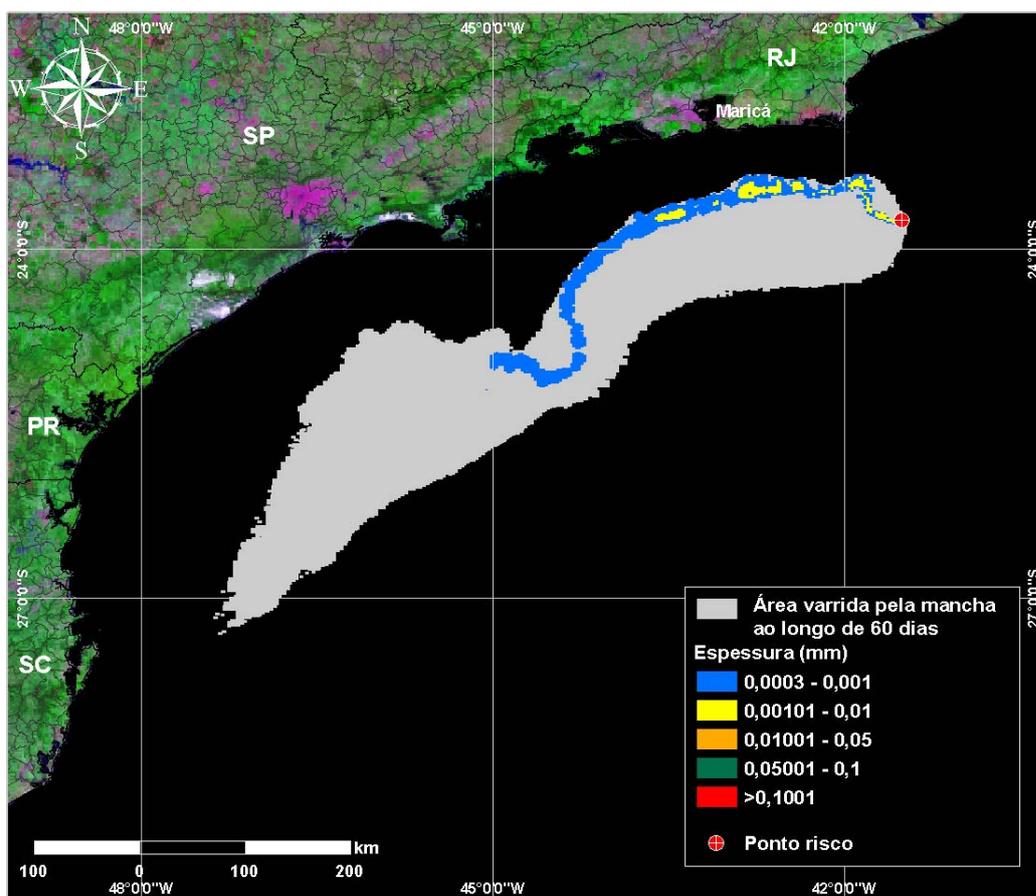
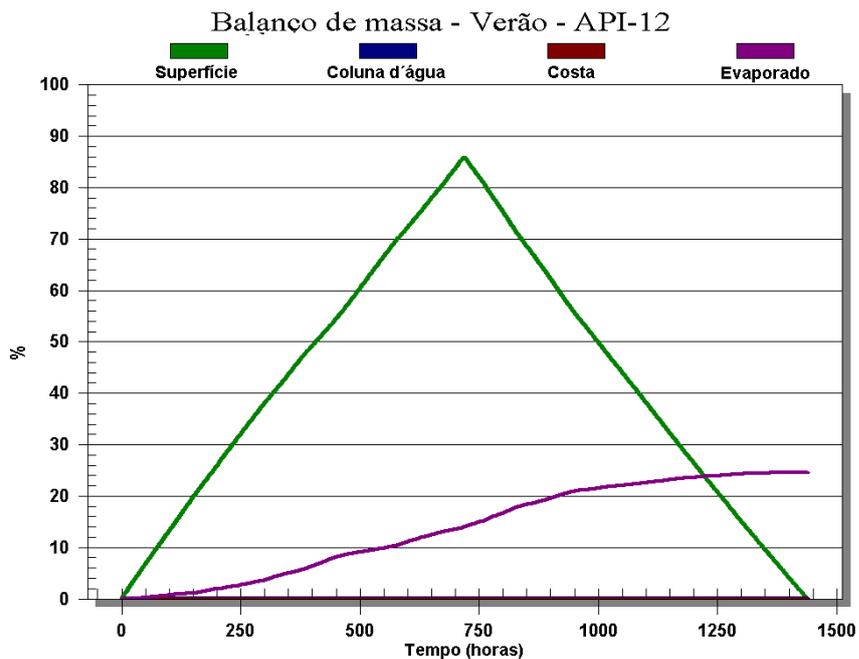
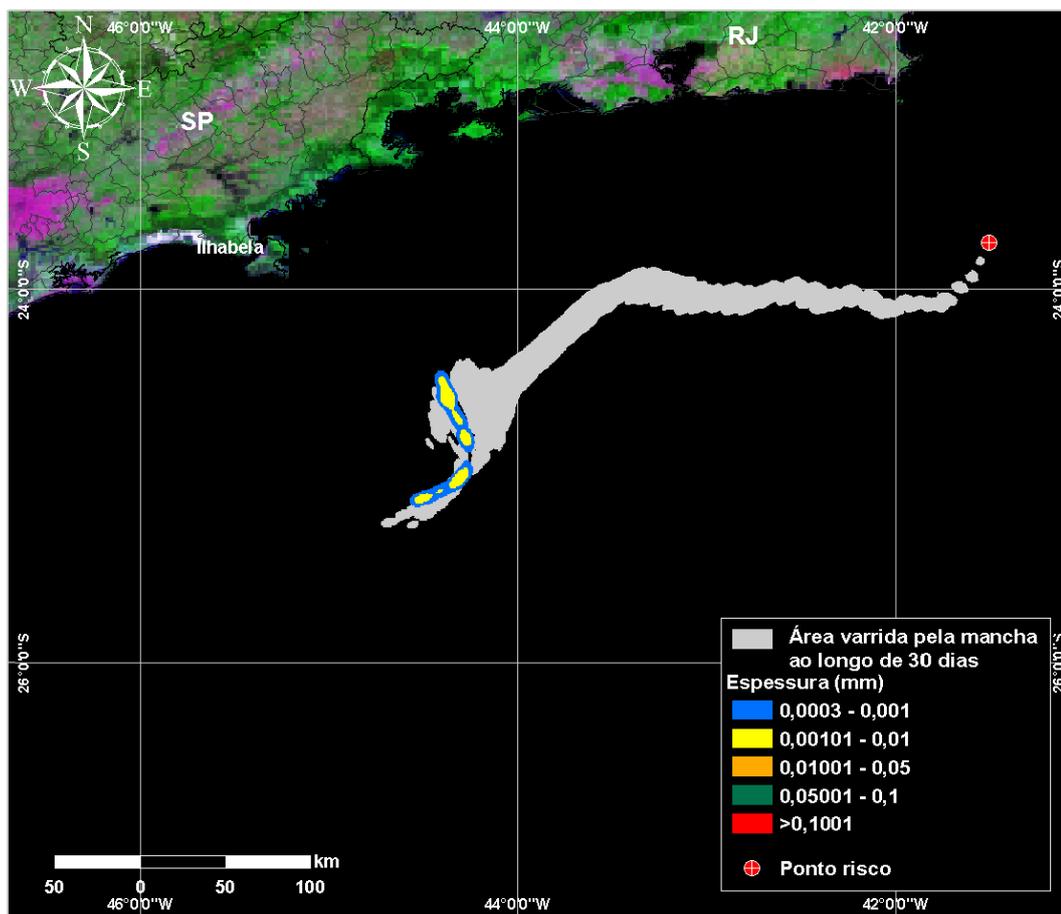


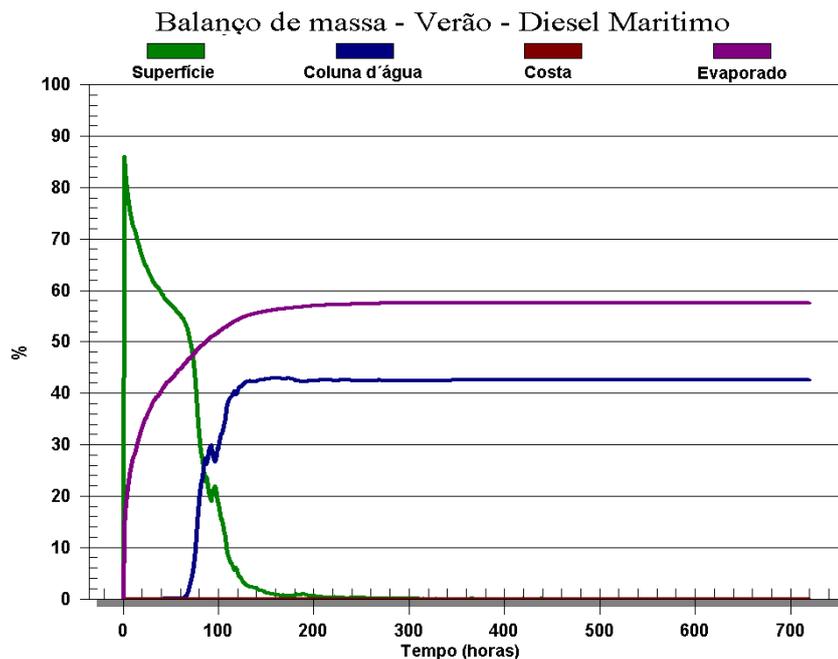
Figura VI.2-3 - DET\_S-01\_PC\_RJS-574\_VER\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo RJS-574 a partir do Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos.



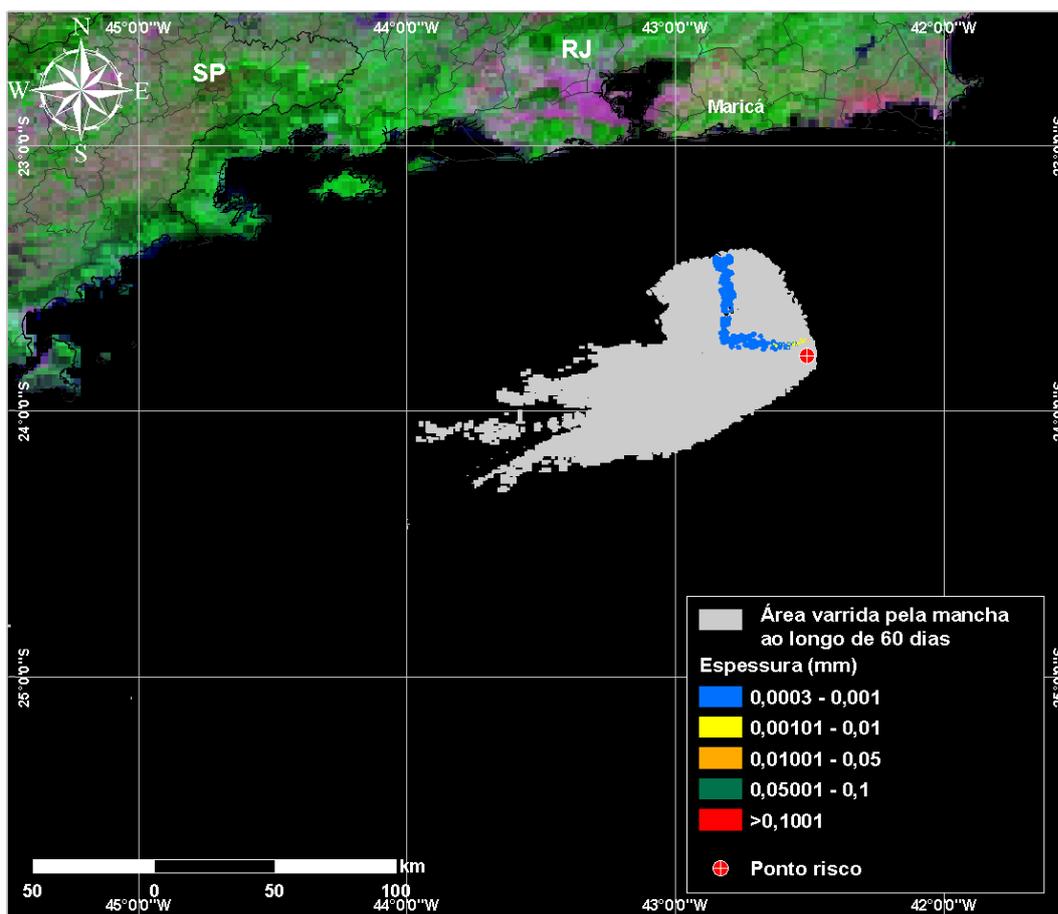
**Figura VI.2-4 - Balanco de massa do cenário DET\_S-01\_PC\_RJS-574\_VER\_60D.**



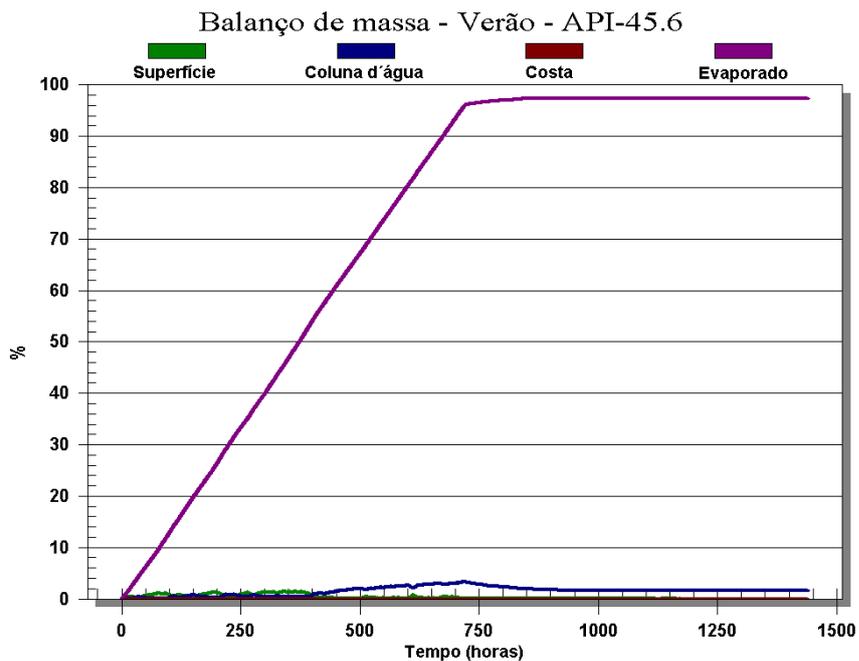
**Figura VI.2-5 - DET\_S-01\_PC\_DIESEL\_VER\_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-01, Área Geográfica Baía de Santos.**



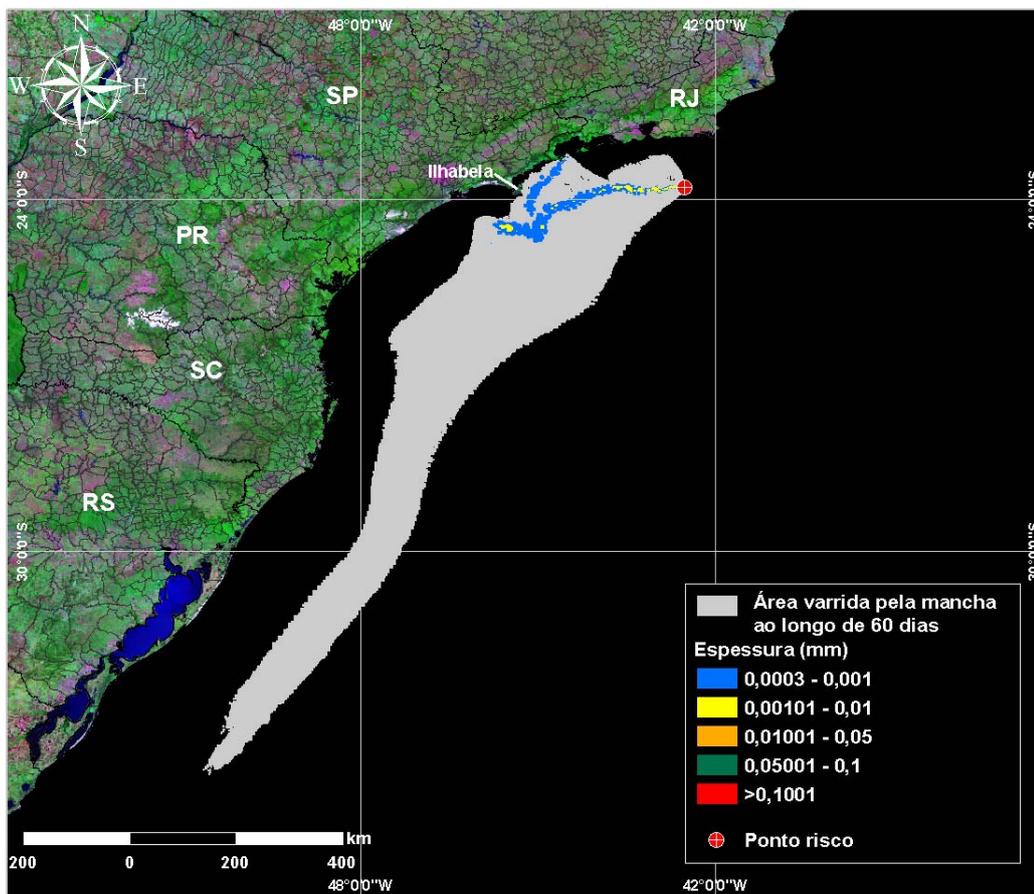
**Figura VI.2-6 - Balço de massa do cenário DET\_S-01\_PC\_DIESEL\_VER\_30D.**



**Figura VI.2-7 - DET\_S-02\_PC\_RJS-587\_VER\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo RJS-587 a partir do Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos.**



**Figura VI.2-8 - Balanco de massa do cenário DET\_S-02\_PC\_RJS-587\_VER\_60D.**



**Figura VI.2-9 - DET\_S-02\_PC\_RJS-574\_VER\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo RJS-574 a partir do Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos.**

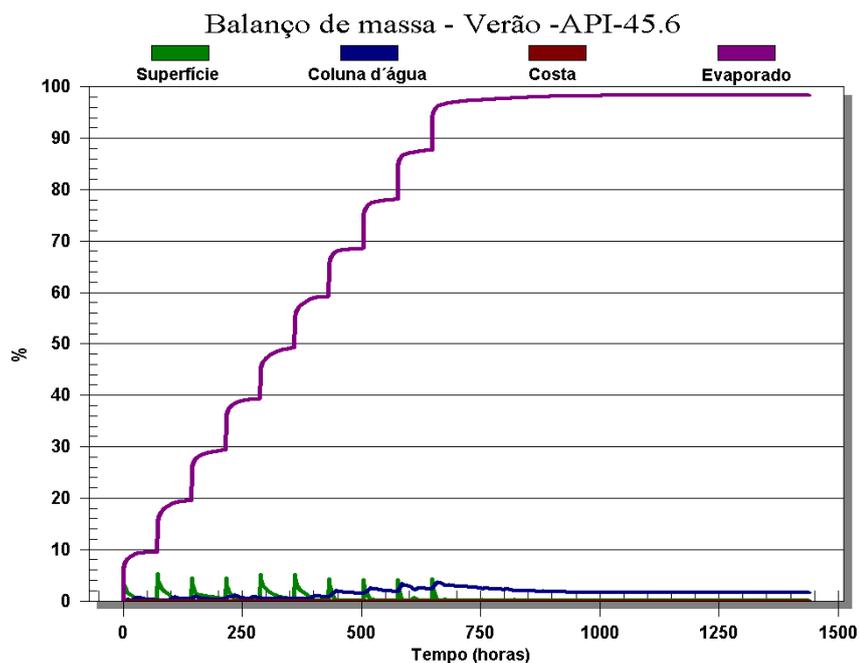


Figura VI.2-10 - Balanco de massa do cenário DET\_S-02\_PC\_RJS-574\_VER\_60D.

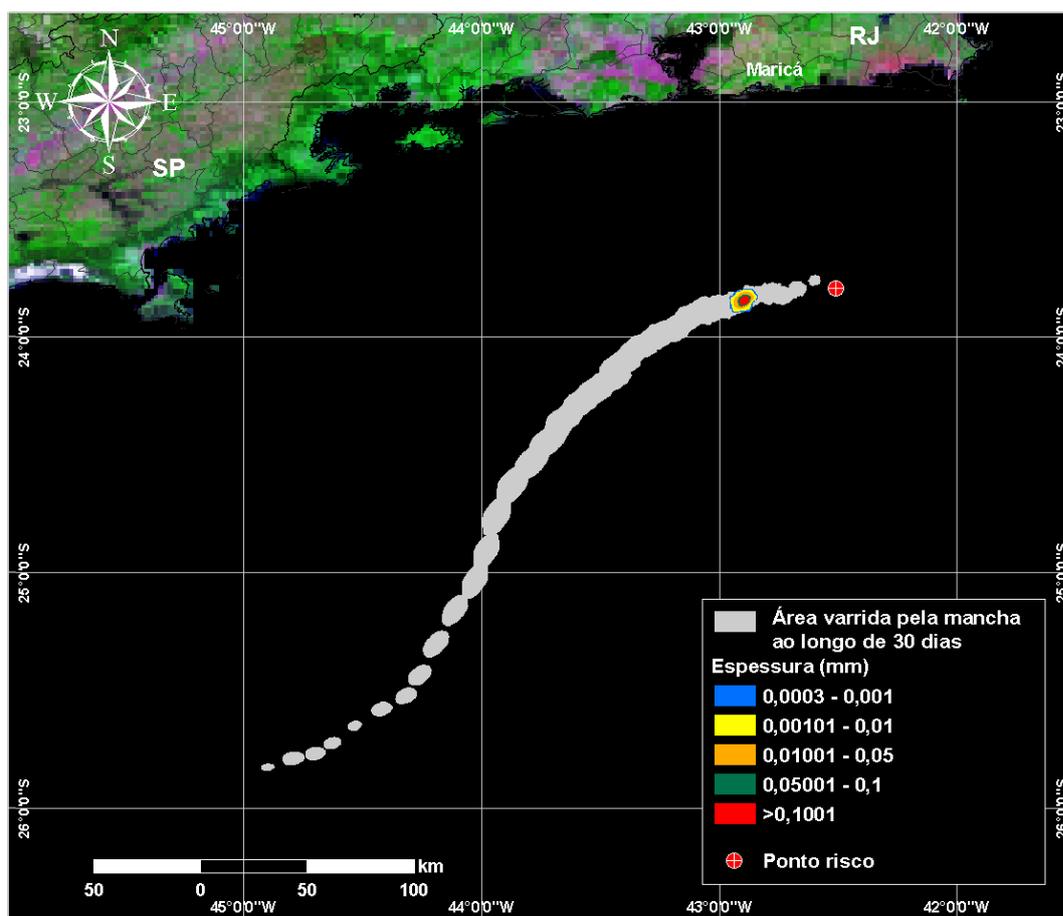


Figura VI.2-11 - DET\_S-02\_PC\_DIESEL\_VER\_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos.

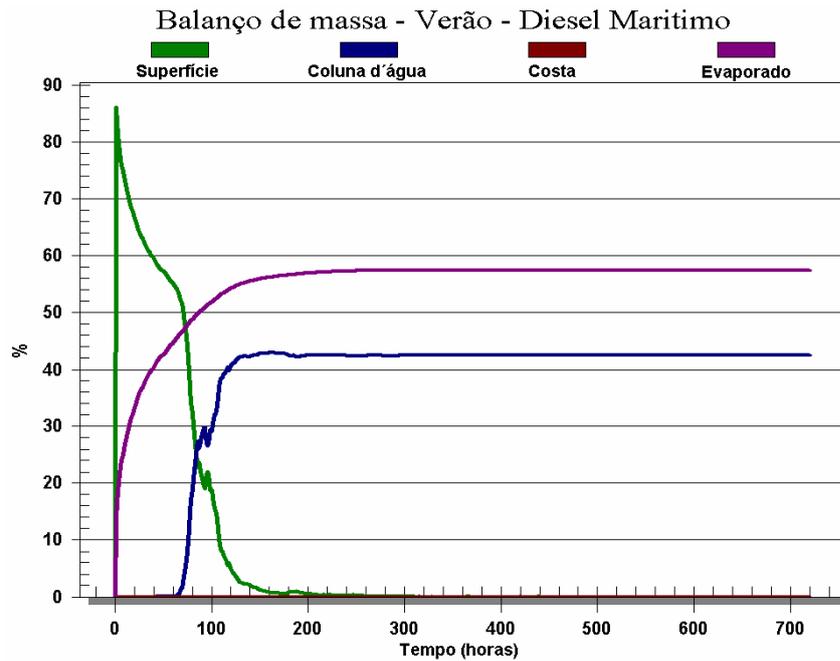


Figura VI.2-12 - Balanço de massa do cenário DET\_S-02\_PC\_DIESEL\_VER\_30D.

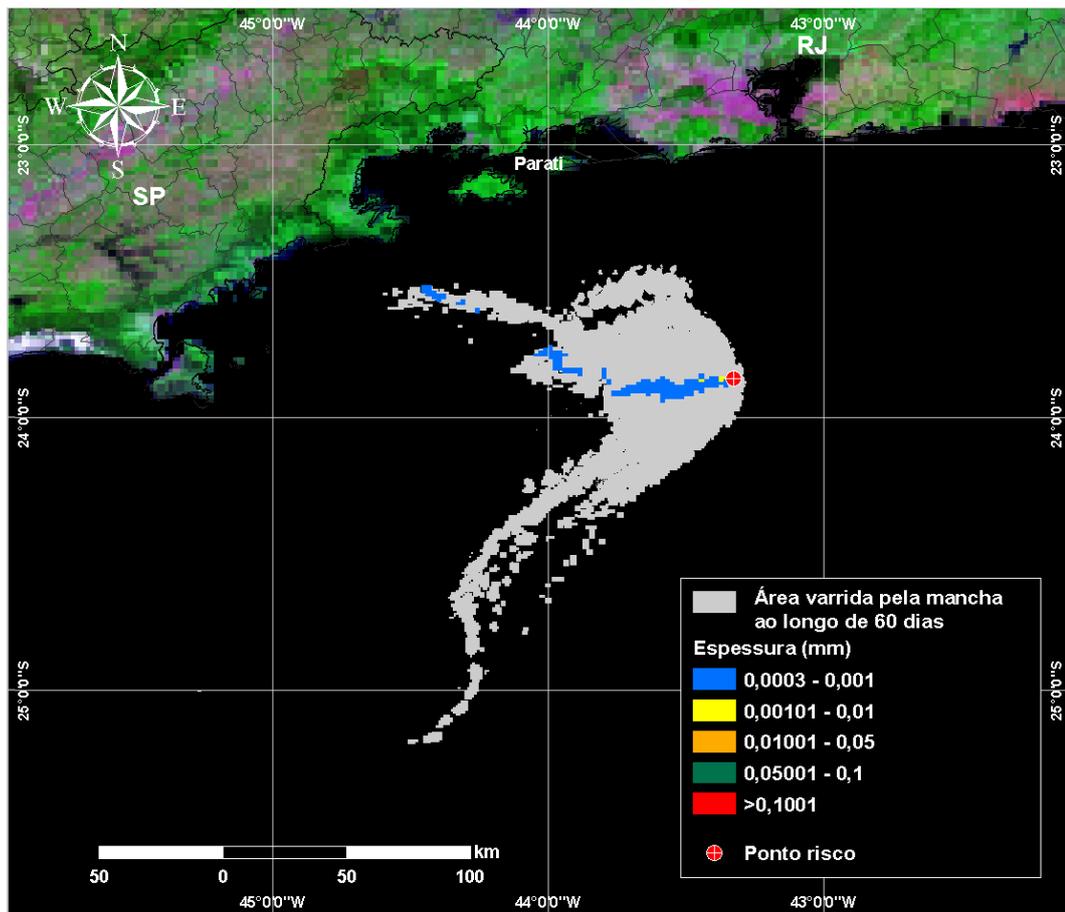


Figura VI.2-13 - DET\_S-03\_PC\_RJS-587\_VER\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo RJS-587 a partir do Ponto S-03, Área Geográfica Baía de Santos.

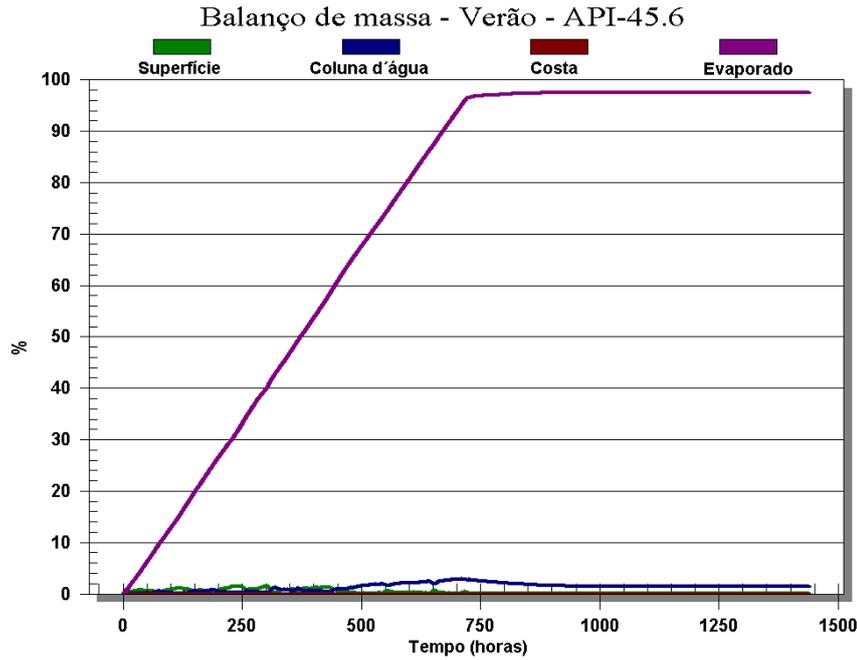


Figura VI.2-14 - Balanco de massa do cenário DET\_S-03\_PC\_RJS-587\_VER\_60D.

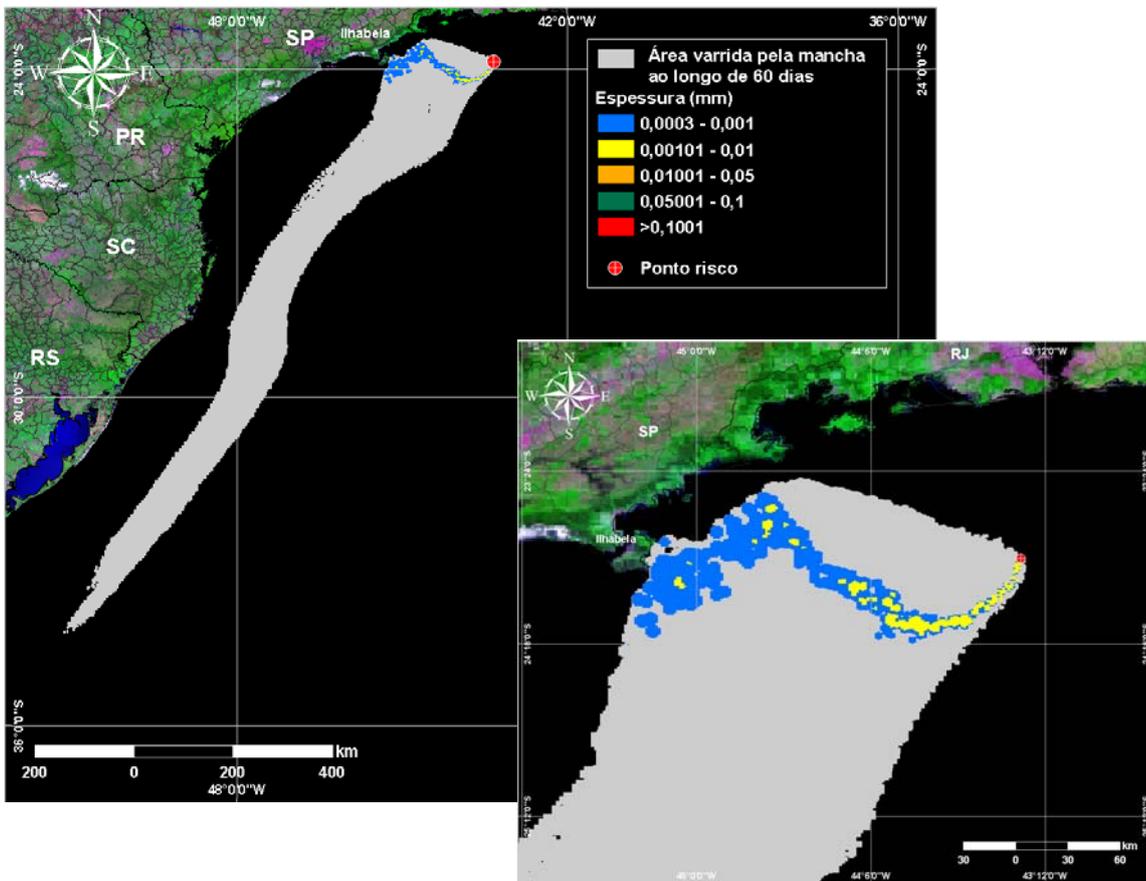
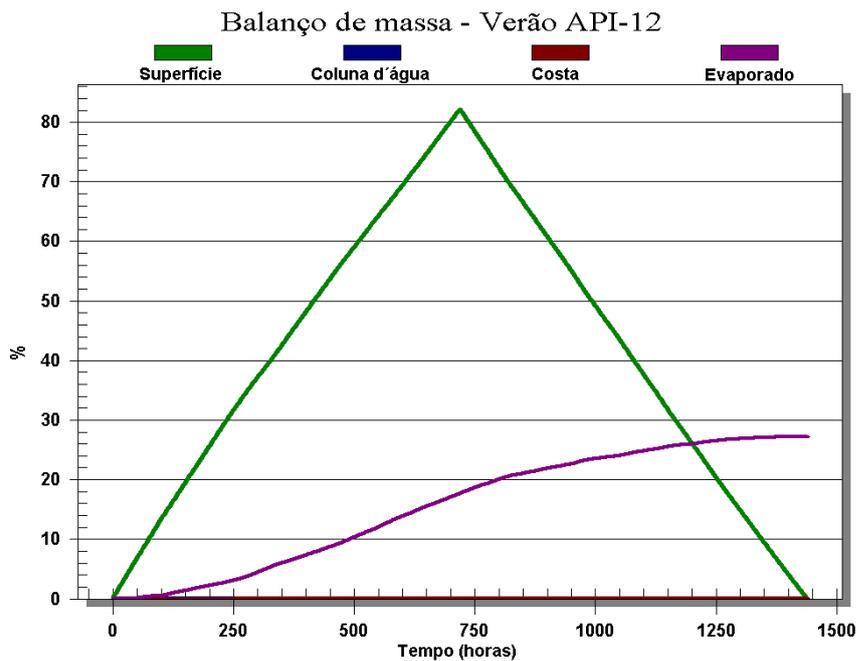
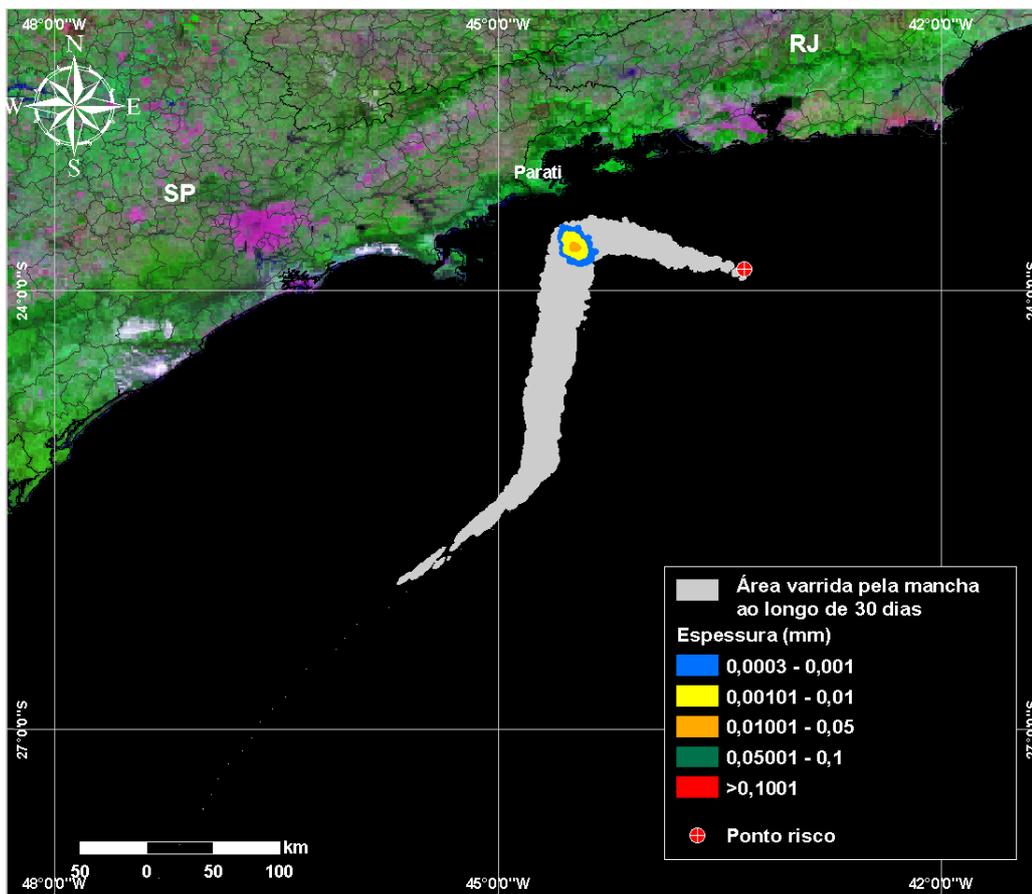


Figura VI.2-15 - DET\_S-03\_PC\_RJS-574\_VER\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo RJS-574 a partir do Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos.



**Figura VI.2-16 - Balanco de massa do cenário DET\_S-03\_PC\_RJS-574\_VER\_60D.**



**Figura VI.2-17 - DET\_S-03\_PC\_DIESEL\_VER\_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos.**

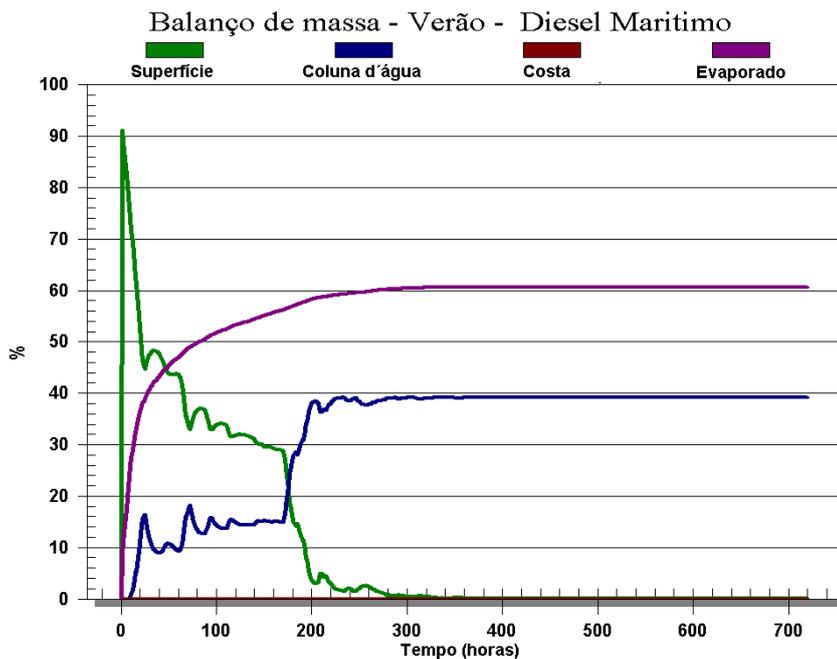


Figura VI.2-18 - Balanco de massa do cenário DET\_S-03\_PC\_DIESEL\_VER\_30D.

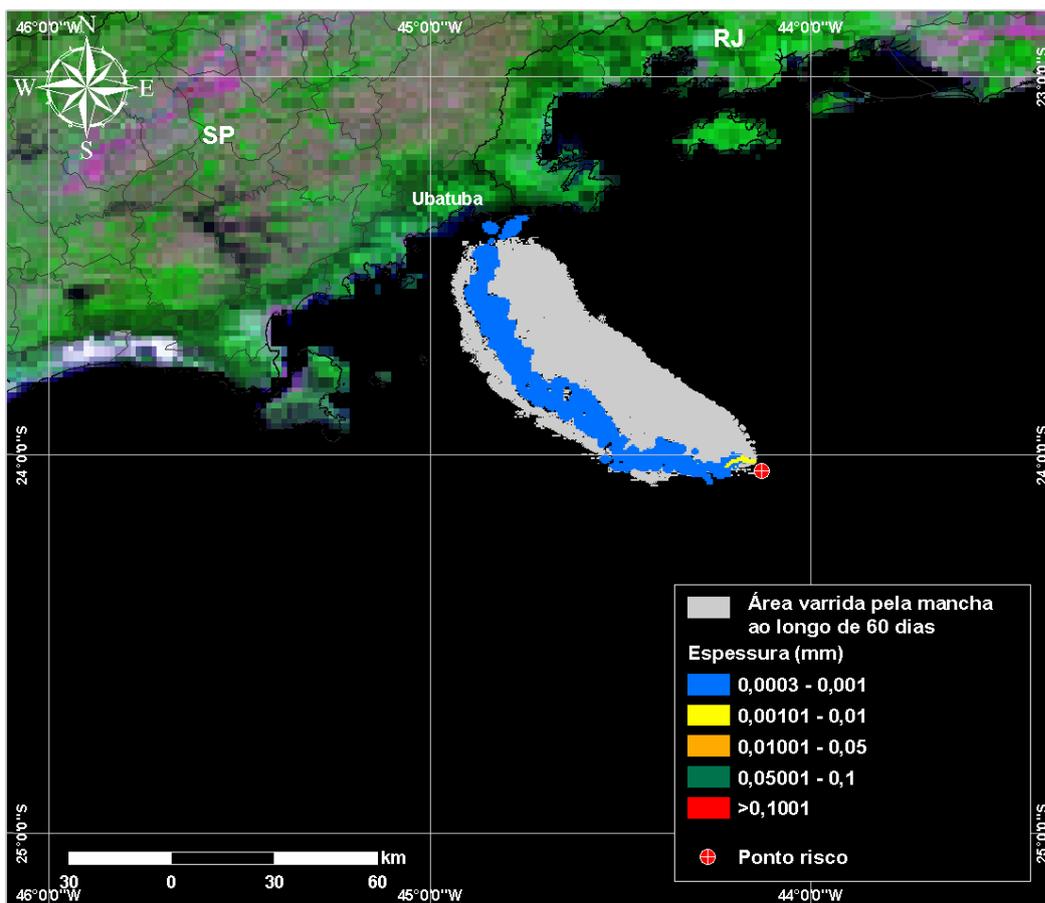


Figura VI.2-19 - DET\_S-04\_PC\_SPS-0035\_VER\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo RJS-574 a partir do Ponto S-04, Área Geográfica Bacia de Santos.

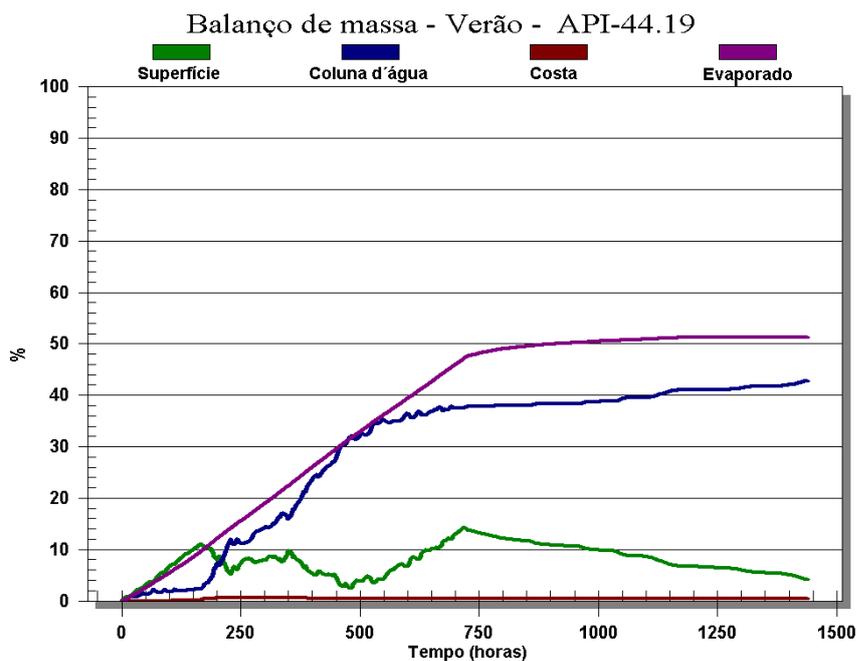


Figura VI.2-20 - Balanco de massa do cenário DET\_S-04\_PC\_SPS-0035\_VER\_60D.

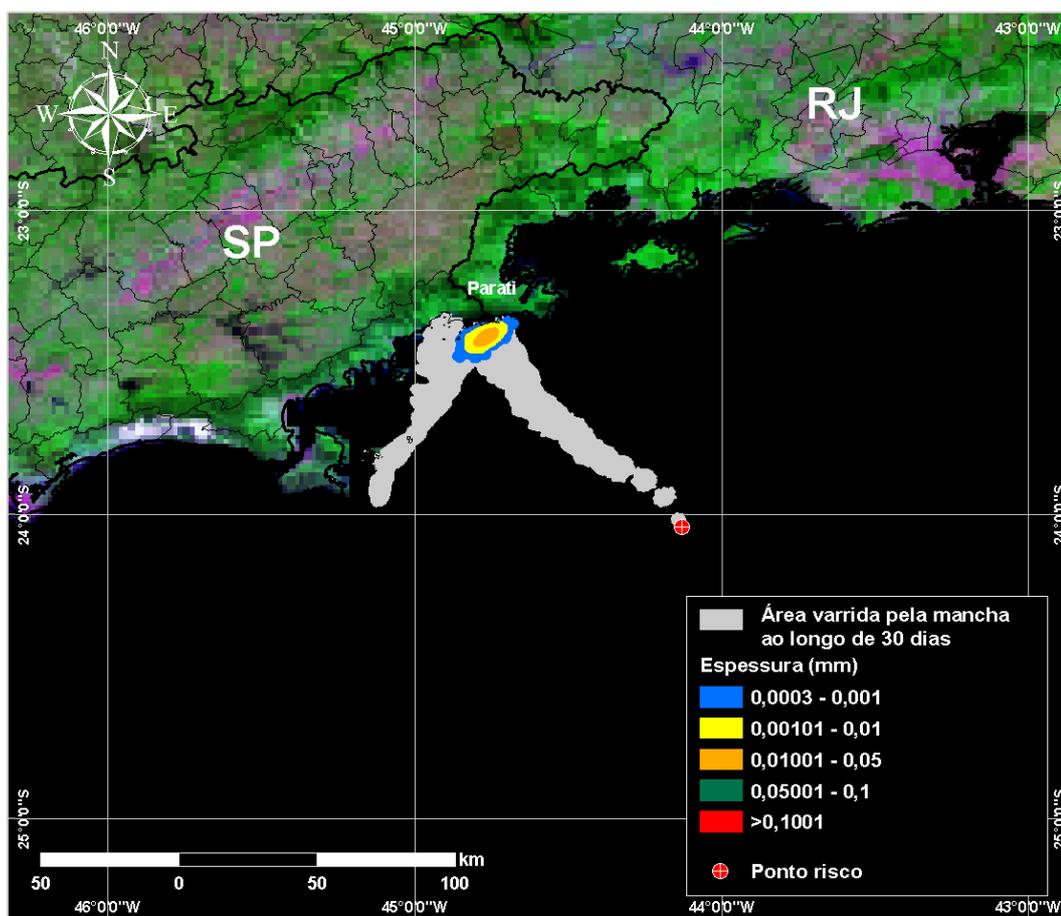


Figura VI.2-21 - DET\_S-04\_PC\_DIESEL\_VER\_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-04, Área Geográfica Baía de Santos.

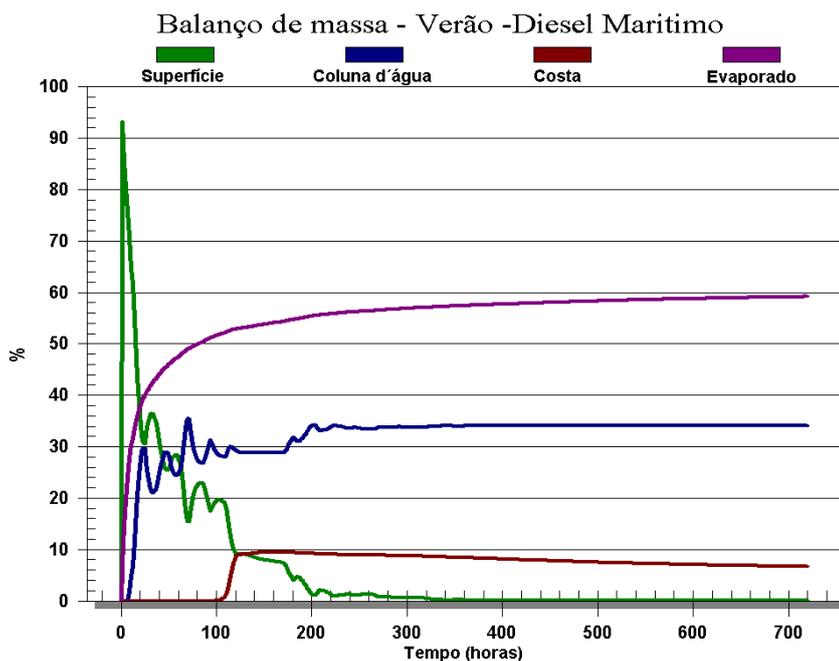


Figura VI.2-22 - Balanco de massa do cenário DET\_S-04\_PC\_DIESEL\_VER\_30D.

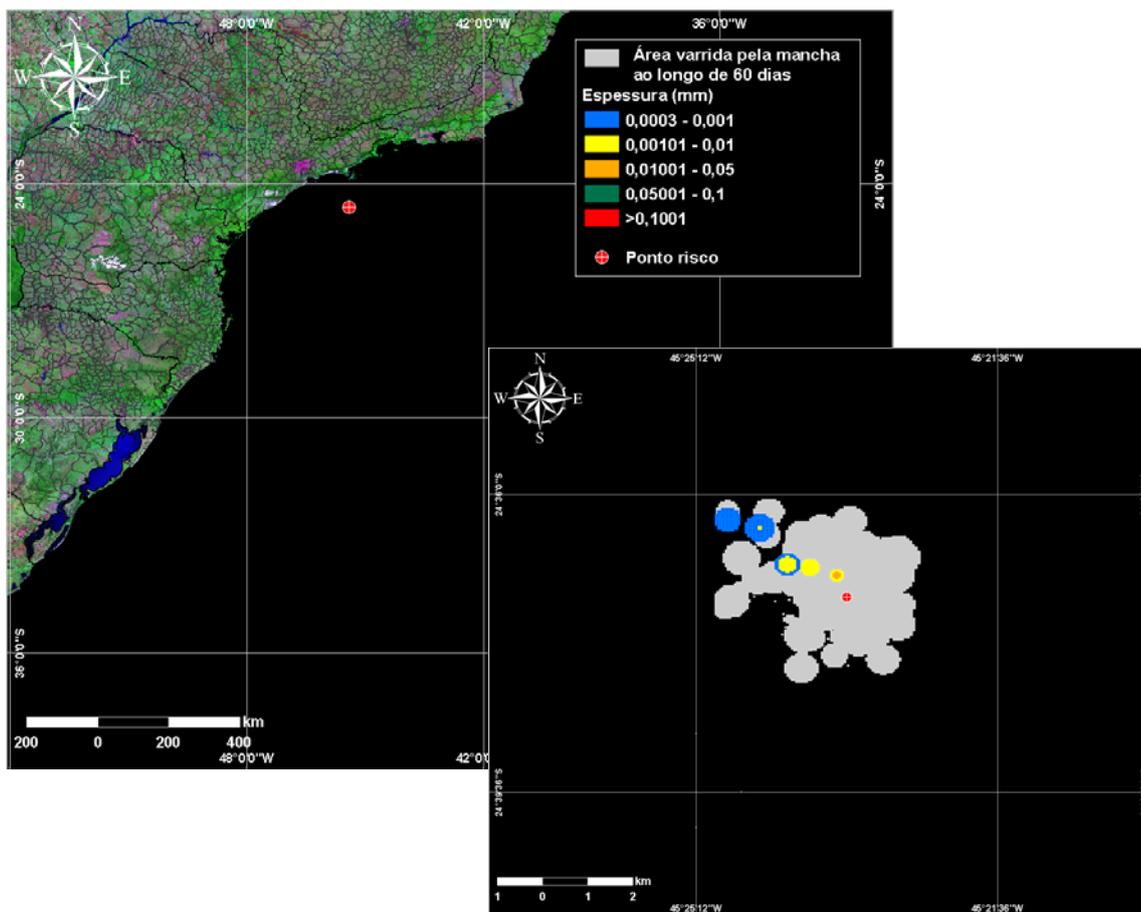
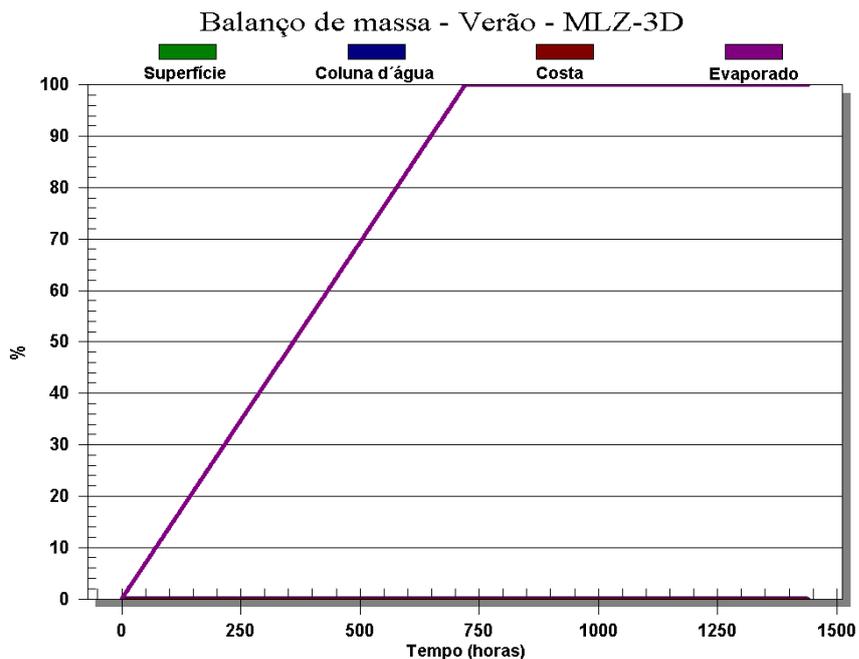
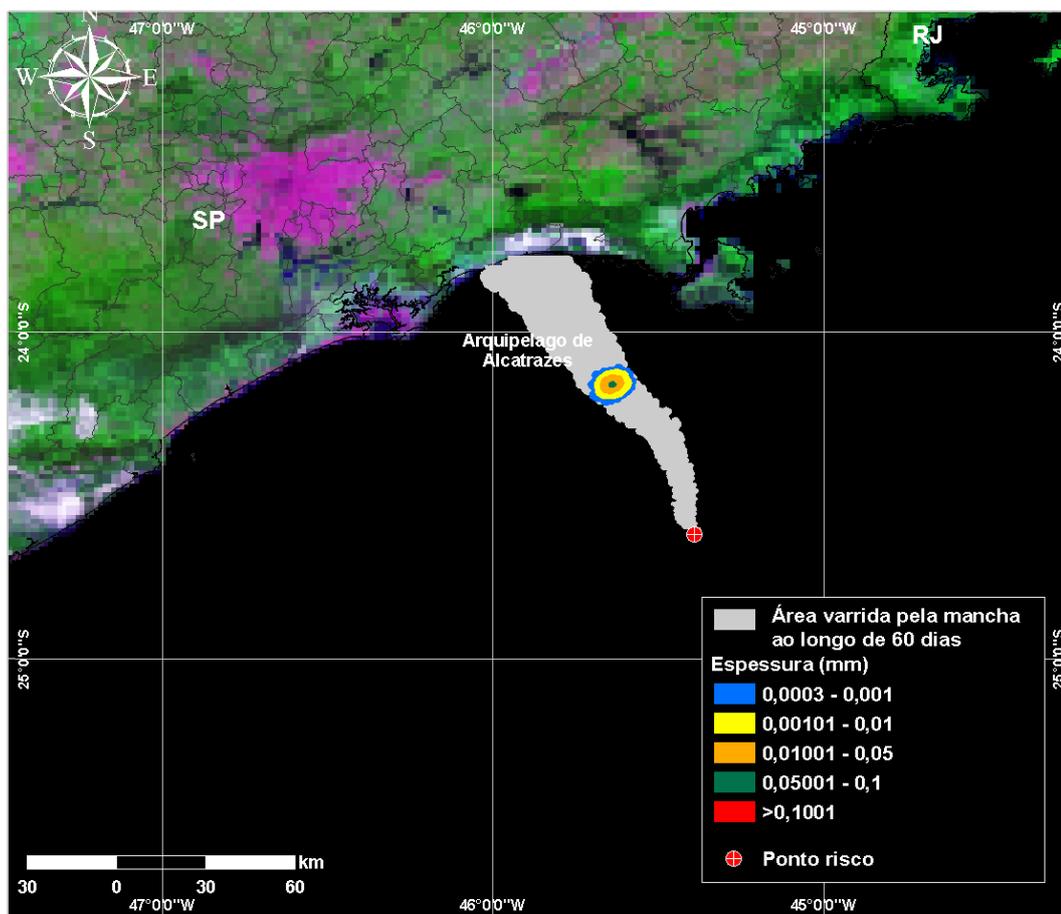


Figura VI.2-23 - DET\_S-05\_PC\_MLZ-3D\_VER\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo MLZ-3D a partir do Ponto S-05, Área Geográfica Bacia de Santos.



**Figura VI.2-24 - Balanco de massa do cenário DET\_S-05\_PC\_MLZ-3D\_VER\_60D.**



**Figura VI.2-25 - DET\_S-05\_PC\_DIESEL\_VER\_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-05, Área Geográfica Baía de Santos.**

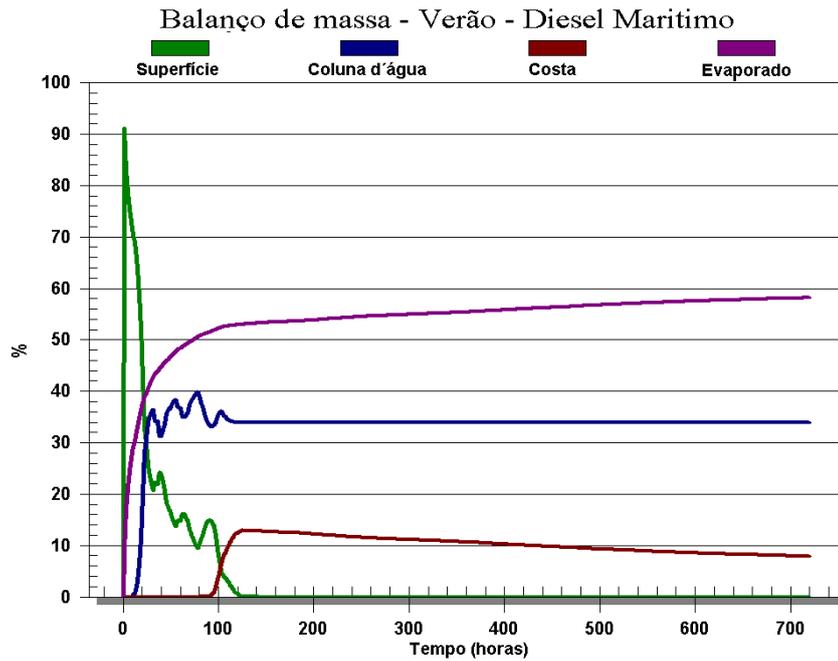


Figura VI.2-26 - Balanco de massa do cenário DET\_S-05\_PC\_DIESEL\_VER\_30D.

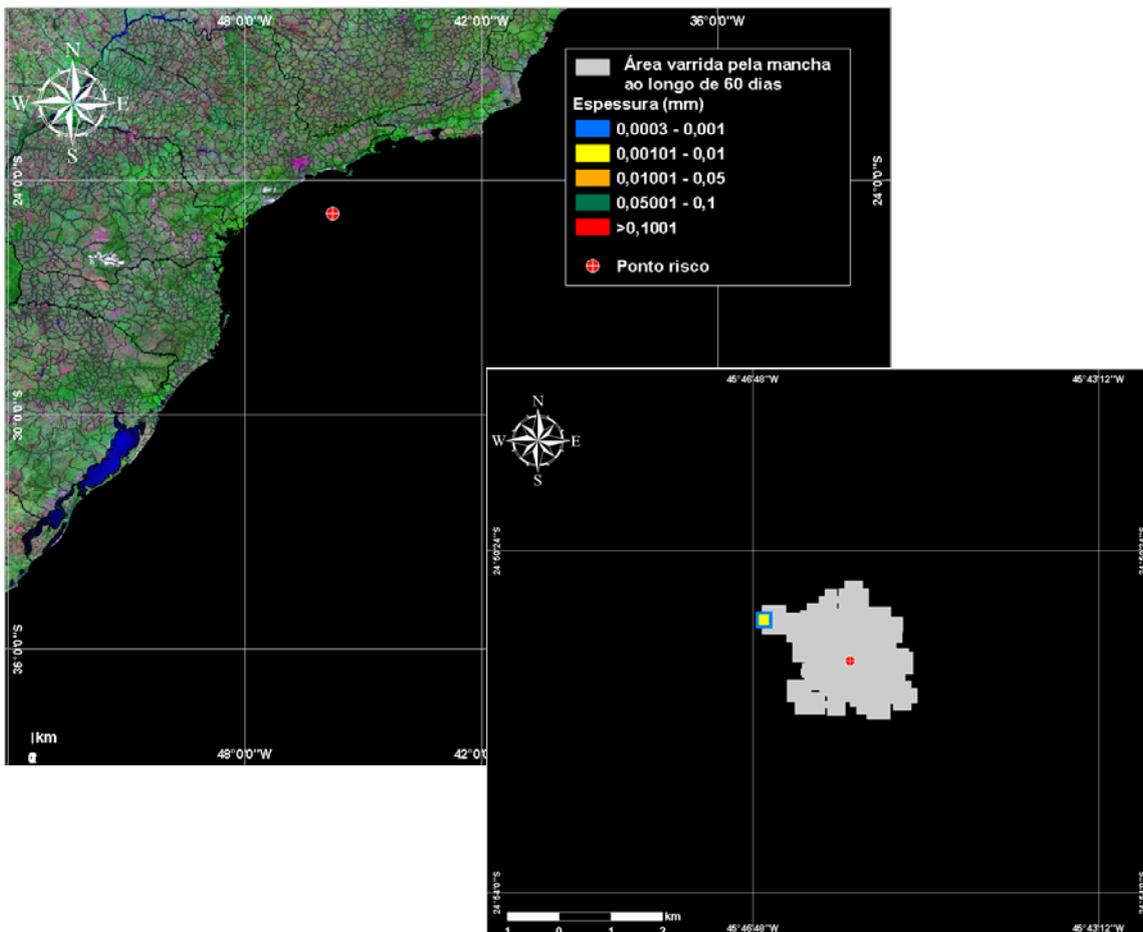
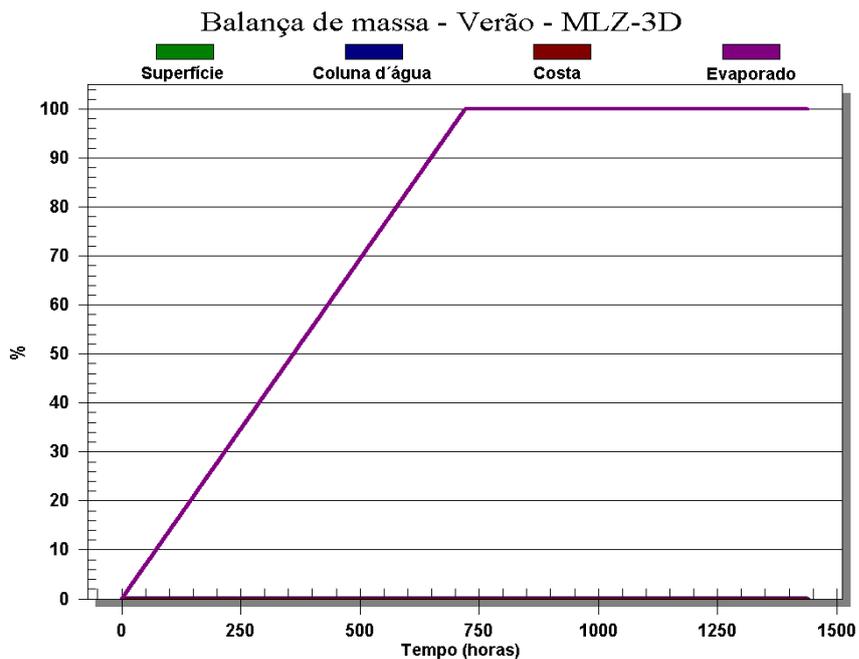
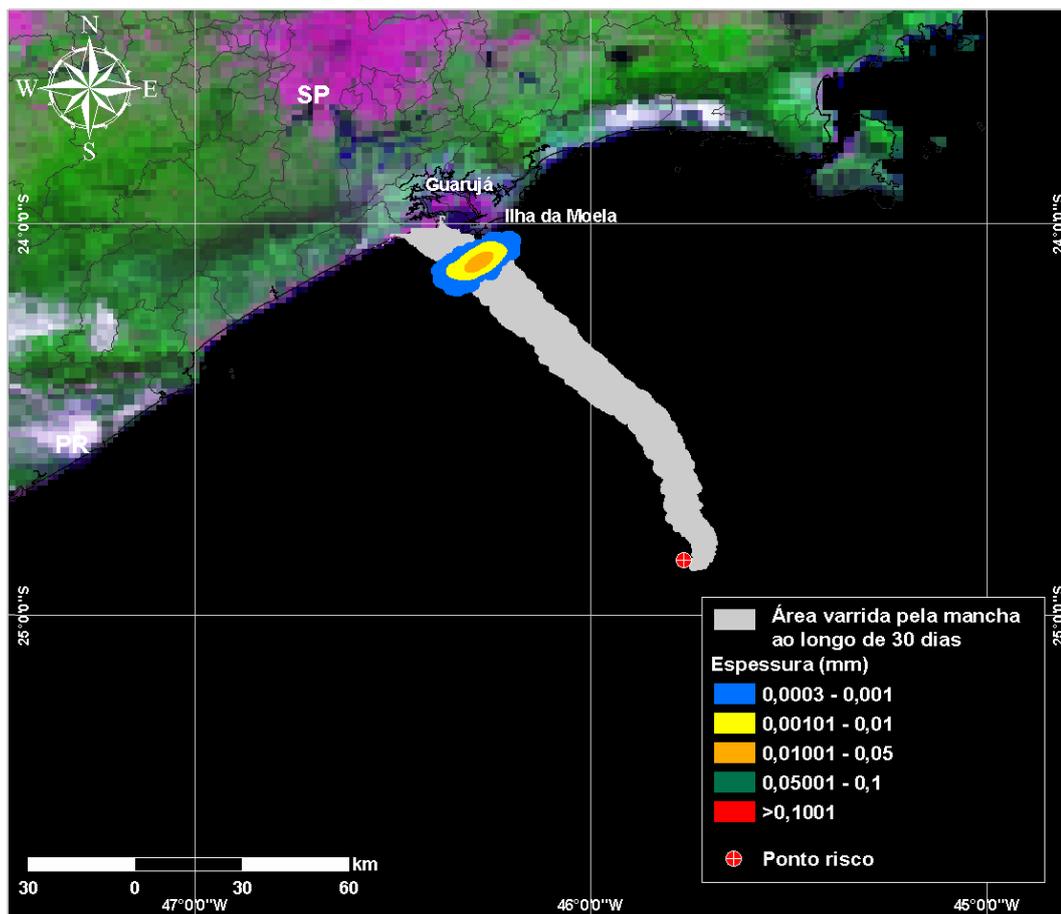


Figura VI.2-27 - DET\_S-06\_PC\_MLZ-3D\_VER\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo MLZ-3D a partir do Ponto S-06, Área Geográfica Bacia de Santos.



**Figura VI.2-28 -** Balanço de massa do cenário DET\_S-06\_PC\_MLZ-3D\_VER\_60D.



**Figura VI.2-29 -** DET\_S-06\_PC\_DIESEL\_VER\_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-06, Área Geográfica Baía de Santos.

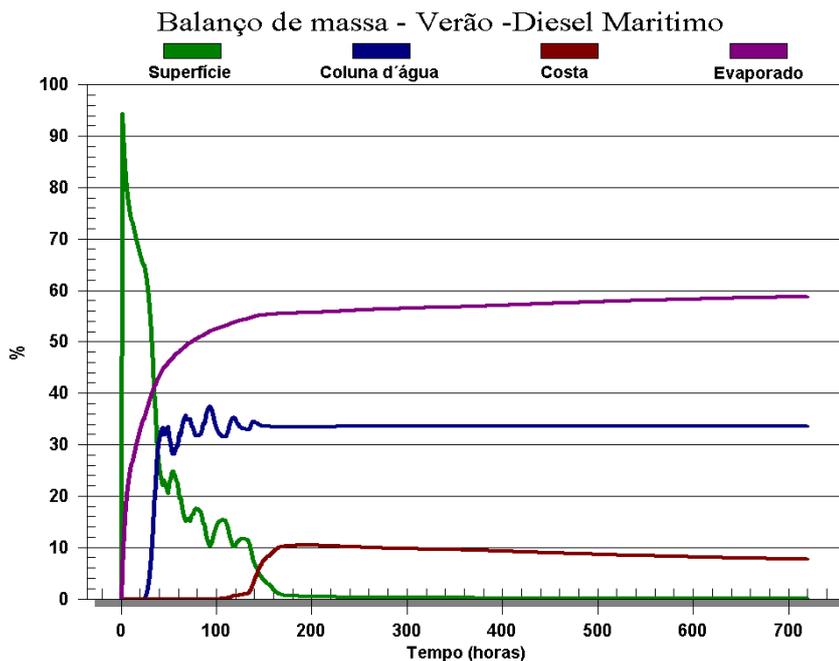


Figura VI.2-30 - Balanco de massa do cenário DET\_S-06\_PC\_DIESEL\_VER\_30D.

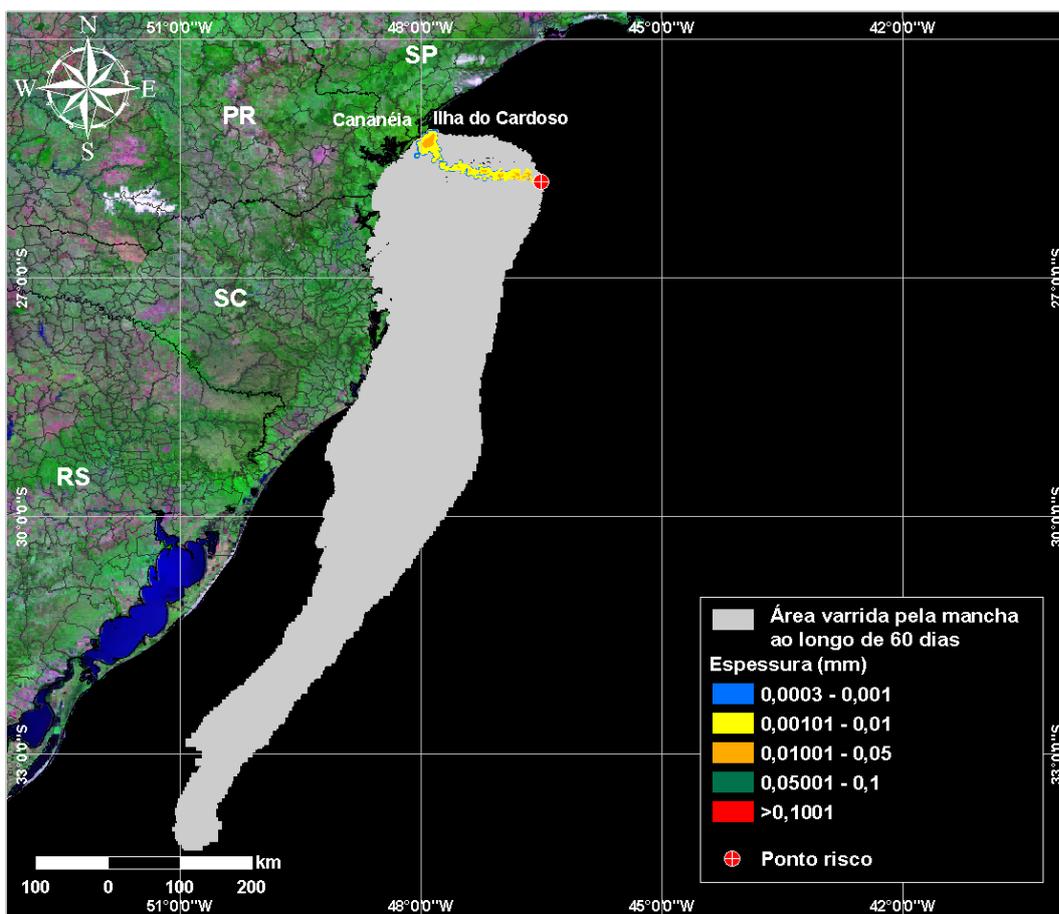
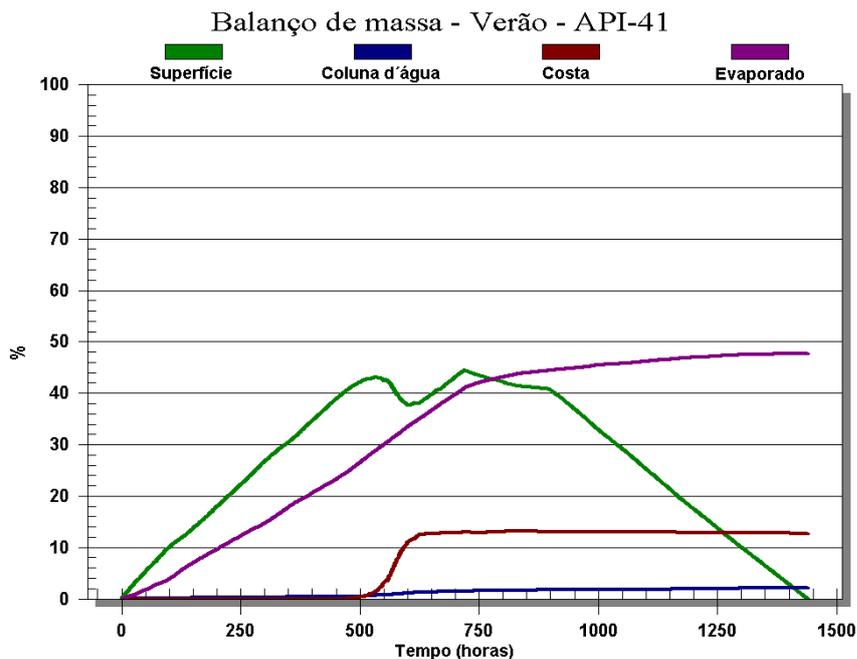
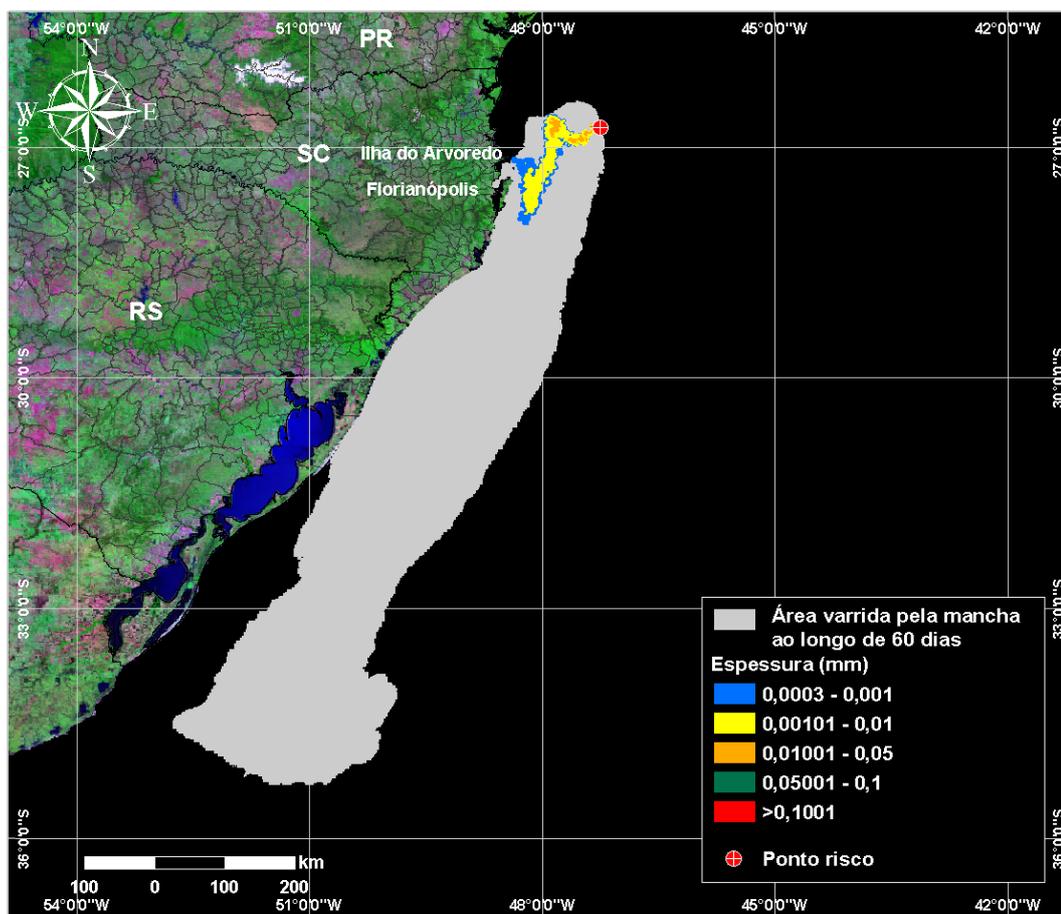


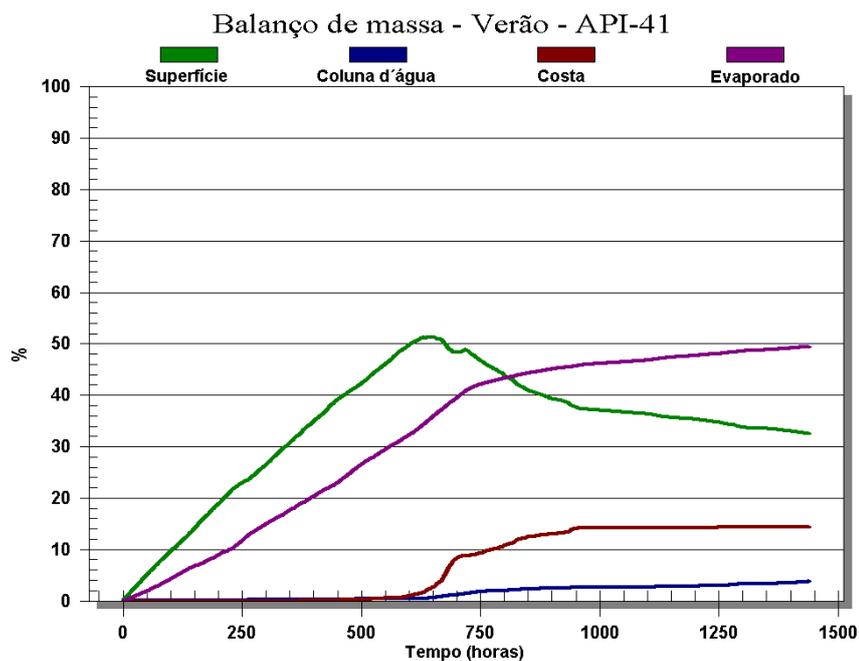
Figura VI.2-31 - DET\_S-07\_PC\_SCS10A\_VER\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo SCS10A a partir do Ponto S-07, Área Geográfica Bacia de Santos.



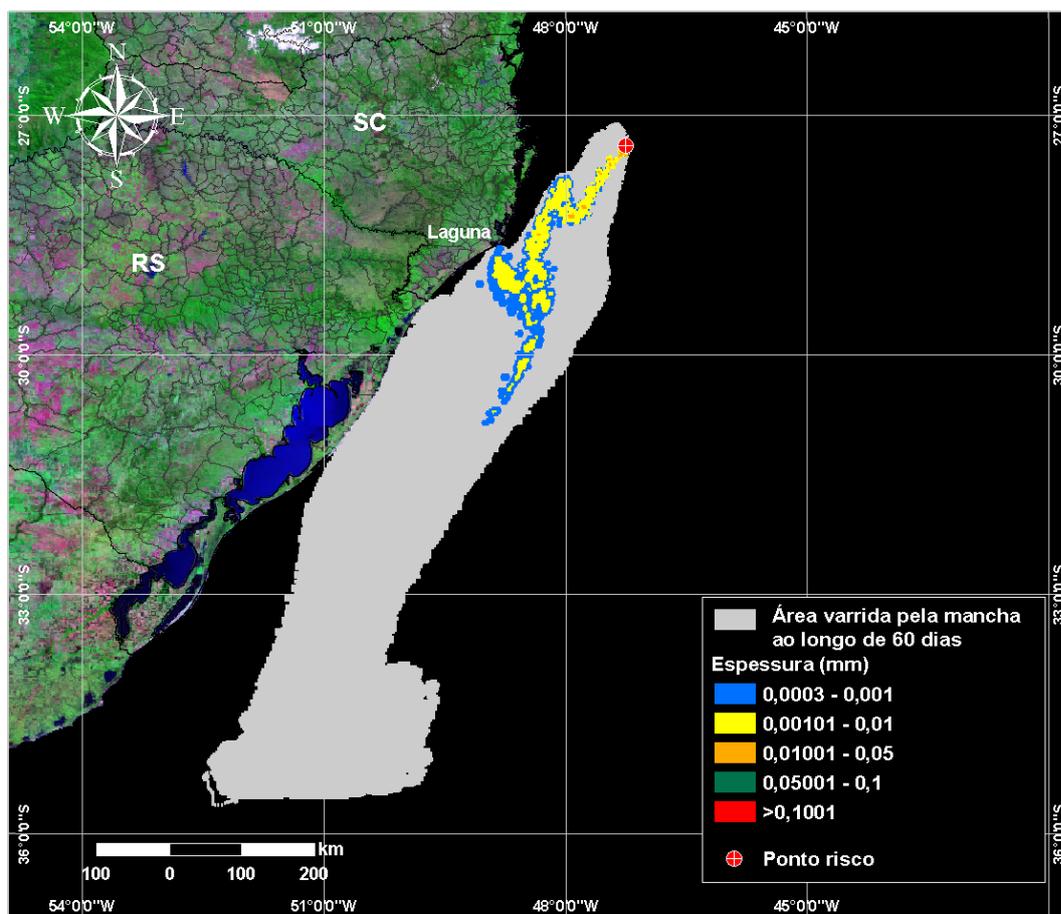
**Figura VI.2-32 - Balanco de massa do cenário DET\_S-07\_PC\_SCS10A\_VER\_60D.**



**Figura VI.2-33 - DET\_S-08\_PC\_SCS10A\_VER\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo SCS10A a partir do Ponto S-08, Área Geográfica Baía de Santos.**



**Figura VI.2-34 - Balanco de massa do cenário DET\_S-08\_PC\_SCS10A\_VER\_60D.**



**Figura VI.2-35 - DET\_S-09\_PC\_SCS10A\_VER\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo SCS10A a partir do Ponto S-09, Área Geográfica Bacia de Santos.**

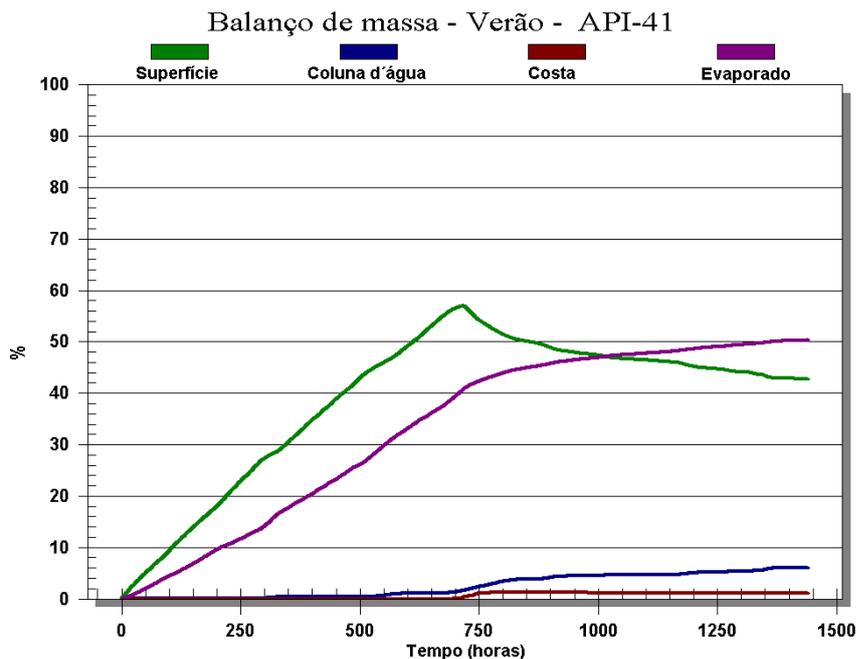


Figura VI.2-36 - Balanço de massa do cenário DET\_S-09\_PC\_SCS10A\_VER\_60D.

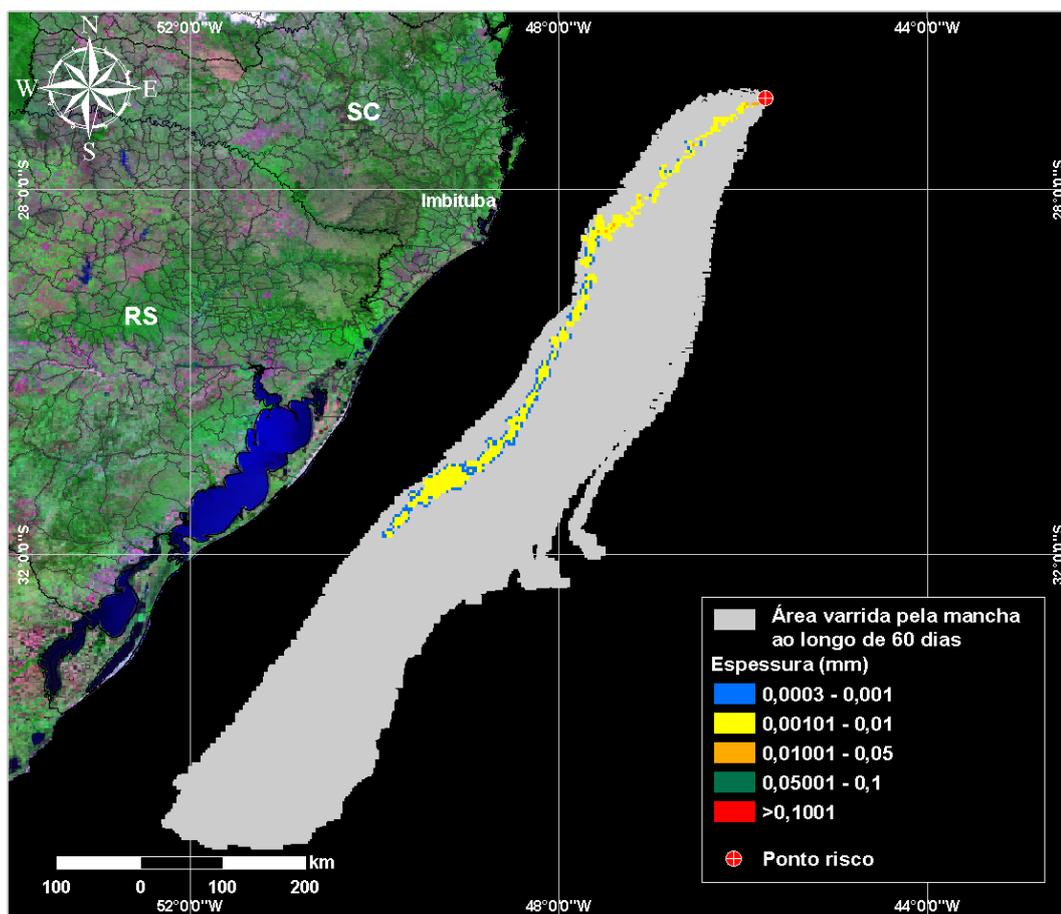
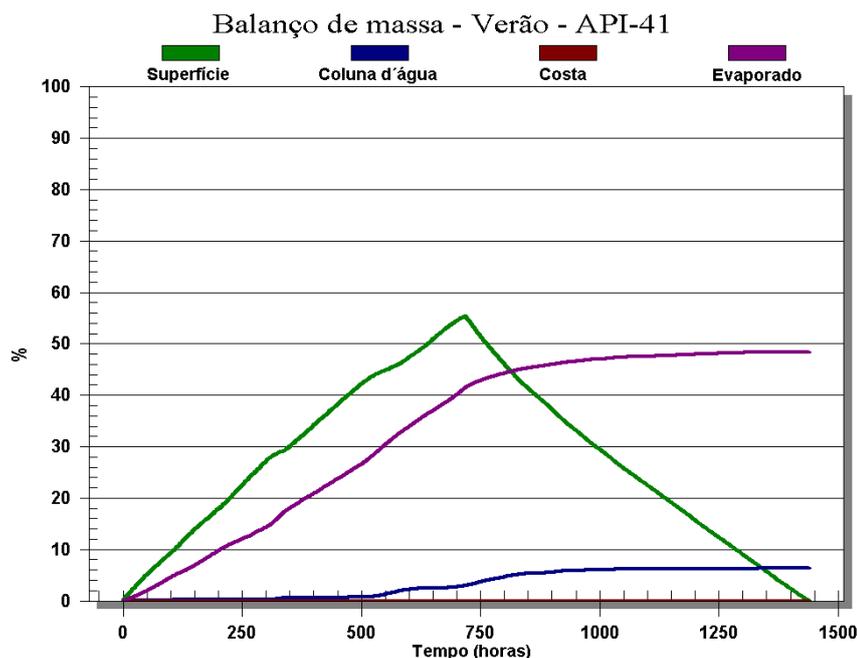
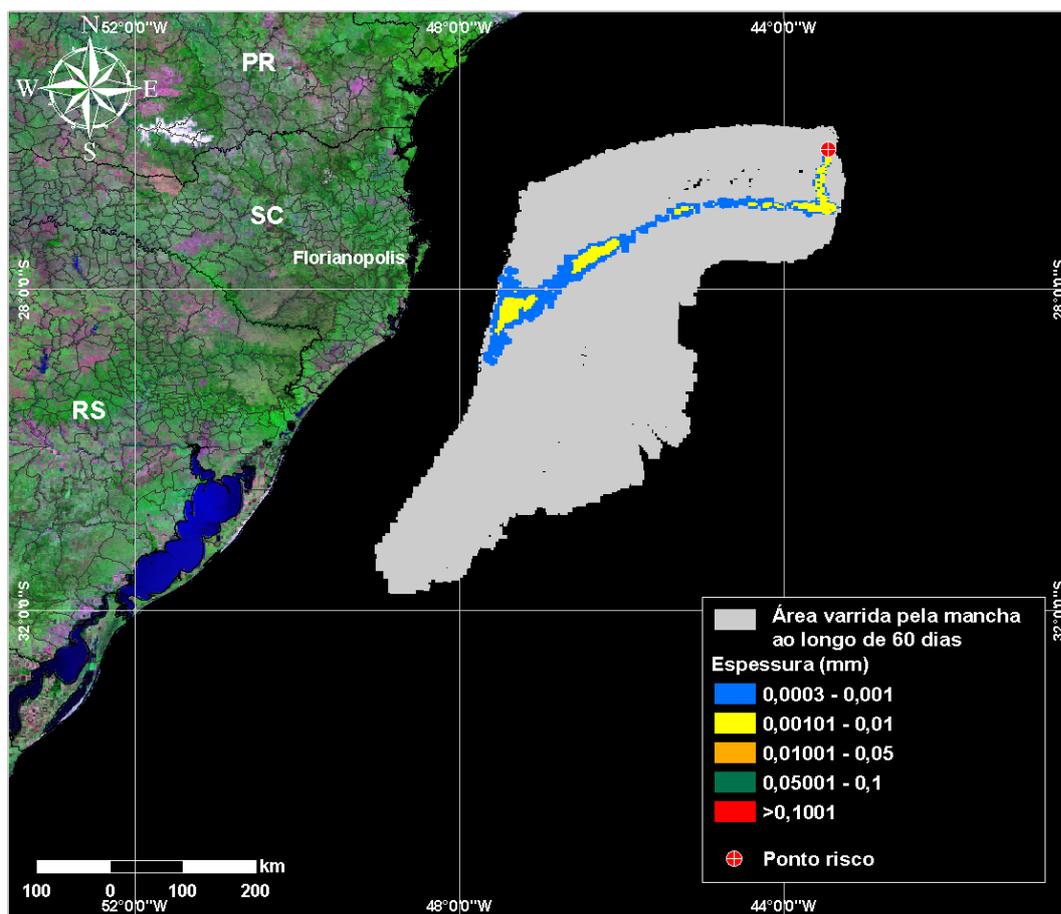


Figura VI.2-37 - DET\_S-10\_PC\_SCS10A\_VER\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo SCS10A a partir do Ponto S-10, Área Geográfica Baía de Santos.



**Figura VI.2-38 - Balanco de massa do cenário DET\_S-10\_PC\_SCS10A\_VER\_60D.**



**Figura VI.2-39 - DET\_S-11\_PC\_BMS21\_VER\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo BMS21 a partir do Ponto S-11, Área Geográfica Bacia de Santos.**

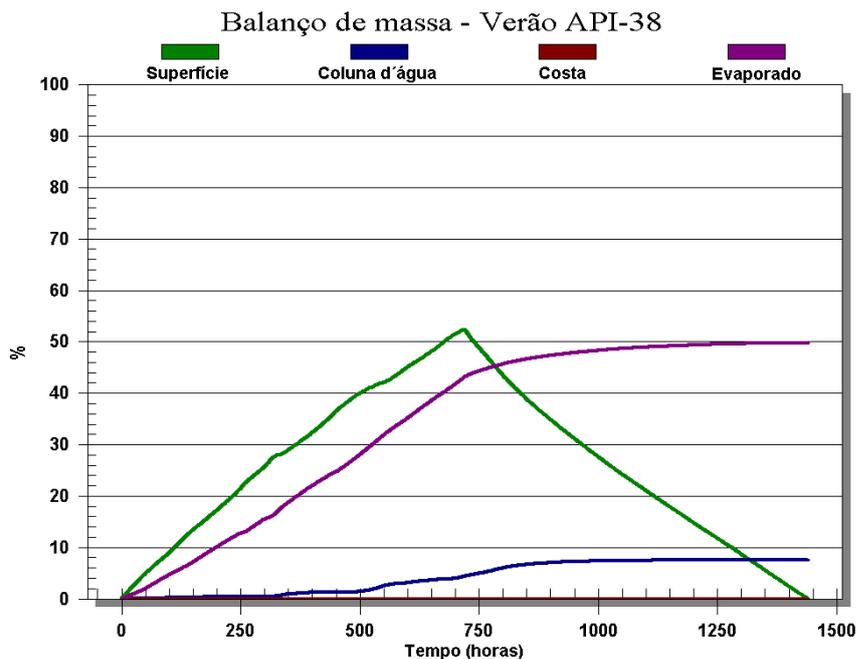


Figura VI.2-40 - Balanço de massa do cenário DET\_S-11\_PC\_BMS21\_VER\_60D.

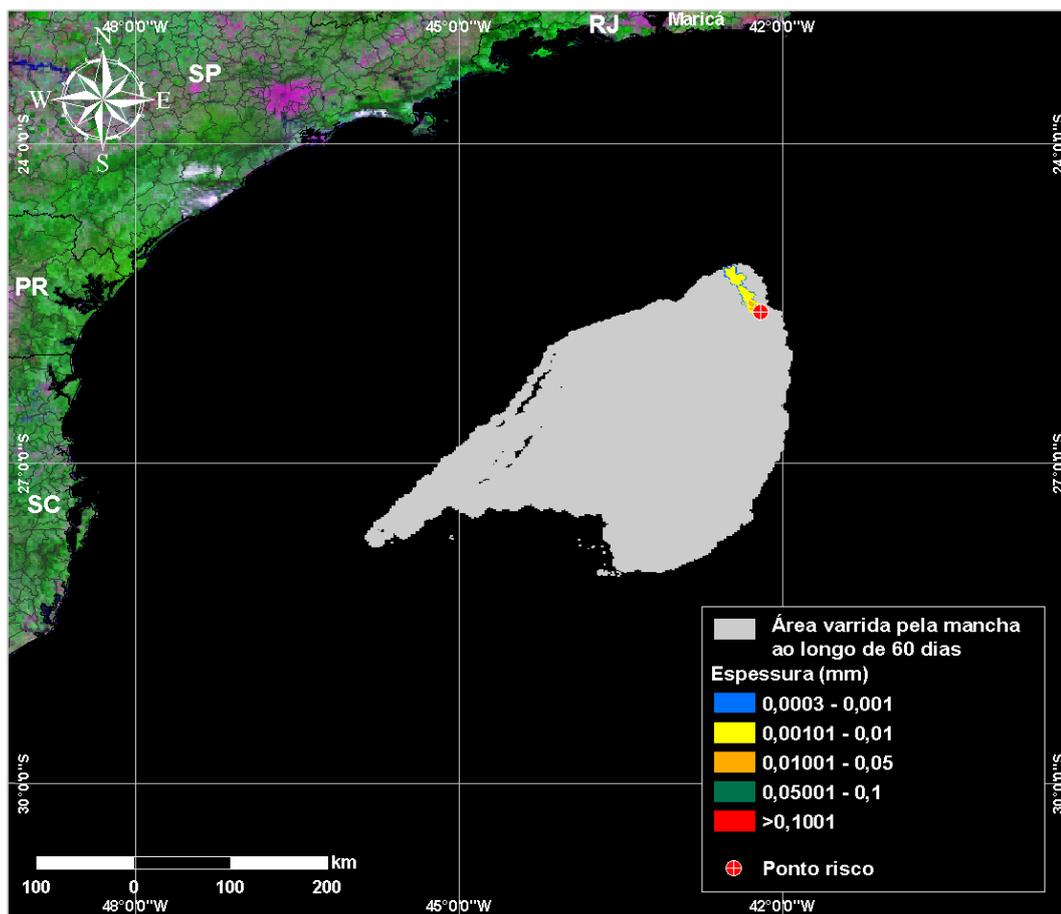


Figura VI.2-41 - DET\_S-12\_PC\_BMS21\_VER\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o verão com óleo tipo BMS21 a partir do Ponto S-12, Área Geográfica Baía de Santos.

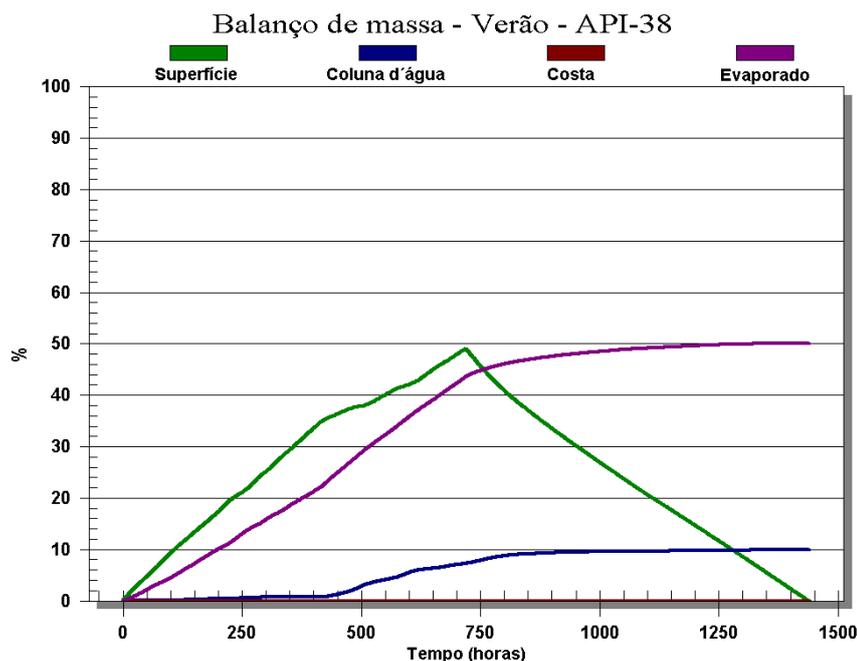
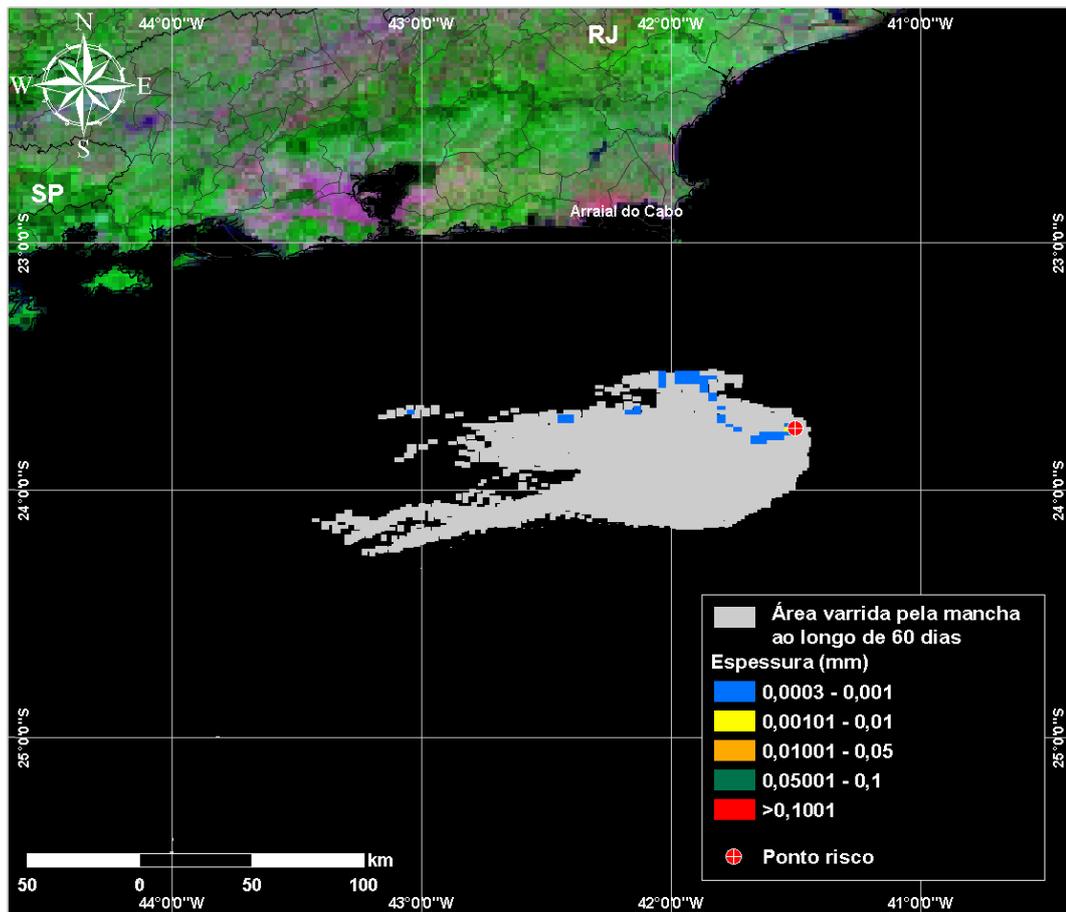
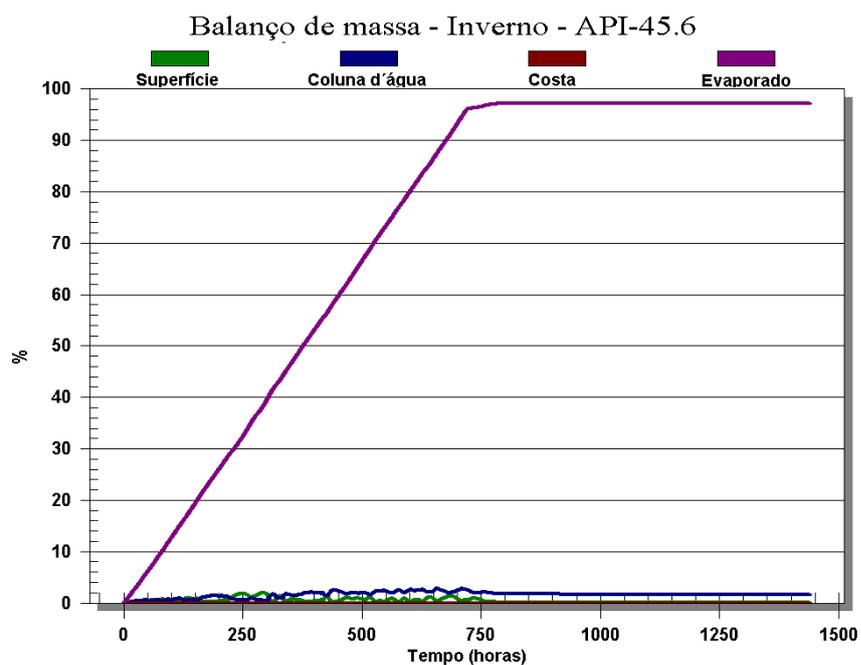


Figura VI.2-42 - Balanço de massa do cenário DET\_S-12\_PC\_BMS21\_VER\_60D.

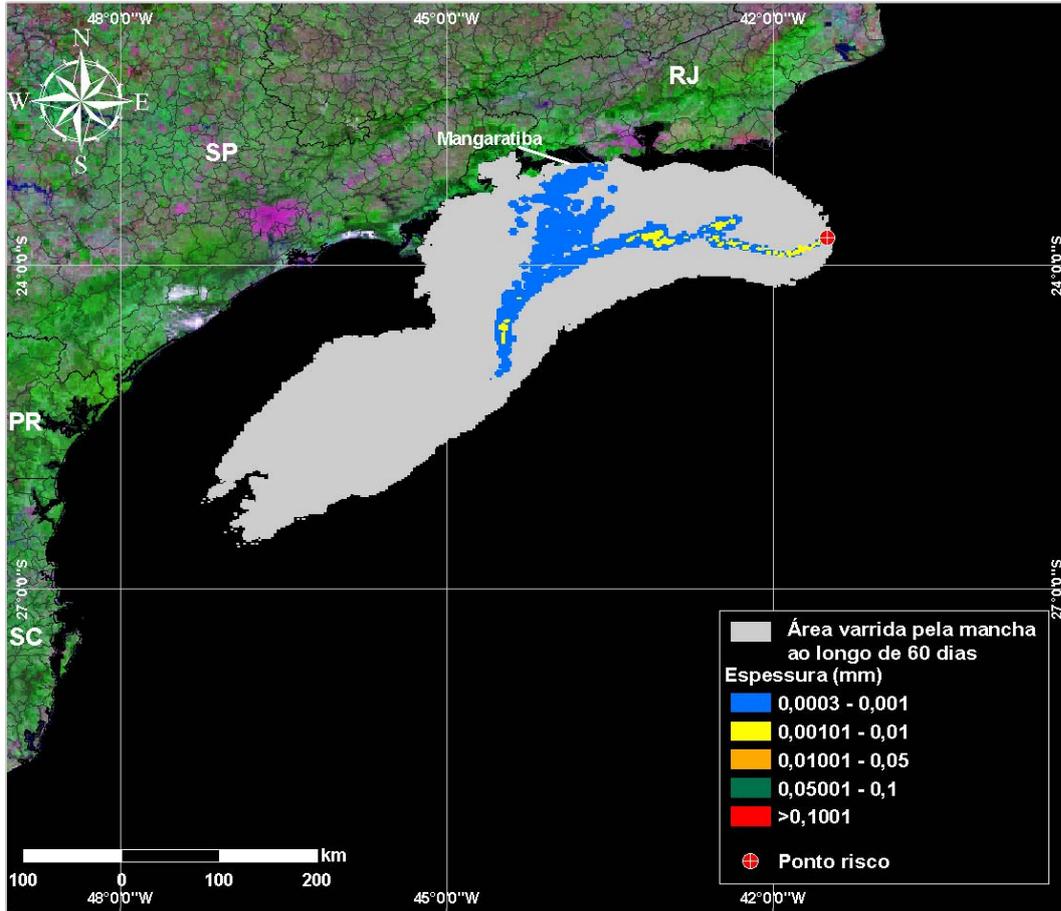
Nas figuras VI.2-42 a VI.2-84 são apresentados os resultados das simulações determinísticas críticas de inverno, na forma de duas figuras. Assim como no verão, uma das figuras apresenta os contornos de espessura no instante do primeiro toque na linha de costa e a área varrida pela mancha ao longo dos 60 dias de simulação (ou 30 dias quando do derrame de diesel marítimo). Nesta são destacados os limites de 0,0003 mm (limite para ambientes sensíveis), e 0,05 mm (limite de recolhimento). A cor cinza representa a região por onde a mancha se deslocou durante os 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.



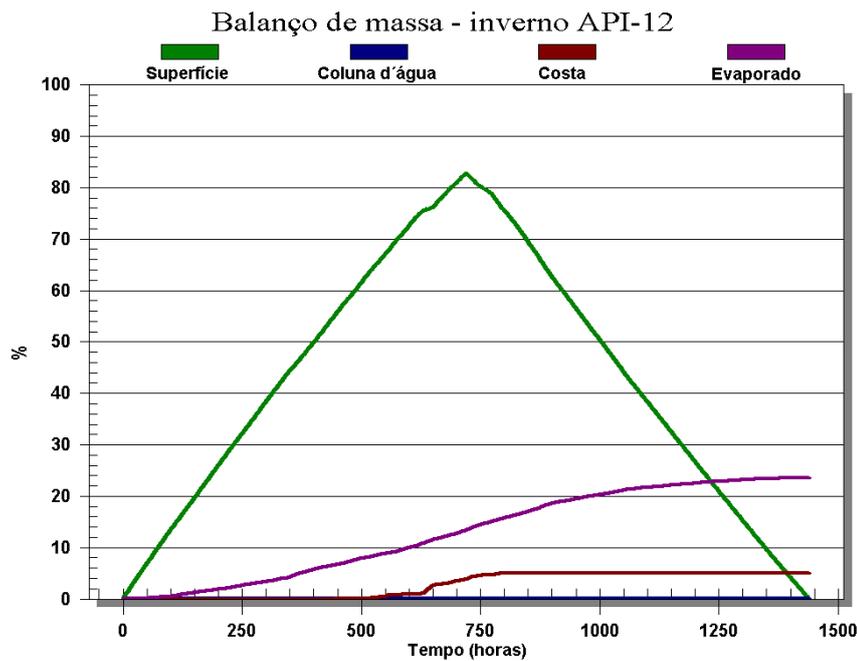
**Figura VI.2-43 - DET\_S-01\_PC\_RJS-587\_INV\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo RJS-587 a partir do Ponto S-01, Área Geográfica Baía de Santos.



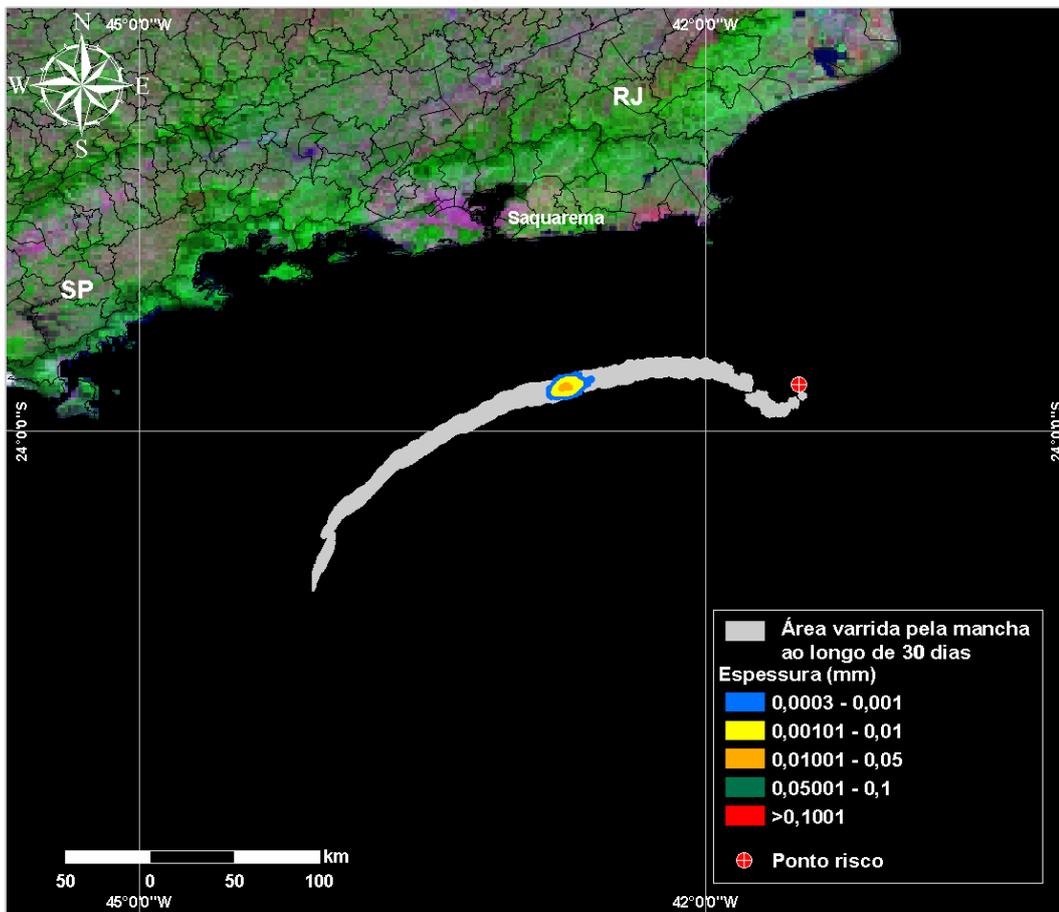
**Figura VI.2-44 - Balanco de massa do cenário DET\_S-01\_PC\_RJS-587\_INV\_60D.**



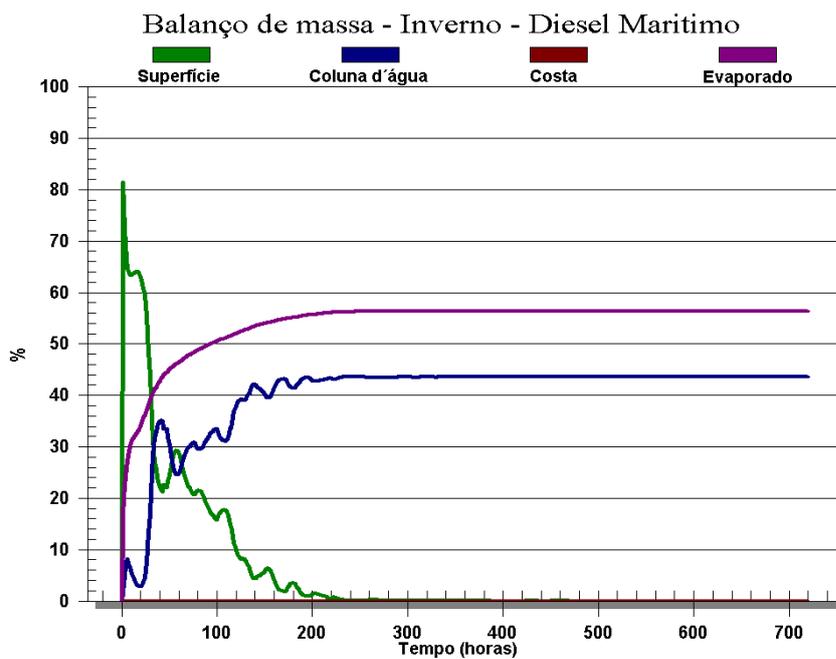
**Figura VI.2-45 - DET\_S-01\_PC\_RJS-574\_INV\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo RJS-574 a partir do Ponto S-01, Área Geográfica Bacia de Santos.



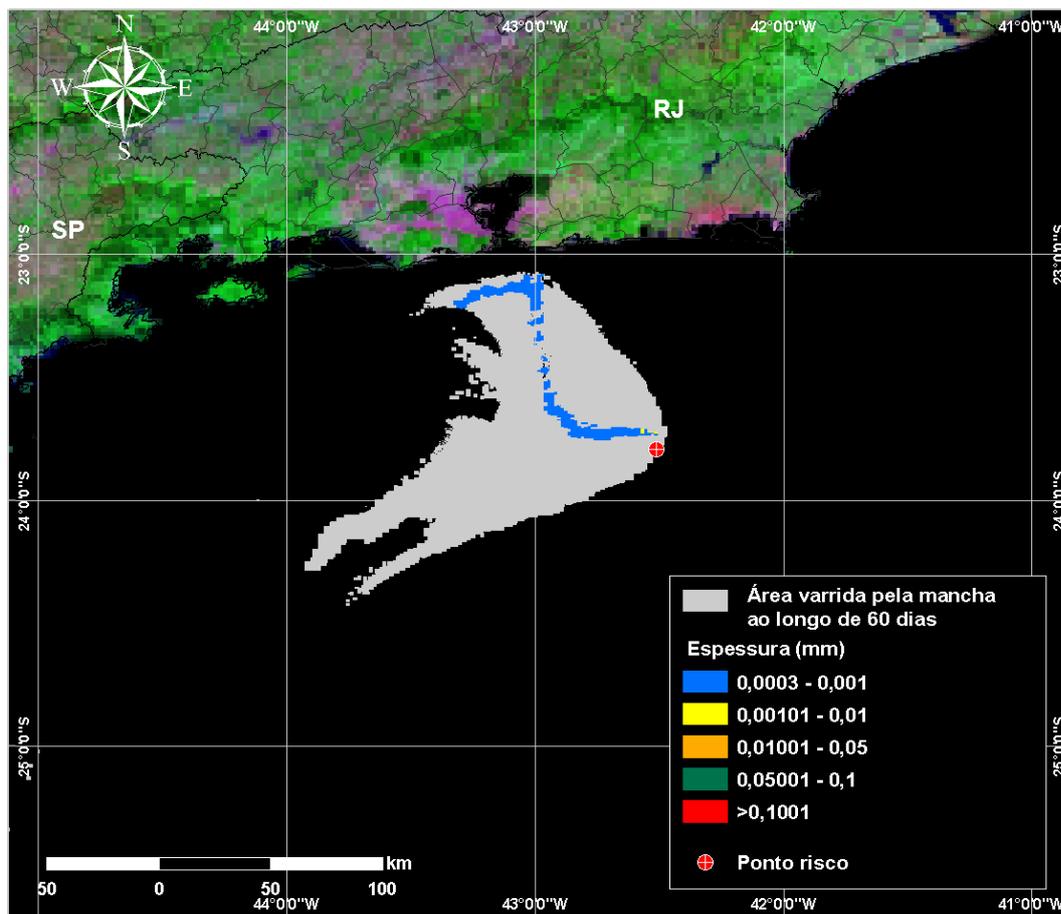
**Figura VI.2-46 - Balanço de massa do cenário DET\_S-01\_PC\_RJS-574\_INV\_60D.**



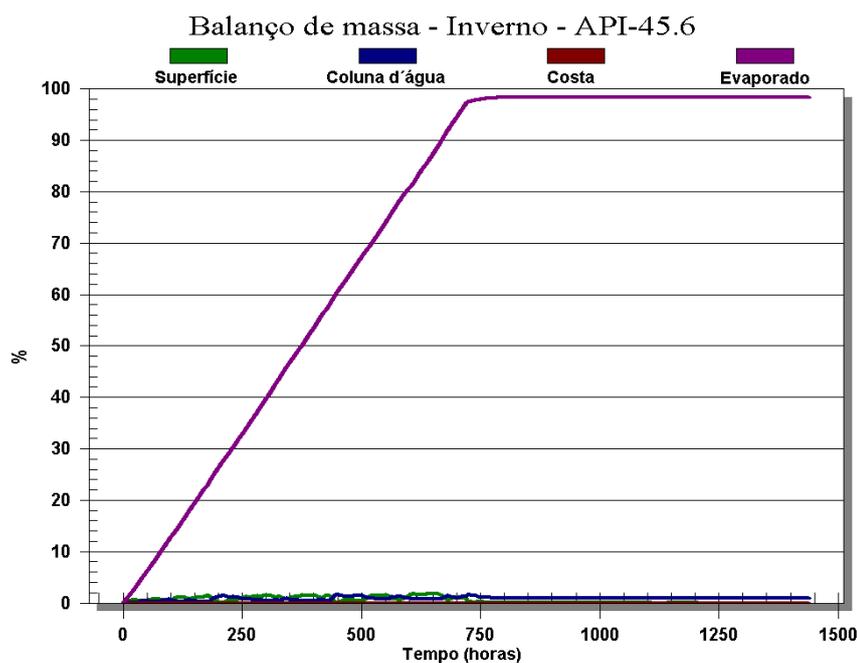
**Figura VI.2-47 - DET\_S-01\_PC\_DIESEL\_INV\_30D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-01, Área Geográfica Baía de Santos.



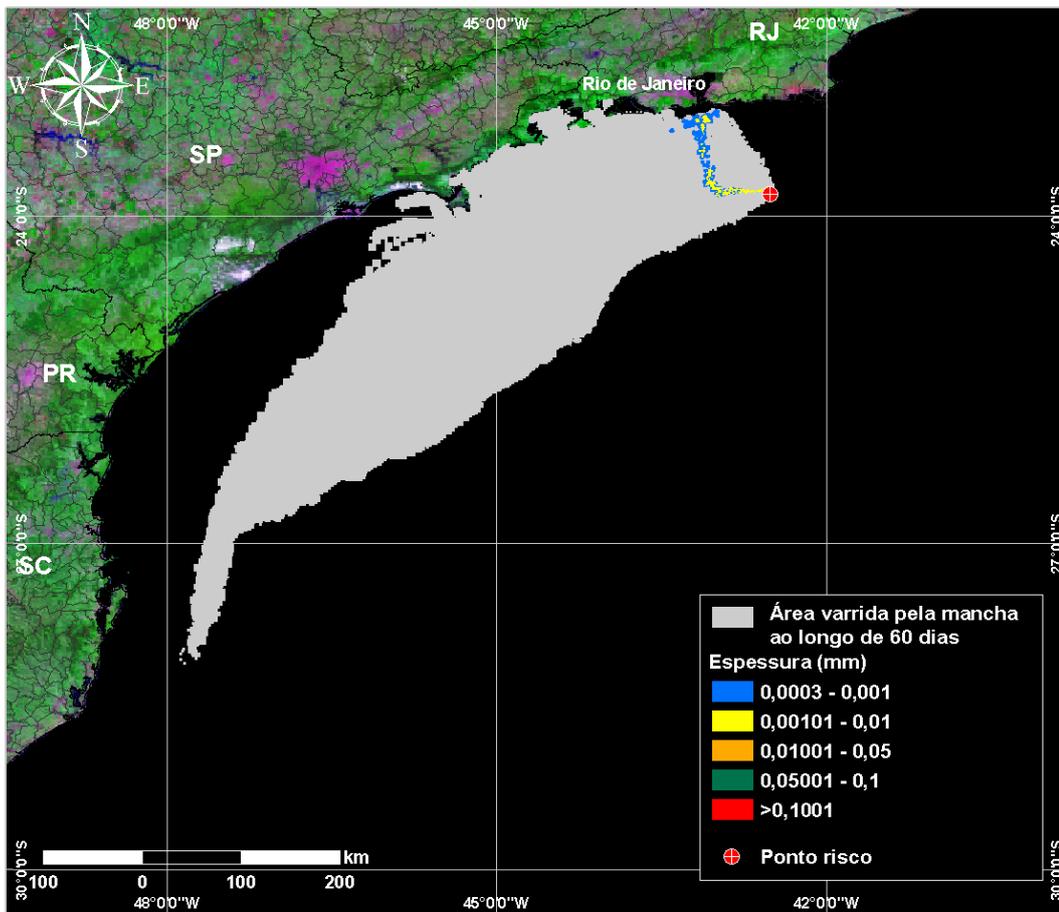
**Figura VI.2-48 - Balanço de massa do cenário DET\_S-01\_PC\_DIESEL\_INV\_30D.**



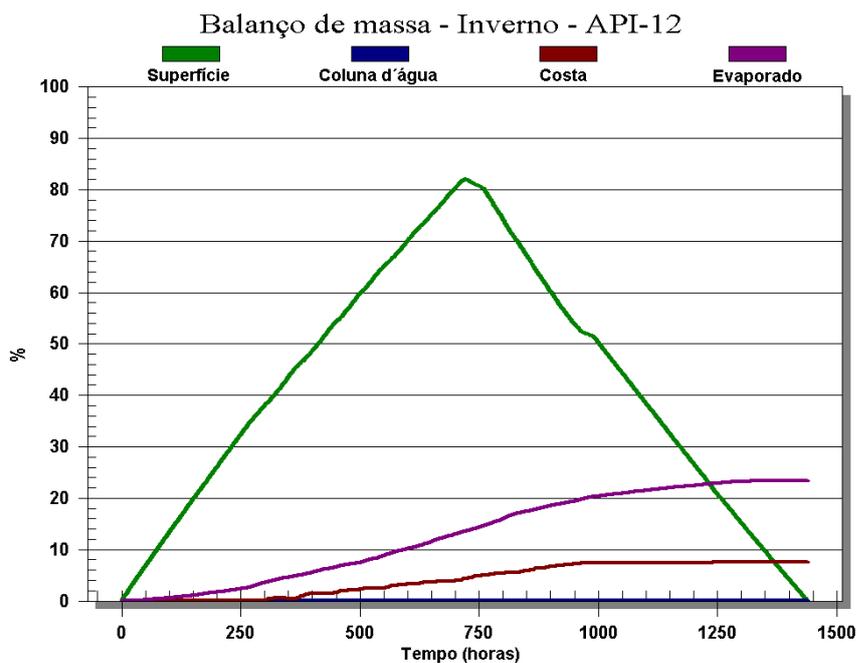
**Figura VI.2-49 - DET\_S-02\_PC\_RJS-587\_INV\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo RJS-587 a partir do Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos.



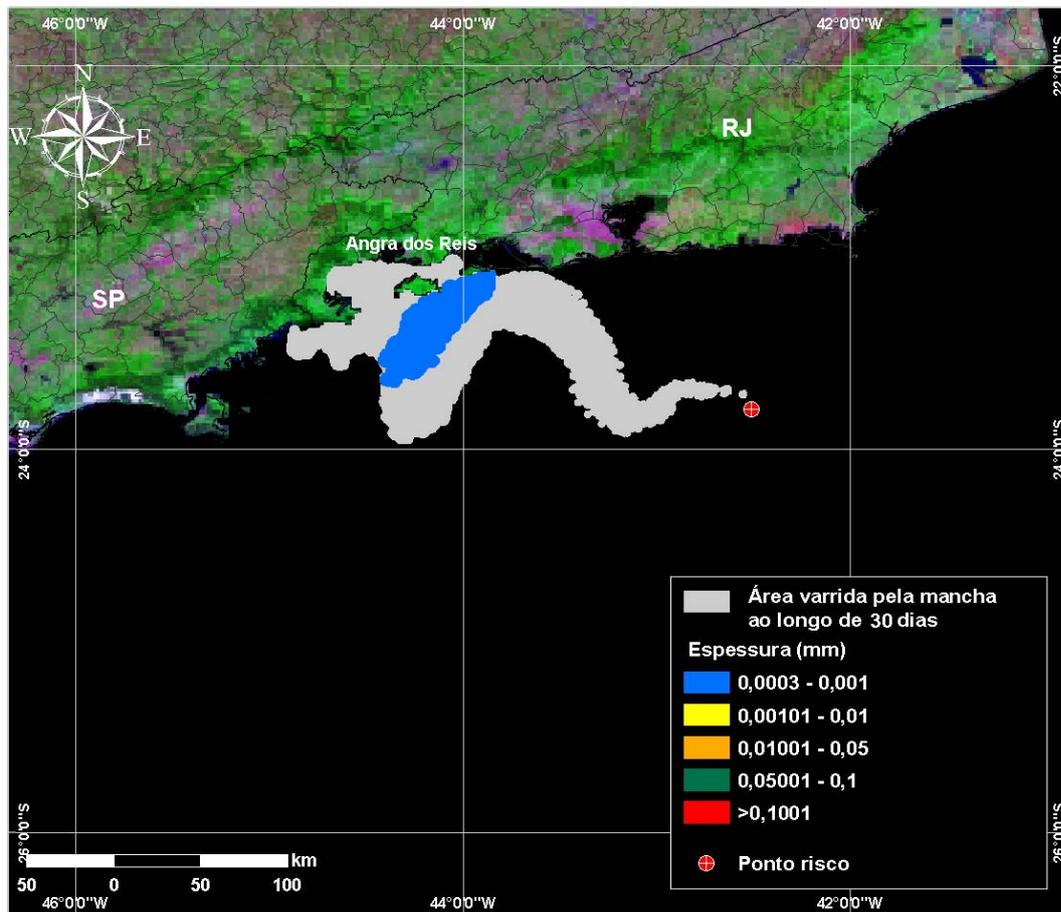
**Figura VI.2-50 - Balanço de massa do cenário DET\_S-02\_PC\_RJS-587\_INV\_60D.**



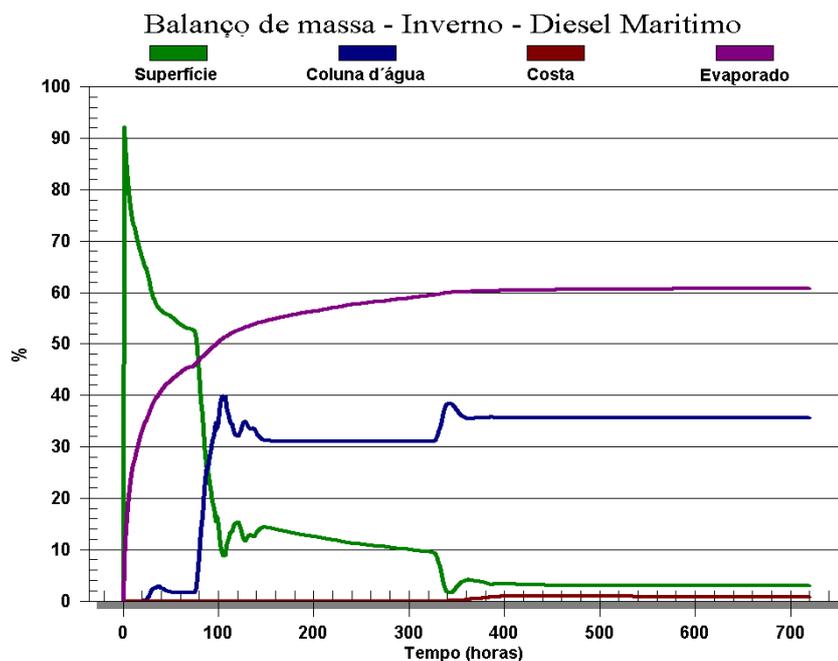
**Figura VI.2-51 - DET\_S-02\_PC\_RJS-574\_INV\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo RJS-574 a partir do Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos.



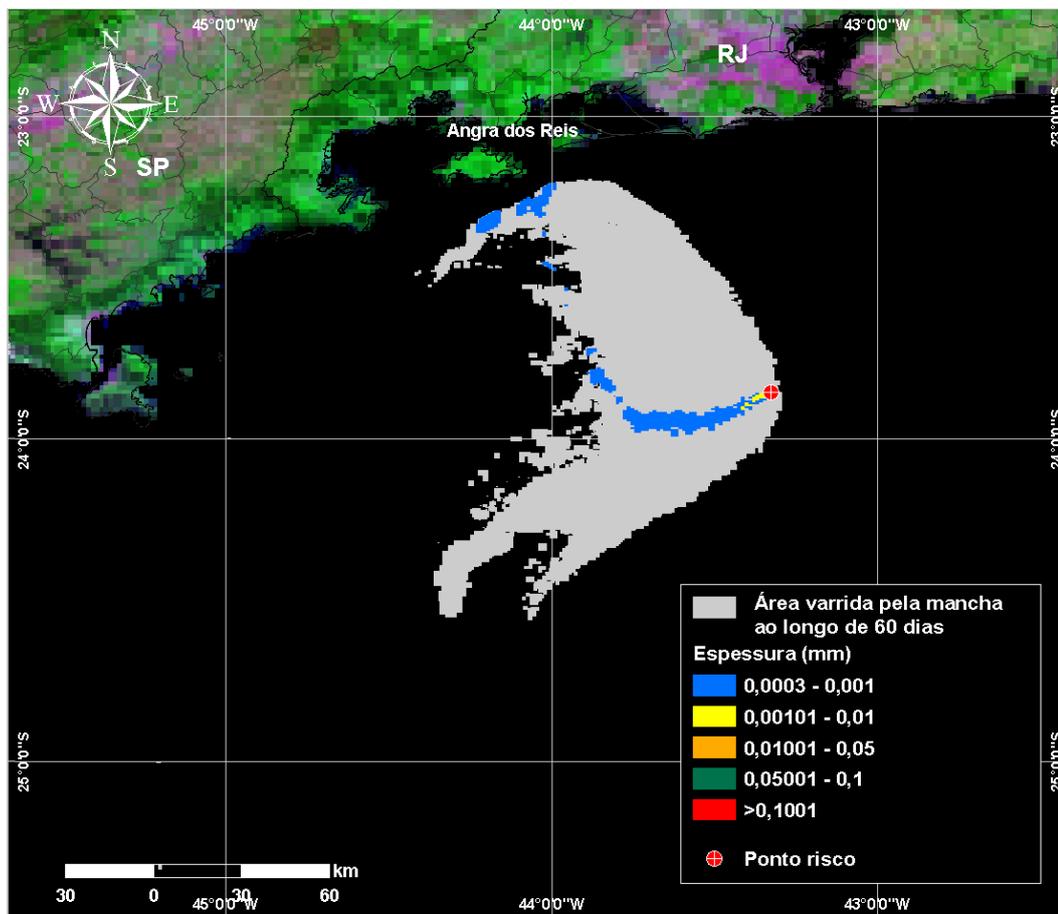
**Figura VI.2-52 - Balanço de massa do cenário DET\_S-02\_PC\_RJS-574\_INV\_60D.**



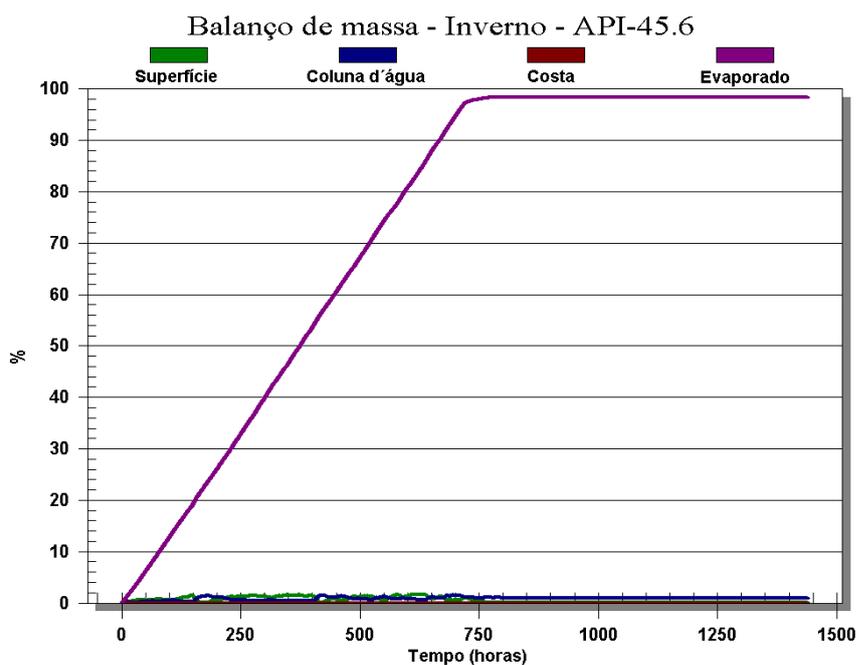
**Figura VI.2-53 - DET\_S-02\_PC\_DIESEL\_INV\_30D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-02, Área Geográfica Bacia de Santos.



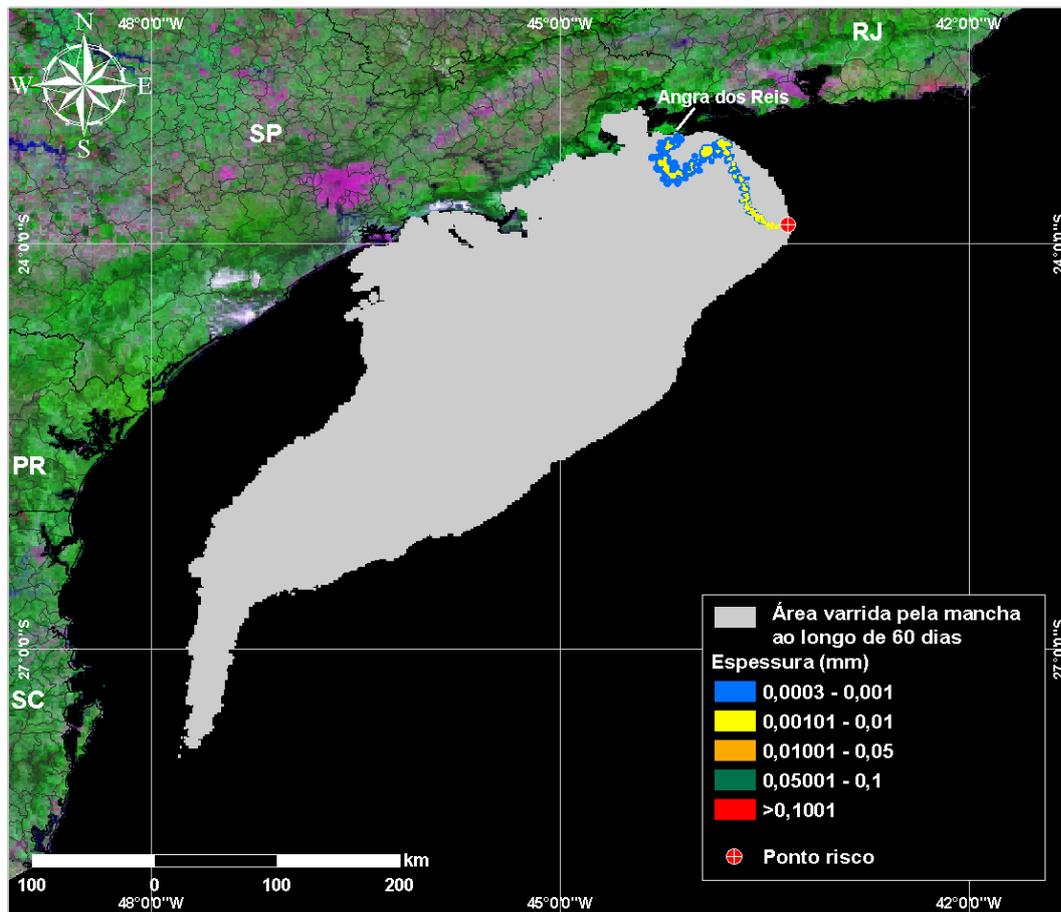
**Figura VI.2-54 - Balanço de massa do cenário DET\_S-02\_PC\_DIESEL\_INV\_30D.**



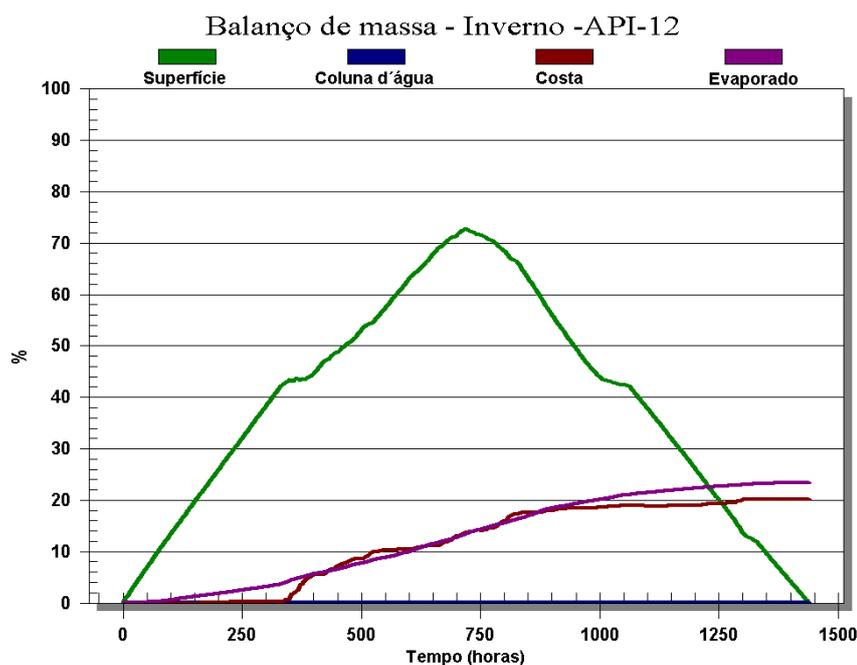
**Figura VI.2-55 - DET\_S-03\_PC\_RJS-587\_INV\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo RJS-587 a partir do Ponto S-03, Área Geográfica Baía de Santos.



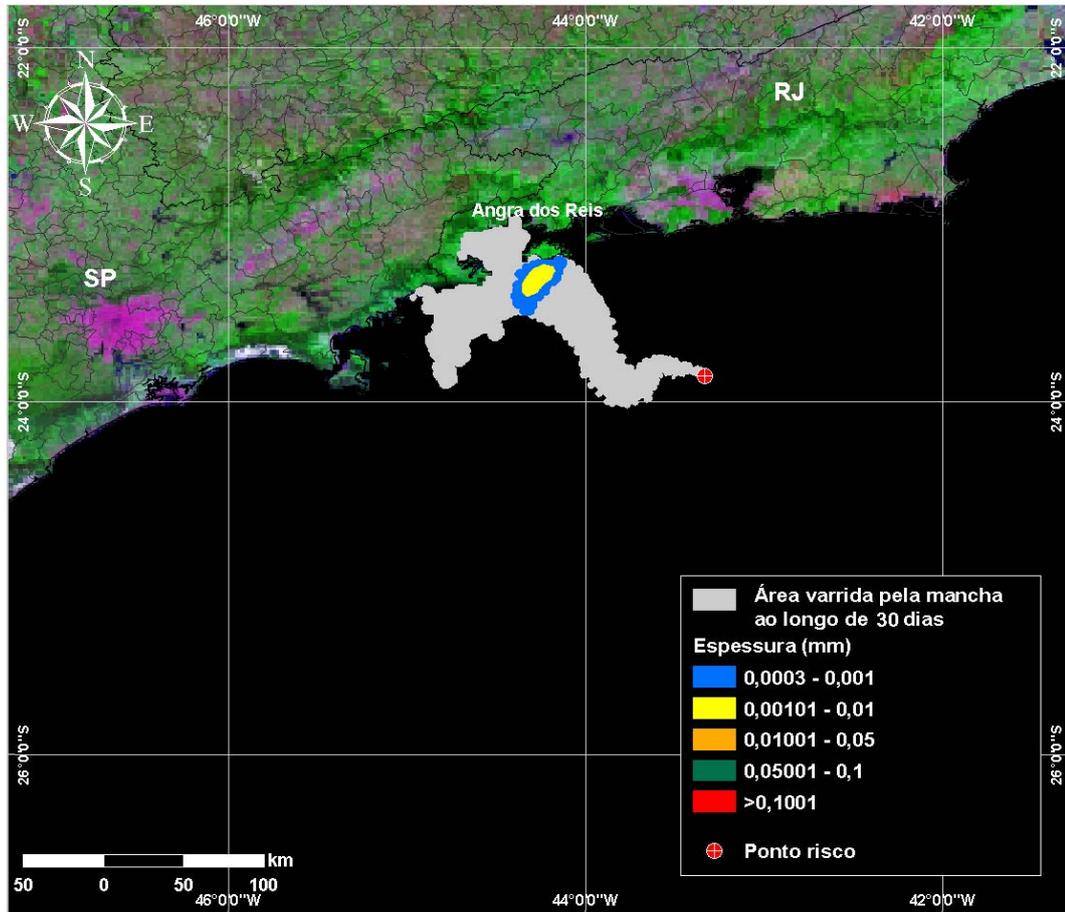
**Figura VI.2-56 - Balanço de massa do cenário DET\_S-03\_PC\_RJS-587\_INV\_60D.**



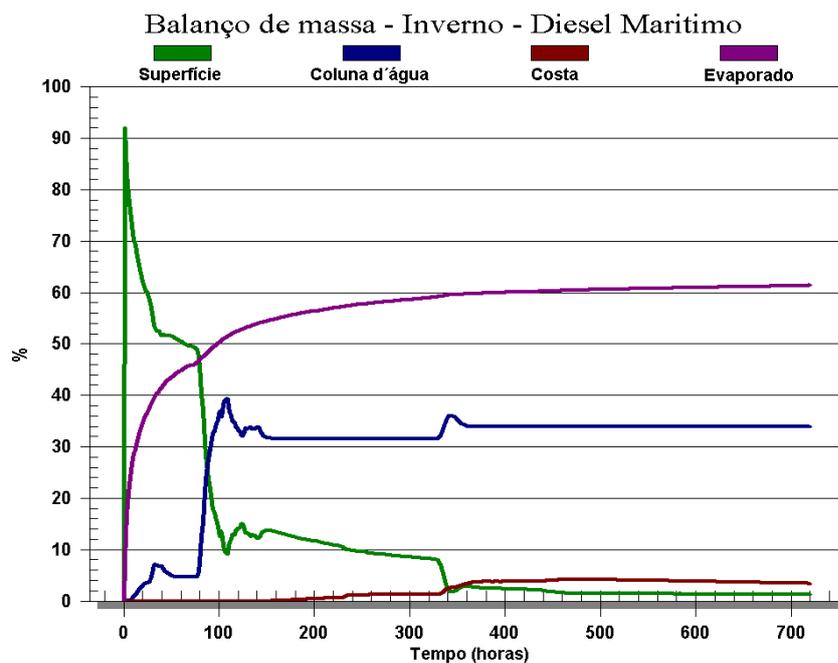
**Figura VI.2-57 - DET\_S-03\_PC\_RJS-574\_INV\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo RJS-574 a partir do Ponto S-03, Área Geográfica Bacia de Santos.



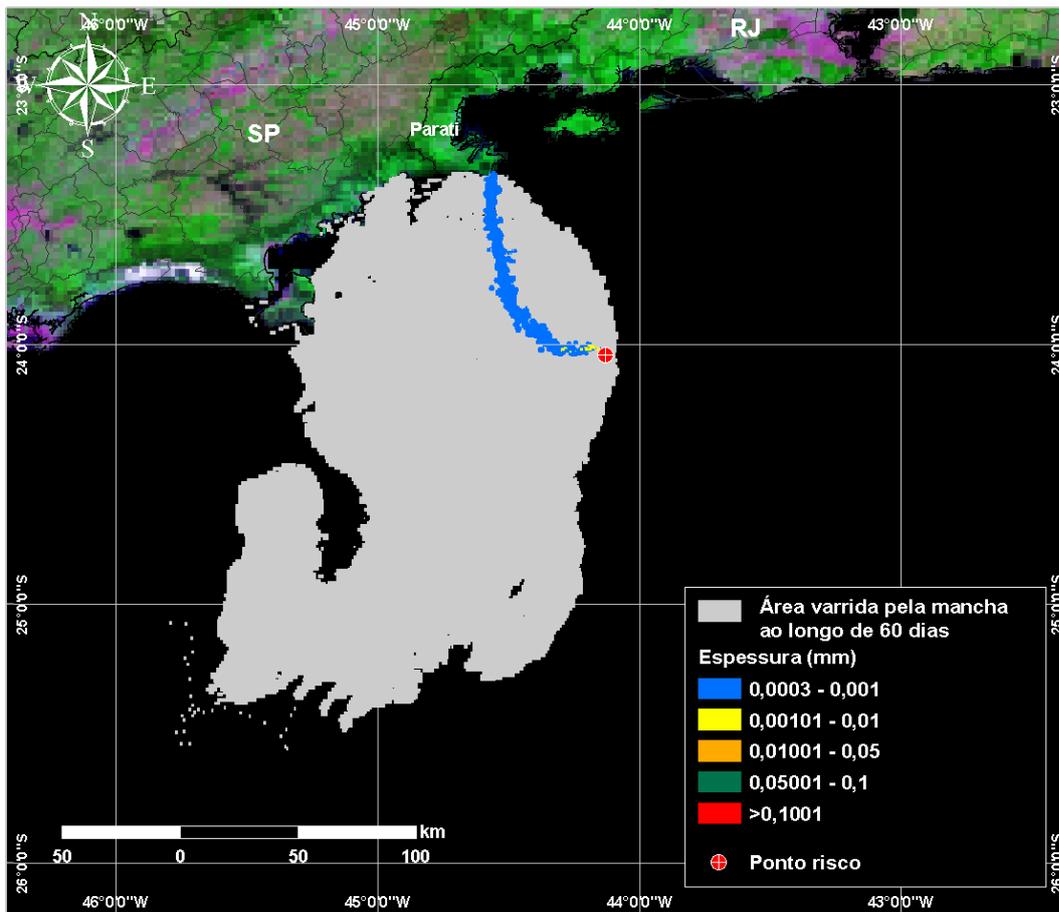
**Figura VI.2-58 - Balanço de massa do cenário DET\_S-03\_PC\_RJS-574\_INV\_60D.**



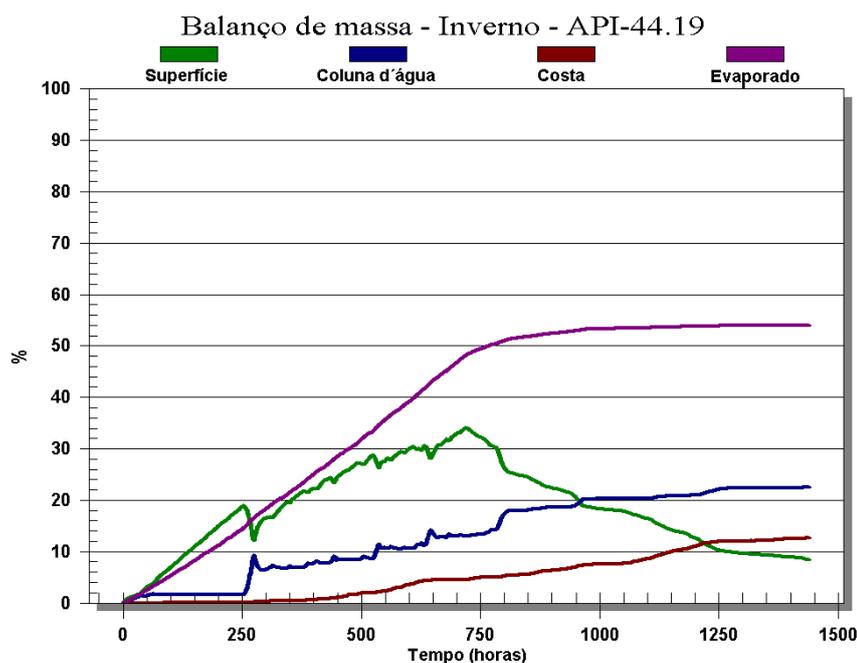
**Figura VI.2-59 - DET\_S-03\_PC\_DIESEL\_INV\_30D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-03, Área Geográfica Baía de Santos.



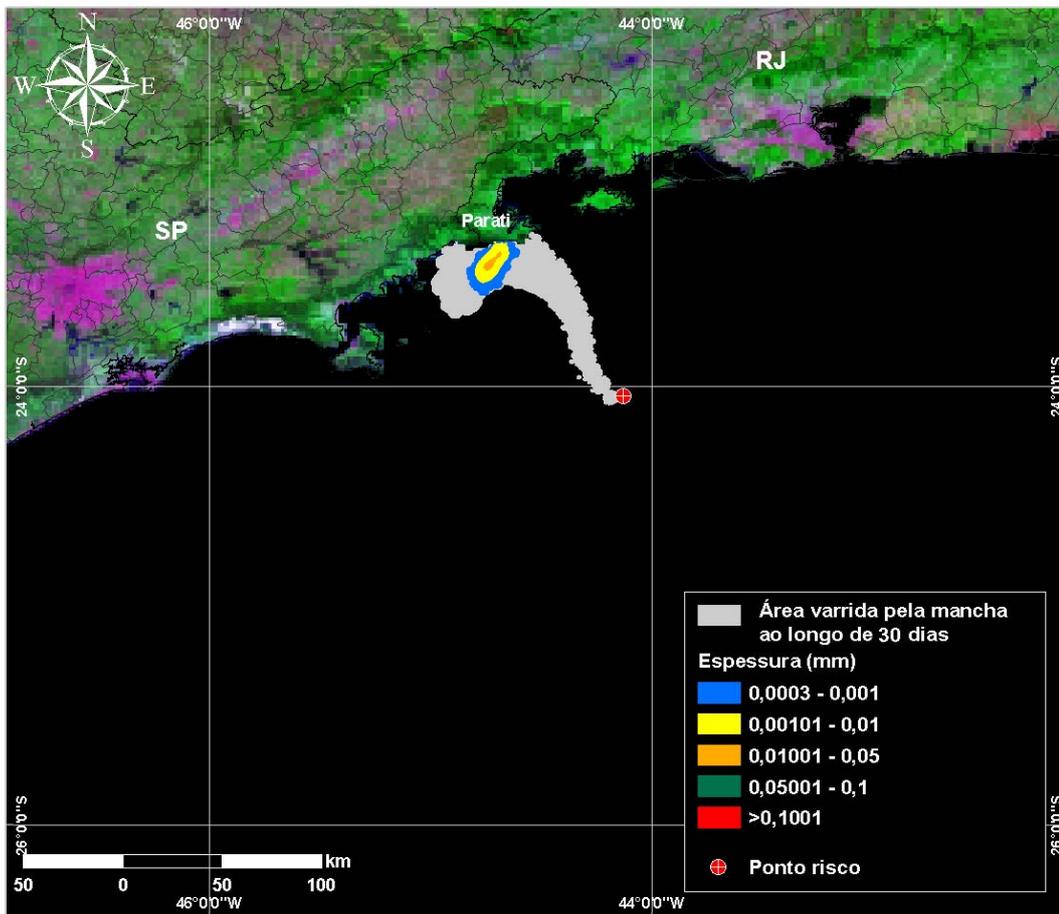
**Figura VI.2-60 - Balanço de massa do cenário DET\_S-03\_PC\_DIESEL\_INV\_30D.**



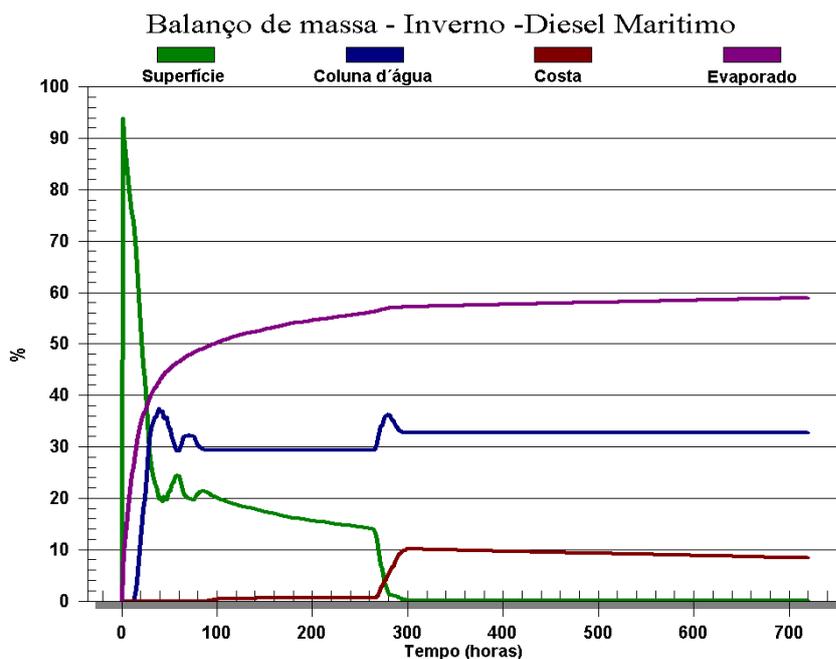
**Figura VI.2-61 - DET\_S-04\_PC\_SPS-0035\_INV\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo RJS-574 a partir do Ponto S-04, Área Geográfica Bacia de Santos.**



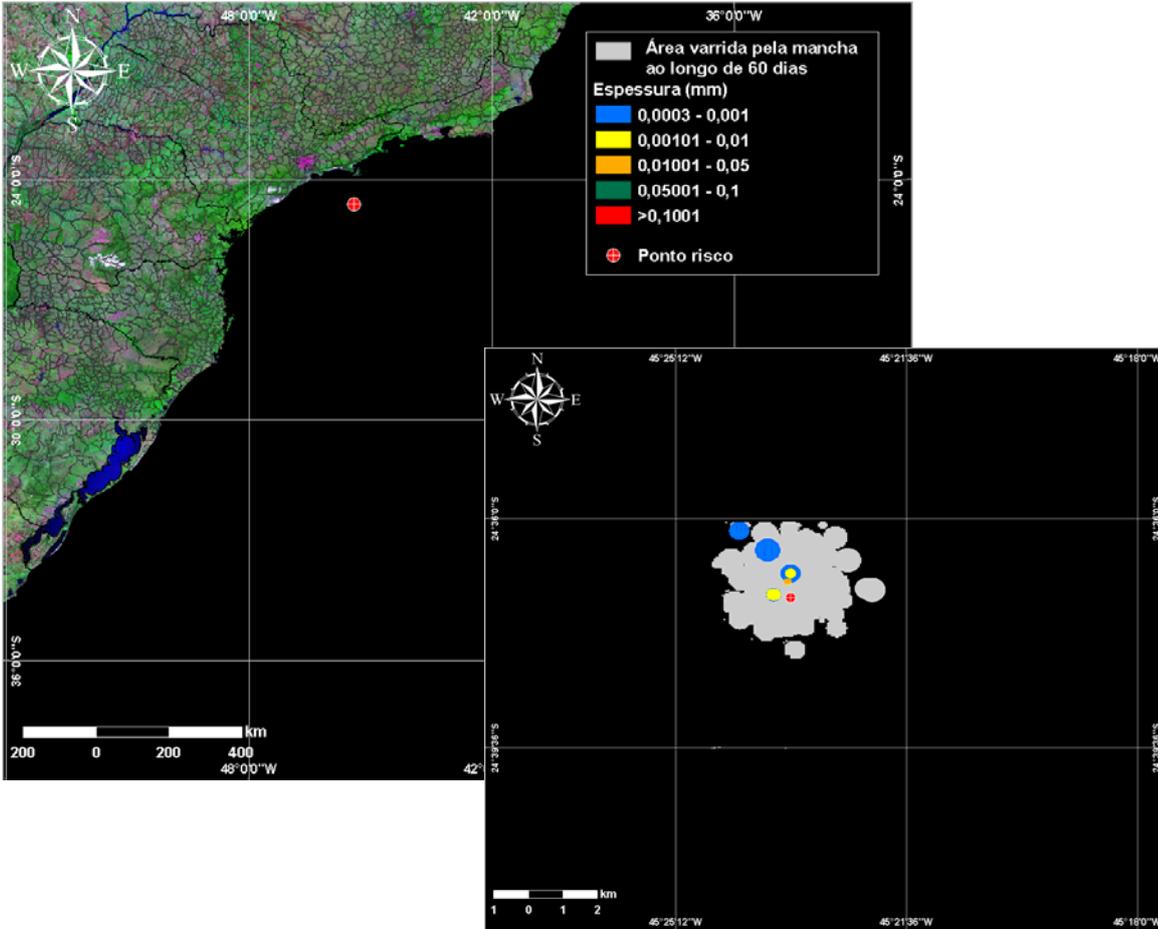
**Figura VI.2-62 - Balanço de massa do cenário DET\_S-04\_PC\_SPS-0035\_INV\_60D.**



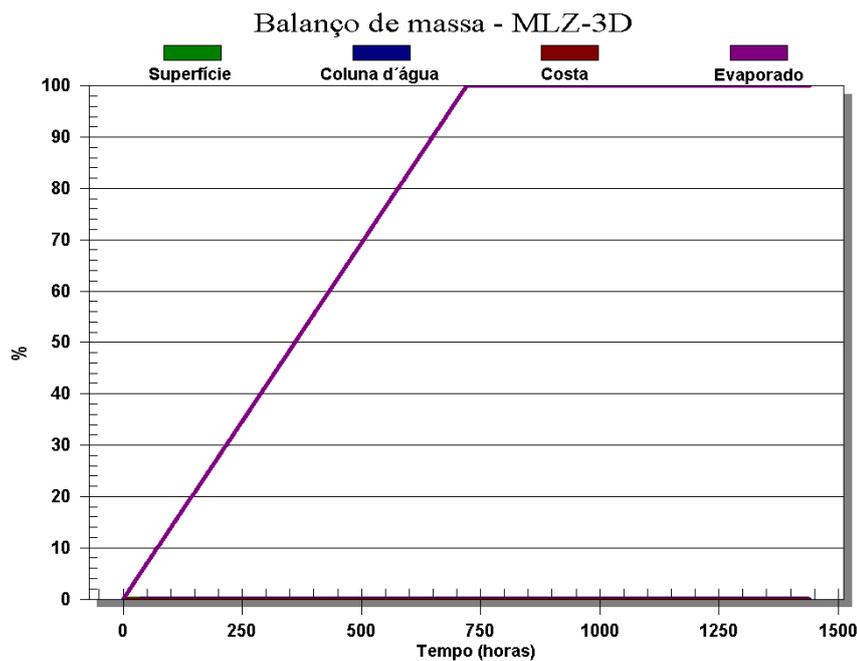
**Figura VI.2-63 - DET\_S-04\_PC\_DIESEL\_INV\_30D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-04, Área Geográfica Baía de Santos.



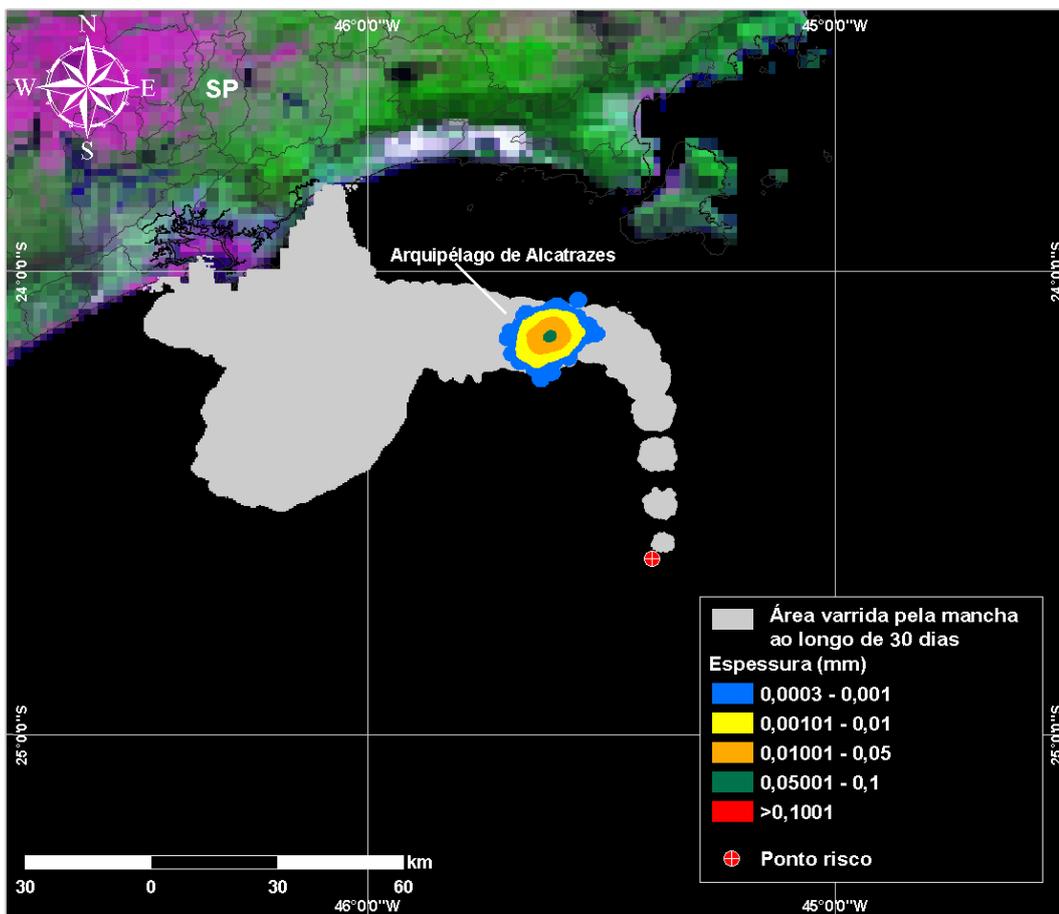
**Figura VI.2-64 - Balanço de massa do cenário DET\_S-04\_PC\_DIESEL\_INV\_30D.**



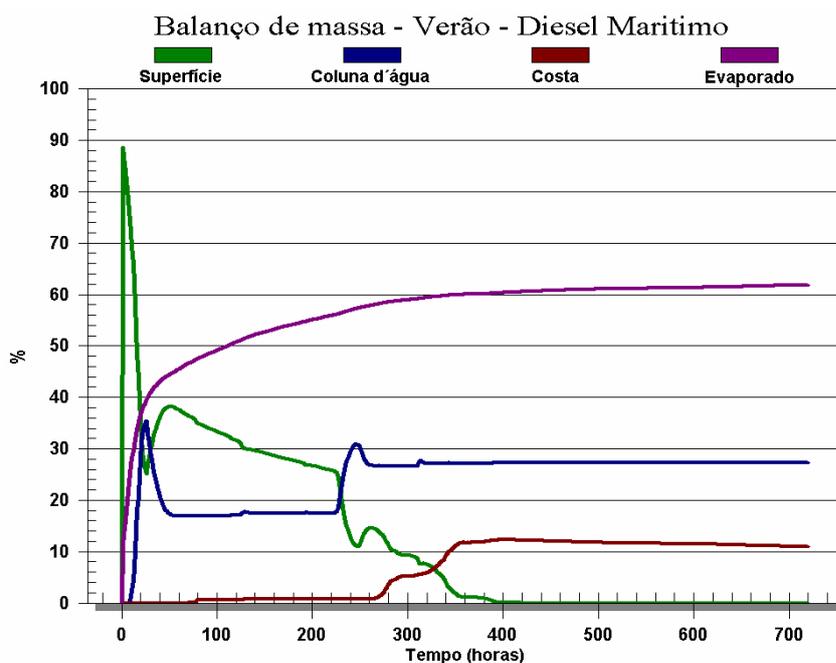
**Figura VI.2-65 - DET\_S-05\_PC\_MLZ-3D\_INV\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo MLZ-3D a partir do Ponto S-05, Área Geográfica Bacia de Santos.



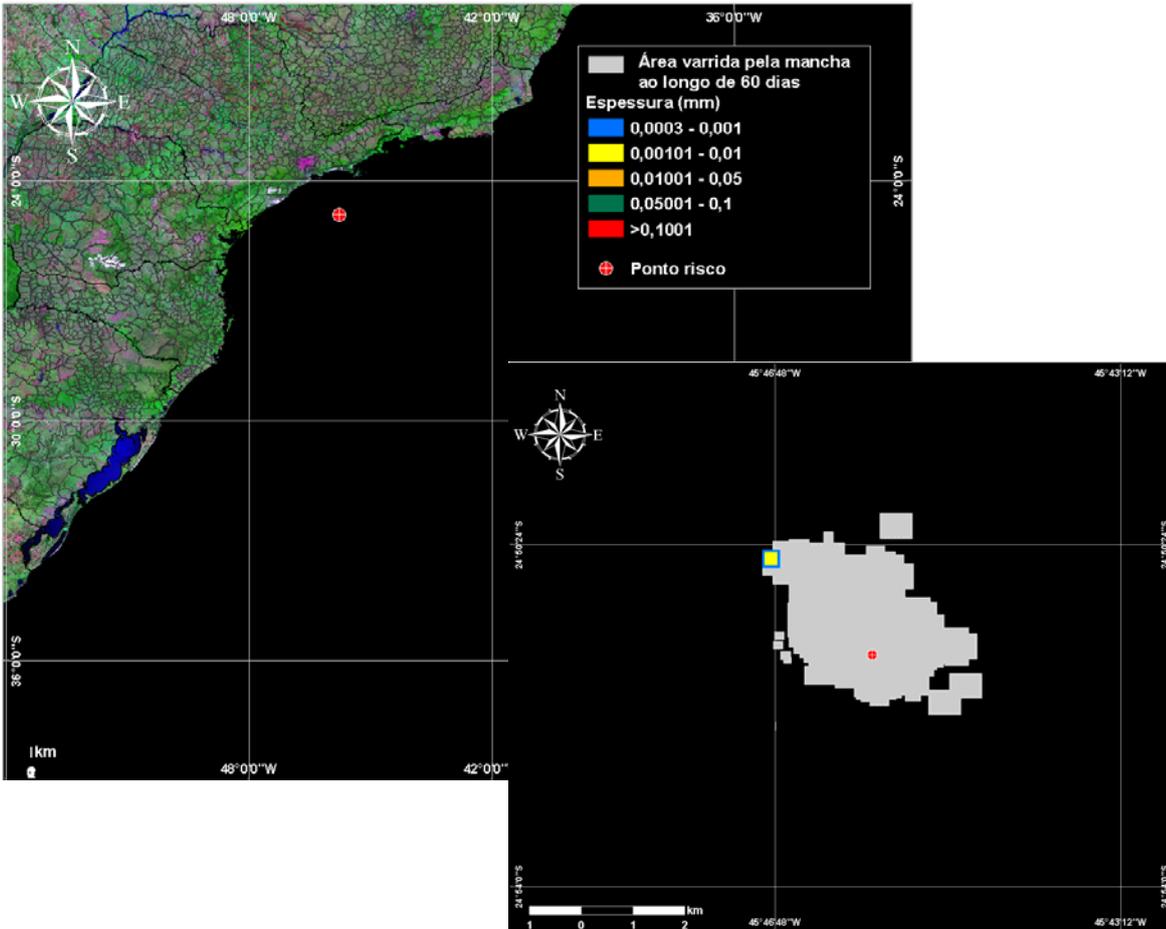
**Figura VI.2-66 - Balanco de massa do cenário DET\_S-05\_PC\_MLZ-3D\_INV\_60D.**



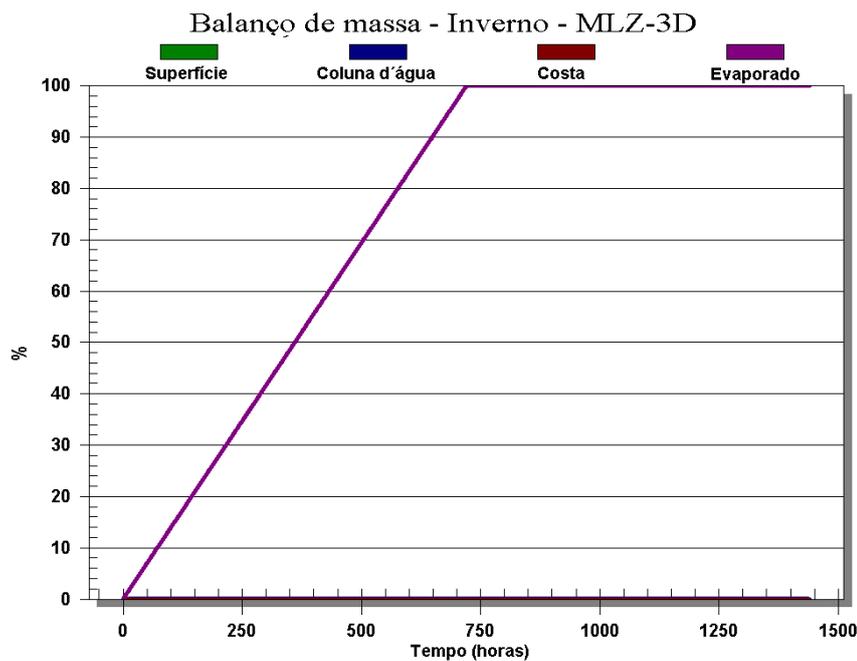
**Figura VI.2-67 - DET\_S-05\_PC\_DIESEL\_INV\_30D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-05, Área Geográfica Baía de Santos.



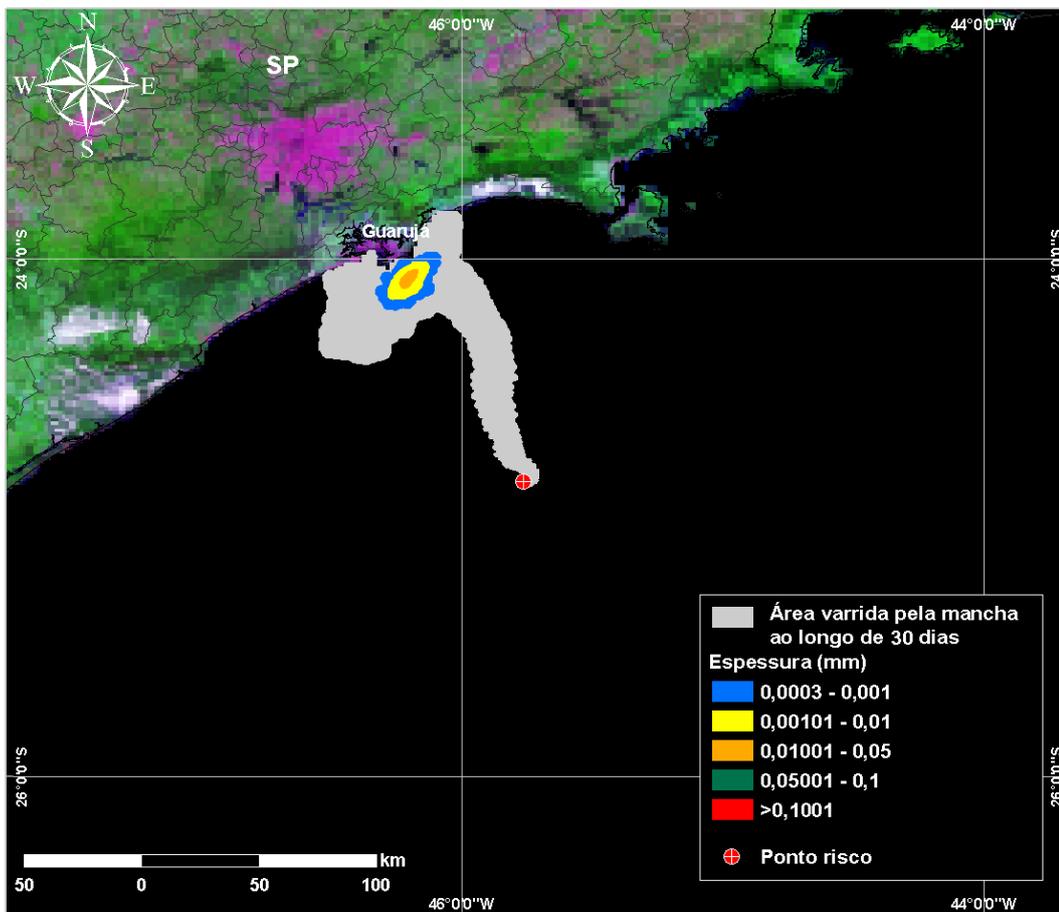
**Figura VI.2-68 - Balanço de massa do cenário DET\_S-05\_PC\_DIESEL\_INV\_30D.**



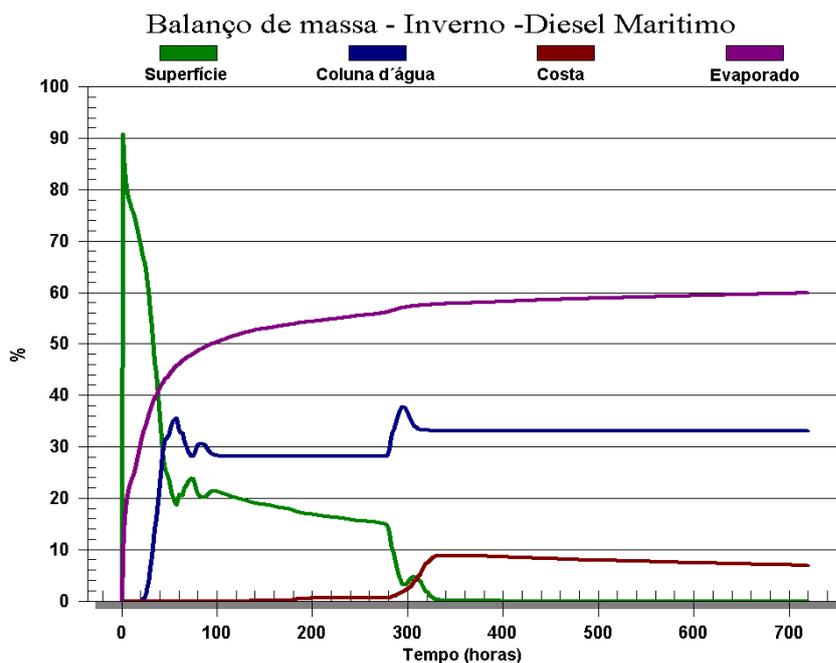
**Figura VI.2-69 - DET\_S-06\_PC\_MLZ-3D\_INV\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo MLZ-3D a partir do Ponto S-06, Área Geográfica Bacia de Santos.



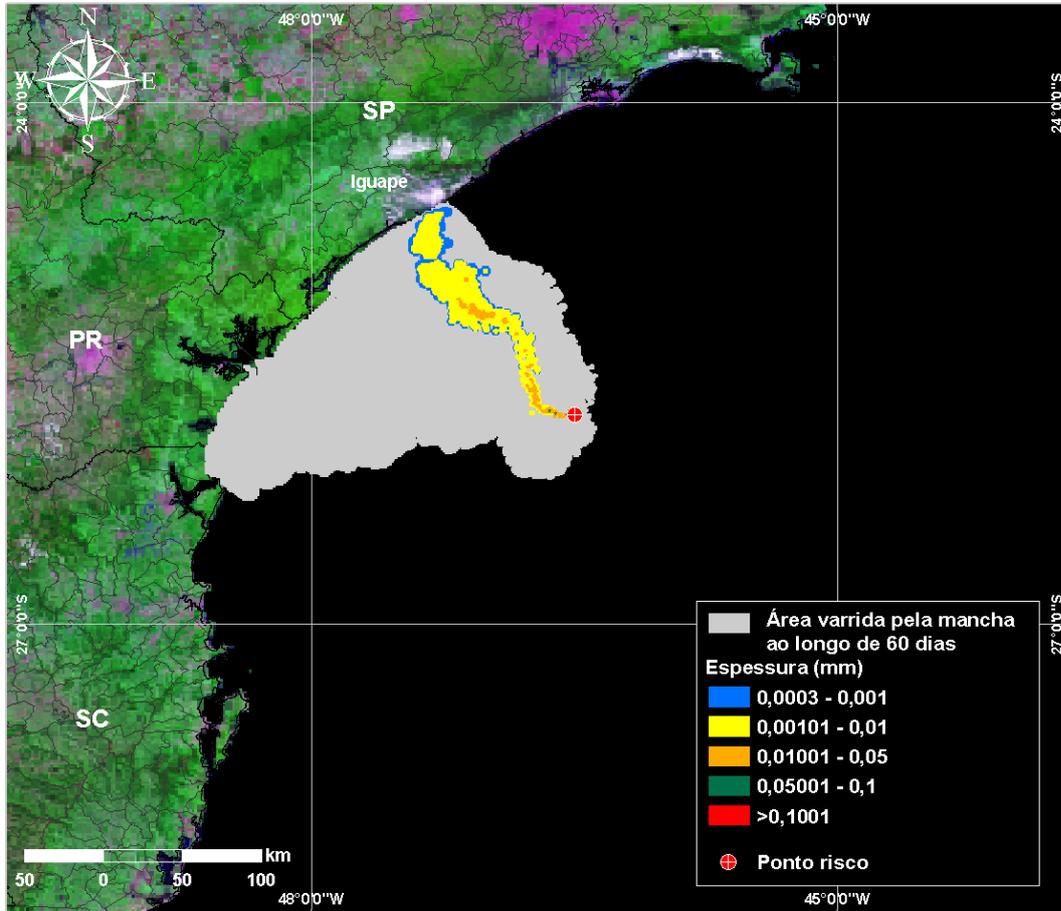
**Figura VI.2-70 - Balanco de massa do cenário DET\_S-06\_PC\_MLZ-3D\_INV\_60D.**



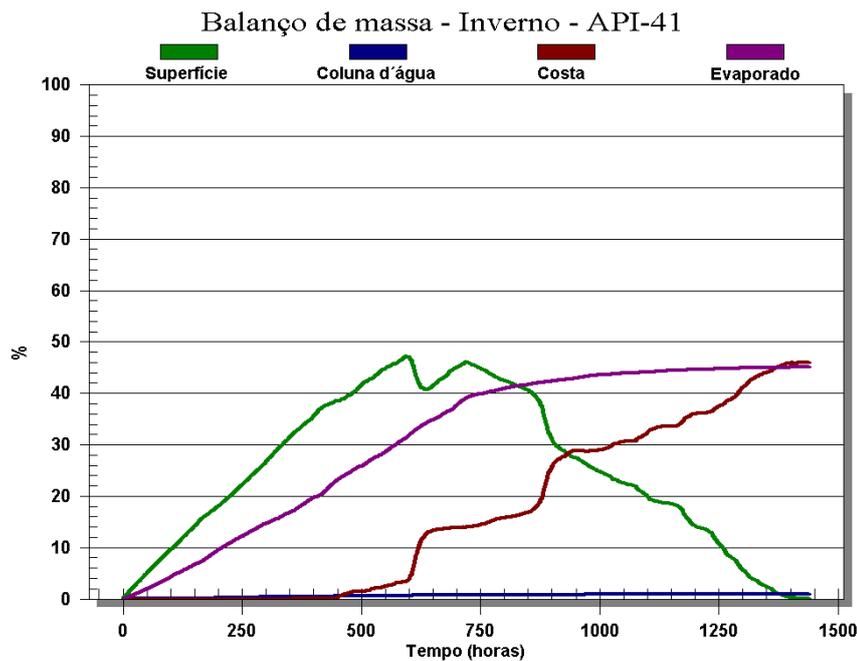
**Figura VI.2-71 - DET\_S-06\_PC\_DIESEL\_INV\_30D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo diesel marítimo a partir do Ponto S-06, Área Geográfica Baía de Santos.



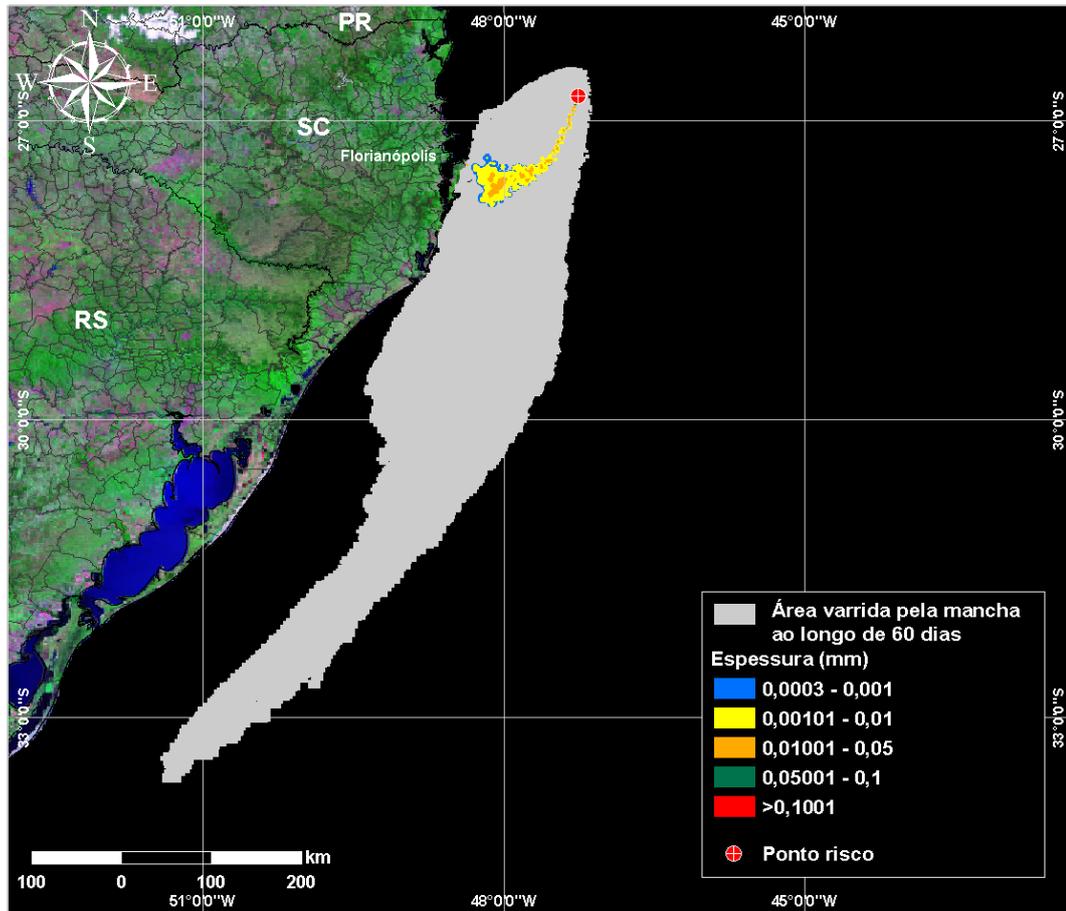
**Figura VI.2-72 - Balanço de massa do cenário DET\_S-06\_PC\_DIESEL\_INV\_30D.**



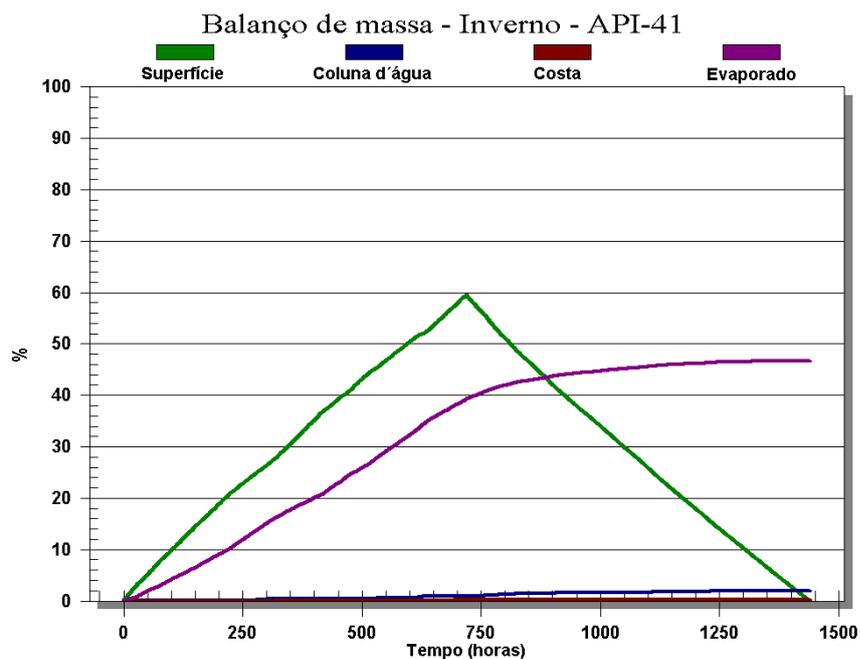
**Figura VI.2-73 - DET\_S-07\_PC\_SCS10A\_INV\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo SCS10A a partir do Ponto S-07, Área Geográfica Bacia de Santos.



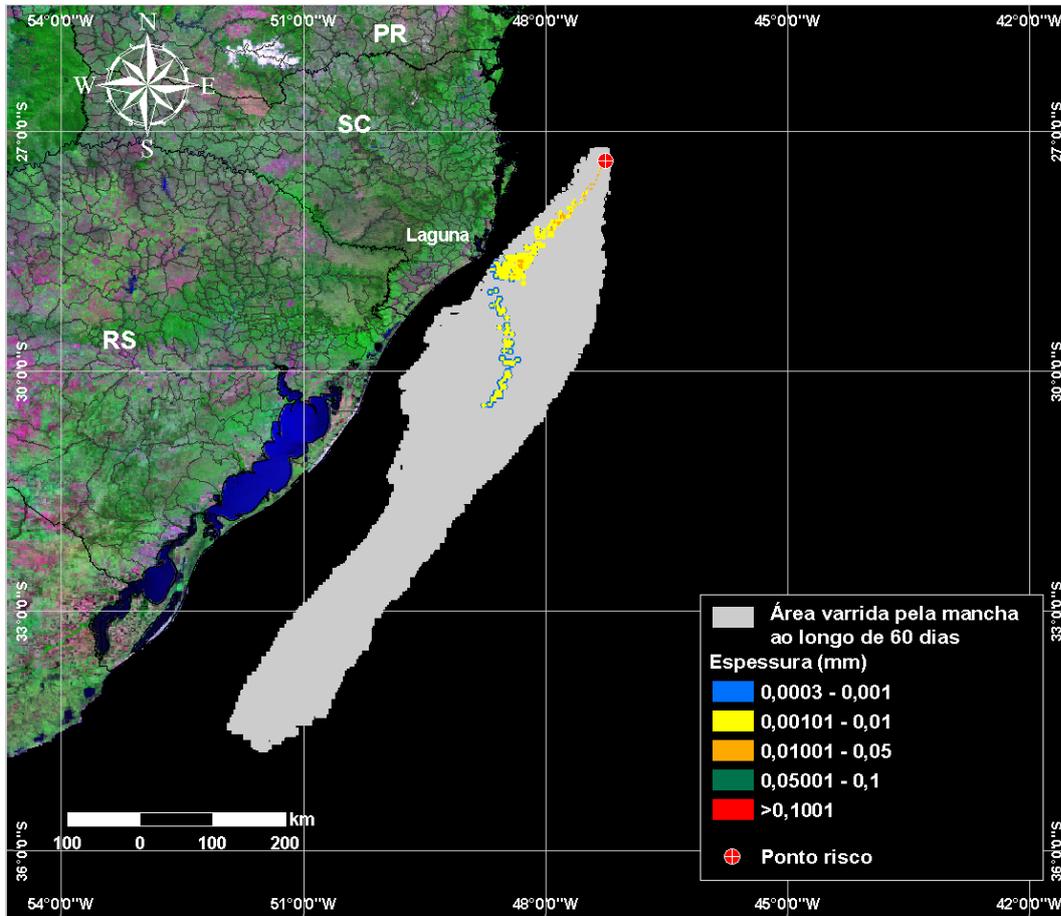
**Figura VI.2-74 - Balanco de massa do cenário DET\_S-07\_PC\_SCS10A\_INV\_60D.**



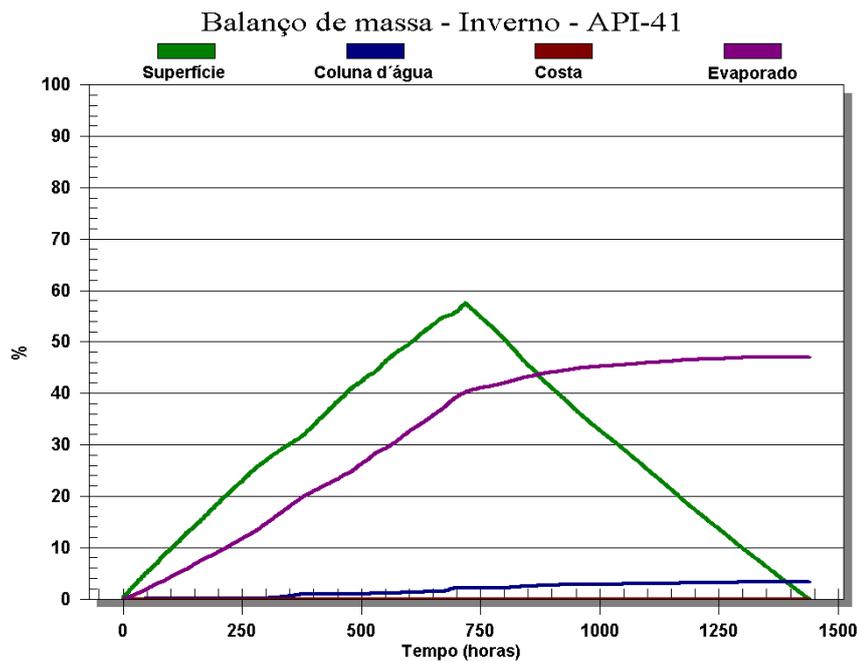
**Figura VI.2-75 - DET\_S-08\_PC\_SCS10A\_INV\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo SCS10A a partir do Ponto S-08, Área Geográfica Baía de Santos.



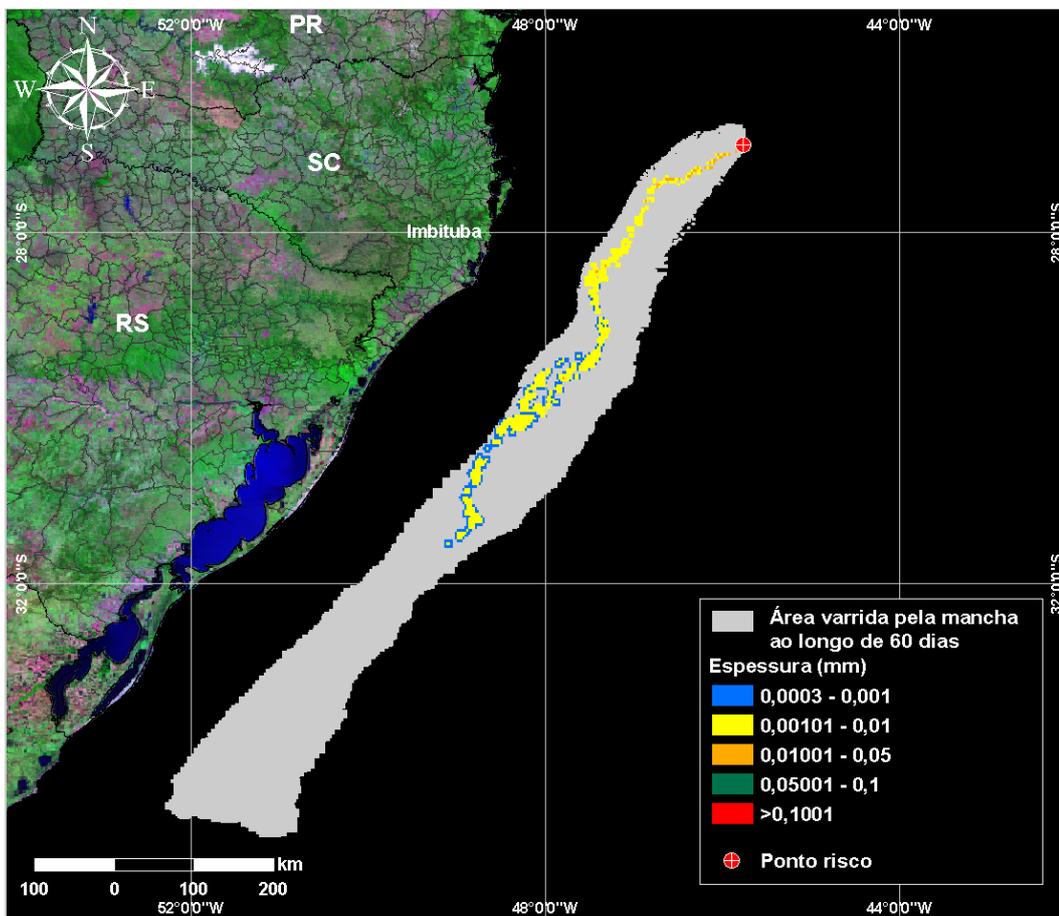
**Figura VI.2-76 - Balanço de massa do cenário DET\_S-08\_PC\_SCS10A\_INV\_60D.**



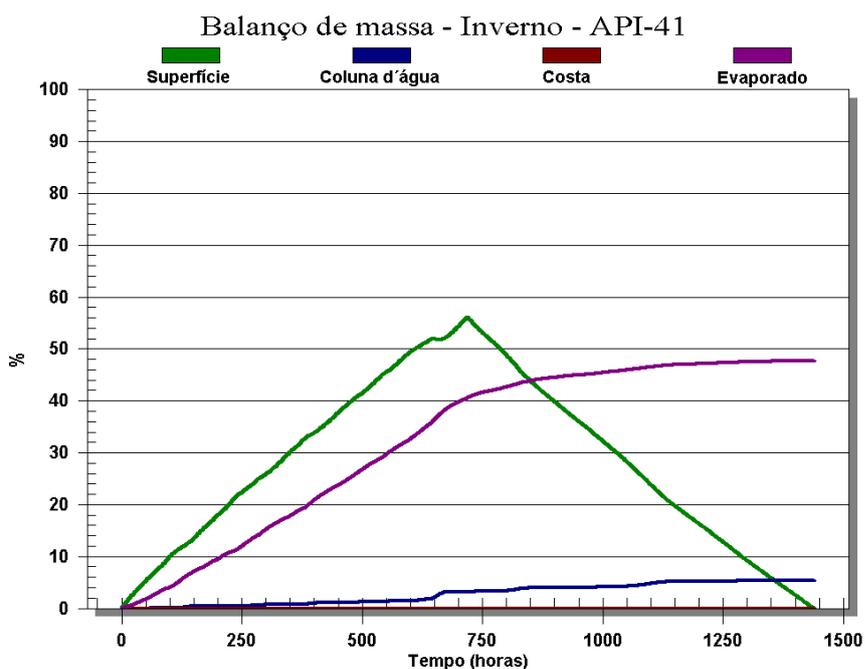
**Figura VI.2-77 - DET\_S-09\_PC\_SCS10A\_INV\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo SCS10A a partir do Ponto S-09, Área Geográfica Bacia de Santos.



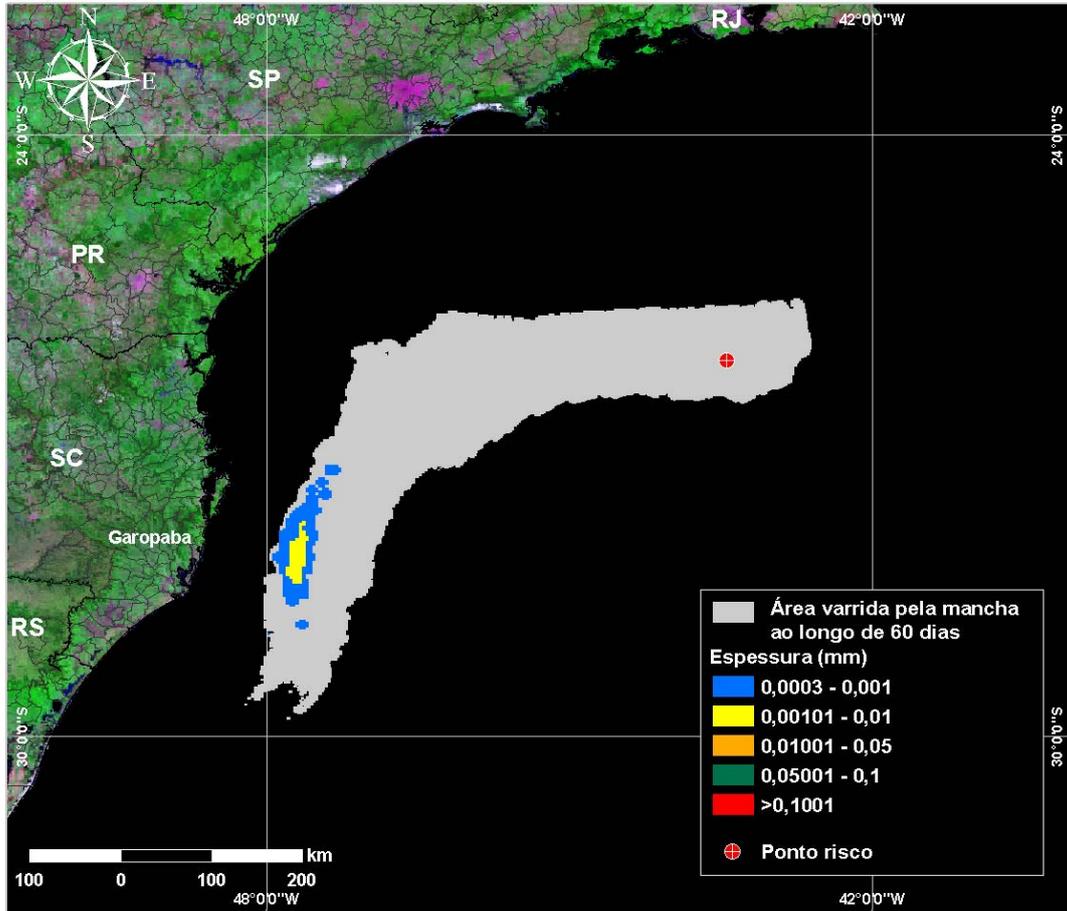
**Figura VI.2-78 - Balanço de massa do cenário DET\_S-09\_PC\_SCS10A\_INV\_60D.**



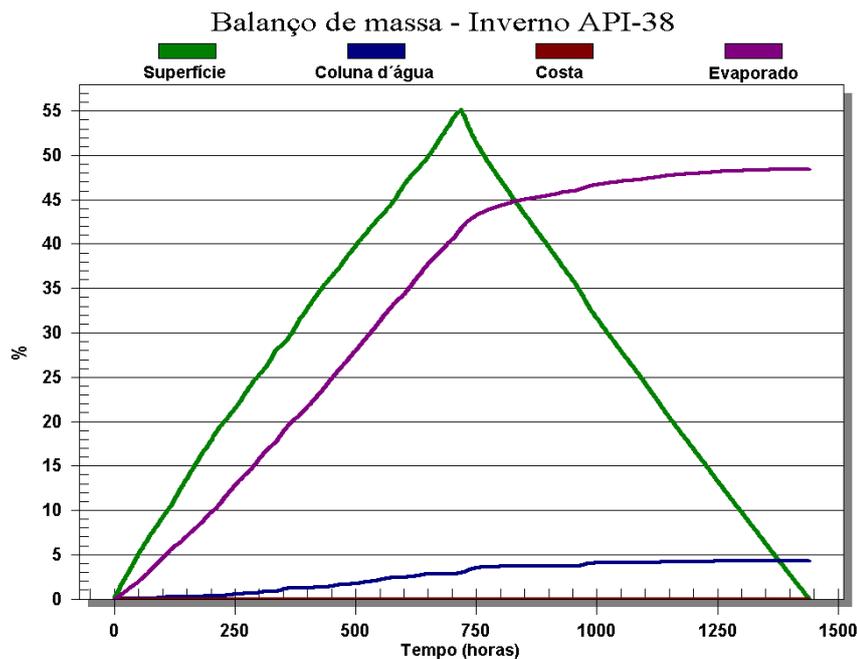
**Figura VI.2-79 - DET\_S-10\_PC\_SCS10A\_INV\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo SCS10A a partir do Ponto S-10, Área Geográfica Baía de Santos.



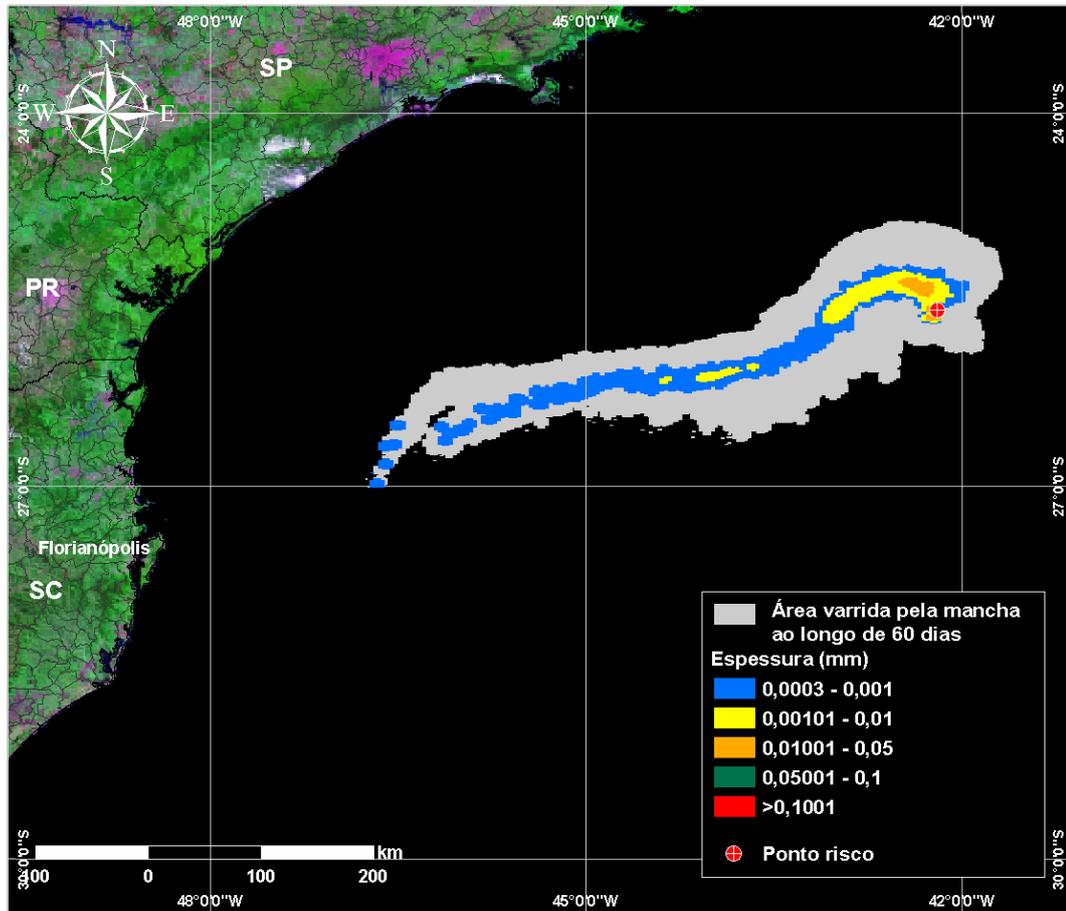
**Figura VI.2-80 - Balanço de massa do cenário DET\_S-10\_PC\_SCS10A\_INV\_60D.**



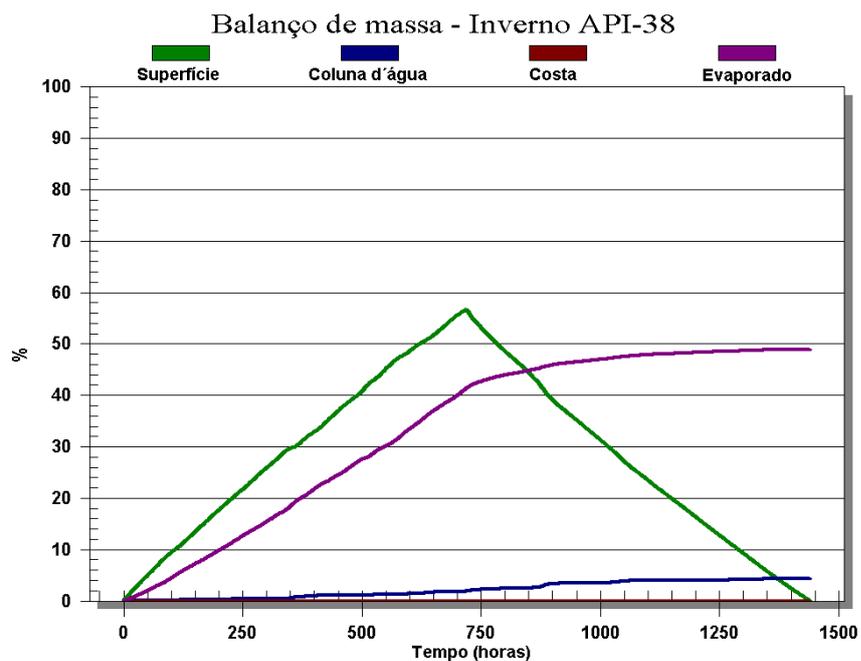
**Figura VI.2-81 - DET\_S-11\_PC\_BMS21\_INV\_60D.** Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo BMS21 a partir do Ponto S-11, Área Geográfica Bacia de Santos.



**Figura VI.2-82 - Balanço de massa do cenário DET\_S-11\_PC\_BMS21\_INV\_60D.**

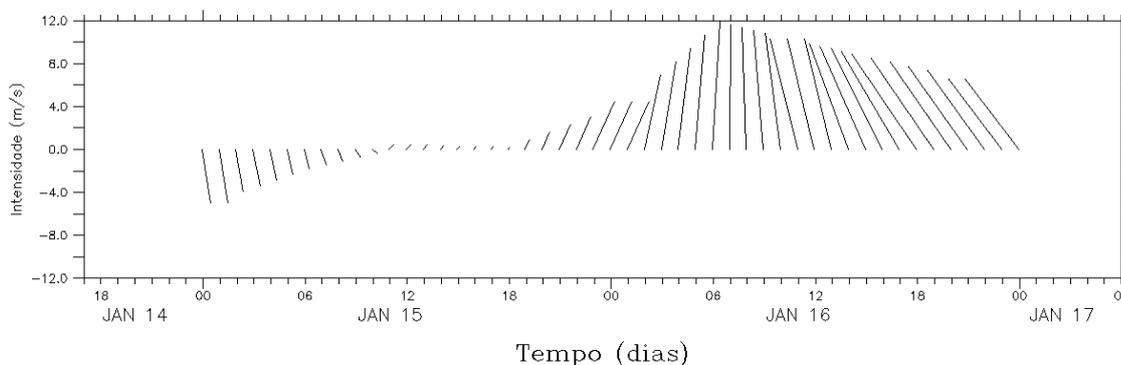


**Figura VI.2-83 - DET\_S-12\_PC\_BMS21\_INV\_60D. Cenário determinístico crítico para um derrame ocorrido durante o inverno com óleo tipo BMS21 a partir do Ponto S-12, Área Geográfica Baía de Santos.**



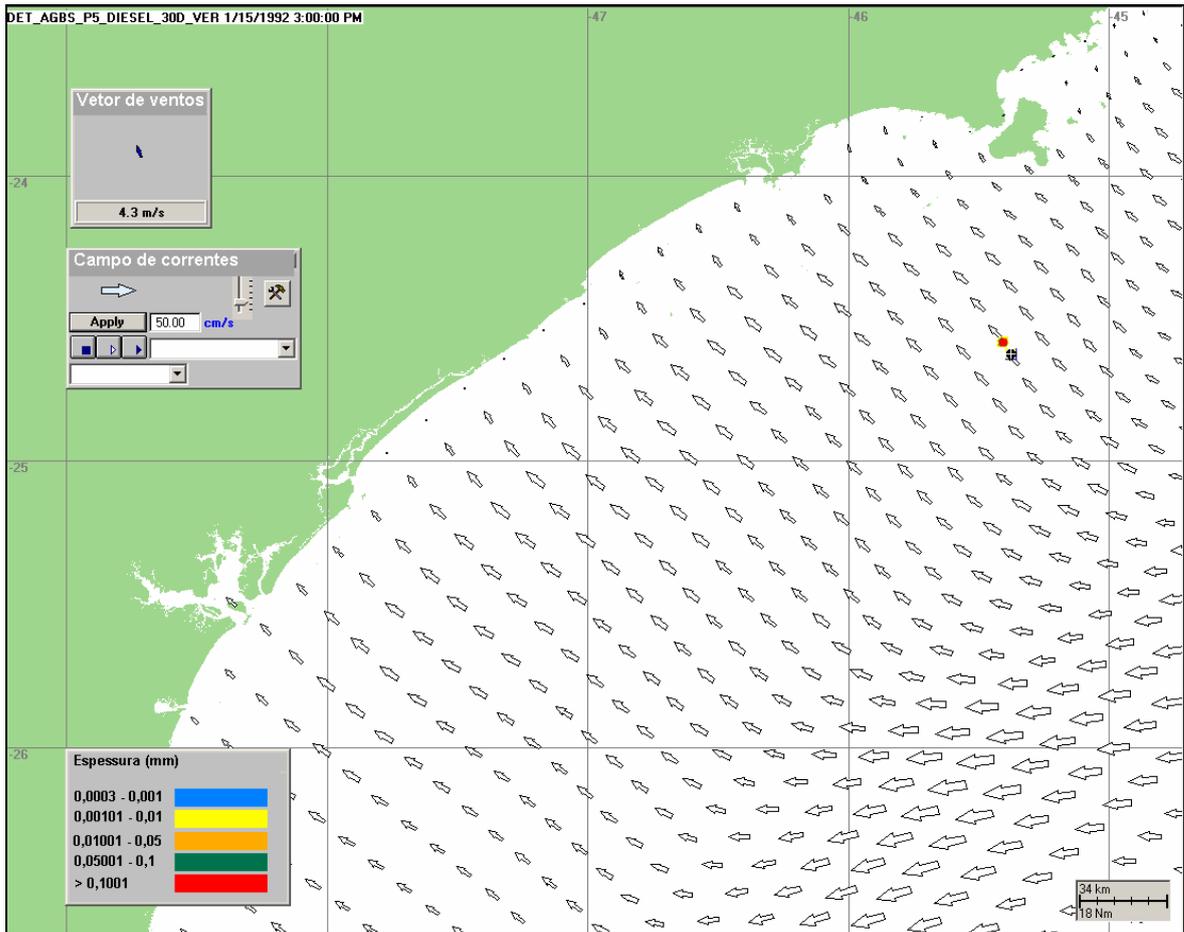
**Figura VI.2-84 - Balanço de massa do cenário DET\_S-12\_PC\_BMS21\_INV\_60D.**

Dentre todos os cenários determinísticos críticos simulados para o período de verão, o cenário de derrame a partir do Ponto S-05 com derrame de diesel marítimo foi o que apresentou o menor tempo de toque na costa (47 horas), no Arquipélago de Alcatrazes, pertencente ao município de Ilhabela (SP). A figura VI.2-85 apresenta o diagrama tipo *stick plot* dos ventos para o período de 47 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.

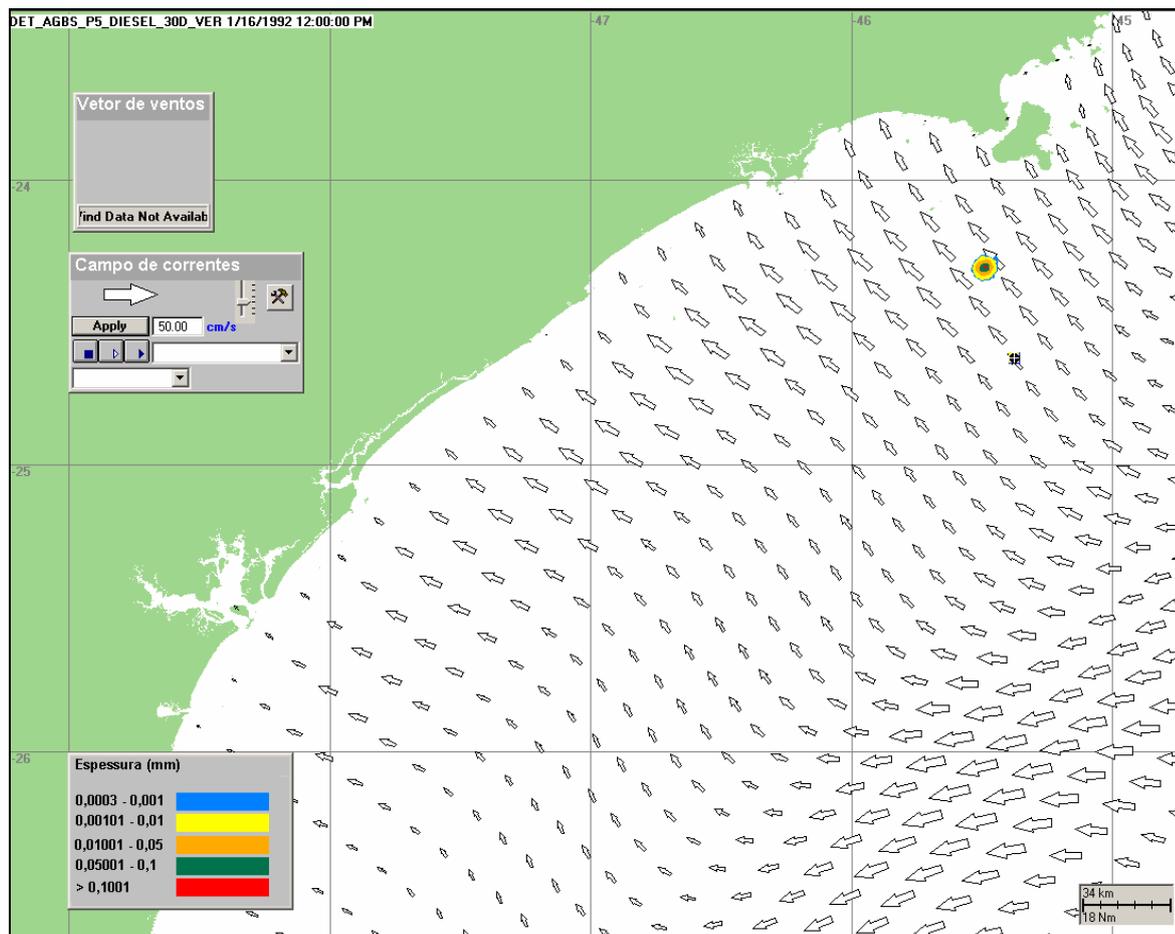


**Figura VI.2-85** - Diagrama *stick plot* dos vetores de vento para o cenário determinístico *DET\_S-05\_PC\_DIESEL\_VER\_30D*, a partir do início da simulação até o primeiro toque na costa.

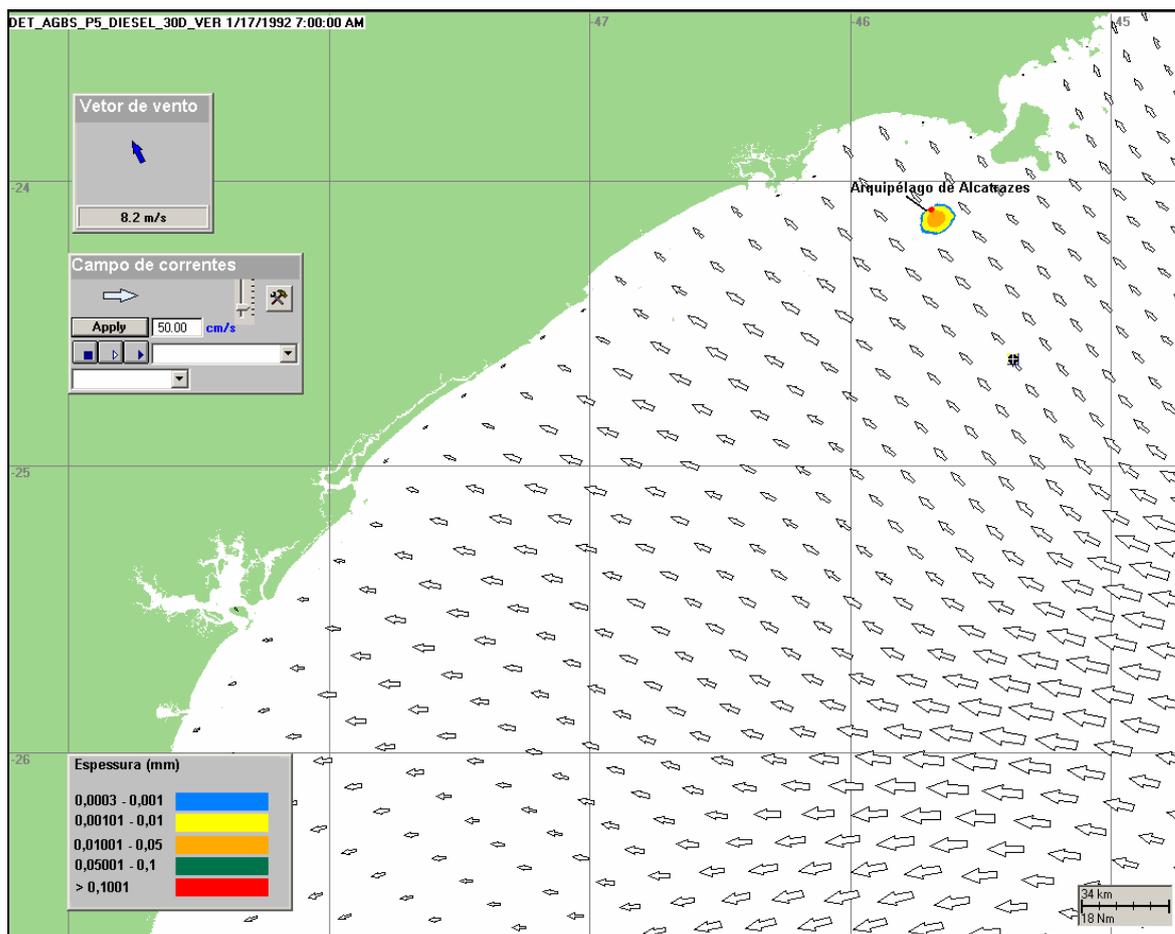
As figuras VI.2-86 a VI.2-88 apresentam ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas, a partir do início do derrame até o primeiro toque na costa para o cenário de derrame a partir do Ponto S-05 com derrame de diesel marítimo, durante o período de verão.



**Figura VI.2-86** - Cenário DET\_S-05\_PC\_DIESEL\_VER\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação.

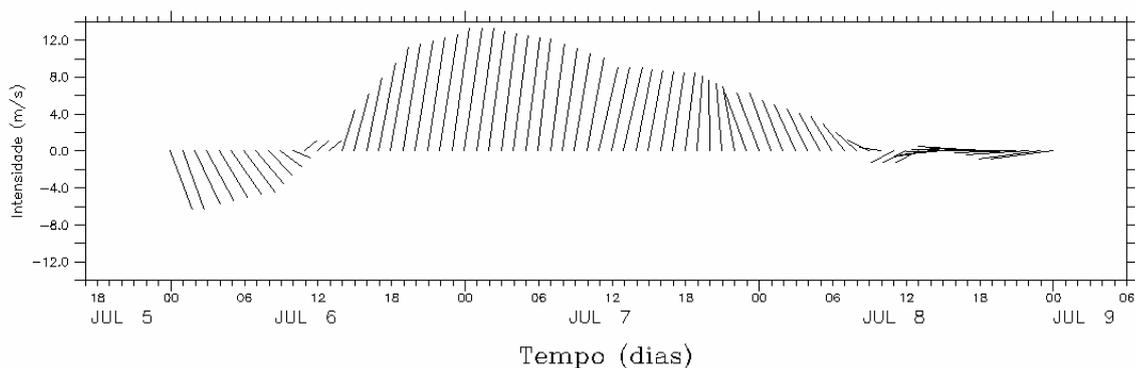


**Figura VI.2-87** - Cenário DET\_S-05\_PC\_DIESEL\_VER\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo 26 horas após o início da simulação.



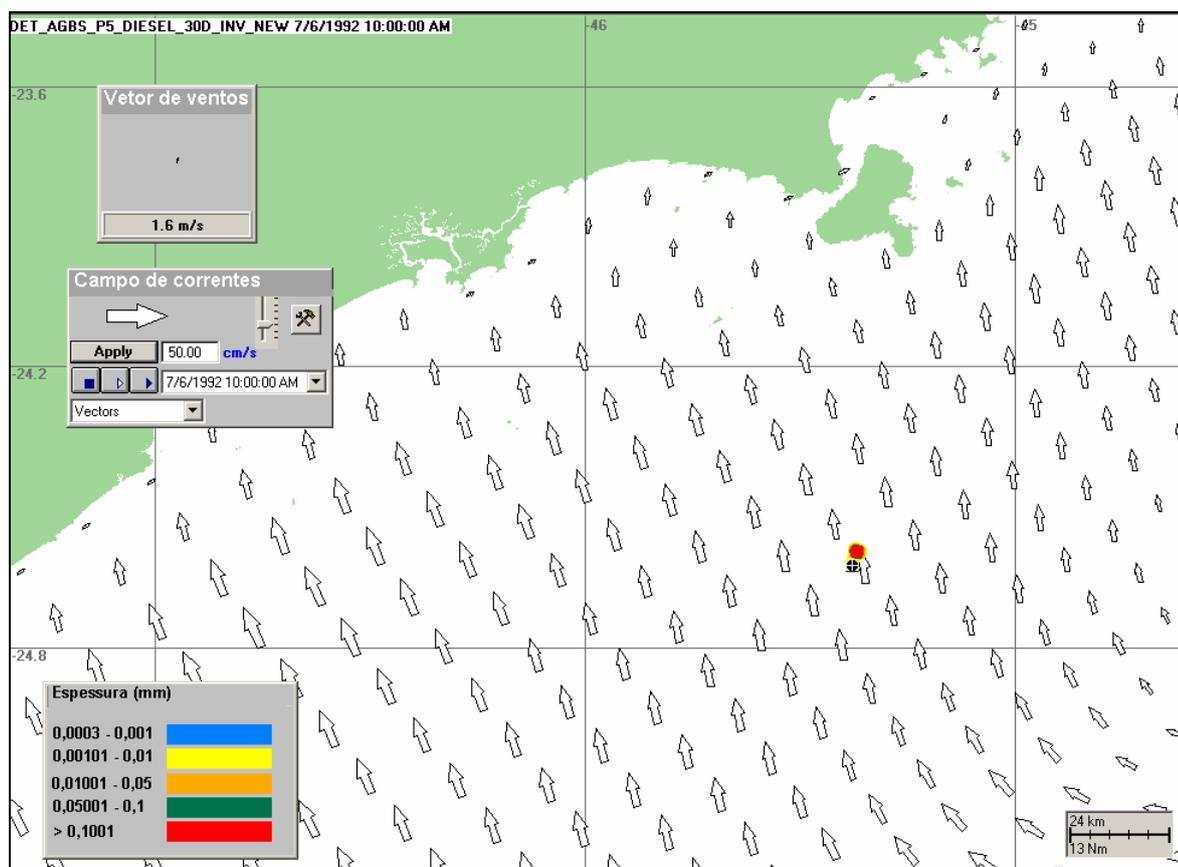
**Figura VI.2-88** - Cenário DET\_S-05\_PC\_DIESEL\_VER\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação.

Dentre todos os cenários determinísticos críticos simulados para o período de inverno, o cenário de derrame a partir do Ponto S-05 com derrame de diesel marítimo foi o que apresentou o menor tempo de toque na costa (68 horas), no Arquipélago de Alcatrazes, pertencente ao município de Ilhabela (SP). A figura VI.2-89 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.

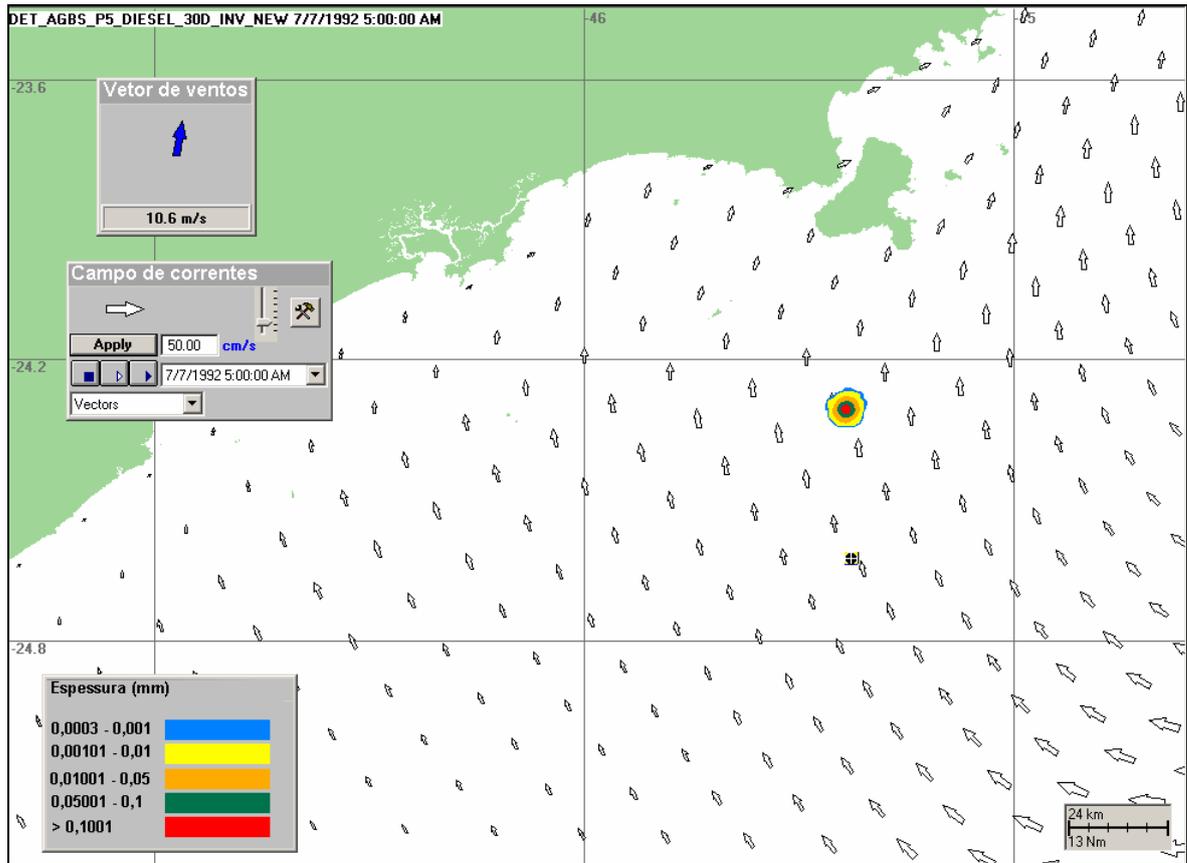


**Figura VI.2-85** - Diagrama stick plot dos vetores de vento para o cenário determinístico DET\_S-05\_PC\_DIESEL\_INV\_30D, a partir do início da simulação até o primeiro toque na costa.

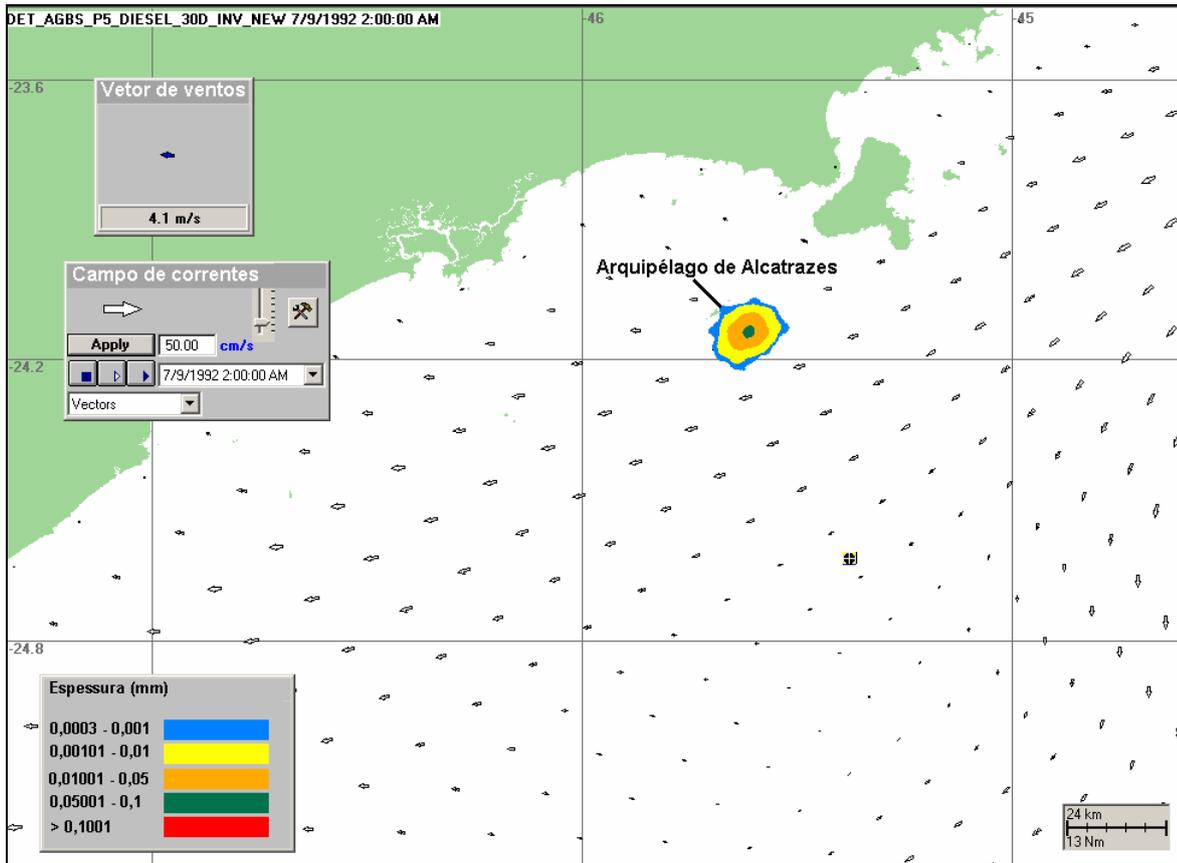
As figuras VI.2-86 a VI.2-88 apresentam ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas, a partir do início do derrame até o primeiro toque na costa para o cenário de derrame a partir do Ponto S-05 com derrame de diesel marítimo, durante o período de inverno.



**Figura VI.2-89** - Cenário DET\_S-05\_PC\_DIESEL\_INV\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação.



**Figura VI.2-90 - Cenário DET\_S-05\_PC\_DIESEL\_INV\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo 23 horas após o início da simulação.**



**Figura VI.2-91** - Cenário DET\_S-05\_PC\_DIESEL\_INV\_30D. Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação.

## VII CONCLUSÕES

Neste relatório é apresentada uma revisão da modelagem computacional de transporte e dispersão de óleo no mar na Área Geográfica Bacia de Santos, em atendimento ao Parecer Técnico CGPEG/DILIC/IBAMA nº 038/08.

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 definidos de forma a englobar toda a região onde se desenvolvem as atividades de exploração e produção da PETROBRAS na Bacia de Santos.

Foram realizadas simulações de cenários probabilísticos e determinísticos, considerando-se: os maiores volumes de *blowout* possíveis nas sub-regiões contíguas aos pontos de modelagem, condições sazonais de verão e inverno, e óleos com valores extremos de viscosidade associados a graus API extremos dentre os que ocorrem na Área Geográfica Bacia de Santos.

Foram conduzidas simulações probabilísticas para determinar contornos de probabilidade da mancha atingir 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 e as simulações de afundamento de unidade foram de 30 dias. Além deste critério de parada propriamente dito, foi adotado o corte de espessuras inferiores a 300 nm nas simulações e apresentações de resultados. A partir dos resultados das simulações probabilísticas, foram selecionados os cenários determinísticos críticos para condições de verão e inverno, utilizando como critério o menor tempo de chegada do óleo na costa 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 sudeste 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 oceano profundo, há predomínio da CB.

Os resultados sobrepostos das simulações probabilísticas 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, 1.240 km compreendido entre os municípios costeiros de Parati (RJ) e Mostardas (RS). Já no inverno, as simulações alcançaram uma região um pouco mais ao norte, num trecho de, aproximadamente, 1.255 km compreendido entre os municípios costeiros de Rio de Janeiro (RJ) e Jaguaruna (SC).

Em condições de verão, não ocorreu toque na costa para os cenários simulados a partir dos pontos S-01, S-10, S-11 e S-12, localizados na porção leste do polígono da AG-BS (mais afastados da costa), bem como nos cenários de condensado (óleo tipo MLZ-3D) a partir dos pontos S-05 e S-06. Para os pontos S-02 e S-03 houve toque na costa no período de verão apenas nos cenários simulados com o óleo RJS-574. 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-09, S-10, S-11 e S-12), assim como nos cenários simulados com o óleo RJS-587 a partir dos pontos S-01, S-02 e S-03 e com condensado (óleo tipo MLZ-3D) a partir dos pontos S-05 e S-06. Para o Ponto S-01 não houve toque na costa também para o cenário simulado com o óleo diesel marítimo.

Os resultados da sobreposição dos resultados das simulações probabilísticas dos 12 pontos de risco mostraram que as maiores probabilidades. Para o período de inverno, há probabilidade de toque na costa em 46 municípios, sendo as maiores probabilidades (90-100%) calculadas para Ilhabela (SP) e Guaraqueçaba (PR). Já para o período de verão, as maiores probabilidades de toque na costa (20-30%) ocorreram em Florianópolis (SC), de um total de 58 municípios com probabilidade de toque na costa. O Arquipélago de Alcatrazes, pertencente ao município de Ilhabela (SP) foi o que apresentou o menor tempo de toque tanto no verão (47 horas) quanto no inverno (68 horas).

Os resultados das simulações dos cenários determinísticos críticos mostraram que o maior volume final de óleo que chega à costa foi de 9.007 m<sup>3</sup> para o verão e 28.781 m<sup>3</sup> para o inverno, volumes estes resultantes dos cenários de derrame a partir dos pontos S-08 e S-07, respectivamente. Os menores tempos de toque na costa foram identificados para os cenários simulados a partir do Ponto S-05 (localizado na porção oeste da AG-BS) com óleo diesel marítimo, tanto no verão (47 horas) quanto no inverno (68 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.

---

## VIII BIBLIOGRAFIA

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

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

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

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

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

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

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

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

---

BLUMBERG, A.F. & G.L. MELLOR, 1987. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In: N.S. Heaps (Ed.), **Coastal and Estuarine Sciences 4: Three-dimensional Coastal Ocean Models**. American Geophysical Union, pp. 1-16.

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

BRYAN, K., 1969: A numerical method for the study of the circulation of the world ocean. **J. Comput. Phys.**, 4(3), 347-376.

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

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

COX, M.D., 1984: A primitive equation 3-dimensional model of the ocean. **GFDL Ocean Group Technical Report No. 1**. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/NOAA, Princeton University, Princeton, N.J. 08542, U.S.A. 143 pp.

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

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

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

---

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

GODOI, S. S. de, 2005. Dinâmica Quase-Geostrofica 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.

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 spillets on spill model predictions. Applied Science Associates internal report, Narragansett, RI.

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

LIMA, J.A.M., 1997. Oceanic Circulation on the Brazilian Shelf Break and Continental Slope at 22°S. Tese de doutorado. University of New South Wales, Austrália.

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

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

---

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

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

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

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

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

PACANOWSKI, R.C., 1995: MOM 2 documentation, user's guide and reference manual. GFDL Ocean Group Technical Report No. 3. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/ NOAA, Princeton University, Princeton, N.J. 08542, U.S.A., 232 pp.

PACANOWSKI, R.C., DIXON, K. AND ROSATI, A., 1990: The GFDL Modular Ocean Model users guide, version 1.0. GFDL Ocean Group Technical Report No. 2. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/ NOAA, Princeton University, Princeton, N.J. 08542, U.S.A., 18 pp.

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

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

SATYAMURTI, P. & L.F. MATTOS, 1989. Climatological lower tropospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. **Mon. Wea. Rev.**, 108:410-520.

SEMTNER, A.J., 1974: A general circulation model for the World Ocean. Technical Report No. 9. Department of Meteorology, University of California, Los Angeles. 99 pp.

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.

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

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

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

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

---

STRAMMA, L. & M. ENGLAND, 1999. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. **J. Geophys. Res.**, 104(C9): p. 20863-20883.

TOMCZAK, M. & S.J.GODFREY 1994. Regional Oceanography: an Introduction. Pergamon Press. New York, 422 p.

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

## **IX EQUIPE TÉCNICA**

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

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

<b>Profissional</b>	Camila Cantagallo Devids
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda.
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	2393696
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	IV e VIII
<b>Assinatura</b>	_____

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

<b>Profissional</b>	Gabriel Clauzet
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	1031373
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	I a III
<b>Assinatura</b>	

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